

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

Политехнический институт
Кафедра материаловедение и технологии обработки материалов

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.И.Темных
(подпись)

«____» _____ 2019 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Направление 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов»

Разработка технологии получения сплава АК12М2МгН

Научный руководитель

(Подпись, дата)

А.И. Черепанов

Выпускник

(Подпись, дата)

Р.М. Соболев

Нормоконтроль

(Подпись, дата)

Л.А. Свечникова

Красноярск 2019

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

Политехнический Институт
Кафедра «Материаловедение и технологии обработки материалов»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.И.Темных
подпись
« ____ » _____ 2019 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

Студенту Соболеву Роману Михайловичу

Группа МТ 15-01Б. Направление (специальность) 22.03.01
«Материаловедение и технологии материалов».

Тема выпускной квалификационной работы «Разработка технологии получения сплава АК12М2МгН».

Утверждена приказом по университету № 8550/с от 11.06.2019 г.

Руководитель ВКР: А.И. Черепанов, профессор, д. т. н., кафедра МИ-ТОМ.

Исходные данные: научные публикации и патенты (список использованных источников), сплав АК12М2МгН ГОСТ 1583-93, лигатуры AlSi, AlMn, AlCu, AlTi и AlNi ГОСТ Р 53777-2010.

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.

Руководитель ВКР

подпись

А.И. Черепанов

Задание принял к исполнению

подпись

Р.М. Соболев

« ____ » _____ 2019 г.

АННОТАЦИЯ

Разработана технология сложно легированного сплава АК12М2МгН применяемого в машиностроении, в частности для поршней двигателей внутреннего сгорания. 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 АК12М2МгН, исследование его структуры, а также методы контроля качества.

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

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1 Сплавы системы Al–Si, их применение в промышленности.....	8
2 Химический состав, физические и технологические свойства сплава АК12М2МгН.....	11
3 Шихтовые материалы для получения сплавов АК12М2МгН Al-Si.	14
3.1 Состав применяемых лигатур: Al–Si, Al–Mn, Al–Cu и Al–Ni для сплава АК12М2МгН.....	14
4 Технологические операции приготовления сплава АК12М2МгН...	19
4.1 Расчёт шихтовых материалов	19
4.2 Подготовка шихтовых материалов.....	21
4.3 Порядок загрузки шихтовых материалов	22
4.4 Рафинирование алюминиевых сплавов.....	22
5 Плавильные устройства для получения алюминиевых сплавов.....	33
5.1 Индукционные печи.....	34
5.1.1 Индукционные канальные печи.....	35
5.1.2 Индукционные тигельные печи.....	39
5.2 Печи сопротивления.....	43
5.3 Выбор плавильной печи.....	47
6 Контроль качества приготовления сплава.....	51
Заключение.....	57
Список использованных источников.....	59

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа по теме «Разработка технологии получения сплава АК12М2МгН».

Содержит 60 страниц, 19 рисунков, 21 используемых источников, 9 таблицы, 2 схемы.

Цель работы:

Уметь разрабатывать технологические процессы плавки алюминиевых сплавов на действующих производствах, в частности: разработать технологию получения сплава АК12М2МгН для деталей поршней.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- 1 Проанализировать научно-техническую литературу
- 2 Выбрать шихтовые материалы для сплава АК12М2МгН
- 3 Выбрать модифицирующие лигатуры
- 4 Рассчитать шихту
- 5 Установить порядок загрузки шихтовых материалов
- 6 Выбрать способ рафинирования сплава АК12М2МгН
- 7 Выбрать плавильную печь
- 8 Установить объём контроля качества сплава

ВВЕДЕНИЕ

Алюминий – металл, который широко применяется как конструкционный. Основные достоинства алюминия связаны с его свойствами, в число которых входит низкая плотность, податливость штамповке, коррозионная стойкость, высокая теплопроводность, не ядовитость его соединений, возможность соединения алюминиевых деталей в различных конструкциях с помощью сварки, пайки, склеивания и других способов. Благодаря ковкости и легкости, а также защищенности от коррозии, алюминий является ценным металлом в современной промышленности.

В настоящее время алюминий и его сплавы применяют во многих областях промышленности и техники. Прежде всего алюминий и его сплавы используют авиационная и автомобильная отрасли промышленности. Широко применяется алюминий и в других отраслях промышленности: в машиностроении, электротехнической промышленности и приборостроении, промышленном и гражданском строительстве, химической промышленности, производстве предметов народного потребления.

Производство сплавов – это процесс введения в предварительно расплавленный шихтовой материал дополнительных химических элементов, таких как легирующие и модифицирующие добавки.

Каждый вид шихтового материала должен соответствовать требованиям ГОСТ или другим нормативным документам.

Для выплавки сплава определённого состава необходимо предварительно составить и рассчитать шихту, которая обеспечит возможность получить из нее жидкий сплав требуемого состава и качества [1].

1 Сплавы системы Al–Si, их применение в промышленности

Алюминиевые сплавы по способу производства можно разделить на три группы:

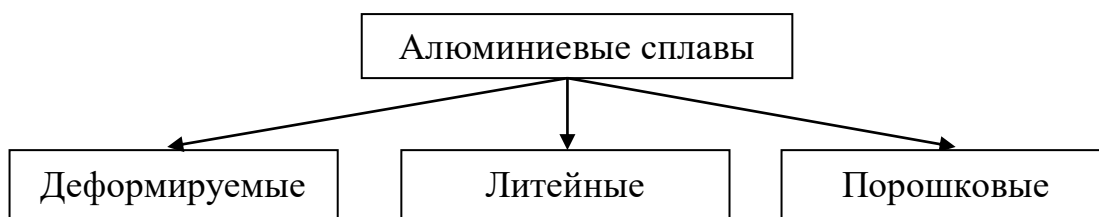


Схема 1 – Классификация алюминиевых сплавов по способу производства

Деформируемые, предназначенные для получения полуфабрикатов (листов, плит, прутков, труб), а также поковок и штамповок путем прокатки, прессования и штамповки. Маркируются буквами (Д, АК, АМ, ВД, В), после которых указывается номер сплава;

Получаемые методом порошковой металлургии (спеченные алюминиевые порошки — САП, спеченные алюминиевые сплавы — САС). Их иногда называют дисперсно-упрочненными композиционными сплавами на основе алюминия [1].

Литейные, предназначенные для фасонного литья.

Литейные алюминиевые сплавы подразделяются на пять групп, их классификация приведена ниже (ГОСТ 1583-93) [2]:

- сплавы на основе системы Al–Si–Mg;
- сплавы на основе системы Al–Si–Cu;
- сплавы на основе системы Al–Cu;
- сплавы на основе системы Al–Mg;
- сплавы на основе системы Al–Э (прочие элементы, являющиеся компонентами сплава).

Сплавы систем Al–Si–Mg и Al–Si–Cu являются наиболее распространенными и называются «силуминами». Их можно подразделить на простые

силумины и специальные силумины, содержащие кроме Al и Si дополнительно Mg (десятые доли процента) или совместно Mg и Cu.

Для изготовления отливок используются доэвтектические (до 9 % Si) и заэвтектические (до 25 % Si) сплавы.

Сплавы первой группы содержат большое количество эвтектики $\alpha + Si$, которая кристаллизуется в грубой пластинчатой форме, снижающей пластичность сплавов. Обычно при литье в песчаные формы такие сплавы подвергаются модифицированию для измельчения эвтектики и повышения пластичности. Сплавы этой группы склонны к поглощению водорода и образованию газовой пористости в отливках в процессе литья. Это следует учитывать при разработке технологии хранения и подготовки шихтовых материалов, рафинирования сплавов.

Расчет шихты для сплавов этой группы следует производить с учетом требований, предъявляемых к сплаву по прочности и пластичности: наибольший предел прочности (но пониженная пластичность) обеспечивается за счет содержания магния, соответствующего верхнему пределу, наибольшая пластичность (но пониженный предел прочности) – нижнему пределу.

Сплавы второй группы содержат небольшое количество кремния, поэтому не подвергаются модифицированию. Эти сплавы менее склонны к образованию газовой пористости в отливках, чем высококремневые.

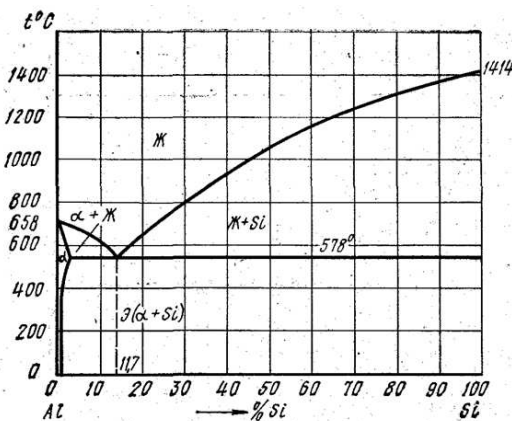


Рисунок 1 – Диаграмма состояния системы Al – Si

Как видно из диаграммы фазового равновесия системы Al – Si (рис. 1), эвтектика содержит 11,7 % Si и состоит из твердого раствора кремния в алюминии. Максимальная растворимость кремния в алюминии составляет 1,65 % при эвтектической температуре 577 °С.

Обычно структура доэвтектических силуминов состоит из дендритов твердого раствора кремния в алюминии и эвтектики: твердый раствор – кремний. Крупные выделения пластинок кремния в эвтектике, являются концентраторами напряжений, сильно снижающие пластичность сплава. Для измельчения включений кремния сплавы модифицируют солями натрия (NaF + NaCl). Эффект модифицирования тем больше, чем выше содержания кремния, так как модификатор действует только на кремний. В сплавах, содержащий менее 8 % Si, применение модифицирования теряет смысл, так как улучшение свойств незначительное и может перекрываться влиянием скорости охлаждения.

К простым двойным силуминам относятся только один сплав (АК12). Из-за отсутствия в составе интерметаллидов он является нетермообрабатываемым, но обязательно модифицируемым.

Эвтектические специальные силумины (АК12М2) содержат дополнительно 1–2 % Ni, повышающего их жаростойкость. Взамен эвтектических силуминов разработаны сплавы, называемые «никалинами», в которых в качестве второй фазы эвтектики содержатся соединения Al_3Ni . Такая эвтектика обладает более дисперсным строением и более высокой температурой плавления (640 против 577 °С) по сравнению с алюминиево-кремниевой [3].

2 Химический состав, физические и технологические свойства сплава АК12М2МгН

Структура литого образца сплава АК12М2МгН выражена в первичных дендритах твердого раствора и относительно дисперсной алюминиевой – кремневой (многофазной) эвтектикой при сравнительно небольшом количестве других элементов структуры. (рис.2)

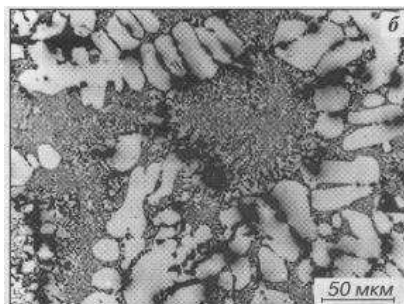


Рисунок 2 – Структура сплава АК12М2МгН после кристаллизации

При большем увеличении можно увидеть первичные кристаллы $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$. Кокильные отливки имеют похожую структуру. При замедленном затвердевании общее огрубение структуры сопровождается изменением морфологии фазы $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$.

Большое содержание меди в сплаве АК12М2МгН понижает температуру равновесного солидуса до 530 °С (рис. 3,4). Поэтому нагрев до 540 °С приводит к явно выраженному пережогу (рис. 5). Это особенно видно так как в структуре видны кристаллы кремния, укрупнившиеся при наличии жидкой фазы и дисперсной многофазной эвтектики, образовавшиеся при быстрой кристаллизации (закалке) этой жидкости [4].

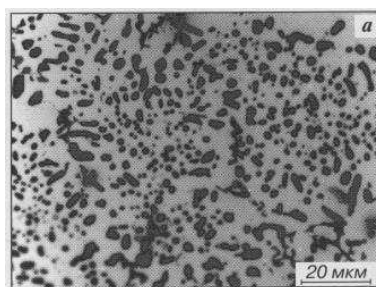


Рисунок 3 – Структура сплава АК12М2МгН после отжига и закалке при 500 °С

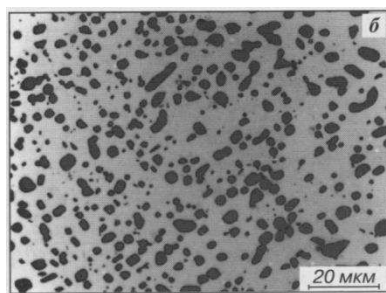


Рисунок 4 – Структура сплава АК12М2МгН после отжига и закалке при 520 °С

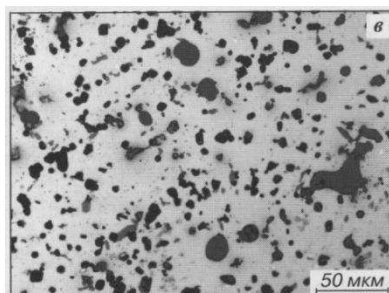


Рисунок 5 – Структура сплава АК12М2МгН после отжига и закалке при 540 °С

Таблица 1 – Химический состав сплава АК12М2МгН

ГОСТ 1583-93

Al	Mg	Si	Mn	Cu	Ti	Ni	Fe	Cr	Pb	Zn	Sn	Примеси
79.5 – 85.55 %	0.8 – 1.3 %	11 – 13 %	0.3 – 0.6 %	1.5 – 3 %	0.05 – 0.2 %	0.8 – 1.3 %	до 0.8 %	до 0.2 %	до 0.1 %	до 0.5 %	до 0.02 %	1.3 %

Таблица 2 – Требуемые механические свойства сплава АК12М2МгН в термически обработанном состоянии

Марка сплава	Способ литья	Вид термической обработки	Предел прочности σв, МПа	Относительное удлинение δ, %	Твёрдость НВ, МПа
АК12М2МгН	К	Т1	19	–	90

Таблица 3 – Физические свойства материала АК12М2МгН [5]

Температура T, °С	Коэффициент температурного (линейного) расширения, $\alpha \cdot 10^6$, $1/^\circ\text{C}$	Коэффициент теплопроводности (теплоёмкость материала), λ , Вт/(м·°С)	Плотность материала, ρ , кг/м ³	Удельная теплоёмкость материала, С, Дж/(кг·°С)	Удельное сопротивление R 10^9 , Ом·мм ²
20	19	0,38	2720	–	0,050

3 Шихтовые материалы для получения сплавов Al–Si

В качестве шихтовых материалов для получения сплавов применяют алюминий чушковой марки не ниже А8 (ГОСТ 11069-74), лигатуры Al–Ni, Al–Si, Al–Mn, Al–Ti и Al–Cu (ГОСТ Р 53777-2010), и отходы в количестве, не превышающем 50 % от массы шихты [6].

3.1 Составы и технология получения лигатур для сплава АК12М2МгН

Лигатуры представляют собой сплавы алюминия с высоким содержанием легирующих элементов. Лигатуры, применяемые для приготовления лёгких сплавов, должны удовлетворять следующим требованиям:

- низкая температура плавления; – однородность по химическому составу;
- возможно большее содержание легирующих компонентов; – достаточная хрупкость для удобства размельчения при шихтовке;
- наименьший размер интерметаллидов. Чем меньше размер интерметаллидов, тем большее их количество содержится в единице объёма лигатуры, тем больше потенциальных центров кристаллизации и тем меньше расход модификатора;
- низкое содержание водорода в лигатуре, которое не должно превышать более чем в два раза содержания водорода в расплаве кондиционного сплава перед разливкой. Последнее обстоятельство является особенно важным, если фильтрация расплава несовершенна и рассчитана на удаление оксидных плен традиционным способом (рафинирование в миксере, отстаивание и т.п.);
- низкое содержание металлических примесей, например, железа, кремния, и др. Это связано с тем, что указанные примеси, входя в состав пер-

вичных интерметаллидов изменяют их кристаллографическую решётку, а, следовательно, нарушается принцип структурного соответствия решёток алюминия и интерметаллида и уменьшается его зародышеобразующая способность [8].

В зависимости от масштаба производства лигатуры изготавливают в тигельных или отражательных печах. В литейных цехах малой мощности лигатуры готовят в индукционных тигельных печах, в цехах заготовительного литья их готовят в отражательных печах. Объём плавов в первом случае колеблется от 50 до 250–300 кг, во втором – от 6 до 10 т.

Тугоплавкие лигатуры выплавляют в шамотно-графитовых тиглях. Плавку ведут под покровными флюсами. После расплавления и перегрева алюминия небольшими порциями вводят легирующую добавку. Расплав непрерывно перемешивают для более быстрого расплавления и равномерного распределения добавки. В конце плавки проводят рафинирование.

Лигатура алюминий-кремний. Температура плавления кремния 1420 °С; плотность 2,37г/см³. В перегретый до температуры 900–1000 °С алюминий небольшими порциями вводится кремний, измельченный предварительно на куски и подогретый до температуры 400–600 °С. Перед введением очередной порции кремния расплав перемешивается графитовой мешалкой; очередная порция вводится после растворения предыдущей. После полного растворения всего кремния и тщательного перемешивания лигатура, перегретая до 900 °С, разливается в предварительно подогретые изложницы слоем до 30 мм [7].

Таблица 4 – Химический состав сплава AlSi50(A)

ГОСТ 53777-2010 [9]

Марка лигатуры	Массовая доля, %											
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ni	Другие элементы	Ti	Прочие элементы	
AlSi50(A)	47-53	0,3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	Кальций 0,15	0,05	0,04	0,04

Кремний (до 0,05 %) в сплавах дуралюмин с малым содержанием магния, до 1 %, повышает прочностные характеристики сплавов при искусственном старении, при этом, сплавы сохраняют способность к естественному старению. Увеличивается прочность сплава путём выделения фазы Mg_2Si .

При более высоком содержании магния (1,5 %) количество кремния должно быть минимальным, так как после естественного старения и искусственного старения прочность понижается. Кроме того, кремний в этих сплавах увеличивает склонность к трещинообразованию при литье и сварке, а также понижает пластичность.

Лигатура алюминий-марганец. Температура плавления марганца 1245 °С; плотность 7,43 г/см³. Плавка лигатуры алюминий-марганец производится аналогично плавке алюминий-кремний [7].

Таблица 5 – Химический состав сплава AlMn10(A) ГОСТ 53777-2010 [9]

Марка лигатуры	Массовая доля, %											
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ni	Другие элементы	Ti	Прочие элементы	
AlMn10(A)	0,3	0,4	0,04	9–11	0,04	–	0,04	–	–	0,03	0,04	0,1

Лигатура алюминий-медь. Температура плавления меди 1083 °С, плотность 8,93 г/см³. В перегретый до температуры 750 °С алюминий небольшими порциями вводят медь, нарезанная предварительно на пластины размером 100 на 100 мм и подогретая до температуры 400–600 °С. После растворения очередной порции расплав перемешивается графитовой или титановой мешалкой до полного растворения меди. После растворения всей навески лигатуры разливается при температуре 750 °С в предварительно подогретые изложницы слоем 30 мм [7].

Марка лигатуры	Массовая доля, %											
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ni	Другие элементы	Ti	Прочие элементы	
AlCu50(A)	0,3	0,3	45–53	0,05	0,05	–	0,05	–	–	0,03	0,04	0,1

Лигатура алюминий-никель. Температура плавления никеля 1455 °С; плотность 8,9 г/см³. Электролитический никель, разрезанный на пластины 100 на 100 мм и предварительно нагретые до температуры 400–600 °С, вводится небольшими порциями в алюминий, перегретый до температуры 1000–1200 °С. После введения каждой порции производится перемешивание расплава. После полного растворения никеля лигатура при температуре 1100 °С разливают в предварительно подогретые изложницы слоем до 30 мм [7].

Таблица 7 – Химический состав сплава AlNi10(A) ГОСТ 53777-2010 [9]

Марка лигатуры	Массовая доля, %											
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ni	Другие элементы	Ti	Прочие элементы	
AlNi10(A)	0,3	0,3	–	–	–	–	–	9–11	–	–	0,04	0,1

Никель образует нерастворимые фазы с медью и железом, уменьшает пластичность и прочность термически обрабатываемых сплавов, улучшает твердость и прочность при повышенных температурах и понижает коэффициент литейного расширения.

Лигатура алюминий-титан. Температура плавления титана 1920 °С; плотность 4,5 г/см³. В алюминии, расплавленный и перегретый до температуры 1300 °С, небольшими порциями вводится титан (губчатый, иодидный или отходы титановых сплавов). Перед введением каждой очередной порции

титана расплав перемешивают графитовой мешалкой. После полного растворения титана расплав тщательно перемешивают, снижают температуру расплава до 900–950 °С и производится рафинирование лигатуры хлористым марганцем (0,1 % от веса шихты). Затем снимают шлак, перемешивают лигатуру и быстро разливают в изложницы слоем до 30 мм [7].

Таблица 8 – Химический состав сплава AlTi5

ГОСТ 53777-2010 [9]

Марка лигатуры	Массовая доля, %											
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ni	Другие элементы	Ti	Прочие элементы	
AlTi5	0,2	0,3	0,05	0,05	0,05	–	0,05	–	Ванадий 0,2	4,5–5,5	0,04	0,04

Титан в алюминиевых сплавах применяют в основном для измельчения зерна литого металла. Это свойство титана широко используется при разработке свариваемых сплавов и присадочных материалов.

Экономически целесообразно приготавливать алюминий-титановую лигатуру, используя губчатый титан и отходы титановых сплавов. При применении губчатого титана на плавку лигатуры уходит меньше времени, чем при использовании отходов титановых сплавов. Высокая стоимость иодидного титана делает его применение экономически невыгодным [1].

4 Технологические операции приготовления сплава АК12М2МгН

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. Футеровка и плавильный инструмент являются, кроме того, причиной газовой пористости в отливках [3].

4.1 Расчёт шихтовых материалов

Задачей расчёта шихты является установление такого количества соотношения компонентов, которое обеспечивает получение сплава требуемого химического состава.

Расчет шихты проводился на содержание компонентов в соответствии с ГОСТ ...с применением лигатур по ГОСТ 1583-93 (табл. 1) и выбранные нами по ГОСТ Р 53777-2010 лигатуры AlSi, AlMn, AlCu, AlTi и AlNi (табл. 4, 5, 6, 7, 8).

За расчётный состав мы принимаем средний состав сплава: Si – 12 %, Mn – 0,5 %, Cu – 0,15 %, Ti – 0,15 %, Ni – 1,1 %, Mg – 1 %, остальное – Al марки не ниже А8.

Выбранные нами лигатуры: AlSi – 13,5 %, AlMn – 10 %, AlCu – 45 %, AlTi – 3,5 %, AlNi – 10 %. Расчетное содержание различных элементов в шихте определяется по формуле:

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

где, C_c – содержание легирующего элемента в сплаве %,

C_k – содержание элемента в шихтовом материале %,

A_c – расчётная масса сплава в печи кг.

Расчёт ведём на 100 кг сплава.

Расчёт количества лигатуры AlSi в сплаве

$C_c - 12 \%$;

$C_k - 13,5 \%$;

$A_c - x - 100 \%$;

$$\frac{12 \cdot 100}{13,5} = 24 \text{ кг.}$$

Расчёт количества лигатуры AlMn в сплаве

$C_c - 0,5 \%$;

$C_k - 10 \%$;

$A_c - x - 100 \%$;

$$\frac{0,5 \cdot 100}{10} = 5 \text{ кг.}$$

Расчёт количества лигатуры AlCu в сплаве

$C_c - 2,3 \%$;

$C_k - 45 \%$;

$A_c - x - 100 \%$;

$$\frac{2,3 \cdot 100}{45} = 5,1 \text{ кг.}$$

Расчёт количества лигатуры AlTi в сплаве

$C_c - 0,15 \%$;

$C_k - 3,5 \%$;

$$A_c - x - 100 \text{ \%};$$

$$\frac{0.15 \cdot 100}{3.5} = 4.3 \text{ кг.}$$

Расчёт количества лигатуры AlNi в сплаве

$$C_c - 1,1 \text{ \%};$$

$$C_k - 10 \text{ \%};$$

$$A_c - x - 100 \text{ \%};$$

$$\frac{1.1 \cdot 100}{10} = 11 \text{ кг.}$$

1 Количество основы сплава (кг) рассчитывается по формуле:

$$A_0 = A_c \sum A_k \quad (2)$$

где, $\sum A_k$ – сумма масс шихтовых материалов в сплаве кг.

Расчет количества алюминия:

$$100 - (24 + 5 + 5,1 + 4,3 + 11 + 1) = 44,7 \text{ кг.}$$

В результате для выплавки 100 кг сплава марки АК12М2МгН необходимы следующие массовые доли (кг) шихтовых материалов: алюминия – 44,7 кг, лигатуры AlSi – 24 кг, AlMn – 5 кг, AlCu – 5,1 кг, AlTi – 4,3 кг, AlNi– 11 кг, Mg–1 кг.

4.2 Подготовка шихтовых материалов

Требования к шихтовым материалам:

1 Шихтовые материалы должны храниться в сухих помещениях.

2 Состав шихтовых материалов устанавливается технологическим процессом, а для конкретного плавильного агрегата в соответствии с расчётом ШИХТЫ.

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

Исходя из требований к шихтовым материалам, нужно:

1 Очистить шихтовые материалы от посторонних включений.

2 Нарезать шихтовые материалы на части до размеров, соответствующих размерам тигля.

3 Произвести очистку шихтовых материалов до полного удаления загрязнений.

4 Нагреть все компоненты шихты, вводимые в жидкий металл, до 400 °С во избежание выбросов металла.

В состав шихты вводят чушковый первичный алюминий и отходы собственного производства. Тугоплавкие легирующие элементы, в нашем случае титан, никель и кремний, а также легкоокисляющиеся элементы вводят в виде лигатур с целью облегчения их растворения и уменьшения угара.

4.3 Порядок загрузки шихтовых материалов

Технология приготовления сплава заключается в следующем. В разогретый кокиль загружается алюминий, отходы. После их расплавления вводятся Al–Si, Al–Cu, Al–Mn, Al–Ti и Al–Ni. Затем расплав перемешивается и при температуре 680–700 °С. Нельзя допускать всплывания на поверхность расплава не растворившихся кусков лигатуры, так как это приводит к сильному окислению расплава. После растворения всей лигатуры, сплав тщательно перемешивается и рафинируется.

4.4 Рафинирование алюминиевых сплавов

Присутствие в металлах и их сплавах газовых и неметаллических примесей значительно снижает их прочность и пластичность. Для очистки металлов от нежелательных примесей газов, оксидов, нитридов и других неметаллических включений разработан комплекс технологических операций, ко-

торые можно объединить общим понятием «рафинирование». Процесс рафинирования имеет огромное значение для повышения качества металлов и сплавов.

Очистка жидкого металла от неметаллических включений состоит в выделении на поверхность расплава мельчайших газовых пузырьков и частиц оксидов, нитридов, сульфидов и других соединений, которые в обычных условиях остаются в расплаве и попадают в слиток или отливку. В последние годы все чаще используют комбинированные методы рафинирования – адсорбционные и физические. При рафинировании адсорбционным методом в расплав вводят инертные или активные газы, а также твердые вещества, легко разлагающиеся на газообразные продукты. Вследствие низкого давления внутри этих газовых пузырьков в них диффундируют растворенные в металле водород, азот и другие газы, а на поверхности пузырьков адсорбируются твердые частицы неметаллических включений. После достижения значительных размеров пузырьки рафинирующих веществ всплывают на поверхность расплавленного металла. Для достаточно полного удаления неметаллических включений из расплава необходимо пропустить через металл большое количество рафинирующих веществ, что не всегда является целесообразным и возможным.

При рафинировании физическим методом, в частности, вакуумированием, требуется дополнительное оборудование и время на обработку [3].

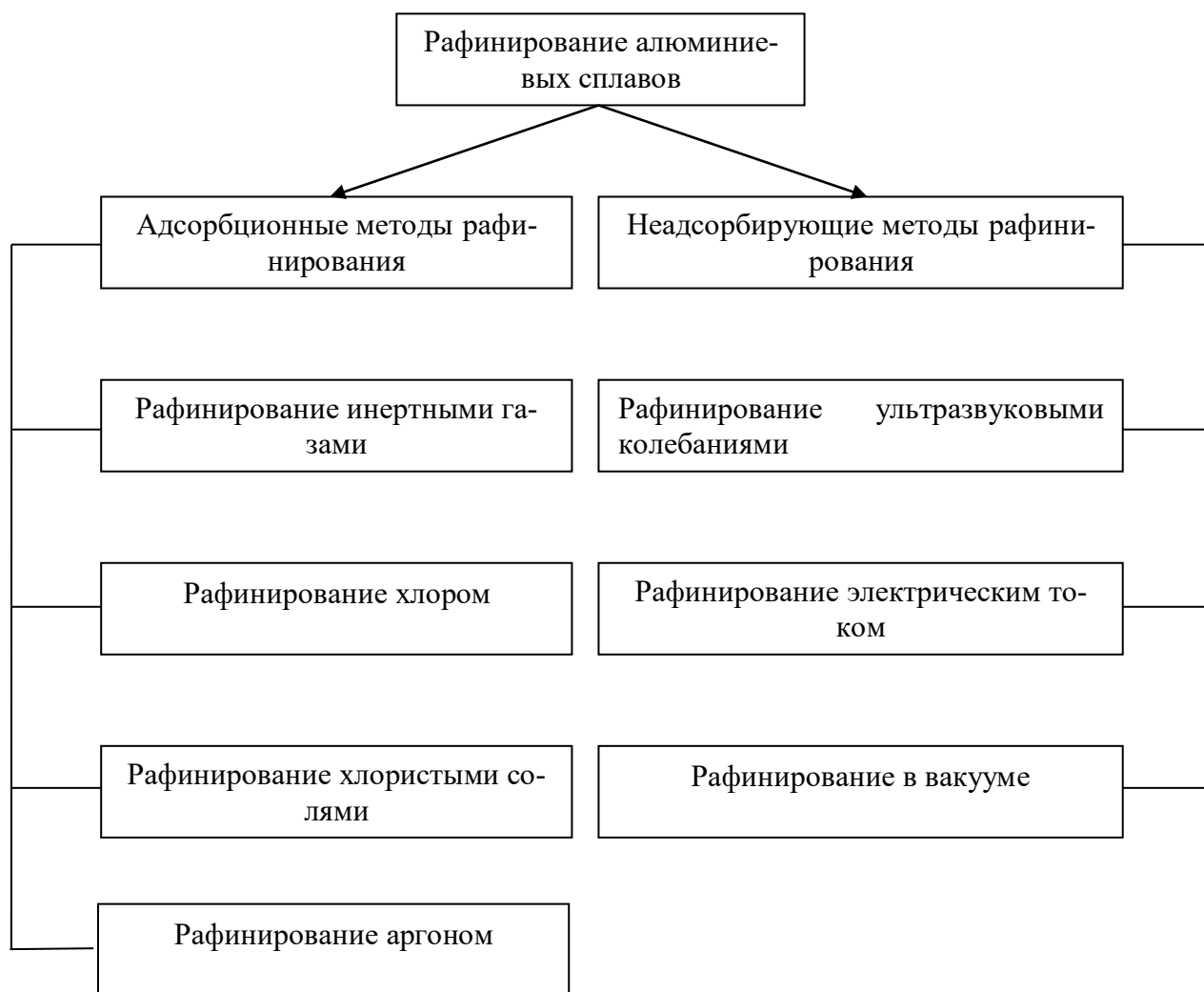
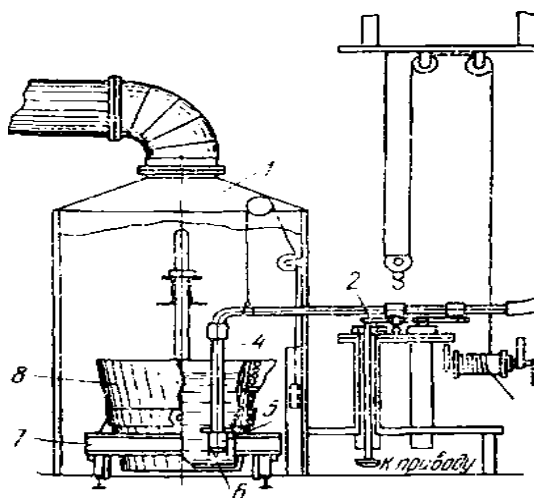


Схема 2 – Рафинирование алюминиевых сплавов

4.4.1 Адсорбционные методы рафинирования

Рафинирование хлором. Для предохранения обслуживающего персонала от вредного действия хлора, согласно правилам техники безопасности, баллоны с хлором держат снаружи цеха в отдельном помещении. Газы, выделяемые при хлорировании, удаляются из-под колпака вентиляционной установкой. Хлорирование ведут при $720\text{--}750^\circ\text{C}$. Через графитовую или кварцевую трубку с барботером хлор равномерно распределяется по ковшу и энергично реагирует с некоторой частью алюминия, образуя хлористый алюминий. Пары хлористого алюминия (температура кипения 180°C) флотируют взвешенные в металле неметаллические примеси. Кроме того, хлори-

руется водород, растворенный в алюминии, и некоторые металлические примеси.



- 1 – камера для хлорирования;
- 2 – столик с механизмом для вращения;
- 3 – резиновый шланг;
- 4 – труба для хлора;
- 5 – барботер;
- 6 – отверстия для хлора;
- 7 – вагонетка;
- 8 – ковш

Рисунок 6 – Установка для хлорирования алюминия в ковше

Процесс ведут непосредственно в ковшах, доставляемых из цеха электролиза. Установка для хлорирования показана на Рис 6. Ковш с металлом ставят под специальный колпак. Через окно в колпаке в ковш вводят трубку, соединенную с баллонами, содержащими хлор. Хлорирование 1 т металла ведут при перемешивании в течение 10–15 мин [10].

Рафинирование инертными газами. При практической реализации процесса продувки расплава рабочими газами для повышения эффективности процесса необходимо раздробить рабочий газ на пузырьки минимального размера; равномерно распределить пузырьки по объему расплава; вводить газ необходимо у самого дна тигля для удлинения пути всплытия пузырьков и увеличения, тем самым, глубины дегазированного слоя расплава у пузырька.

Наиболее простым способом введения рабочего газа является продувка через погруженную фурму, установленную в расплав стационарно. Для получения заметного эффекта на качестве расплава в этом случае требуется значительное время обработки (15–20 мин), что связано с образованием больших по объему и быстро всплывающих пузырей рабочего газа, исполь-

зуюемого неэффективно. При этом значительные объемы расплава остаются вне зоны обработки.

Использование вращающегося импеллера для введения рабочего газа в расплав позволяет по сравнению со стационарной продувкой раздробить струю газа на пузырьки меньшего размера и распределить их более равномерно по объему расплава.

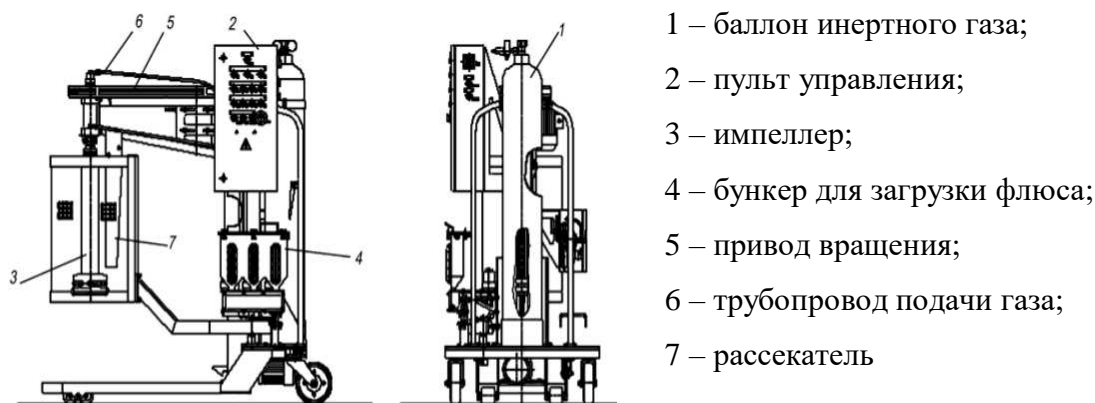


Рисунок 7 – Схема установки продувки расплава П1873.00.000

На (рис. 7) показана схема установки, предназначенной для обработки расплава непосредственно в раздаточной печи (тигле). Установка мобильна в передвижении от одного рабочего места к другому и может быть использована также для комплексной обработки расплава инертными газами с одновременным введением в расплав порошковых флюсов [11].

Рафинирование хлористыми солями. Для рафинирования чаще применяют хлористый цинк, хлористый марганец, хлористый алюминий и др.

Хлористые соли взаимодействуют с алюминием по реакции:



Пузырьки хлористого алюминия, поднимаясь на поверхность расплава, увлекают взвешенные неметаллические включения; внутри пузырьков диффундирует растворенный в металле водород, происходит очистка расплава. По

окончании перемешивания расплаву дают отстояться в течение 10–45 мин при 720–730 °С для удаления мелких пузырьков газа

Рафинирование хлоридами ведут в печах или ковшах с малой удельной поверхностью расплава. В печах с небольшим по высоте слоем расплава рафинирование хлоридами малоэффективно. По уровню очистки от неметаллических включений и газа обработка хлоридами уступает продувке хлором.

Очистка алюминиевых расплавов флюсами применяется при плавке литейных и деформируемых сплавов. Для рафинирования используют флюсы на основе хлористых солей щелочных и щелочноземельных металлов с добавками фтористых солей — криолита, плавикового шпата, фтористых натрия и калия [12].

4.4.2 Неадсорбционные методы рафинирования

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

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.

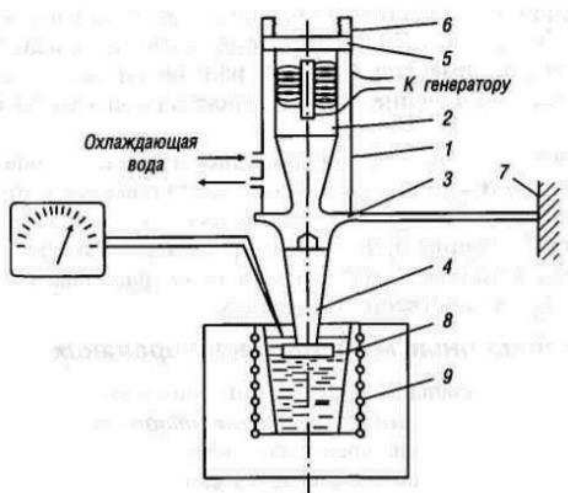
Упругие колебания, получаемые при помощи магнитострикционного излучателя частотой 8–10 кГц, были использованы для дегазации оптического стекла. Ультразвуком обрабатывали сплавы алюминия с содержанием магния 5–7%. При этом был применен способ дегазации расплавов путем наложения постоянного магнитного поля на высокочастотное поле индукционной печи в которой расплавляли металл. При таком способе обработки в расплаве возникали интенсивные колебания под действием электродинами-

ческих сил. 19 что обеспечивало полную дегазацию расплава за 30 – 60 мин без интенсивного перемешивания [13].

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

После окончательного рафинирования отводят головку прибора, выдерживают расплав в течение 10–15 мин, снимают шлак и производят разливку [14].

Агрегат УЗГ-200 (рис. 8) предназначен для рафинирования 150–200 кг расплава. При большей массе расплава необходимо увеличить число одновременно работающих преобразователей.



- 1 – кожух;
- 2 – магнитный преобразователь с обмоткой;
- 3 – концентратор;
- 4 – вибратор с резьбовым креплением;
- 5 – резиновый амортизатор;
- 6 – сифон;
- 7 – крепление узла колебаний, опора;
- 8 – тигель с расплавом;
- 9 – печь сопротивления

Рисунок 8 – Схема Агрегат УЗГ-200 рафинирования расплава с применением ультразвука – введения упругих колебаний в расплав

Применение ультразвуковой дегазации с использованием нашей установки при литье алюминиевых сплавов, более чем в восемь раз снижает концентрацию в них водорода, что уменьшает вероятность появления в готовых изделиях дефектов типа пористости, расслоений, несплошности в сварных швах и т. д.

Созданная установка позволяет проводить обработку жидких металлов, в том числе чугуна и стали, практически в любых условиях – это касается и

заливки в литейные формы, и разливки в изложницы, и непрерывной разливки металла [14].

Рафинирование электрическим током. 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 газосодержание 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.

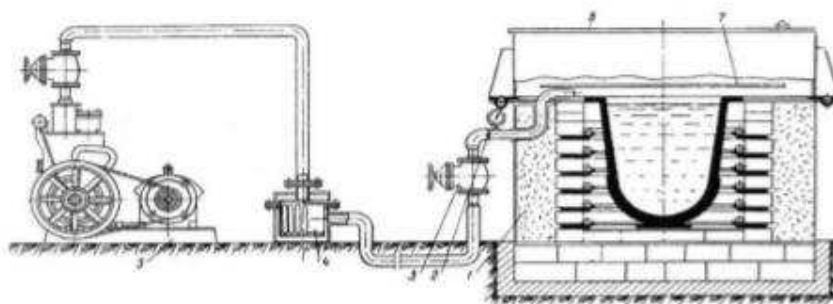
Оказалось, что сплавы, не поддавшиеся дегазации постоянным электрическим током, после введения натрия или лития быстро (в течение нескольких минут) дегазировались. Это объясняется взаимодействием обоих металлов с водородом, находящимся в неионизированном состоянии, с образованием гидридов (MeH); концентрация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

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 влия-

ние постоянного электрического тока на удаление водорода и расплава. Им был установлен характер влияния на степень дегазации температуры расплава и плотности тока. Малая плотность ток; (0,3–1 А/см²) обуславливает преимущественно диффузионное удаление водорода, большая плотность (3 А/см²) – через стадию образования пузырьков. Наименее благоприятной является промежуточная плотность тока на катоде (1–3 А/см²), поскольку она способствует ассоциации водорода в молекулы и возвращению их в расплав конвекционным потоком, что ухудшает дегазацию сплава [15].

Рафинирование в вакууме. Вакуумная обработка алюминиевых сплавов позволяет значительно снизить содержание газов и твердых неметаллических включений в силуминах и других алюминиевых сплавах.

Процессы диффузионного и пузырькового выделения газов при рафинировании литейных алюминиевых сплавов в вакууме аналогичны процессам, протекающим в вакуумном миксере для деформируемых сплавов. Выделение пузырьков водорода способствует очистке расплавов от неметаллических включений. Установка для вакуумирования расплавов в раздаточных печах ВРП – 1 представлена на рисунке 9.



1 – вакуумная раздаточная печь; 2 – вакуумметр; 3 – вентиль; 4 – фильтр вакуумной системы; 5 – вакуумный насос; 6 – сварная крышка; 7 – экран

Рисунок 9 – Схема установки для вакуумирования (ВРП-1)

Вакуумная раздаточная печь сконструирована на основе тигельной печи сопротивления. Уплотнение тоководов грибового типа сделано посредством фторопластового грибового уплотнителя. Мощность печи 50 кВт,

напряжение 380 В. Емкость тигля 250 кг по алюминию. Вакуумная система состоит из вакуум – провода, вакуумных насосов, фильтров, вентилях, манометров. Перед созданием вакуума на раздаточную печь устанавливают герметизированную крышку, уплотняемую посредством вакуумной резины.

Из плавильной индукционной печи металл заливают в предварительно нагретую раздаточную печь. С поверхности металла снимают шлак и оксидную пленку. После этого рекомендуется насыпать слой сухого рафинирующего флюса (0,1–0,3 % к массе расплава). На раздаточную печь и устанавливают герметизированную крышку. Включают печь и сообщают ее с вакуумом. Электрический нагрев обеспечивает постоянство температуры металла при вакуумной обработке. Чтобы создать необходимые условия для роста пузырьков, требуется максимально быстро снижать давление от атмосферного до 1 мм рт.ст., поэтому одновременно включают в работу два насоса ВН - 1Г. Необходимый вакуум создается за 1–2 мин.

Температура расплава в процессе рафинирования 730–760 °С. В течение 10–15 мин расплав рафинируется при остаточном давлении 1–10 мм рт.ст. Температуру и продолжительность вакуумирования устанавливают в зависимости от массы и степени загрязненности жидкого металла, а также от характера отливаемых изделий.

После вакуумирования расплава выдерживают в течении 10–15 мин вследствие продолжающегося ещё выделения газов и для отстаивания неметаллических включений. Затем с поверхности сплава удаляют шлак, металл осторожно перемешивают, после чего используют для литья.

Основные требования к вакуумным установкам:

– Остаточное давление в вакуумной установке не должно превышать 10 мм рт.ст.

– Натекание воздуха с систему печи при герметизации не должно превышать 0,1 мл/с.

– После вакуумирования требуется выстаивание сплава в течение 5 – 10 мин для всплывания газовых и окисных включений. Падение температуры при этом не должно превышать 10 град.

При несоблюдении этих требований эффект рафинирования значительно снижается [15].

Рафинирование продувкой аргоном. Может осуществляться в раздаточной тигельной печи сопротивления или в разливочном ковше. Установка для рафинирования сухим газообразным аргоном состоит из баллона с газообразным аргоном чистой марки А по ГОСТ 10157 – 62, редуктора типа РК – 25, бульбера сечением 1/2 дюйма со смещенным наконечником, резинового шланга высокого давления сечением 8 мм.

Процесс деганизации состоит в следующем. Включают редуктор баллоне с аргоном на минимальный расход газа. Наконечник бульбера предварительно должен быть подогрет до температуры не менее 300 °С. Наконечник бульбера медленно погружают в расплав на глубину 80 – 100 мм от дна тигля. Регулируя клапан редуктора, добиваются слабого бурления расплава от выходящего наружу газа. Необходимо следить, чтобы пузырьки на поверхности расплава не лопались, что вызывает разбрызгивание металла, а спокойны оседали.

Во время продувки металла аргоном наконечник бульбера перемещают по кругу, не касаясь стенок и дна тигля. Продувка аргоном продолжается 10 мин. После чего наконечник вынимают из расплава, не выключая подачу газа; закрывают клапаны редуктора и вентиль на баллоне.

С поверхности металла снимают шлак и отстаивают металл в течение 10 мин. После этого удаляют остатки шлака и замеряют температуру отрафированного металла. Если она соответствует температуре литья, то металл используется по назначению [15].

5 Плавильные устройства для получения алюминиевых сплавов

Для футеровки печей используются шамот или высокоглиноземистые материалы. В зависимости от назначения алюминиевых сплавов, масштаба производства и условий литейных цехов плавка производится в разнообразных плавильных печах, как топливных, так и электрических.

Индукционные тигельные печи промышленной частоты используются для плавки алюминия в крупносерийном производстве. Среднечастотные печи также используются для плавки алюминиевых сплавов. По принципу действия индукционных тигельных печей для плавки алюминия аналогичным печам, используемым для плавки чугуна и стали. Следует, однако, учитывать, что в связи с высокой электропроводностью алюминия электрический КПД печи значительно ниже, чем при плавке железоуглеродистых сплавов.

Индукционные каналные печи позволяют создать максимально благоприятные условия для плавки алюминия при низком расходе электроэнергии на плавку. Однако в процессе плавки алюминия на стенках канала печи откладывается тугоплавкий оксид алюминия, это приводит к необходимости очищать канал от нароста каждые 3 – 4 плавки. Снижение производительности печей и увеличение расхода электроэнергии на плавку, связанные с очисткой канала от нароста, является серьёзным недостатком, препятствующим широкому использованию таких печей для плавки алюминиевых сплавов.

Нагревательные элементы электрических печей сопротивления из хромоникелевых сплавов обеспечивают температуру в рабочем пространстве печи не выше 1100 °С, а керамические – не выше 1300 °С. При этом продолжительность плавки алюминия составляет 2,5...4,5 ч. Печи сопротивления в связи с низкой производительностью в современных литейных цехах используются, в основном, как раздаточные [3].

5.1 Индукционные печи

Приготовление алюминиевых сплавов для литья слитков под обработку давлением производится в индукционных канальных печах средней и большой емкости. Применяются трехфазные печи с горизонтальными каналами ИАК-6 (рис. 9). Питание печи осуществляется от трансформатора мощностью 1100 кВА со ступенями напряжения на низкой стороне, переключение которых позволяет регулировать мощность печи. По конструкции печи с горизонтальными каналами двухкамерные – большая камера является загрузочной, а меньшая – сливной. Камеры соединяются четырьмя каналами прямоугольного сечения, слегка наклоненными в сторону сливной камеры. Печь специализирована для плавки алюминиевых сплавов, в ней наиболее удобно производить чистку каналов.

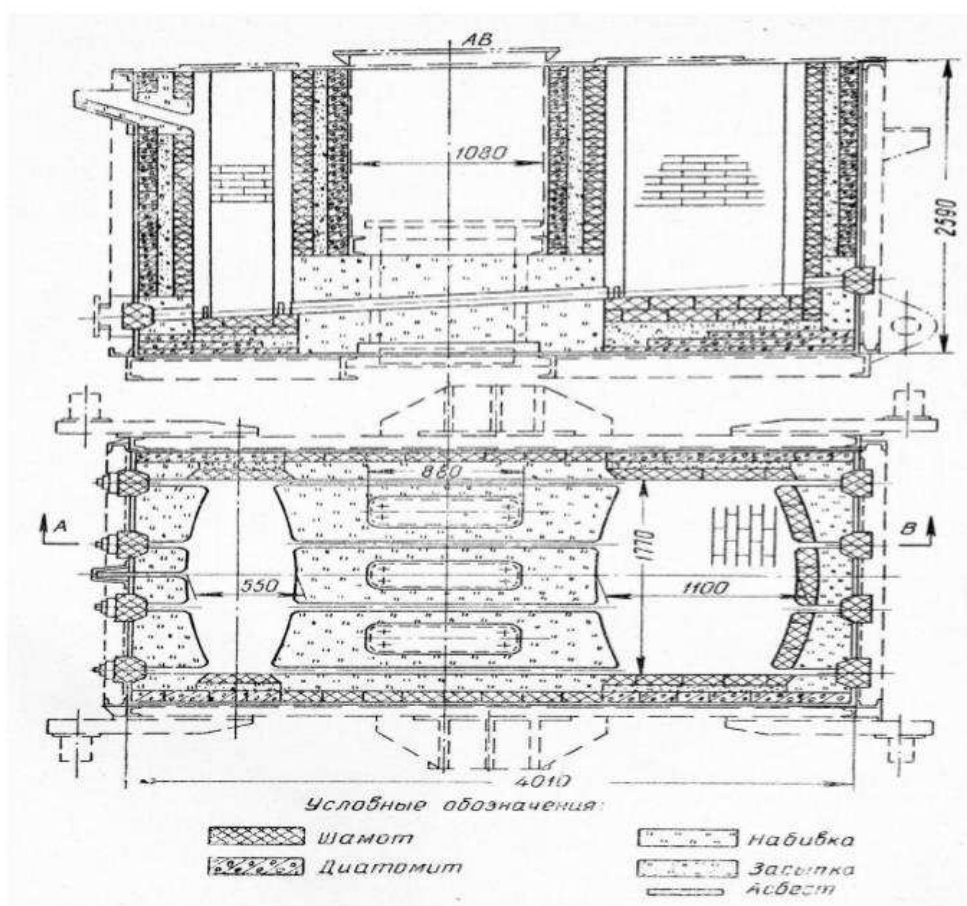


Рисунок 10 – Схема индукционной канальной печи ИАК-6 с четырьмя горизонтальными каналами для плавки алюминиевых сплавов емкостью 16 т

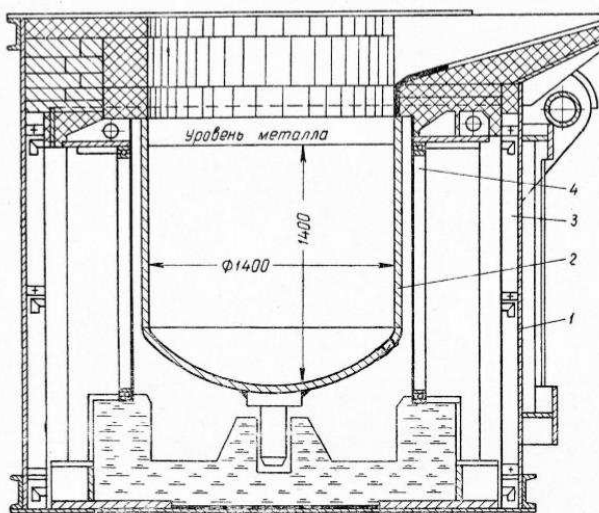


Рисунок 11 – Схема индукционной тигельной печи для плавки алюминиевых сплавов

5.1.1 Индукционные канальные печи

Электрическая схема канальной 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 (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 за счёт тепла, выделяемого вторичным током, индуцируемым в материал шихты (в набивных тиглях), а также и за счёт тепла, индуцированного в материал тигля (в железных тиглях).

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

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

Наличие в индукционных печах электродинамического перемешивания, регулирования температуры, автоматизации процесса, механизированная загрузка шихты, а также санитарно–гигиенические условия эксплуатации дают преимущество этим печам, нежели отражательным.

Индукционные каналные 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 печами индукционные каналные печи дают более чистый металл. При переплаве отходов в отражательных печах безвозвратные потери могут достигать 6 %, а в индукционных тигельных печах 2 %.

При непрерывном ведении процесса плавки каналные печи имеют преимущество перед тигельными, так как в индукционной каналной печи шихта плавится под слоем расплавленного металла.

В крупных цехах металлургических заводов применяют индукционные каналные печи большого объёма (от 6 до 16 т) с горизонтальными каналами.

Удельный расход электроэнергии (при доведении температуры расплава до $800 \text{ }^\circ\text{C}$) составляет в шеститонной печи 400–450 квт·ч на тонну и в 16–т – 425 квт·ч на тонну.

Индукционная каналная печь мощностью 1200 квт обладает емкостью 16 т и производительностью 3 т сплава в час.

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 таким образом, 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, снабжёнными механизмом подъёма и поворота, имеющий 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, маслonaпорной 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 каналные 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 це-

ликом 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 2–3 %.

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.

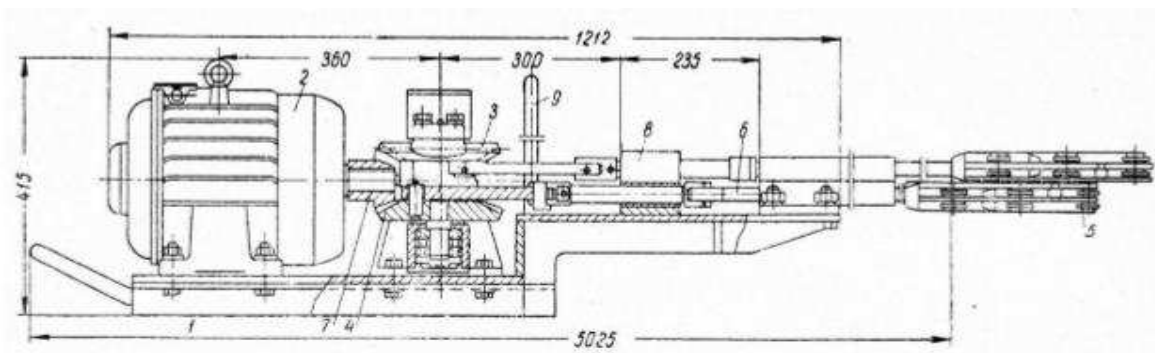
Зарастание каналов в печах ёмкостью 9–16 т происходит тем быстрее, чем больше содержится в сплавах таких элементов, как кремний, железо и магний, чем более загрязнена шихта, чем длительнее работа печи на пониженной мощности трансформатора.

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. 12) сокращает длительность чистки в 5–7 раз по сравнению с

ручной и обеспечивает заданное сечение каналов на весь срок службы конкретных печей [8].



1 – рама; 2 – электродвигатель; 3,4 – кривошпы; 5 – шарошки; 6 – штанги; 7 – коническая шестерня; 8 – втулка; 9 – труба

Рисунок 12 – 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 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.

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 мелкую.

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

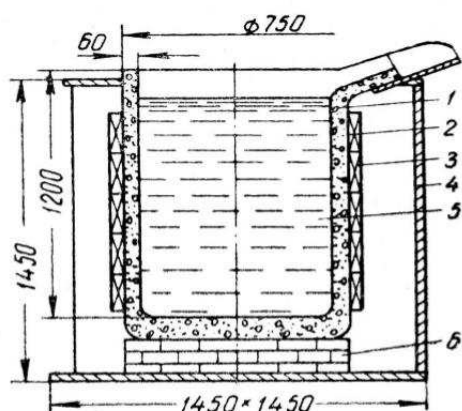
Потребляемая мощность печи ёмкостью 2.5 т составляет 800 кВт, печь ёмкостью 6 т потребляет 1300 кВт.

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 в цехах фасонного литья.

Схема печи ИПА–500 ёмкость 500 кг представлена на рисунке 12. Тигель для индукционных печей отливают из жаропрочного чугуна марки ЖЧСШ–5.5–0.1.



- 1 – бетонный тигель;
- 2 – слой миканита;
- 3 – индуктор;
- 4 – опорная рама;
- 5 – расплав;
- 6 – огнеупорная кладка

Рисунок 13 – Схема индукционной печи ИПА-500

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 копоти.

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 10,5 г/см² и к прекращению циркуляции.

При большой длительности отстаивания рекомендуется проводить его в миксере с толстостенным тиглем (не менее 70 мм), так как отстаивание 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 SiO₂, Fe₃O₄, Fe₂O₃ и Cr₂O₃, так как произойдёт разъедание стенок тигля или футеровки.



Хорошие результаты получаются при применении набивных тиглей из полуокислой массы на фосфатной связке. Такие тигли при правильном их изготовлении выдерживают до 3 тысяч плавов при непрерывной плавке в течение 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 растворешалке. 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 прокалывают. 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 настывки 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 [8].

5.2 Печи сопротивления

Электропечи 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, обусловливаемая 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.

Электропечи сопротивления имеют различную ёмкость – от 0,5 т до 20 т, благодаря чему их можно применять 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 13 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 от-

крытые 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.

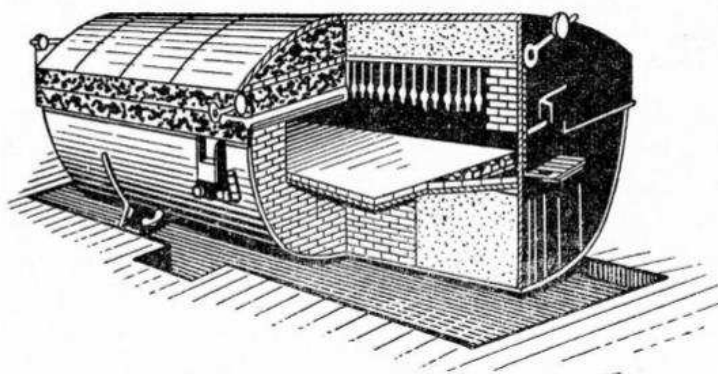


Рисунок 14 – Схема электропечи типа САН

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.

Печи сопротивления снабжены лёгкой в средней части стенки печи.

Наклон печи осуществляется двигателем при помощи 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 составляет 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 химического 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 [8].

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, с учётом малого объёма производства, выбираем плавильно-раздаточную печь САТ-0,25 с графитовым тиглем, широко применяемую на практике.

Кожух сварной, в виде цилиндра, из листового проката. Футеровка пода электропечи выполнена из огнеупорного и теплоизоляционного кирпича, футеровка боковой поверхности - из волокнистого рулонного материала и секторного огнеупорного кирпича. Между тиглем и футеровкой устанавливается выемной нагревательный блок, состоящий из цилиндрического

кожуха с гребенками, который защищает нагреватели от попадания на них алюминия в случае прорыва тигля. В прорези гребенок вставлены керамические втулки, в которые устанавливаются спиральные нагреватели, представляющие собой трехфазную нагрузку, соединенную в "звезду".

Крышки электропечи выполнены из листового проката, зафутерованы волокнистыми плитами. Во время работы крышки легко раздвигаются вручную по верхнему листу электропечи.

Электропечь САТ-0,25 (рис. 15) работает в ручном и автоматическом режимах.

Принцип действия электропечи: вручную сдвигаются крышки электропечи, в разогретый тигель заливается расплавленный алюминий. При достижении требуемой по технологии температуры производится разливка алюминия вручную с помощью раздаточной ложки или дозатором. При работе электропечи в качестве плавильной алюминиевые чушки, предварительно подогретые до 200 °С, загружаются в тигель. При этом электропечь должна быть разогрета до температуры 500–600 °С. Предельные отклонения установочных и габаритных размеров соответствуют ГОСТ 25346 – 89.

Контроль теплового режима в рабочем пространстве электропечи производится автоматически с помощью термопреобразователя и регулятора температуры, расположенного в шкафу управления. В настоящее время в шкафах управления используются приборы ТРМ-10, Термодат-12, Термодат-14, это цифровые программируемые приборы на базе современных однокристалльных микроконтроллеров, представленных на Рисунке 16. Шкафы управления новой комплектации отличаются более высокой точностью поддержания температуры в пределах ± 50 °С в рабочем пространстве электропечи за счет применения закона ПИД-регулирования, большей надежностью, меньшими эксплуатационными расходами и при этом значительно меньшей стоимостью. В шкафах применена надежная элементная база, электромеханические узлы сведены к минимуму, коммутация электроэнергии нагрева электропечи осуществляется тиристорными коммутаторами. В от-

личии от пускателей и контакторов тиристорные коммутаторы значительно надежнее и при эксплуатации не требуют технического обслуживания. Шкафы управления комплектуются пускорегулирующей и защитной аппаратурой для управления механизмами электрической печи. По желанию заказчика готовы доукомплектовать различными элементами автоматики [17].



Рисунок 15 – Внешний вид электропечи САТ–0,25



Рисунок 16 – Внешний вид шкафа управления электропечи САТ–0,25

Основные технические характеристики печи САТ–0,25 представлены в таблице 9 [18].

Таблица 9 – Основные технические данные и характеристики печи САТ–0,25

№	Наименование параметра	САТ–0,25
1	Установленная мощность, кВт	50
2	Номинальная температура расплава, ° С.	750
3	Номинальное напряжение, В: - питающей цепи; - цепей управления; - на нагревателях	380 220 115
4	Число фаз	3
5	Чистота тока, Гц.	50
6	Ёмкость тигля (по алюминию), тн.	0,25
7	Размеры тигля (наружные), мм: - диаметр - глубина	520 685
8	Номинальная потребляемая мощность, кВт	42
9	Мощность холостого хода, кВт	7
10	Скорость плавки при плавлении и перегреве, т/ч	0,125
11	Удельный расход электроэнергии (при расплавлении и перегреве до 750 ° С), кВт·ч/т	336
12	Время разогрева электропечи до установленного режима, час	2,5
13	Масса электропечи, кг	1100
14	Масса футеровки, кг	400
15	Масса шкафа управления, кг	118

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 плавок. 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 дугового разряда на поверхность материала. По спектру определяется качественный и количественный состав сплава.

Спектральный анализ алюминиевых сплавов проводят по ГОСТ 7727–75 [19].

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.

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 приготовленными эталонами для каждой марки сплавов.

Пробы могут иметь и другую форму, например – уширяющихся кверху небольших цилиндров. Разрезав такой цилиндр 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 параметров.

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 [20].

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. 17) 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:

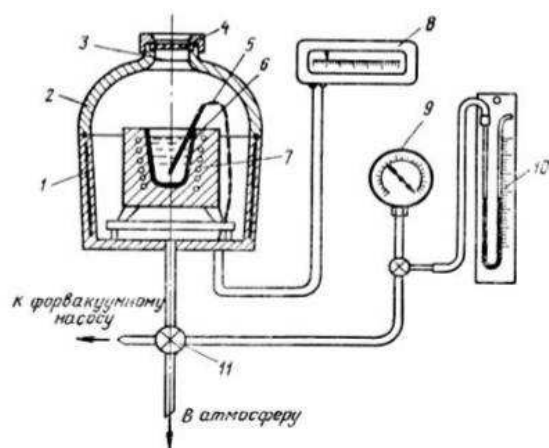
$$\log S = \frac{A}{T} + B + \frac{1}{2} \cdot \log P, \quad (7)$$

, 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.



- 1 – реостат;
- 2 – термоэлектрический преобразователь;
- 3 – смотровое окно с увеличительным стеклом;
- 4 – водоохлаждаемые крышка и корпус;
- 5 – вакуумметр;
- 6 – шланг вакуум-насоса;
- 7 – печь с расплавленным металлом

Рисунок 17 – Прибор для определения содержания N_2 в алюминиевых сплавах методом «первого пузырька»

Более новым способом определения газонасыщенности сплава является метод индекса плотности. Проба для определения индекса плотности на установке «ЗВТ» (рис. 18), в следующем порядке:

- 1 На площадке 1 подогреваются 2 тигля до температуры $250\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 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. 19).

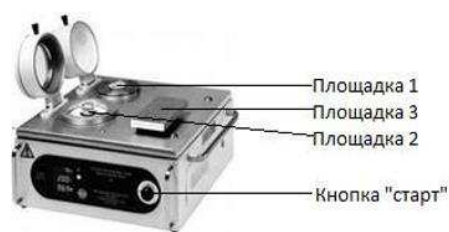


Рисунок 18 – Вакуумная установка для изготовления проб для определения индекса плотности «ЗВТ»



Рисунок 19 – Специализированные весы для определения плотности образцов алюминия методом гидровзвешивания «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 [МПа] – характеризует максимальную несущую способность материала, его прочность, предшествующую разрушению;

2 условный предел текучести $\sigma_{0.2}$ [МПа] (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 [МПа] (стальной шарик). Метод измерения твердости по Бринеллю регламентирован ГОСТ 9012-59 [21].

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 в [%.]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была изучена литература по плавке алюминиевых сплавов, а также производственные технологические процессы действующего завода, что позволило достигнуть цели:

Уметь разрабатывать технологические процессы плавки алюминиевых сплавов на действующих производствах.

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

- 1 Подготовке шихтовых материалов.
- 2 Выбору лигатур для легирования и модифицирования.
- 3 Температурным режимам плавки.
- 4 Выбору рафинирующего компонента.
- 5 Контролю качества сплава во время плавки.
- 6 Контролю готового сплава.

Была разработана технология получения сплава АК12М2МгН, которая состоит из следующих основных технологических операций:

- 1 Подбор и расчёт шихтовых материалов.
- 2 Разделка и сушка шихтовых материалов.
- 3 Установлен порядок загрузки шихтовых материалов: AlSi, AlMn, Al-Cu, AlTi и AlNi.
- 4 контроль плавления и температуры плавки.
- 5 Заливка образцов на экспресс – анализ.
- 6 Подшихтовка по результатам экспресс-анализа.
- 7 Рафинирование аргоном на установке DM300.
- 8 Контроль на газонасыщенность.
- 9 Заливка образцов на механические свойства.
- 10 Разливка металла по формам при температуре расплава 700–720 ° С.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Белов А. Ф. Алюминиевые сплавы. Промышленные деформируемые, спеченные и литейные алюминиевые сплавы: справ. / А. Ф. Белов, В. И. Добаткин, Ф. И. Квасов [и др.]. – М: Металлургия, 1972. – 552с.

2 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.

3 Трухов А. П. Литейные сплавы и плавка: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / А.П. Трухов, А.И. Маляров. – М.: Издательский центр “Академия”, 2004. – 335 с.

4 Самошина М. Е. Белов Н. А. Савченко С.В. Цветные металлы / Самошина М. Е. Особенности фазового состава и микроструктуры поршневых силуминов АК12ММгН и АК12М2МгН. – 2012. – №9. – С. 90–94.

5 Лужникова Л.П. Материалы в машиностроении. Том 1 цветные металлы и сплавы: справ. под ред. / Л.П. Лужникова – М: Издательство «Машиностроение», 1967. – 304 с.

6 Черепанов, А. И. Литейные сплавы и плавка: метод. указания по лабораторным работам № 1-3/сост. Черепанов А.И. – Красноярск: Сибирский федеральный университет; Политехнический институт, 2007. - 24с.

7 Арбузов Б. А. Цветное литье. Легкие сплавы / Арбузов Б. А. Аристова Н. А. Колобнева И. Ф. – М: Машиностроение, 1966. – 391 с.

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

9 ГОСТ Р 53777-2010 Лигатуры алюминиевые, Технические условия – Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии – Москва: Стандартиформ 2012 – 7с.

10 Рафинирование алюминия хлором [Электронный ресурс]: Техническая библиотека – 2019. – Режим доступа:

<https://znaesh-kak.com/q/m/рафинирование-алюминия-хлором>.

11 Садоха М. А. Волочко А.Т Литье и металлургия / Садоха М. А. Рафинирование алюминиевых сплавов инертными газами. – 2012. – №3. – С. 69–71.

12 Рафинирование расплавов хлористыми солями [Электронный ресурс]: Техническая библиотека – 2017–2019. – Режим доступа:

https://studref.com/526867/tehnika/rafinirovanie_rasplavov_hloristymi_solyami.

13 Альгман М. Б. Вакуумирование алюминиевых сплавов: М. Б. Альгман, Е. Б. Глотов, В. А. Засыпкин, Г. С. Макаров. – Москва : «Металлургия» 1977. - 240 с.

14 Ультразвуковая обработка расплава [Электронный ресурс]: Техническая библиотека – 2017–2019. – Режим доступа:

https://studwood.ru/2143452/tovarovedenie/ultrazvukovaya_obrabotka_rasplava.

15 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 Н. В. – Новокузнецк, 2007. – 123с.

16 Цыганов, В.А Плавка цветных металлов в индукционных печах: М.: Издательство” Металлургия”, 1974. – 246с.

17 Печи тигельные стационарные [Электронный ресурс]: Техническая библиотека – 2019. – Режим доступа:

<http://www.electropech.biysk.ru/epch.phtml?tree=3&ind=17>.

18 Сварочное и электротермическое оборудование [Электронный ресурс]: Техническая библиотека – 2019. – Режим доступа:

https://www.induktor.ru/catalog/pechi_dlya_plavki_metalla/pechi_soprotivleniya_sat/elektropechi_soprotivleniya_sat.htm.


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

20 Контроль газонасыщенности металлов и сплавов [Электронный ресурс]: Техническая библиотека – 2010–2014. – Режим доступа: <http://www.tehlib.ru/tpip/kontrol-gazonasychnosti-metallov-i-splavov.html>.

21 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
(подпись)

« ____ » _____ 2019 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Направление 22.04.03.01 «Материаловедение и технология материалов»


Разработка технологии получения сплава АК12М2МгН

Научный руководитель


(Подпись, дата)

А.И. Черепанов

Выпускник


(Подпись, дата)

Р.М. Соболев

Нормоконтроль


(Подпись, дата)

Л.А. Свечникова

Красноярск 2019