

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

**Разработка технологии приготовления сплава АК12 для получения
автомобильных колес сложной конфигурации**

Научный руководитель

(подпись, дата)

Черепанов А.И.

Выпускник

(подпись, дата)

Еременко К.О.

Нормоконтролер

(подпись, дата)

Свечникова Л.А.

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

« _____ » _____ 2020 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

Студенту: Еременко Кириллу Олеговичу.

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: Разработка технологии приготовления сплава АК12 для получения автомобильных колес сложной конфигурации.

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

Руководитель ВКР: А.И. Черепанов, доцент, канд. техн. наук, кафедра МиТОМ.

Исходные данные для ВКР: научные публикации и патенты (список использованных источников).

Перечень разделов ВКР: аннотация, реферат, введение, обзор литературы по проблеме, структура и свойства сплава, технологические операции приготовления сплава, шихтовые материалы для получения сплавов Al-Si, обзор печей и её выбор, методы контроля качества.

Перечень графического материала: Презентационный материал.

Руководитель ВКР

подпись

А.И. Черепанов

инициалы и фамилия

Задание принял к
исполнению

подпись

К.О. Еременко

инициалы и фамилия

« » июля 2020 г.

АННОТАЦИЯ

Разработана технология приготовления сплава АК12 применяемого в машиностроении, в частности для литья автомобильных дисков. Применены современные способы контроля качества приготовления сплава, применен эффективный метод рафинирования аргоном. Разработан перечень основных технологических операций.

В данной бакалаврской работе представлена разработка технологии получения сплава АК12, исследование его структуры, а также методы контроля качества.

Ключевые слова: рафинирование, легирующие компоненты, газонасыщенность, химический состав.

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа по теме «Разработка технологии приготовления сплава АК12 для получения автомобильных колес сложной конфигурации»

Содержит 50 страниц, 19 рисунков, 18 используемых источников, 5 таблиц.

Цель работы:

Уметь разрабатывать технологические процессы плавки алюминиевых сплавов на действующих производствах, в частности: разработать технологию получения сплава АК12 для получения автомобильных колес сложной конфигурации.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- 1 Проанализировать научно-техническую литературу.
- 2 Выбрать модифицирующие лигатуры.
- 3 Рассчитать шихту.
- 4 Установить порядок загрузки шихтовых материалов.
- 5 Выбрать способ рафинирования сплава АК12.
- 6 Выбрать плавильную печь.
- 7 Установить объем контроля качества.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 7 |
| 1 Применение в промышленности сплавов системы Al–Si..... | 8 |
| 2 Технические требования к сплаву АК12, для обеспечения конструкторской надежности легкосплавных колес | 12 |
| 2.1 Сплавы в чушках..... | 12 |
| 3 Выбор шихты для получения сплава АК12..... | 15 |
| 3.1 Составы и выбор лигатур | 15 |
| 3.2 Расчеты и выбор шихтовых материалов..... | 16 |
| 4 Технологические операции приготовления сплава АК12 | 19 |
| 4.1 Подготовка шихтовых материалов | 19 |
| 4.2 Порядок загрузки шихтовых материалов | 20 |
| 4.3 Рафинирование алюминиевых сплавов | 20 |
| 4.4 Модифицирование алюминиевых сплавов | 29 |
| 5 Плавильные устройства для получения алюминиевых сплавов | 35 |
| 5.1 Индукционные печи..... | 36 |
| 5.1.1 Индукционные канальные печи | 37 |
| 5.2 Печи сопротивления | 45 |
| 5.3 Выбор плавильной печи | 49 |
| 6 Контроль качества приготовленного сплава..... | 50 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 56 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 57 |

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время транспортное машиностроение является одним из основных потребителей алюминия и его сплавов, так как использование этого металла и его сплавов существенно повышает эффективность транспортного средства. В алюминиевых сплавах возможно достичь сочетание значительных показателей эксплуатационных, механических свойств (предела прочности, пластичности, твердости, коррозионной стойкости и т. д.), высокой точности размеров с низкой плотностью.

В частности большое внимание уделяется производству литых автомобильных колес. Это связано с большими объемами и стабильностью заказов. Возможность получения разного дизайна, высокой точности размеров, статических и динамических характеристик дает преимущество литых алюминиевых дисков перед стальными. Необходимо отметить, алюминиевые диски легче на 10–20 %. Из-за высокой теплопроводности металла диски из алюминиевых сплавов имеют лучшее охлаждение тормозных механизмов. Прочная оксидная пленка Al_2O_3 , которая образуется на поверхности алюминия, способствует защите сплава от коррозионных процессов и как следствие от его разрушения.

В то же время крупные автопроизводители предъявляют повышенные требования к прочностным характеристикам легкосплавных дисков. Проведенный анализ современных способов изготовления дисков автомобильных колес показал, что наиболее перспективным являются литье под низким давлением. Одними из достоинств этого способа является высокий коэффициент использования алюминиевых сплавов, что позволяет снизить себестоимость производства.

1 Применение в промышленности сплавов системы Al–Si

Одним из важнейших сплавов алюминия является силумин или сплав алюминия с кремнием. Диаграмма состояния силуминов имеет простой эвтектический вид, что видно на рисунке 1, именно поэтому промышленные силумины подразделяются по содержанию кремния на:

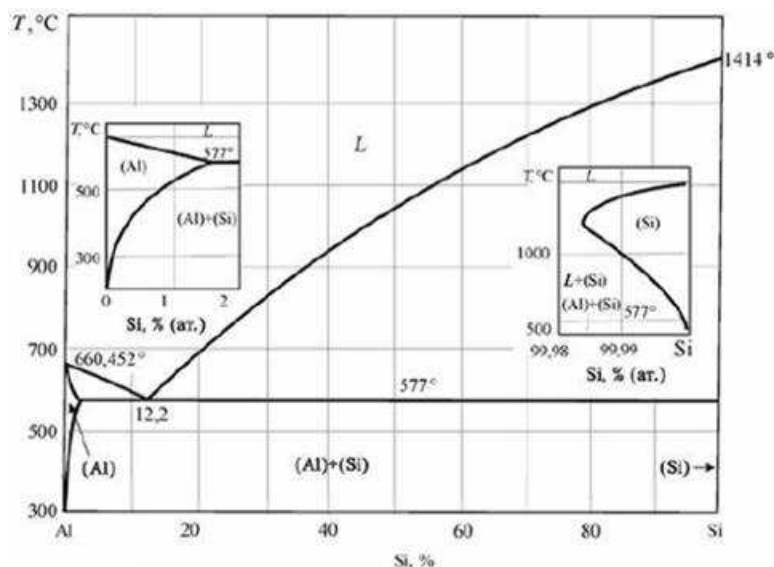


Рисунок 1 – Диаграмма состояния Al-Si

- доэвтектические (4–12 % Si);
- эвтектические (12,2 % Si);
- заэвтектические (свыше 12 % Si).

Промышленное значение силуминов обусловлено их высокой жидкотекучестью, низкой склонностью к образованию усадки при литье, возможностью пайки и сварки. Заэвтектические силумины нашли лишь ограниченное применение из-за наличия в структуре очень твердой кремниевой составляющей, которая значительно снижает стойкость режущего инструмента [1]. Что в некоторой степени компенсируется повышенным модулем упругости по сравнению с доэвтектическими сплавами, низким температурным коэффициентом линейного расширения, хорошей свариваемостью и обрабатываемостью резанием с точки зрения качества поверхности и низкой стоимо-

стью. Кроме того, еще недостаточно ясны специфика производства и особые требования к сплавам этой системы, необходимые для точного контроля микроструктуры и пористости отливок, которые существуют для доэвтектических промышленных силуминов. В настоящее время чаще всего заэвтектические силумины используются для производства поршней ДВС и ряда других деталей, изготавливаемых методами фасонного литья или жидкой штамповки. Несмотря на ограниченное применение заэвтектических силуминов, интерес к данным сплавам растет.

В авиации важную роль играет малый удельный вес сплавов на основе алюминия. Расход топлива самолета во многом определяется весом аппарата, что играет определяющую роль в случае частных самолетов, отношение массы к грузу у которых больше, чем например, в грузовых авиалайнерах. Стоит отметить еще и то, что при изготовлении различных авиационных узлов и деталей преимущественно применяются деформируемые сплавы на основе алюминия. Объем применения литейных сплавов в связи с их меньшей технологичностью ниже. Вместе с тем, в летательных аппаратах используются сварно-литые конструкции и узлы, например, в поршнях с галерейным охлаждением, насосах и пр.

В судостроении силумины получили распространение благодаря своим коррозионным свойствам в купе с малым удельным весом. Морская вода богата на содержание различных солей и прочих веществ, которые оказывают пагубное влияние на обшивку корабля. Также известно, что алюминий и его сплавы применяется и для алитирования (алюминирования) – насыщения поверхности стальных или чугунных изделий алюминием с целью защиты основного материала от окисления при сильном нагревании, т. е. повышения жароупорности (до 1100 °С) и сопротивления атмосферной коррозии.

В последнее время наметилась перспектива использования силуминов в космической промышленности, где особое место занимают сплавы для приборной техники, от которых требуются низкие значения температурного коэффициента линейного расширения в сочетании с необходимым уровнем ме-

ханических свойств. Для изготовления различных узлов космических аппаратов нужны сплавы с малым удельным весом и низким температурным коэффициентом линейного расширения. Имеющиеся в настоящее время прецизионные сплавы, построенные на основе системы железо-никель, обладают уникальными физическими свойствами. Однако эти сплавы отличаются рядом недостатков, которые в основном сводятся к сложной технологии получения их и обработки, дороговизне и большому удельному весу. В связи с этим большое внимание в мире уделяется поиску композиций сплавов на основе алюминия, среди которых самой перспективной является система Al-Si.

В настоящее время в автомобильной промышленности все чаще используют сплавы алюминия с кремнием, магнием, марганцем и др. Эти сплавы имеют малый вес, высокие показатели прочности, теплопроводности, коррозионную стойкость [2] по сравнению со сталью.

Наиболее распространенные сплавы, применяемые для изготовления литых дисков автомобильных колес, – это силумины систем Al-Si и Al-Si-Mg (AK12, AK9 и AK7), либо их европейские аналоги AlSi₁₁, AlSi₁₀Mg и AlSi7Mg соответственно. В нашей стране большое применение получили сплавы AK12, AK7.

Эти сплавы имеют оптимальное сочетание литейных свойств:

- высокую жидкотекучесть;
- хорошее заполнение формы;
- высокую герметичность;
- отсутствие горячих трещин;
- возможность изготовления фасонных отливок сложной формы.

Структура данных сплавов состоит из эвтектики Al-Si и первичных кристаллов (Al), что способствует малому интервалу кристаллизации, высоким показателям литейных свойств и герметичности силуминов.

Сплав AK12. Это сплав, который относится к двухкомпонентной системе Al-Si. Кремний является легирующим элементом в сплаве, основная структурная составляющая – это алюминиево-кремниевая эвтектика. В виду

того что интервал концентрации кремния в сплаве составляет 10–13 %, структура АК12 состоит из первичных дендритов (алюминий) и первичных кристаллов кремния в виде компактных полиэдров. Как известно, при повышении концентрации кремния, доля эвтектики $\alpha(\text{Al}) + \text{Si}$ увеличивается, что способствует повышению литейных свойств, прочности и снижению пластичности сплава [3].

Сплав используют в авиастроении, вагоностроении, автомобилестроении, строительстве сельскохозяйственных машин. Данный сплав применяется для изготовления деталей, имеющих невысокую прочность, хорошую коррозионную стойкость, работающих в интервале температур от -70 до $+50$ °С (картеры, детали колес, корпуса и детали приборов).

2 Технические требования к сплаву АК12, для обеспечения конструкторской надежности легкосплавных колес

Химический состав сплава АК12 для литья колес взятый с технологической инструкции Литейно-механического завода «СКАД» представлен в таблице 1

Таблица 1– Химический состав сплава АК12.

| Марка | Массовая доля, % | | | | | | | | |
|-------|------------------|-------------------|------|-------------|-----------|-----|------|------|------|
| | Осн.комп. | Примесей не более | | | | | | | |
| | | Si | Ti | B | Sr | Mg | Fe | Zn | Cu |
| АК12 | 11,2-11,8 | 0,07-0,15 | 0,02 | 0,014-0,034 | 0,06-0,15 | 0,2 | 0,03 | 0,03 | 0,08 |

2.1 Сплавы в чушках

Силумины в чушках изготавливают со следующим химическим составом:

– АК12ч (СИЛ-1) – кремний 10–13 %, алюминий – основа, примесей, %, не более: железо – 0,50, марганец – 0,40, кальций – 0,08, титан – 0,13, медь – 0,02, цинк – 0,06;

– АК12пч (СИЛ-0) – кремний 10–13 %, алюминий – основа, примесей, %, не более: железо – 0,35, марганец – 0,08, кальций – 0,08, титан – 0,08, медь – 0,02, цинк – 0,06;

– АК12оч (СИЛ-00) – кремний 10–13 %, алюминий – основа, примесей, %, не более: железо – 0,20, марганец – 0,03, кальций – 0,04, титан – 0,03, медь – 0,02, цинк – 0,04;

– АК12ж (СИЛ-2) – кремний 10–13 %, алюминий – основа, примесей, %, не более; железо – 0,7, марганец – 0,5, кальций – 0,2, титан – 0,2, медь – 0,03, цинк – 0,08.

По соглашению изготовителя с потребителем в силумине марки АК12ж (СИЛ-2) допускается содержание железа до 0,9 %, марганца – до 0,8 %, титана – до 0,25 %.

Технические требования. Сплавы должны изготавливаться в соответствии с требованиями настоящего стандарта (ГОСТ 1583–93) по технологической инструкции, утвержденной в установленном порядке.

Сплавы изготавливаются в виде чушек массой до 20 кг, по согласию с потребителем – массой более 200 кг и в расплаве.

На поверхности чушек не должно быть шлаковых и других инородных включений, видимых невооруженным глазом.

Допускаются усадочные раковины, трещины (на чушках массой более 200 кг), следы зачистки и вырубки.

Допускается на поверхности чушек наличие краски, используемой для покраски изложниц.

Общая площадь поверхности, занимаемой оксидными пленками и пленками на чушках алюминиево-кремниевых сплавов, не должна превышать 5 % всей поверхности чушек.

Допускаются на поверхности чушек заэвтектических алюминиево-кремниевых сплавов ликвации кремния и рыхлоты.

В изломе чушек массой до 20 кг не допускаются шлаковые и другие инородные включения, видимые невооруженным глазом. Допускается наличие в изломе кремния, образовавшегося в процессе кристаллизации алюминиево-кремниевых сплавов.

Чушки рафинированных сплавов изготавливаются по согласию изготовителя с потребителем.

В рафинированных сплавах содержание водорода должно быть не более 0,25 см³/100 г металла для доэвтектических силуминов, 0,35 см³/100 г – для заэвтектических силуминов, 0,5 см³/100 г – для алюминиево-магниевых сплавов; пористость должна быть не более 3 баллов.

Выбор контролируемого показателя (балл пористости или содержание водорода) определяется предприятием-изготовителем[4].

Технические требования сплавов в отливках. Механические свойства сплавов соответствовать приведенным в таблице 2.

Таблица 2 – Механические свойства сплава АК12

| Марка сплава | Способ литья | Вид термической обработки | Временное сопротивление разрыву, МПа | Относительное удлинение, % | Твердость по Бринеллю НВ |
|----------------------|--------------|---------------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| АК12 | Д* | - | 180 | 7 | 50,0 |
| *Литье под давлением | | | | | |

3 Выбор шихты для получения сплава АК12

Учитывая требования конструкторской документации по величине относительного удлинения 7 % и выше, шихтовые материалы выбираются с малым содержанием вредных примесей, особенно железа – менее 0,12–0,15 % в готовом сплаве. Это приводит к удорожанию отливок, но повышает надежность колес.

Поэтому в качестве шихтовых материалов для получения сплавов Al–Si применяем алюминий чушковой марки не ниже А8 (ГОСТ 11069–74), кремний кристаллический марки Кр 00 (ГОСТ 2169–69), лигатуры AlTi₅B, AlSr₁₀, а также быстрозакристаллизованную лигатуру собственного производства.

3.1 Составы и выбор лигатур

Изготовление, контроль и приемку лигатур на предприятии-изготовителе проводят по техническим документам, утвержденным на предприятии-изготовителе с учетом требований настоящего стандарта.

Лигатуры изготавливают в виде вафельных пластин массой не более 10 килограмм или в виде прутка диаметром (9,5 ± 0,5) миллиметров, смотанного в бухту массой не более 180 килограмм.

Марки и химический состав модифицирующих прутковых лигатур должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 3.

Таблица 3 – Химический состав модификаторов

| Марка сплава | Массовая доля, % | | | | | | | | | |
|--------------|------------------|------|------|------|-------|----|----|-------|-----|-----|
| | Fe | Si | Ti | B | Sr | Cu | Ca | Na | Si | Mg |
| Al–Ti5–B1 | 0,1 | 0,13 | 4,72 | 0,98 | - | - | - | - | 0,2 | - |
| Al–Sr10 | 0,1 | - | - | - | 10,44 | - | - | 0,016 | 0,2 | 0,1 |

Так же задачей данной работы является введение в технологию приготовления сплава модифицирование сплава быстрозакристаллизованной лига-

турой. Химический состав быстрозакристаллизованной лигатуры указан в таблице 4

Таблица 4 – Химический состав быстрозакристаллизованной лигатуры

| Материалы для изготовления лигатуры | Состав, % | | | | | |
|-------------------------------------|-----------|------|------|------|-------|-----|
| | Al | Si | Sr | Ti | B | Fe |
| AK12 + Al–Sr10 + Al–Ti5–B | Основа | 11,5 | 0,03 | 0,06 | 0,012 | 0,2 |

3.2 Расчеты и выбор шихтовых материалов

Задачей расчёта шихты является установление такого количества соотношения компонентов, которое обеспечивает получение сплава требуемого химического состава при минимальной стоимости [9, 10].

Для расчёты шихты нам необходимы: химический состав сплава берем по таблице 1 и выбранные нами по ГОСТ Р 53777–2010 лигатуры AlTi₅B, AlSr₁₀ и Si (табл. 4).

За расчётный состав мы принимаем средний состав сплава: Si – 11,5 %, Ti – 0,12 %, Sr – 0,03 %, остальное – Al.

Расчетное содержание различных элементов в шихте определяется по формуле:

$$A_K = \frac{C_c}{C_k} \times A_c, \quad (1)$$

где C_c – содержание легирующего элемента в сплава %;

C_k – содержание элемента в шихтовом материале %;

A_c – расчетная масса сплава в печи кг.

Расчет ведём на 100 кг сплава.

$$Si = \frac{11,5 \times 100}{100} = 11,5 \text{ кг}$$

$$\text{Ti} = \frac{0,12 \times 100}{100} = 0,12 \text{ кг}$$

$$\text{Sr} = \frac{0,03 \times 100}{100} = 0,03$$

Определим количества лигатуры Al–Ti5–В:

$$\text{Al-Ti5-B} = \frac{0,12 \times 100}{4,72} = 2,54 \text{ кг}$$

Определим лигатуру Al–Sr:

$$\text{Al-Sr10} = \frac{0,03 \times 100}{10,44} = 0,28 \text{ кг}$$

$$\text{Si} = 11,2 \text{ кг}$$

$$\text{Al-Ti5-B} = 2,54 \text{ кг}$$

$$\text{Al-Sr} = 0,28 \text{ кг}$$

Найдем количество Al:

Количество основы сплава (кг) рассчитывается по формуле:

$$A_0 = A_c - \Sigma A_k, \quad (2)$$

где ΣA_k – сумма масс шихтовых материалов в сплаве кг

Расчет количества алюминия:

$$A_0 = 100 - (11,5 + 2,54 + 0,28) \equiv 85,68 \text{ кг}$$

Рассчитаем количество железа полученное в сплаве, процентное содержание не превышающее 0,2 %

$$Fe = \frac{85,68 \times 0,2}{100} = 0,171 \text{ кг}$$

После расчета приготовленного сплава рассчитаем количество быстро-
закристаллизованной лигатуры количество которой будет составлять 0,2 %
от общей массы

$$M = \frac{0,2 \times 100}{100} = 0,2 \text{ кг}$$

4 Технологические операции приготовления сплава АК12

Процесс приготовления сплава состоит из нескольких операций: пуска печи, подготовки и загрузки шихты, расплавления и перегрева металла, рафинирования и модифицирования.

Пуск печи после капитального ремонта футеровки требует продолжительного и равномерного нагрева во избежание растрескивания футеровки. Эта операция во многом определяет длительность эксплуатации печи. Чем сложнее конструкция футеровки и больше её габариты, тем продолжительнее должен быть период сушки и разогрева

Непросушенная футеровка и плавильный инструмент являются, кроме того, причиной газовой пористости в отливках [9].

4.1 Подготовка шихтовых материалов

Требования к шихтовым материалам:

- Они должны храниться в крытых, сухих помещениях.
- Состав шихтовых материалов устанавливается технологическим процессом, а для конкретного плавильного агрегата в соответствии с расчётом шихты.

- Шихта для плавки алюминиевых сплавов не должна быть влажной и загрязнённой маслом, эмульсией, землёй.

Исходя из выше сказанных требований к шихтовым материалам, нужно:

- Очистить шихтовые материалы от посторонних включений.
- Нарезать шихтовые материалы на части до размеров, соответствующих размерам тигля.
- Произвести очистку шихтовых материалов до полного удаления загрязнений.
- Нагреть все компоненты шихты, вводимые в жидкий металл, до 150–200 °С во избежание выбросов металла.

В состав шихты вводят чушковый первичный алюминий (А85), кремний (КР00), возврат, лом и отходы. В качестве легирующих элементов применяем лигатуры Al–Ti₅–B, Al–Sr₁₀.

4.2 Порядок загрузки шихтовых материалов

Технология приготовления сплава заключается в следующем. В разогретый тигель загружается алюминий и отходы производства, затем температура доводится до 900 градусов, загружается кремний, когда кремний растворится вводим лигатуры Al–Ti₅–B и Al–Sr₁₀.

4.3 Рафинирование алюминиевых сплавов

Для защиты металла от атмосферной печи применяют покровные флюсы. Они вводятся в печь вместе с шихтой. Покровные флюсы должны быть легче расплавленного металла, более легкоплавкими, чтобы образовывать равномерную жидкую плёнку на поверхности металла. В то же время флюсы должны легко отделяться от поверхности жидкого металла при снятии шлака. Кроме того, они должны быть негигроскопичными, нетоксичными, дешёвыми, недефицитными и не вступать в реакции с футеровкой.

Сплавы, содержащие более 1 % Mg, защищают флюсами, состоящими из 100 % карналлита (KMgCl₃) или его смеси с 10–15 % CaF₂ и MgF₂. Для уменьшения растворения газов и образования окислов металла, над его поверхностью создают газовую среду, например, из смеси воздуха и шестифтористой серы SF₆.

Несмотря на принятие рассмотренных выше мер предотвращения взаимодействия паров воды с расплавом алюминия, полностью устранить это взаимодействие не удаётся, и расплавы в большей или меньшей степени загрязняются оксидными включениями и насыщаются водородом. Поэтому в конце плавки их подвергают рафинированию [9].

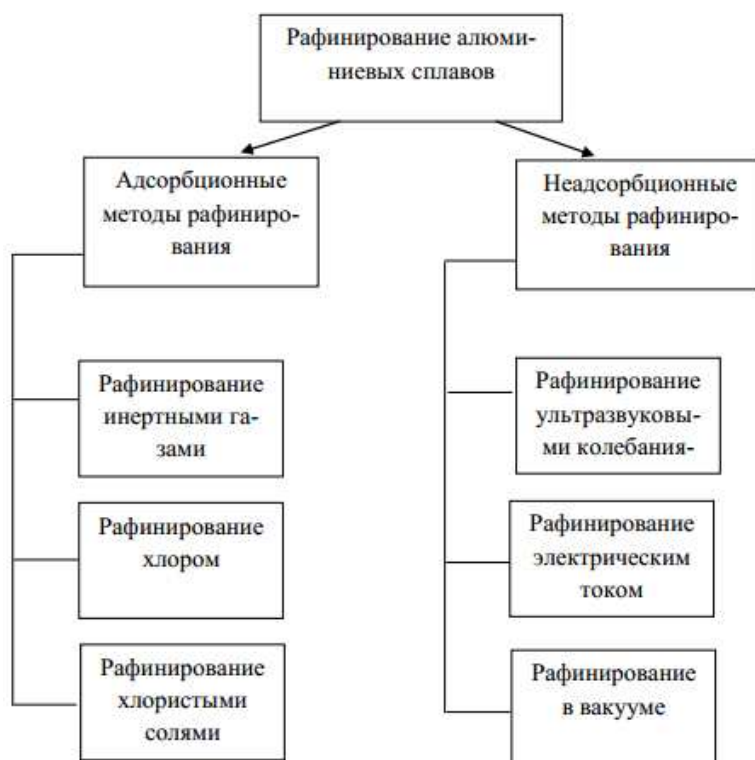


Рисунок 3 – Схема рафинирования алюминиевых сплавов

4.3.1 Адсорбционные методы рафинирования

Рафинирование инертными газами. Обычно в данном методе рафинирования применяют азот или аргон.

Установка состоит из баллона с инертным газом, устройства для поглощения воды, манометра и кварцевой трубки. Все элементы установки соединены между собой кварцевыми трубками.

Процесс рафинирования ведут непосредственно в ковшах. При этом газ с помощью кварцевой трубки вводят в расплав и перемещением трубки вдоль стенок печи стремятся обработать наибольший объём металла. Продолжительность рафинирования 7–10 минут, после чего с поверхности расплава снимают шлак и производят разливку.

Рафинирование хлором. Установка для хлорирования состоит из баллона с хлором, осушительных склянок Тищенко с серной кислотой, ртутного манометра и кварцевой трубки. Все эти элементы установки соединены меж-

ду собой стационарной стальной трубкой, а в местах, требующих подвижного соединения, резиновой трубкой. Баллон с хлором и склянками обязательно устанавливают в изолированном от литейной помещении. Процесс рафинирования ведётся в тигле, имеющим крышку с отводом отходящих газов в боров. Над тиглем необходимо устанавливать вентиляционный кожух. Кварцевую трубку вводят в расплавленный металл таким образом, чтобы конец её находился на расстоянии 11–150 мм от дна тигля. По достижении требуемой температуры металла нужно повернуть вентиль баллона примерно на 1/4 оборота, наблюдая за пропуском хлора в склянках и изменением давления в манометре.

По достижении давления в манометре 50–60 мм рт. ст. нужно ещё повернуть вентиль с расчётом повышения давления до 100 мм рт. ст.

Обработку хлором проводят при давлении по манометру около 100 мм рт. ст. Продолжительность рафинирования устанавливают в зависимости от качества шихтовых материалов. При сильно загрязнённой шихте длительность рафинирования увеличивают, но не выше 10–12 мин, во избежание роста зёрен.

После хлорирования поверхность ванны очищают от шлака и производят разливку сплава.

Рафинирование хлористыми солями. Обычно применяют хлористый цинк, хлористый марганец, реже хлористый алюминий и др.

Перед употреблением хлористый цинк, необходимо переплавить, так как он очень гигроскопичен и содержит много воды. Переплавка должна производиться в железном ковше ёмкостью 1–3 кг хлористого цинка при 350–425 °С. Расплавленный хлористый цинк выдерживают при температуре до появления на поверхности расплава белых паров.

Обезвоженный хлористый цинк выливают в сухой железный противень или в специальные металлические формочки и хранят в термостате при температуре 110–120 °С. Во избежание поглощения водяных паров хлористый

цинк необходимо вводить в расплав ещё горячим с помощью железного колокольчика, которым одновременно перемешивают сплав.

Операцию рафинирования считают законченной после прекращения выделения из металла пузырьков газа. После рафинирования с поверхности расплава снимают шлак, сплав выдерживают не менее 5–10 мин и разливают по формам.

Обычно в расплав вводят хлористый цинк не более 0,1–0,2 % от массы шихты, чтобы не загрязнять алюминиевые сплавы цинком. Взамен хлористого цинка можно применять хлористый марганец, который вводят в количестве 0,05–0,1 % к массе расплава. Работать с хлористым марганцем значительно удобнее вследствие его меньшей гигроскопичности. Хлористый марганец перед употреблением достаточно просушить в сушильном шкафу при температуре 110–115 °С, а затем хранить в герметически закрытой посуде. Дегазацию можно осуществлять также непосредственно хлористым алюминием, количество которого, в отличие от двух первых солей, не ограничивается.

При разработке режимов рафинирования хлором или хлористыми солями необходимо учитывать большое влияние, которое оказывает на эффект их действия температура и вязкость алюминиевых сплавов. Особенно следует принимать во внимание степень вязкости алюминиевых сплавов при разработке режимов рафинирования их от шлаковых включений.

Алюминиевые сплавы целесообразно рафинировать при 720–730 °С.

4.3.2 Неадсорбционные методы рафинирования

Рафинирование ультразвуковыми колебаниями. Для рафинирования алюминиевых сплавов ультразвуком применяется промышленный агрегат УЗД-200.

Агрегат разработан в двух вариантах: с передвижением по полу цеха и по монорельсу над печами.

Агрегат УЗД-200 работает в сочетании с генератором УЗГ-10У, его можно эксплуатировать на расстоянии 10–20 м от генератора.

Рабочая головка подвешенного агрегата передвигается по монорельсу с помощью электротельфера.

Для передачи электропитания и водоснабжения на головку применяется троллейная система. Управление перемещением головки вдоль печей, опускание и подъём головки, а также включение и выключение колебаний осуществляется при помощи дистанционной кнопочной станции, заблокированной с кнопочной станцией генератора УЗГ-10. На рабочей головке агрегата укреплены четыре магнитострикционных преобразователя (волноводы), непрерывно охлаждаемых водой. Подача и отдача воды в головке осуществляются через герметичные штурецы, а электропитание – через герморазъёмы.

Материалом для волноводов служит титановый сплав ВТ-1.

Рафинирование осуществляется следующим образом: с помощью дистанционной кнопочной станции подводят рабочую головку к печи. С поверхности расплава снимают окисную плёнку и рабочую головку опускают до касания торцами волноводов поверхности расплава. Волноводы предварительно прогревают. Включают напряжение и производят рафинирование. Температура расплава 740–760 °С.

Во время перерыва головку поднимают на 1–1,5 мм над зеркалом расплава и колебания выключают.

После окончательного рафинирования отводится головка прибора, расплав выдерживается в течение 10–15 мин, снимается шлак и производится разливка.

Агрегат УЗГ-200 предназначен для рафинирования 150–200 кг расплава. При большей массе расплава необходимо увеличить число одновременно работающих преобразователей.

Рафинирование электрическим током. Исходя из предположения, что растворённый водород в металлах может находиться в ионизированном состоянии, А.Г. Спасский и Д.П. Ловцов провели ряд исследований с целью

разработки дегазации жидких металлов постоянным электрическим током. Исследования проводили на алюминии А00, силуминах ДАЗ, УАЗ, сплаве АЛ2 и др.

Плавка велась в электропечи сопротивления в графитовых тиглях. Расплав подвергался действию постоянного электрического тока от выпрямителя ВАК-10 или селенового выпрямителя.

О поведении газов под влиянием постоянного тока судили по изменению газосодержания расплава и по пористости проб.

Расплав предварительно насыщался водородом. Авторы указывают, что в серии плавов силумина ДАЗ обработка электрическим током давала большой дегазирующий эффект. Газосодержание практически равнялось нулю, технологически пробы получились плотные. Однако обработка ряда плавов чистого алюминия и силумина УАЗ не дала положительных результатов.

Дегазация расплава постоянным электрическим током, несомненно, служит подтверждением ионизации водорода в расплаве.

Поэтому отсутствию дегазации в некоторых опытах следует считать результатом низкой степени ионизации водорода в данных случаях. При этом наблюдается неравномерное распределение водорода в расплаве. У катода газосодержание возрастает, а у анода падает. После выключения тока газонасыщение выравнивается по всему объёму расплава. Авторы считают, что такие результаты являются следствием нахождения водорода не только в виде ионов, но и в составе коллоидных частиц сложных ионов. Такие частицы перемещаются в расплаве, но водород на электроде не выделяется. Создаётся лишь градиент концентрации водорода в расплаве. Кроме того, поскольку растворённый водород в металлах обладает металлическими свойствами и ведёт себя как металл, можно говорить о том, что водород в расплаве вообще ионизирован не полностью, а частично.

Исходя из положения, что в металлических растворах электролитический эффект повышается при наличии химического соединения ионного типа, в расплав вводили доли процента натрия или лития.

Оказалось, что сплавы, не поддавшиеся дегазации постоянным электрическим током, после введения натрия или лития быстро (в течение нескольких минут) дегазировались. Это объясняется взаимодействием обоих металлов с водородом, находящимся в неионизированном состоянии, с образованием гидридов (MeH); концентрация ионов водорода в расплаве увеличивается, возрастает и дегазирующий эффект.

Опыты, проведённые А.Г. Спасским и Д.П. Ловцовым, помимо установления весьма важного факта нахождения растворённого в расплаве водорода в нескольких формах (ионизированное состояние, в составе коллоидных частиц или сложных ионов, в виде атомов, в молекулярном состоянии), представляют интерес с точки зрения создания нового метода дегазации алюминиевых сплавов – путём пропускания через расплав постоянного электрического тока.

На основании этих работ В.Г. Коротков исследовал влияние различных факторов на дегазирующий эффект при обработке алюминиевого сплава АЛ9 постоянным электрическим током.

Исследования проводили при нормальном и пониженном давлении. Опыты В.Г. Короткова подтвердили положительное в целом влияние постоянного электрического тока на удаление водорода из расплава. Установлен характер влияния на степень дегазации температуры расплава и плотности тока. Малая плотность тока ($0,3-1 \text{ а/см}^2$) обуславливает преимущественно диффузионное удаление водорода, большая плотность (3 а/см^2) – через стадию образования пузырьков. Наименее благоприятной является промежуточная плотность тока на катоде ($1-3 \text{ а/см}^2$), поскольку она способствует ассоциации водорода в молекулы и возвращению их в расплав конвекционным потоком, что ухудшает дегазацию сплава [10].

Рафинирование в вакууме. Рафинирование сплавов систем алюминий-кремний, алюминий-медь, алюминий-кремний-медь, алюминий–прочие компоненты с применением вакуума можно осуществлять в специальных ка-

мерах с подогревом КВД-1 (или в раздаточной печи, оборудованной для вакуумирования ВРП-1).

Установка ВДК-1 (рис. 4) состоит из вакуумной камеры, вакуум-трубопровода, манометров, фильтра, газовой горелки и ресивера.

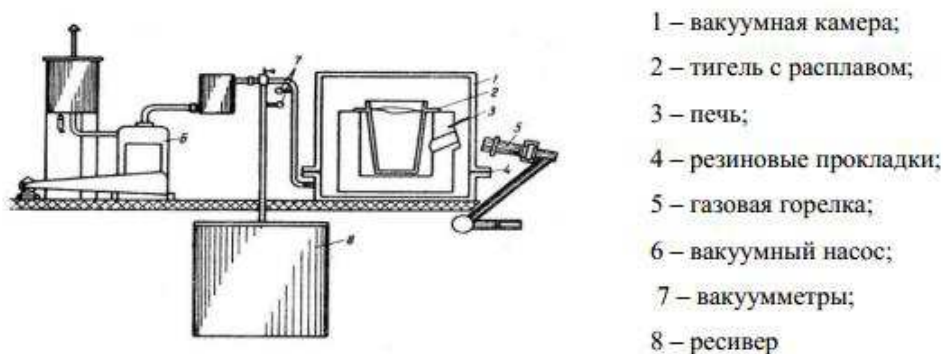


Рисунок 4 – Схема установки для вакуумирования (ВДК-1)

Вакуумная камера состоит из двух частей: миксера, футерованного огнеупорным кирпичом, и герметической крышки с тепловым экраном. Непосредственно перед вакуумированием расплав в миксере разогревается с помощью газовой горелки.

Затем горелку выводят из миксера и миксер закрывают крышкой.

Раздаточная печь ВРП-1 (рис. 5) состоит из двух частей: стального цилиндрического кожуха с водоохлаждаемым фланцем и крышки с уплотняющей прокладкой. Подогрев осуществляется с помощью электрических спиральных нагревателей.

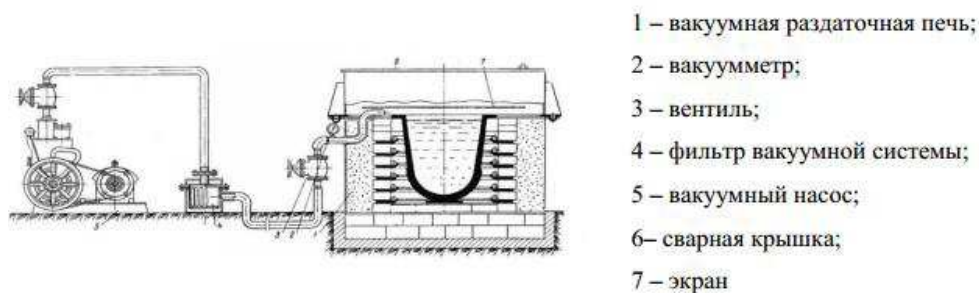


Рисунок 5 – Схема установки вакуумирования (ВРП-1)

Рафинирование в вакууме осуществляется следующим образом: расплав из плавильной печи заливают в раздаточный тигель, который помещают в вакуумную камеру или в тигель печи. На поверхность расплава рекомендуется насыпать слой сухого рафинирующего флюса (0,1–0,3 % к массе расплава). Включают насос и выдерживают расплав при давлении 1,0–10 мм рт. ст. в течение 10–15 мин. Температура расплава 730–760 °С. Температуру и продолжительность вакуумирования устанавливают в зависимости от массы и загрязнённости расплава, размеров и конфигураций деталей.

Необходимый уровень давления при вакуумировании достигается в течение 1–2 мин. После вакуумирования расплаву нужно дать постоять в течение 5–7 мин, снять с поверхности шлак и произвести разливку. Вакуумировать можно после модифицирования [11].

При выборе метода рафинирования для приготовления сплава я остановился на методе рафинирования инертным газом, осуществляемом с применением установки АУВР-1 (PAL-240) (рис. 6)

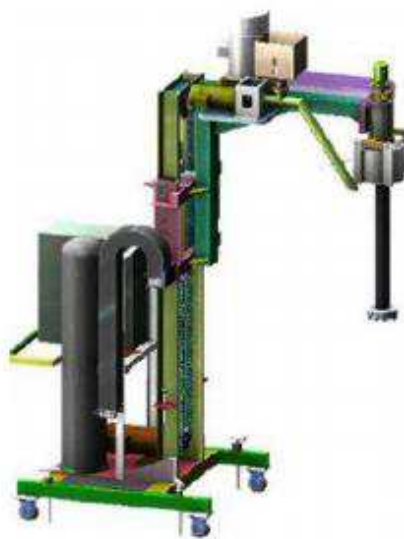


Рисунок 6 – Установка АУВР-1 (PAL-240)

Частота вращения вала составляет 450–550 об/мин. Расход подачи газа и время рафинирования зависит от конструктивных особенностей диска автомобильного колеса. Чем больше тепловых узлов, тем больше расхода газа

и времени рафинирования. Процесс рафинирования ведется не ниже 730 °С температуры расплава.

4.4 Модифицирование алюминиевых сплавов

Модифицирование – использование специально вводимых в жидкий металл примесей (модификаторов) для получения мелкого зерна. Эти примеси, практически не изменяя химического состава сплава, вызывают при кристаллизации измельчение зерна и в итоге улучшение механических свойств. Так, например, при модифицировании магниевых сплавов зерно уменьшается с 0,2–0,3 до 0,01–0,02 мм. При литье слитков в фасонных отливках модифицирование чаще проводят введением в расплав добавок, которые образуют тугоплавкие соединения (карбиды, нитриды, оксиды), кристаллизующиеся в первую очередь. Выделяясь в виде мельчайших частиц, эти соединения служат зародышами образующихся при затвердевании кристаллов (модификаторы I рода). В качестве модификаторов при модифицировании алюминиевых сплавов применяют Ti, V, Zr;. Иногда используют растворимые в жидком металле модификаторы (модификаторы II рода), избирательно адсорбирующиеся на кристаллическом зародыше, которые снижают межфазовое поверхностное натяжение и затрудняют рост кристаллитов. Для алюминиевых сплавов в качестве модификаторов второго рода используют Li, Na, K, для стали – редкоземельные элементы.

Для измельчения структуры эвтектики и устранения избыточных кристаллов кремния силумины модифицируют натрием (0,05-0,08%) путем присадки к расплаву смеси солей 67% NaF и 33% NaCl. В присутствии натрия происходит смещение линий диаграммы состояния и заэвтектический (эвтектический) сплав Al2 (11–13 % Si) становится доэвтектическим.

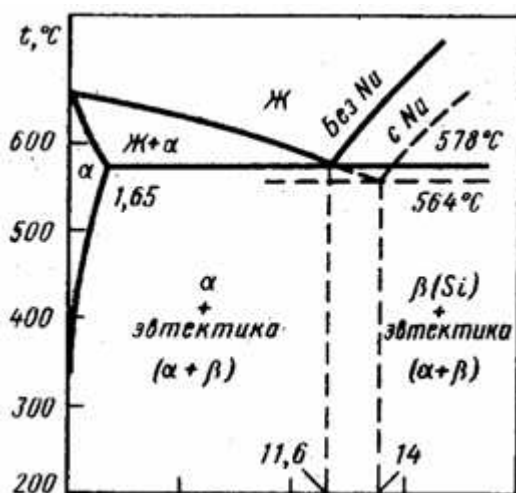


Рисунок 7 – Диаграмма состояния Al–Si

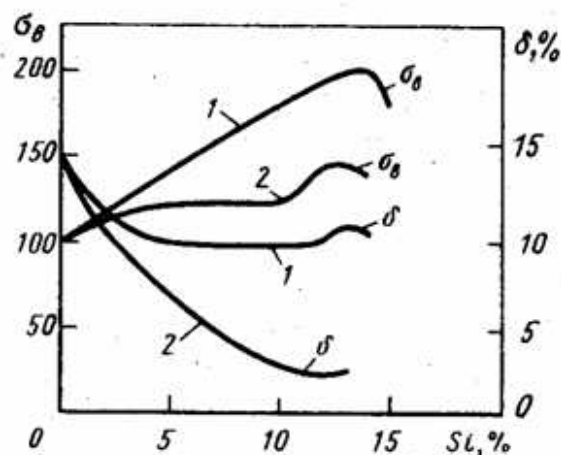


Рисунок 8 – Механические свойства сплава Al–Si (1 – после модифицирования; 2 – до модифицирования)

В этом случае в структуре сплава вместо избыточного кремния появляются кристаллы α(Al)-твердого раствора. В процессе затвердевания кристаллы кремния обволакиваются пленкой силицида натрия Na_2Si , которая затрудняет их рост. В ходе таких изменений структуры улучшаются механические свойства [13].

4.4.1 Модификаторы 1-го и 2-го рода

Модификаторы 1 и 2 рода: Все модифицирующие присадки были впервые классифицированы П.А. Ребиндером, т.е. разделены, на 2 группы: модификаторы 1-го и 2-го родов. Модификаторы 1-го рода – тугоплавкие лигатуры, имеющие температуру плавления выше температуры плавления модифицируемого сплава, чтобы обеспечить твердую фазу в модифицируемом расплаве и имеющие с ним структурное и размерное соответствие. Они не должны химически взаимодействовать с расплавом и быть изоморфными с кристаллами расплава. В качестве модификаторов 1-го рода при модифицировании алюминиевых сплавов обычно применяют Ti, V, Zr, Ta, W и др.

Эффект воздействия некоторых из этих модификаторов на величину зерна слитка показано на рисунок 9 и 10. Резкое измельчение зерна

связано с образованием в расплаве высокодисперсной взвеси частиц тугоплавких металлических соединений алюминия с вводимыми добавками ($TaAl_3$, $TiAl_3$, $ZrAl_3$ и др.), отдельные из которых превышают критический размер зародыша и являются, подложками, на которых образуются центры кристаллизации.

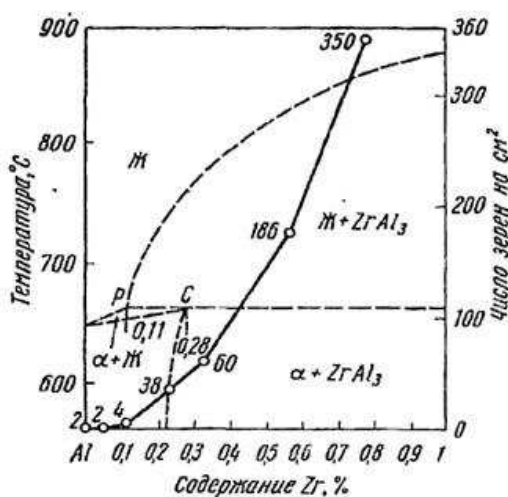


Рисунок 9. Влияния титана на размер зерна алюминия высокой чистоты (99,99% Al).

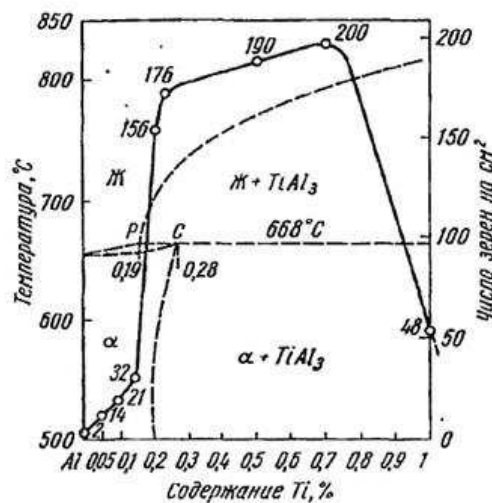


Рисунок 10. Влияние циркония на размер зерна алюминия высокой чистоты (99,99% Al)

Однако, не всякая тугоплавкая, частица, созданная в расплаве, может являться центром кристаллизации. Зародышами («затравками») для кристаллизации алюминия могут быть частицы, имеющие более высокую температуру плавления, чем сам алюминий, и обладающие с ним определенным структурным сходством.

Степень структурного и размерного соответствия решеток тугоплавких соединений и решетки алюминия в сопрягаемых гранях определяют интенсивность модифицирующего воздействия отдельных добавок.

Указанные условия хорошо выполняются для частиц металлических соединений $TaAl_3$ и $TiAl_3$, которые являются наиболее эффективными модификаторами алюминия.

Модификаторы второй группы являются поверхностно-активными веществами по отношению к растущим кристаллам какой-либо фазы. Адсорби-

руясь на поверхности растущих граней, они замедляют или прекращают рост кристаллов в некоторых направлениях. При этом изменяются не только размеры, но и форма кристаллизующихся фаз.

4.4.2 Применение быстроохлажденных лигатур в качестве модифицирующих компонентов

В современных условиях литейные сплавы в России в общем объеме производства алюминиевых сплавов составляют порядка 20 %. В связи с этим перед производителями остро стоит задача выпуска конкурентоспособной продукции при минимальных затратах и обеспечении высоких механических и эксплуатационных свойств. Это затрагивает и такую область машиностроения, как производство силовых агрегатов аэрокосмической техники. Литые изделия в основном изготавливают из модифицированных силуминов, обладающих высокой жидкотекучестью, удовлетворительной коррозионной стойкостью, малым удельным весом .

В настоящей работе исследовали модифицирующее воздействие на сплав АК12 модификатора, полученного из этого же сплава методом закалки из жидкого состояния (эффект «самомодифицирования»).

Модифицирующую быстрозакристаллизованную лигатуру готовили следующим способом. Плавка У1: после расплавления алюминия и его нагрева до температуры 900–950 °С вводили кремний, после расплавления которого и снижения температуры до 720–730 °С сплав разливали в кокиль на «гагаринские» образцы и химический анализ.

Быстрозакристаллизованную лигатуру получали литьем готового расплава на наклоненный равнополочный уголок размером 50×50. Для модифицирующих лигатур отбирали пластинки сплава толщиной до 0,3–0,5 мм.

Плавку У2 готовили так же, как и У1, но дополнительно вводили модифицирующие лигатуры $AlSr_{10}$ и $AlTi_5V$ при температуре 730–740 °С. Полученные быстрозакристаллизованные лигатуры У1 и У2 использовали для мо-

дифицирования плавки У4 и У3 соответственно. Эффект модифицирования проверялся в плавках У3 и У4 выдержкой готового сплава в течение 3 часов. На отдельно отлитых образцах определяли химический состав, временное сопротивление разрыву, относительное удлинение, твердость, исследовали микроструктуру.

В таблице приведены механические свойства плавки У1–У4. Наименьшие показатели соответствуют плавке У1, полученной без модифицирования. Наибольшие показатели соответствуют плавке У2, модифицированной лигатурами Al–Sr и Al–Ti–B. Показатели плавки У3 и У4 занимают промежуточное положение, как модифицированные быстро закристаллизованными лигатурами У1 и У2. Причем лигатура У1 готовилась без модифицирования, а У2 с модифицированием лигатурами Al–Sr и Al–Ti–B.

Таблица 5 – Механические свойства

| № плавки | σ_T , МПа | σ_B , МПа | δ , % | НВ |
|----------|------------------|------------------|--------------|----|
| У1 | 110 | 185 | 5,0 | 54 |
| У2 | 123 | 206 | 6,8 | 57 |
| У3 | 118 | 205 | 6,5 | 56 |
| У4 | 115 | 195 | 5,8 | 56 |

Сравнивая плавки У3 и У4 видно, что плавка У3 имеет более высокие показатели, чем У4. Видимо это обусловлено модифицированием лигатурой У2, содержащей Sr, Ti, B, а лигатура У1 готовилась без модифицирования.

В плавке У3 заметно влияние применения модифицирующей лигатуры. Плавка У4, приготовленная без остаточных компонентов модифицирующих лигатур Al–Sr и Al–Ti–B, имеющая пониженные показатели по сравнению с плавкой У3, также соответствует требованиям ГОСТ Р 50511–93.

Зависимость механических свойств плавков АК12 от времени выдержки расплава в течение 3-х часов находятся в пределах: предел прочности от 195 до 205 Мпа; относительное удлинение от 5,8 до 6,5 %.

Результаты показывают стабильность механических свойств в течение времени, т. е. быстрозакристаллизованные лигатуры могут применяться для модифицирования и обеспечивают эффект модифицирования в течение 3-х часов. По полученным на оптическом микроскопе изображениям структур сплавов измерили средний размер зерна каждого образца

Исследованиями установлено, что среднее значение величины зерен дендритов колеблется в пределах от 0,49 до 0,65 мм. Наименьшая величина зерна достигнута в плавках У3 и У4 за счет воздействия быстро охлажденных лигатур.

Анализ полученных результатов показывает, что при вводе в расплав АК12 быстроохлажденного сплава такого же химического состава, он выполняет функцию модификатора, так как измельчает его структуру. Этому способствует внесение в расплав вместе с шихтой инородных частиц – потенциальных центров кристаллизации α Al. Кроме того нельзя исключать образования в алюминиевом расплаве новых дисперсных частиц в том числе и оксида алюминия, а также формирования в расплаве локальных зон растворения модификатора, в которых содержатся мелкие кристаллы α (Al), являющиеся готовыми центрами кристаллизации α (Al) из базового расплава[13.] Для получения быстро закристаллизованного сплава применить литейную машину, типа модели 46159, производительностью 0,2 т/час

5 Плавильные устройства для получения алюминиевых сплавов

Для производства вторичных литейных алюминиевых сплавов применяются пламенные отражательные печи ёмкостью от 10 до 30 т и тигельные индукционные печи ёмкостью от 2,5 до 6 т.

Отливка слитков производится с использованием электрических или пламенных раздаточных печей (миксеров).

В литейных с малым масштабом производства используются плавильные и раздаточные печи тигельного типа ёмкостью до 500 кг.

При значительном средстве лёгких сплавов к кислороду большое значение в характеристике плавильных печей имеет удельная площадь зеркала расплава, т.е. отношение площади зеркала ванны к единице массы ($\text{м}^2/\text{т}$) расплава в печи. С уменьшением толщины слоя расплава в печи возрастает скорость диффузии газов в расплав. Однако, чем больше толщина слоя расплава в печи, тем выше съём металла с единицы производственной площади.

Плавка в индукционных печах вследствие меньшей удельной площади сопровождается меньшей газонасыщенностью расплава, меньшей его окисляемостью и более низкими безвозвратными потерями.

Электрические печи (индукционные и сопротивления) характеризуются меньшей концентрацией водяных паров в печной атмосфере (90–200 мм вод.ст.), что соответствует содержанию газа в расплаве в пределах от 0,1 до 0,5 см^3 на 100 г расплава. Содержание водяных паров в пламенных печах значительно больше и достигает 800–1200 мм вод. ст., вследствие чего концентрация газа в расплаве до рафинирования в зависимости от композиции сплава колеблется от 0,3 до 1,0 см^3 на 100 г расплава.

Наряду с газосодержанием важным фактором оценки качества расплава является наличие твёрдых неметаллических включений.

Если в индукционных печах перемешивание расплава происходит под слоем окисной плёнки, то в пламенных печах при неоднократных перемешиваниях окисная плёнка с поверхности попадает в расплав.

Экономическая целесообразность применения того или иного типа плавильных печей, помимо качества металла, определяется величиной капитальных затрат, уровнем безвозвратных потерь при плавке, стоимостью энергетических затрат и расходами на обслуживание печей [10].

5.1 Индукционные печи

Существует два типа индукционных печей: каналные и тигельные. Схематические разрезы этих печей приведены на рисунках 11 и 12 [10].

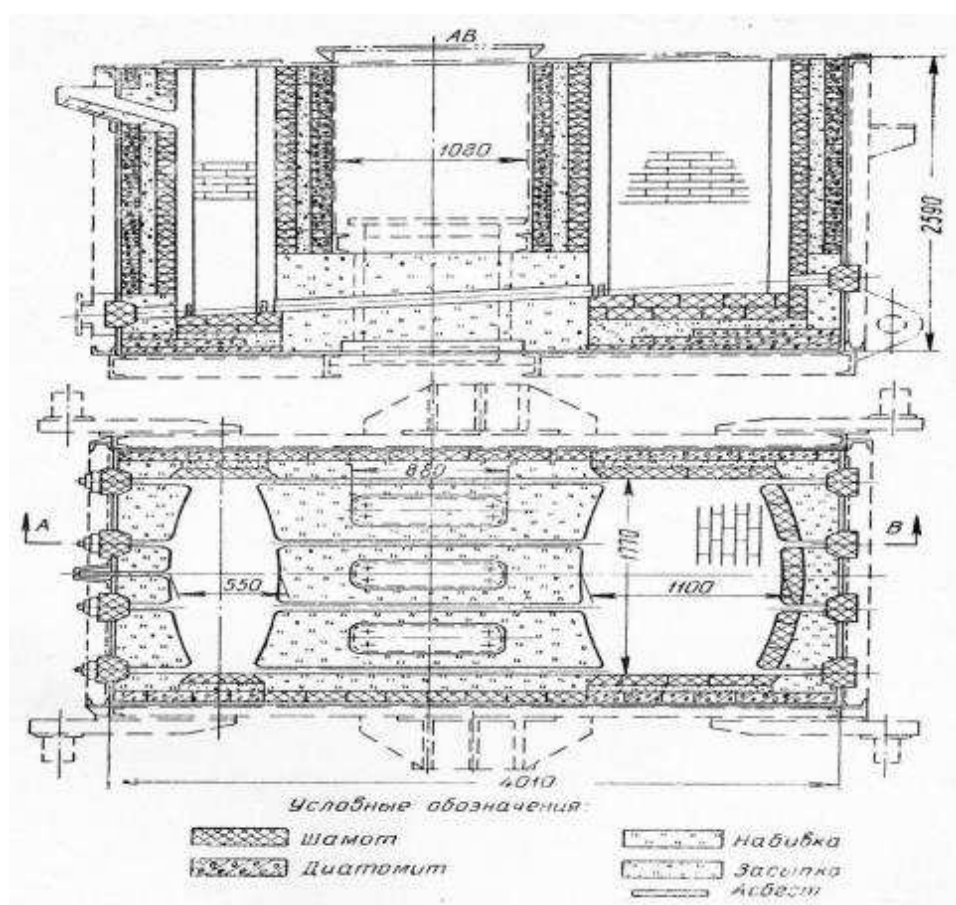


Рисунок 11 – Схема индукционной каналной печи для плавки алюминиевых сплавов ёмкостью 16 т

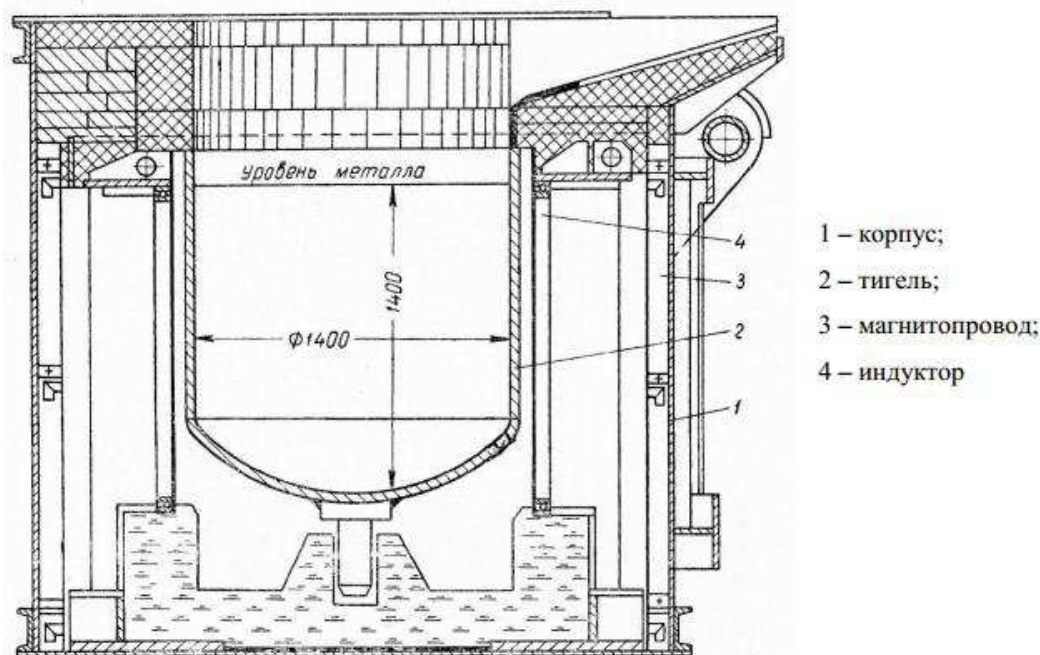


Рисунок 12 – Схема индукционной печи для плавки алюминиевых сплавов

5.1.1 Индукционные каналные печи

Электрическая схема каналной индукционной печи аналогична схеме трансформатора переменного тока, в котором вторичная обмотка состоит всего лишь из одного витка. Первичная обмотка представляет собой катушку, отделённую от металла и электрически от него изолированную.

Вторичным витком является расплавленный металл, находящийся в специально устроенном кольцевом канале. Наличие такого канала является основной металлургической особенностью этого типа печей. Чтобы печь работала, вторичный виток должен быть замкнутым, т.е. заполнен металлом.

Переменный ток в первичной катушке возбуждает вокруг неё переменное магнитное поле, которое в свою очередь индуцирует вторичный ток в кольце жидкого сплава в канале печи. Этот вторичный ток, переходящий в тепловую энергию и служит причиной нагрева и плавления металла.

В тигельной печи нагрев и плавление шихты происходит как за счёт тепла, выделяемого вторичным током, индуцируемым в материал шихты

(при набивных тиглях), так и за счёт тепла, индуктированного в материал тигля (при железных тиглях).

Коэффициент мощности и коэффициент полезного действия канальных печей выше, чем тигельных.

Бесспорным преимуществом индукционных печей является быстрота плавки за счёт хорошего нагрева и интенсивного перемешивания расплава.

Наличие в индукционных печах электродинамического перемешивания, простота в регулировании температуры, автоматизация процесса, механизированная загрузка шихты, а также санитарно-гигиенические условия эксплуатации характеризуют эти печи с более положительной стороны, чем отражательные.

Индукционные канальные печи дают расплав с меньшей газонасыщенностью ($0,13 \text{ см}^3$ в 100 г металла), чем пламенные печи с газовым обогревом ($0,275 \text{ см}^3$ в 100 г металла).

По сравнению с отражательными, индукционные канальные печи дают более чистый металл. При переплаве отходов в отражательных печах безвозвратные потери могут достигать 6 %, а в индукционных тигельных 2 %.

При непрерывном ведении процесса плавки канальные печи имеют преимущество перед тигельными.

В отличие от других типов печей в индукционной канальной печи шихта плавится под слоем расплавленного металла.

Две внутренние перегородки делят каркас печи на три камеры, две из которых – наружные, являются плавильным пространством печи, третья – трансформаторная, служит для установки трёхфазного магнитопровода с индукторами. Подвод тока осуществляется гибкими водоохлаждаемыми кабелями. Мощность печи регулируется путём изменения питающего напряжения на трансформаторе.

Загрузочная и сливная камеры соединены между собой четырьмя каналами прямоугольной формы, расположенными так, что вместе с шахтами образуют замкнутые витки вокруг каждого стержня магнитопровода.

Шихту загружают сверху в загрузочную и сливную камеры вручную или механизированным способом.

Загрузочная и сливная камеры закрыты сверху крышками снабженными механизмом подъема и поворота. Имеющим ручной привод.

Слив металла производится через носок путём наклона печи в одну сторону на угол 45 град, осуществляемого с помощью гидравлического механизма, состоящего из плунжеров, маслонапорной установки и аппаратуры гидравлического привода. Возможен слив металла с помощью сифона.

Циркуляция расплава в каналах обеспечивает непрерывный обмен расплава между ваннами.

Средняя стойкость футеровки 12 месяцев, максимальная 22 месяца.

Индукционные канальные печи являются высокопроизводительными, экономичными и обеспечивающими высокую частоту металла и минимальные безвозвратные потери при плавлении по сравнению с печами с мазутным и газовым обогревом.

Индукционные печи для плавки алюминия и его сплавов отличаются формой каналов. Для уменьшения движения металла у зеркала ванны, вызываемого конвекционными потоками, моторным действием электрического поля и сжимающим его действием, в новейших печах отечественной конструкции предусматривается расширение верхней части каналов. Такая форма каналов способствует уменьшению движения металла у поверхности ванны, что предотвращает замешивание поверхностных окислов в металл.

Нагревательные каналы располагаются в подовых камнях. Предназначенные для плавки алюминиевых сплавов печи имеют подовые камни, изготовленные из материалов с большим количеством глинозёма. Наилучшим материалом для этой цели является алунд или корунд, состоящий почти целиком из глинозёма. Для этой цели пригодны также материалы с содержанием 80–90 % глинозёма (корундаль и др.). Чем меньше материал футеровки содержит кремнезема, тем меньше он будет реагировать с алюминием, тем меньше будут зарастать каналы и тем дольше будет работать печь.

В качестве футеровки смесей печей для плавки алюминиевых сплавов применяют следующие составы:

1 Фарфоровый бой – 56 %, часов-ярская глина – 35 % и сернокислый барий – 9 %;

2 Бой шамотных кирпичей – 60 %, часов-ярская глина – 35 % и бура около – 3 %.

Вовремя плавки алюминиевых сплавов окись алюминия взаимодействует с материалом футеровки, что приводит к зарастанию каналов, так как окись алюминия, обладает высокой плотностью, оседает на дно канала и его стенки. Зарастание канала уменьшает сечение вторичного витка, которым является жидкий металл. При значительном уменьшении сечения канала снижается производительность индукционных печей.

Зарастание каналов в печах ёмкостью 9–16 т происходит тем быстрее, чем больше содержится в сплавах таких элементов, как кремний, железо и магний, чем более загрязнена шихта, чем длительнее работа печи на пониженной мощности трансформатора.

В целях борьбы с зарастанием канала применяют либо прочистку канала цепями Галля, либо прочистку через специальные люки в подовом камне.

Прочистка каналов цепями представляет собой трудоёмкую операцию, снижающую производительность печей. Печь останавливают для прочистки через каждые три-четыре плавки, а иногда и чаще.

Прочистка каналов через специальные люки в подовом камне связана с необходимостью поворота печи на 90 град. и охлаждением её до нормальной температуры.

Механизированная чистка каналов с помощью машины Н.Г. Суховеева (рис. 13) сокращает длительность чистки в 5–7 раз по сравнению с ручной и обеспечивает заданное сечение каналов на весь срок службы печей [11].

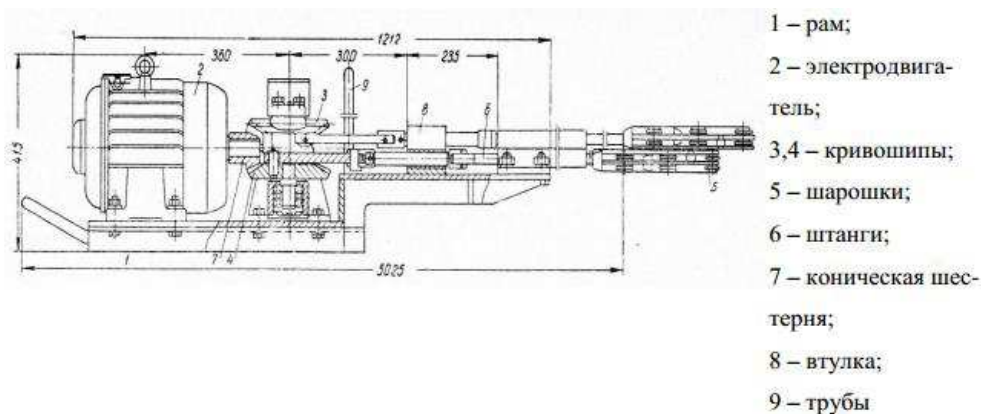


Рисунок 13 – Схема машины для чистки каналов индукционных печей большой ёмкости

5.1.2 Индукционные тигельные печи

Индукционные тигельные печи промышленной частоты просты по своей конструкции. Они представляют собой тигель, помещённый в индуктор, питаемый переменным током. После слива каждой плавки тигель можно легко осмотреть и очистить, а затем, если это необходимо, загрузить в него шихту другого по композиции сплава.

Эти печи имеют ряд несомненных преимуществ перед другими печами. При малом зеркале металла и большой скорости нагрева плавка характеризуется малым угаром (0,5–1 %). Пониженная газонасыщенность даёт отливки с высокими механическими свойствами. Печи дают более высокую производительность (в 2–3 раза по сравнению с пламенными и в 5–6 раз по сравнению с электропечами сопротивления).

Затраты на получение тонны расплава литейных алюминиевых сплавов в индукционных тигельных печах значительно ниже, чем в пламенных отражательных печах.

Хорошо зарекомендовали себя для плавки алюминия и его сплавов печи ёмкостью 2,5 и 6 т.

Такие печи снабжены механизированной крышкой, шихту можно загружать как вручную, так и механизированным способом. При непрерывной работе с одним сплавом рекомендуется оставлять на дне тигля определённый

переходящий остаток и в него загружать свежую шихту. При переходе расплава с одного сплава на другой сначала загружают крупную шихту, и после её расплавления и мелкую.

Расплавленный металл сливается через сливной носок путём наклона печи гидравлическим приводом.

Потребляемая мощность печи ёмкостью 2,5 т составляет 800 кВт, печь ёмкостью 6 т потребляет 1300 кВт.

Индукционные плавильные печи большой ёмкости находят широкое применение для плавки вторичных алюминиевых сплавов.

Основным недостатком индукционных тигельных печей по сравнению с канальными печами является повышенный расход электроэнергии.

Индукционные тигельные печи меньшей ёмкости (до 500 кг) находят применение для плавки некоторых алюминиевых сплавов (АЛ4, АЛ9 и т. д) в цехах фасонного литья.

Схема печи ИПА-500 ёмкостью 500 кг представлена на рисунке 14. Тигель для индукционных печей отливают из жаропрочного чугуна марки ЖЧСШ-5,5-0,1.

Качество приготовленных в индукционных печах алюминиевых сплавов полностью удовлетворяет техническим условиям.

Незначительная поверхность зеркала ванны и большая скорость плавки обеспечивает низкий угар сплава. Процесс плавки в индукционных печах проходит без выделения вредных газов и копоты.

В индукционных тигельных печах с металлическим тиглем в процессе отстаивания при температуре 720–740 °С материал тигля – сталь из немагнитного состояния переходит в магнитное. При этом относительная толщина стенки увеличивается примерно в 4 раза. Увеличение относительной толщины стенки тигля и снижение подводимой мощности на период отстаивания примерно в 3 раза приводит к снижению электродинамического давления, действующего на ось расплава, примерно до 1–0,5 г/см² и к прекращению циркуляции.

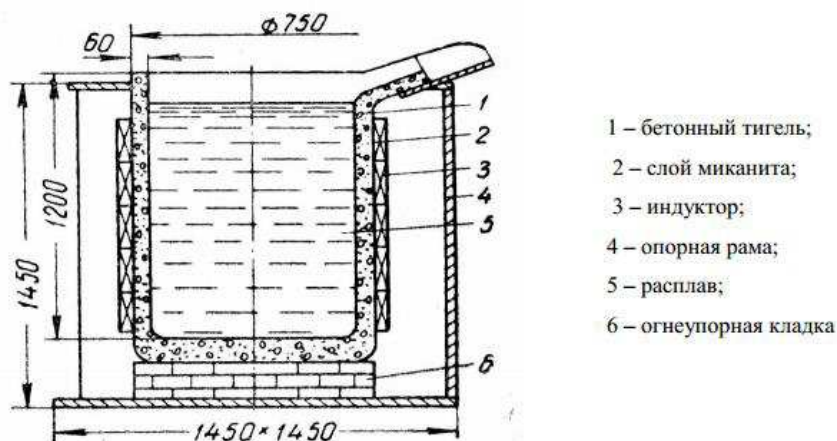


Рисунок 14 – Схема индукционной печи ИПА-500

При большой производительности оттаивания рекомендуется проводить его в миксере с толстостенным тиглем (не менее 70 мм), так как оттаивание в плавильной печи вызовет снижение её производительности.

Приготовление алюминиевых сплавов в железных тиглях сопровождается интенсивным насыщением их железом. Уже при содержании 0,4 % железа предел прочности и удлинение алюминиевых сплавов значительно снижаются. Поэтому внутреннюю поверхность тиглей приходится окрашивать изолирующей краской, состоящей из 50 вес. ч. мела, 50 вес. ч. Окиси цинка и 5 вес. ч. жидкого стекла. Чугунный тигель окрашивают после каждой плавки. На очистку и окраску затрачивают 30–45 мин. Стойкость чугунных тиглей не выше 30 плавков.

Этот недостаток устраним при применении набивных тиглей из материалов, химически инертных по отношению к расплавленному алюминию. Поскольку алюминий легко восстанавливает окислы металлов с меньшим сродством к кислороду, то для тигля или футеровки не рекомендуется применять материалы, состоящие из SiO_2 , Fe_3O_4 , Fe_2O_3 и Cr_2O_3 , так как произойдёт разъедание стенок тигля или футеровки.

Хорошие результаты получаются при применении набивных тиглей из полукислой массы на фосфатной связке. Такие тигли при правильном их изготовлении выдерживают до 3 тысяч плавков при непрерывной плавке в тече-

ние двух лет. Сушка нового тигля производится вначале ламповыми нагревателями с постепенным повышением температуры до 100–120 °С, затем никромовыми нагревателями до 500–600 °С. Обжиг заканчивается при 600 °С. При первой плавке тигель с расплавом выдерживают 3–5 ч при температуре 750–800 °С, а затем запускают в эксплуатацию.

Всё большее применение находят бетонные тигли.

Для изготовления бетонных тиглей применяют тонкомолотый магнезит, шамотный песок, кремнефтористый натрий и жидкое стекло.

Бетон приготавливают в растворомешалке. Сначала засыпают магнезит, смешанный с кремнефтористым натрием, и перемешивают их. После этого засыпают шамотные щебень и песок и всю массу снова перемешивают. Затем отдельными порциями заливают жидкое стекло и перемешивают до получения однородной массы. Приготовленный замес рекомендуется использовать в течение 1–1,5 ч.

Высокая жароупорность бетона объясняется тем, что мельчайшие частицы тонкомолотого магнезита, не образуя эвтектических смесей с низкой температурой плавления, равномерно распределяются в затвердевшей связке и при высоких температурах уменьшают относительное количество жидкой фазы, одновременно увеличивая вязкость расплава, образующегося при плавлении силиката натрия. Более крупные частицы, соприкасаясь между собой, образуют скелет жароупорного бетона, который снижает влияние жидкой фазы.

Благодаря взаимодействию магнезита с кремнеземом, силикатом натрия и глинозёмом образуются форстерид и кордиерит, способствующие упрочнению структуры жароупорного бетона в условиях высоких температур.

Тигель ёмкостью 350 кг алюминия имеет диаметр, равный 800 мм, высоту 1100 мм. Толщина стенки тигля 60 мм.

Тигель формуют в разборной металлической форме за 5 приёмов. Каждую порцию бетона уплотняют в течение 2 мин на вибромашине грузоподъёмностью 2 т с числом колебаний 2800 в минуту.

Твердение бетона происходит в течение двух суток при температуре не ниже 15 °С. Сушка в колодце в течение трёх суток с помощью инфракрасных ламп. Температура внутри тигля 130 °С. После установки в индуктор тигель прокаливают. Общая продолжительность сушки и обжига 140 ч.

Усадка бетона при сушке составляет 0,1 %, что может привести к образованию волосяных трещин в верхней части стенок тигля. Для устранения этого явления на кромку тигля накладывают металлический составной обруч, стягиваемый болтами и используемый затем для подъёма и транспортировки тигля.

При 15 плавках в сутки тигель на алюминиевых сплавах проработал 2,5 мес. До появления трещин шириной 0,7 мм. На стенках из огнеупорного бетона настывы не образуются. Не обнаружено потерь металла из-за проникновения расплава в стенки тигля.

При плавке в тиглях из жароупорного бетона на индукционных печах сплавы в меньшей степени насыщаются газами, чем при плавке в отражательных печах [11].

5.2 Печи сопротивления

Электropечи сопротивления применяют на многих заводах, где производство алюминиевых сплавов приобрело достаточно широкие масштабы.

Основными технологическими преимуществами, способствующими широкому распространению этих печей, являются:

- значительное снижение угара по сравнению с печами с нефтяным или газовым обогревом;
- высокая производительность, обуславливаемая большой ёмкостью и мощностью;

- высокий коэффициент полезного действия (60–70 %);
- незначительное поглощение газов расплавом;
- сравнительно невысокий расход электроэнергии (450–500 кВт ч/Т);
- простота конструкции;
- облегчение условий труда рабочих;
- возможность лёгкой регулировки температур.

Печи сопротивления имеют различную ёмкость – от 0,5 т до 20 т, благодаря чему их применяют при различных масштабах производства.

В последних конструкциях электропечей ванну печи на уровне расплава футеруют магнезитовым кирпичом, так как при применении шамотного кирпича на подине и стенках печи образуются трудно отделимые настывы, приводящие к зарастанию печи. При взаимодействии шамота с расплавом, несмотря на низкую рабочую температуру (750–800 °С), происходит восстановление свободного кремнезема алюминием и повышение содержания в кладке окиси алюминия с 30–35 до 70–75 %, металлического алюминия до 15–20 %, металлического кремния до 4–5 % и металлического железа до 1 %. Кремний перемещается на рабочую поверхность и при взаимодействии с расплавом насыщает его. В остатках на подине содержание кремния может достигать до 1 %.

На рисунке 15 изображена наклоняющаяся электрическая печь типа САН. Нагревательные элементы располагаются в своде, а иногда также у боковых стенок печи. Материалом для них служит нихром. Нагревательные элементы укреплены с помощью фасонных кирпичей, которые образуют открытые в сторону ванны каналы и защищены экранами во избежание попадания на эти элементы брызг жидкого металла, так как при неаккуратной работе во время перемешивания металла и при загрузке твёрдой шихты может происходить разбрызгивание алюминия. При отсутствии защитных экранов попадание брызг алюминия приводит к быстрому перегоранию нагревателей.

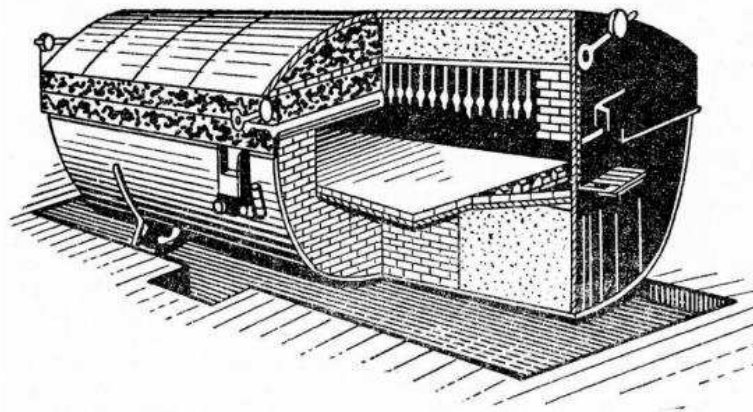


Рисунок 15 – Схема электропечи типа САН

Практика работы на этих печах позволила внести ряд усовершенствований в их конструкции. Эти усовершенствования были направлены на увеличение ёмкости печи (до 7–10 т) и на облегчение обслуживания. С этой целью из форкамер были удалены нагревательные элементы. В средней части печи с нагревательных элементов сняты защитные экраны, так как они удлиняют срок плавки и увеличивают расход электроэнергии. Были упрощены конструкции свода и тип спиралей. В целях повышения производительности печей был изменён порядок загрузки шихты: шихту стали загружать не только в боковые камеры, но и в среднюю часть печи. Наклон печи осуществляется двигателем с помощью червячных передач.

Ёмкость печей САН колеблется в пределах от 300 кг до 10 т. Производительность этих печей в зависимости от плавильного пространства колеблется от 150 до 600 кг/ч. Расход электроэнергии на одну тонну алюминиевых сплавов в печах типа САН колеблется от 550 до 600 квт·ч в зависимости от продолжительности разливки.

Электропечи сопротивления типа САК изготавливают ёмкостью от 150 до 250 кг. Эти печи стационарные и имеют обычные две камеры: плавильную и металлосборник. Загрузочное окно находится со стороны плавильной камеры, а раздаточное – со стороны металлосборника. Металл разливают ложками. Печи типа САК чаще всего используются в качестве плавильных и раздаточных печей при кокильном литье.

Производительность печей типа САК колеблется от 50 до 75 кг/ч. Расход электроэнергии на одну тонну алюминиевого сплава составляет 600–650 кВт·ч. Угар алюминиевых сплавов при плавке в электропечах около 15 %.

Возможность создания в электропечи сухой воздушной атмосферы, от которой расплав отделён неповреждаемой окисной плёнкой, служит хорошим условием предотвращения газонасыщения и окисления расплава. Следует, однако, иметь в виду влагу, присутствующую в кладке печи, или заносимую металлом шихты. Небольшое количество водяного пара в атмосфере печи или её кладки вызывает значительное насыщение расплава водородом. Новая кладка печи, несмотря на предварительную просушку и нагрев, долго служит источником насыщения расплава водородом и дополнительного насыщения его окисью алюминия (карбиды, корунды и прочие включения в сплавах).

В электропечах сопротивления не рекомендуется проводить плавку под флюсом из-за опасности разрушения нагревательных элементов. Поэтому они предназначены для плавки чистой высококачественной шихты: свежих чушковых металлов с добавкой лигатур, крупных очищенных отходов и чушковых вторичных сплавов. Электропечи не пригодны для переработки стружки и других мелких отходов.

В качестве раздаточных печей в небольших цехах при литье под давлением применяют обычно электрические печи сопротивления типа САТ-0,1. Чаще всего эти печи устанавливают около литейных машин. В этом случае печь одновременно является плавильной и раздаточной. Расходуемый из печи расплав пополняется за счёт погружения чушек того же состава.

Такая работа связана с повышением безвозвратными потерями, сильным насыщением расплава газом и неметаллическими включениями.

Первые отливки по своим физико-химическим свойствам отличаются от последних отливок.

Расплав, приготовленный в электропечах сопротивления, также нуждается в надлежащем рафинировании во избежание появления брака по газовым пузырям в листах и неметаллических включениях в прутках и поковках.

При непрерывном литье слитков из алюминиевых сплавов электропечи сопротивления применяют в качестве разливочных (миксеры). В разливочные печи заливают уже готовый сплав определённого химического состава. При одинаковой ёмкости с плавильными печами разливочные печи обладают меньшей мощностью [11].

5.3 Выбор плавильной печи

Выбор типа печей осуществляется в зависимости от масштабов производства, характера литья (требований к качеству отливки) и энергетических возможностей.

Для литья отливок из алюминиево-кремневых сплавов ответственного назначения выбираем индукционную тигельную электропечь ИАТ-2,5, производительность которой 1 тонна расплава в час. Мощность печи 1000 кВт.

6 Контроль качества приготовленного сплава

Контроль химического состава сплава. Анализ сплава в процессе плавки позволяет своевременно повлиять на состав сплава, откорректировать химический состав сплава перед разливкой.

В цеховой или заводской лаборатории проверку состава сплава производят методами химического или спектрального анализа. Химическому анализу подвергаются расплавы всех плавков. Проверяют основные элементы сплава и количество вредных примесей. Если химический состав шихты известен точно, то контроль химического состава производится выборочно, например, для каждой десятой плавки.

Отобранные пробы направляются в ЦЗЛ, где проводится контроль химического состава с использованием химических или спектральных методов анализа.

Химический анализ позволяет после растворения некоторого количества исследуемого сплава выделить в чистом виде или в виде соединений отдельные элементы сплава и определить их процентное содержание. Химический анализ дает точные сведения о содержании элементов в сплаве, но требует много времени.

Спектральный анализ получил большое распространение для определения химического состава сплава. Основан он на рассмотрении спектра лучей, излучаемых при воздействии люгового разряда на поверхность материала. По спектру определяется качественный и количественный состав сплава. Спектральный анализ алюминиевых сплавов проводят по ГОСТ 7727-75 [14].

Преимущество спектрального анализа перед химическим состоит в быстроте, высокой точности даже при малой концентрации в сплаве определенного элемента, универсальности и возможности определить химический состав без повреждения отливки [15].

Контроль газонасыщенности сплава. Организация контроля газонасыщенности расплава перед разливкой позволяет избежать повышенного брака отливок. Существует два основных метода контроля: качественный и количественный. Для качественной оценки газонасыщенности расплава отливают специальные технологические пробы: о степени насыщения судят по внешнему виду проб после их затвердевания.

При литье алюминиевых сплавов отливают пробы в виде «лепешек» диаметром 65–80 мм и толщиной 10–15 мм. Такие пробы заливают в графитовые изложницы. Оценку газонасыщенности производят по внешнему виду открытой поверхности пробы. При затвердевании металла газы выделяются в атмосферу, оставляя на наружной поверхности пробы следы в виде пузыристых точек. Чем больше точек на единице поверхности, тем больше, следовательно, газов содержится в расплаве. Отлитые пробы сравнивают с предварительно подготовленными эталонами для каждой марки сплавов.

Пробы могут иметь и другую форму, например – уширяющихся кверху небольших цилиндров. Разрезав такой цилиндрик поперек и приготовив полированный шлиф, выявляют количество пор в его сечении. Составляется также шкала пористости (обычно по пятибалльной системе) и по ней производится сравнительная оценка газонасыщенности.

Числовые значения степени пористости по цилиндрическим пробам можно определять по плотности образцов, для чего их взвешивают на воздухе и в воде. Чем меньше плотность пробы, тем выше газоусадочная пористость. Точность и воспроизводимость этих методов контроля зависит от тщательного соблюдения совершенно идентичных условий заливки проб, т. е. постоянства температуры заливки металла, температуры формы и других.

Иногда пробы металла (залитого в тигелек) помещают после заливки под герметизированный колпак, соединенный с вакуум-насосом, и создают условия затвердевания проб в небольшом вакууме, порядка 2,666–5,332 н/м² (20–40 мм рт. ст.). Растворимость газов в металле, как известно, уменьшается с понижением внешнего давления, поэтому в пробах расплава наблюдается

усиленное газовыделение и пузыристость затвердевших проб, более показательная для сравнения. Оценка газонасыщенности производится также по специальной шкале. Но этот способ качественного контроля более сложен и требует специального оборудования [16].

Количественные методы контроля растворенных газов в металлах производят путем их экстрагирования (извлечения) при нагреве или расплавлении в вакууме из специально отобранных проб с последующим определением объема выделившихся газов и его состава. В практике литья алюминиевых сплавов получил распространение способ определения количества газов в расплаве по максимальному давлению в газовом пузырьке (метод Дарделла-Гудченко).

Сущность этого метода основана на законах равновесия между металлом и газами, т. е. парциальное давление газа над расплавом должно быть равно величине давления газа, растворенного в металле. Поместив порцию расплавленного металла в герметичную камеру (рис. 16) с контролируемым давлением атмосферы, можно, создавая над расплавом определенное разрежение, наблюдать выделение излишнего для данного давления количества растворенного газа в виде пузырька на поверхности расплава. При этом фиксируют значение давления и температуры, при которой образовался первый пузырек. Количество выделившихся газов рассчитывают по разработанным для каждого сплава полуэмпирическим формулам:

$$\lg S = \frac{A}{T} + B + \frac{1}{2} \times \lg p, \quad (3)$$

где, S – содержание газов, $\text{см}^3/100 \text{ г}$;

T – абсолютная температура металла в момент появления пузырька;

p – парциальное давление в момент появления пузырька;

A и B – константы, зависящие от типа и состава сплава и определяемые опытным путем.



Рисунок 16 – Прибор для определения содержания H_2 в алюминиевых сплавах методом «первого пузырька»

Более новым способом определения газонасыщенности сплава является метод индекса плотности. Проба для определения индекса плотности на установке «ЗVT» (рис. 17), в следующем порядке:

1 На площадке 1 подогреваются 2 тигля до температуры 250 °С.

2 Первый тигель устанавливается на площадку 3, в него при помощи стаканчика заливается расплавленный металл, и он быстро ставится на площадку 2 и закрывается плотно крышкой.

3 Запускается установка, нажатием на кнопку «старт».

4 Пока первая проба вакуумируется. Второй тигель ставится на площадку 3, и в него также заливается жидкий расплав. После чего эта проба кристаллизуется на воздухе.

5 После того как вакуумирование первой пробы закончилось, открывается крышка площадки 2, достается тигель и обе пробы извлекаются.

Непосредственно далее приготовленные пробы в спектральной лаборатории взвешиваются на весах «МК2200» (рис. 18).

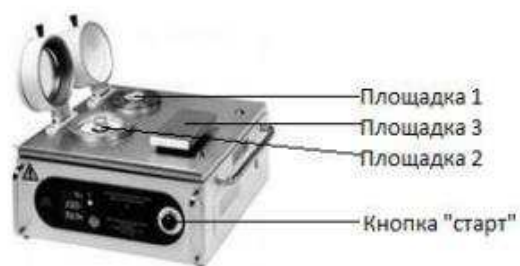


Рисунок 17 – Вакуумная установка для изготовления проб для определения индекса плотности «ЗVT»



Рисунок 18 – Специализированные весы для определения плотности образцов алюминия методом гидровзвешивания «МК2200»



Рисунок 19 – Методика работы прибора МК2200

Контроль механических свойств. Данный вид контроля проводится в ЦЗЛ в соответствии с требованиями СТП и ТИ.

Механические свойства характеризуют способность материала сопротивляться деформации и разрушению под действием приложенных нагрузок.

Механические испытания отливок проводят для определения прочности, пластичности сплавов. Мерой прочности служит также твёрдость металлов.

Прочность – это свойство твердых тел сопротивляться деформации и разрушению под действием внешних нагрузок. Чаще всего измеряют две характеристики прочности:

1 предел прочности при растяжении (или временное сопротивление разрыву) σ_b – характеризует максимальную несущую способность материала, его прочность, предшествующую разрушению;

2 условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ (напряжение, которому соответствует пластическая деформация 0,2) – достаточно точно характеризует переход от упругих деформаций к пластическим;

Сопротивление материала местной пластической деформации, возникающей при внедрении в него более твердого тела – индентора – является приблизительным индикатором состояния сплава и поэтому широко применяется при контроле продукции. Для алюминиевых сплавов применяют метод Бринелля НВ (стальной шарик). Метод измерения твердости по Бринеллю регламентирован ГОСТ 9012–59 [17].

Пластичность, т.е. способность деформироваться без разрушения, характеризуется изменениями размеров образца. При испытании на разрыв определяют следующие характеристики пластичности: относительное удлинение δ и относительное сужение ψ .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе дипломной работы была изучена литература по плавке алюминиевых сплавов, а также производственные технологические процессы действующего завода.

1 Для получения отливок высокого качества из сплавов системы алюминий – кремний было уделено внимание следующим разделам технологического процесса:

- 2 Подготовке шихтовых материалов.
- 3 Выбору модифицирующих лигатур.
- 4 Выбору рафинирующего компонента.
- 5 Контролю качества сплава во время плавки.
- 6 Контролю готового сплава.

Была разработана технология получения сплава АК12, которая состоит из следующих основных технологических операций:

- 1 Расчёт шихтовых материалов.
- 2 Разделка шихтовых материалов.
- 3 Сушка шихтовых материалов .
- 4 Приготовление быстрозакристаллизованной лигатуры .
- 5 Загрузка алюминия, отходов производства и кремния .
- 6 Рафинирование аргоном .
- 7 Контроль на газонасыщенность .
- 8 Ввод быстрозакристаллизованной лигатуры .
- 9 Заливка образцов на химический анализ .
- 10 Подшихтовка.
- 11 Заливка образцов на механические свойства.
- 12 Разливка металла по формам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Кузцова В.З., Влияние легирования на структуру, фазовый состав и свойства промышленных заэвтектических поршневых силуминов / Кузцова В.З., Носко О.А., Шерстобитова А.С./ Стародубовские чтения 2008 стр 1-6
- 2 Парамонов, В. В. Разработка технологических схем и режимов штамповки автомобильных поковок и алюминиевых сплавов / В. В Парамонов: автореферат дисс. канд. техн. наук. – Москва, 2006. – 24 с.
- 3 Мондольфо, А. Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов перевод с английского под редакцией Ф. И. Квалова. Г. Б. Строганова, И. Н. Фриндландера. – М. : Металлургия, 1977. – 639 с.
- 4 ГОСТ 1583-93 Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия. –Взамен ГОСТ 1583-89; введ.01.01.1997 – Минск : Государственный комитет Украины по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. – 21 с.
- 5 ГОСТ 11069-74 Алюминий первичный. Марки. – Взамен ГОСТ 11069-74; введ.01.01.2003. – Минск : Госстандарт России, 2003 – 6 с.
- 6 ГОСТ Р 53777-2010 Лигатуры алюминиевые. Технические условия. – введ. 30.06.2010. – Москва : Стандартиформ, 2010. – 9 с.
- 7 ГОСТ 2169-69 Кремний технический. Технические условия. – Введ. 01.07.1970. – Москва : Издательство стандартов, 2001. – 11 с.
- 8 Цветное литье : справ. / Н. М. Галдин, Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук [и др.]. – М. : Машиностроение, 1989. – 528с.
- 9 Трухов, А. П. Литейные сплавы и плавка: Учебник для студ. высш. учеб. заведений/ А.П. Трухов, А.И. Маляров. – М.: Издательский центр —Академия, 2004. – 336 с.
- 10 Башмакова, Н. В. Исследование влияния электрического тока на кристаллизацию и свойства алюминиевых сплавов с повышенным содержанием железа: дис. ... канд. тех. наук : 05.16.04 / Башмакова Надежда владимировна. –Новокузнецк, 2007. – 123с.

11 Альтман, М. Б. Плавка и литьё лёгких сплавов : науч. изд. / М.Б. Альтман, А.А. Лебедев, М.В. Чухров. – М.: Издательство —Металлургия], 1969. – 680с.

12 Филиппова И.А. : Исследования и разработка модификаторов, закаленных из жидкого состояния, и технологии модифицирования доэвтектических силуминов с целью получения высококачественных отливок транспортного машиностроения. МИСиС, 2011г.

13 Влияние быстрозакристаллизованных лигатур на эффект модифицирования сплава АК12 А. И. Черепанов¹, Т. В. Бермешев¹, В. П. Жереб^{1, 2}, В. Ю. Таскин¹

14 ГОСТ 7727-81 Сплавы Алюминиевые. Методы спектрального анализа. – Взамен ГОСТ 7727-75 ; введ.30.06.1982. – Москва : Издательство стандартов 1982 – 15 с.

15 Контроль качества отливок [Электронный ресурс]: Библиотека технической литературы. Режим доступа: <http://deltagrup.ru/bibliot/21/119.htm>.

16 Окисная пленка, образующаяся на поверхности [Электронный ресурс]: Международная выставка оборудования и технологии обработки. – 2014. – Режим доступа: <http://filebar.kg/main?page=2>.

17 ГОСТ 9012-59 Металлы. Метод измерения твёрдости по Бринеллю. –Взамен ОСТ 10241-40; введ.01.01.1960. – Москва : Издательство стандартов 1960 – 45 с.

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

Политехнический институт
Кафедра «Материаловедение и технологии обработки материалов»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 /В.И Темных

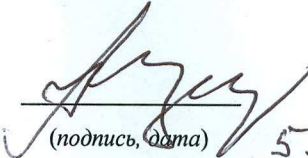
« » 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Направление: 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

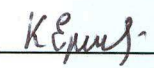
**Разработка технологии приготовления сплава АК12 для получения
автомобильных колес сложной конфигурации**

Научный руководитель


(подпись, дата) 5.07.20

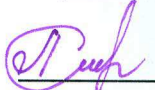
Черепанов А.И.

Выпускник


(подпись, дата) 5.07.20

Еременко К.О.

Нормоконтролер


(подпись, дата) 5.07.20

Свечникова Л.А.

Красноярск 2020