



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Кафедра «Металлургия черных и цветных сплавов»

**ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК
ИЗ СПЛАВОВ
ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ**

Лабораторный практикум

**Минск
БНТУ
2018**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Металлургия черных и цветных сплавов»

ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВОВ
ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Лабораторный практикум
для студентов специализации 1-42 01 01-01 01
«Литейное производство черных и цветных металлов»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области металлургического оборудования и технологий*

Минск
БНТУ
2018

УДК 621.74:669.2/.8(076.5)(075.8)

ББК 34.61я7

П80

Составители:

С. П. Задруцкий, Б. М. Неменёнок

Рецензенты:

кафедра «Металлургия и литейное производство» Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого (заведующий кафедрой – кандидат технических наук, доцент *Ю. Л. Бобарикин*); кандидат технических наук, доцент *М. А. Садоха*

Производство отливок из сплавов цветных металлов: лабораторный практикум для студентов специализации 1-42 01 01-01 01 «Литейное производство черных и цветных металлов» / сост.: С. П. Задруцкий, Б. М. Неменёнок. – Минск: БНТУ, 2018. – 54 с.
ISBN 978-985-550-862-6.

Лабораторный практикум предназначен для закрепления теоретических знаний, полученных при изучении курса «Производство отливок из сплавов цветных металлов», а также для приобретения практических навыков плавки сплавов цветных металлов, оценки структуры и свойств цветных металлов и сплавов, приобретения навыков в разработке технологического процесса изготовления отливок.

УДК 621.74:669.2/.8(076.5)(075.8)

ББК 34.61я7

ISBN 978-985-550-862-6

© Белорусский национальный технический университет, 2018

Содержание

Введение	3
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ	5
Лабораторная работа № 1. Рафинирование алюминиевых сплавов	5
Лабораторная работа № 2. Модифицирование первичного зерна алюминиевых сплавов	15
Лабораторная работа № 3. Модифицирование эвтектики и первичного кремния в силуминах	22
Лабораторная работа № 4. Рафинирование и упрочнение сплавов системы алюминий-магний и магний-алюминий	29
Лабораторная работа № 5. Влияние интервала кристаллизации и скорости охлаждения на плотность отливок из медных сплавов	33
Лабораторная работа № 6. Раскисление меди	37
Лабораторная работа № 7. Модифицирование медных сплавов	44
Лабораторная работа № 8. Изучение процесса рециклинга цинка и его сплавов	48
Литература	54

ВВЕДЕНИЕ

В лабораторном практикуме представлены работы по профилирующему курсу «Производство отливок из сплавов цветных металлов». Практически все они носят исследовательский характер, содержат теоретические сведения и методики их выполнения. Работы охватывают широкий спектр вопросов, связанных с технологией плавки и литья из основных сплавов цветных металлов.

В лабораторном практикуме особое внимание уделено рафинированию и модифицированию цветных сплавов, как основным путям повышения служебных характеристик отливок.

Перед началом занятий со всеми студентами проводится беседа о задачах лабораторных занятий и их организации, а также общий и индивидуальный инструктаж по технике безопасности.

Студенты приступают к каждой лабораторной работе только после ознакомления с литературой по изучаемому вопросу и сдачи коллоквиума преподавателю.

Пропущенные лабораторные работы выполняются в дополнительное время согласно расписанию, составленному кафедрой.

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа № 1

РАФИНИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Цель работы

Изучить влияние различных способов рафинирования алюминиевых сплавов и провести их сравнительную оценку.

Теоретическая часть

При плавке на воздухе алюминиевые сплавы окисляются и насыщаются водородом. Для предохранения от окисления и насыщения водородом плавку ведут под слоем флюса в слабо-окислительной атмосфере. В качестве покровного флюса при плавке сплавов, содержащих не более 2 % магния, используют смесь хлоридов натрия и калия (45 % NaCl и 55 % KCl) в количестве 1–2 % от массы шихты. Чем больше в шихте содержится мелких отходов, тем больше берется флюса. Рекомендуют также флюсы, в состав которых, кроме указанных хлоридов, вводят фтористые соли (39 % NaCl, 50 % KCl, 6,6 % Na_3AlF_6 , 4,4 % CaF_2). Для алюминий-магниевого сплава в качестве покровного флюса используют карналлит ($\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl}$) и смесь карналлита с хлористым барием и фтористым кальцием. В тех же случаях, когда применение флюса невозможно, защиту от окисления осуществляют введением в расплав 0,03–0,05 % бериллия.

Особенно вредно взаимодействие алюминиевых расплавов с парами воды, так как оно способствует одновременному загрязнению их оксидами и водородом. Для предотвращения этого принимают меры по удалению влаги из футеровки плавильных печей и различных разливочных устройств, покровных, рафинирующих и модифицирующих флюсов; прокаливают и окрашивают плавильно-разливочный инструмент; очищают

и сушат шихтовые материалы. Однако, как бы тщательно ни проводилась бы плавка на воздухе, алюминиевые расплавы всегда оказываются загрязненными оксидами, нитридами, водородом, включениями шлака и флюса. Поэтому сплавы подвергаются рафинированию.

Неметаллические включения присутствуют в алюминиевых расплавах как в виде неравномерно распределенных по объему макроскопических крупных частиц и плен, так и в виде тонкодисперсных взвесей, распределенных по объему относительно равномерно.

Крупные неметаллические включения и пленки с локальным характером распределения наиболее вредны, так как в местах их нахождения ослабляется сечение отливки, образуются несплошности, приводящие к появлению течи, очагов коррозии, снижаются пластические свойства сплавов. Эти включения, являясь концентраторами напряжений, способствуют растрескиванию отливок. Тонкодисперсные неметаллические включения облегчают образование газовых пузырей при охлаждении газонасыщенных расплавов.

Наличие в отливках растворенных газов – причина образования газовой пористости. Предельно допустимое содержание водорода в алюминиевых сплавах $0,1-0,3 \text{ см}^3/100 \text{ г}$.

Пористость деформируемых сплавов опасна тем, что при обработке слитков давлением она способствует развитию расслоений в зонах течения металла. Расслоения резко снижают пластичность изделий и поэтому совершенно недопустимы в нагруженных деталях.

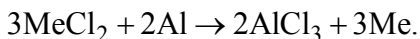
Технология рафинирования

Очистку алюминиевых сплавов от взвешенных неметаллических включений и растворенного водорода осуществляют продувкой расплавов инертными и активными газами, обработкой хлористыми солями и флюсами, вакуумированием и фильтрованием через сетчатые и зернистые фильтры.

Очистка расплавов продувкой инертными или активными газами основана на протекании двух процессов – диффузии растворенного газа в пузырьки продуваемого рафинирующего газа и флотации ими неметаллических включений. Рафинирование осуществляется тем успешнее, чем меньше размер пузырьков продуваемого газа и равномернее их распределение по объему расплава. В этой связи заслуживает особого внимания способ обработки расплавов инертными газами с использованием пористых керамических вставок.

Для продувки алюминиевых расплавов используют азот, аргон и их смесь с 5–10 % хлора или фреона. Газы должны быть очищены от влаги и кислорода. Наибольший эффект рафинирования достигается при использовании хлора. Продувку азотом или аргоном ведут при 720–730 °С. Длительность продувки зависит от объема расплава и задается в пределах 5–20 минут, расход газа составляет 0,3–1 м³ на тонну расплава.

Обработка расплавов хлористыми солями основана на их летучести, термической диссоциации и способности вступать в обменные реакции с компонентами сплава с выделением паробразных и газообразных продуктов реакции, оказывающих рафинирующее действие на расплав, аналогичное продувке хлором. Для рафинирования применяют хлористый цинк, хлористый марганец, гексахлорэтан и другие хлориды. Ввиду гигроскопичности, хлористые соли перед рафинированием подвергают сушке (MnCl₂) или переплавке (ZnCl₂). В расплав их вводят в количестве 0,05–0,2 % при температуре расплава 700–730 °С; гексахлорэтан – в количестве 0,3–0,7 % при температуре 740–750 °С в несколько приемов. «Колокольчик» с солью погружают на дно расплава и для более полной очистки непрерывно перемешивают до прекращения выделения газообразных продуктов реакции. При этом 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 и происходит очистка расплава. По окончании перемешивания расплаву дают отстояться в течение 10–15 минут при температуре 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 введением хлоридов малоэффективно. Лучшие результаты в таких случаях дает рафинирование флюсами.

Очистка флюсами основана на удалении взвешенных включений из расплава в результате адгезии, растворения или химического взаимодействия с расплавленными солями. Главную роль в процессе флюсового рафинирования играют поверхностные явления. Флюсы уменьшают адгезию включений к металлу и под действием межфазных сил включения самопроизвольно переходят во флюс. Эффективность очистки тем выше, чем лучше расплавленный флюс смачивает неметаллические включения, чем больше краевой угол смачивания включений металлическим расплавом.

В практике плавки большей части алюминиевых сплавов для рафинирования используют флюс, состоящий из 47 % KCl, 30 % NaCl, 23 % Na₃AlF₆. Для очистки сплавов алюминия с магнием применяют флюсы на основе карналлита с 10–20 % CaF₂ или K₃AlF₆. Предварительно переплавленные и высушенные флюсы в количестве 0,5–1 % массы металла засыпают на поверхность расплава при температуре 700–750 °С. Затем флюс в течение 3–5 минут энергично замешивают в расплав, удаляют шлак и дают расплаву отстояться 10–15 минут. После повторного удаления шлака расплав используют для заполнения литейных форм. При обработке больших объемов металла флюс вводят с помощью «колокольчика» на дно расплава.

Более высокий уровень дегазации расплавов получают при вакуумировании. Сущность этого вида рафинирования состоит в том, что выплавленный по обычной технологии сплав переливают в ковш, который затем помещают в вакуумную камеру, где выдерживают при остаточном давлении 10^2 – 10^3 Па в течение 10–30 минут. Температура расплава при этом поддерживается на уровне 720–740 °С.

Общим недостатком перечисленных способов рафинирования является то, что они осуществляются на такой стадии технологического процесса, которая не исключает последующего загрязнения расплава во время литья.

В последние годы для очистки алюминиевых сплавов все в больших масштабах применяют фильтрование. Сущность метода состоит в пропускании расплавов через сетчатые, зернистые или жидкие фильтры. Сетчатые фильтры (стеклоткань, металлическая сетка) широко применяют для очистки расплавов от крупных включений и плен. Они отделяют те включения, размер которых больше размера ячейки сетки. Фильтры из стеклоткани устанавливают в раздаточных тиглях, литниковых каналах, распределительных устройствах и кристаллизаторах машин непрерывного литья слитков. Фильтры в 1,5–2 раза снижают содержание неметаллических включений в изломах технологических проб.

Значительно больший эффект очистки от неметаллических включений дают зернистые фильтры, представляющие собой слой фильтрующего материала из зерен размером 5–10 мм в поперечнике, высотой 110–150 мм. Отличительной особенностью таких фильтров является большая поверхность соприкосновения с металлом и наличие длинных тонких межзеренных каналов переменного сечения. Металл в таких фильтрах перемещается с переменной скоростью, что усиливает эффект очистки.

Очистка металлических расплавов от взвешенных включений при фильтровании через зернистые фильтры обусловлена механическими и адгезионными процессами. Первым из них

принадлежит решающая роль при отделении крупных включений и плен, вторым – при отделении тонкодисперсных включений. Зернистые фильтры задерживают лишь те включения, размер которых превышает эффективный диаметр межзеренных каналов. Чем меньше диаметр зерен фильтра и плотнее их укладка, тем выше уровень очистки расплавов от включений и плен. С увеличением толщины слоя фильтра эффективность очистки увеличивается.

Эффективность очистки зернистыми фильтрами возрастает по мере ухудшения смачивания фильтра и включений расплавом.

Для изготовления фильтров используют шамот, магнезит, алунд, кремнезем, сплавы хлористых и фтористых солей и другие материалы. Полнота удаления взвешенных неметаллических включений зависит от природы материала фильтра, размера зерна, толщины фильтрующего слоя и металлостатического напора, определяющего скорость фильтрации. Максимальный эффект очистки получают при использовании мелкозернистых (4–6 мм в поперечнике) фильтров из материалов, характеризующихся наиболее высокой работой адгезии к неметаллическим включениям. Зернистые фильтры, так же как и сетчатые, устанавливаются на пути перелива металла из миксера в форму. Заливку ведут таким образом, чтобы верхний уровень фильтра был покрыт слоем металла толщиной 10–15 мм, а истечение металла после фильтра происходило под затопленный уровень. В последние годы широкое применение нашли корундовые фильтры в виде плит толщиной 50 мм с фиксированным размером межзеренных каналов и трубчатые керамические фильтры с диаметром пор около 200 мкм, обеспечивающих глубокую очистку алюминиевых расплавов от тонкодисперсных неметаллических включений.

Самым эффективным методом очистки алюминиевых расплавов от плен и крупных неметаллических включений является электрофлюсовое рафинирование. Оно предусматривает

пропускание струй металла диаметром 5–7 мм через слой расплавленного хлоридно-фторидного флюса толщиной 100–150 мм с наложением поля постоянного тока силой 600–800 А и напряжением 6–12 В с катодной поляризацией металла.

Контроль рафинирования

Наличие крупных включений и плен определяют по пробе Добаткина-Зиновьева. Для этой цели из исследуемого расплава отливают (или вырезают из слитка) заготовку диаметром 50 мм и длиной 150 мм. Заготовку в нагретом состоянии осаживают по длине в «галету» толщиной 30 мм (пятикратная осадка). После этого по плоскости, перпендикулярной направлению осадки, «галету» надрезают и ломают. По количеству и площади неметаллических включений в изломе судят о чистоте расплава. Удовлетворительным считается такой расплав, площадь неметаллических включений в котором по технологической пробе не превышает $0,05 \text{ мм}^2$ на квадратный сантиметр площади излома.

Качественную оценку загрязненности расплавов тонкодисперсными взвесями и водородом производят с помощью структурной пробы А. Г. Спасского и Е. Н. Кулагиной. Для этого небольшую порцию расплава заливают в подогретую до 150–200 °С графитовую изложницу. Во время кристаллизации на поверхности пробы наблюдаются точечные разрывы оксидной пленки, представляющие собой следы пузырьков выделяющегося газа. Сравнивая пробу с эталонами, по числу разрывов судят о степени газонасыщенности. Загрязненность тонкодисперсными взвесями оценивают размером макрозерна на поверхности пробы. Малому содержанию взвесей соответствует крупное зерно. Степень загрязненности определяется сопоставлением структурной пробы с эталонами.

О содержании газов в расплаве можно также судить по вакуум-пробе. Для вакуум-пробы прокаленным графитошамот-

ным тиглем марки 02 отбирается небольшая порция жидкого сплава при температуре 720–730 °С. Этот металл охлаждают при пониженном давлении под вакуумным колпаком до полной кристаллизации. Уменьшение внешнего давления до 1000 Па, которое контролируется с помощью манометра, способствует более полному выделению растворенных газов. Под действием давления выделяющихся газов поверхность металла в тигле приобретает выпуклое очертание. На поверхности разреза затвердевающего слитка наблюдаются газовые раковины. Сравнивая разрез вакуум-пробы с эталонами или определяя ее плотность, судят о степени газонасыщенности.

Оборудование, инструмент и материалы

Шахтная печь электросопротивления с автоматическим регулированием температуры, установка для получения вакуум-пробы, технические и аналитические весы с разновесами, опoki, графитошамотные тигли, набор плавильно-заливочного инструмента, набор формовочного инструмента, набор инструментов и материалов для изготовления и травления микрошлифов, силумин марки АК12ч или АК12пч, алюминий первичный А8 или А7, лигатуры алюминий-медь, алюминий-марганец, магний первичный Мг90 или Мг95, возврат сплавов АК9ч, АК7ч, АК12, хлористые соединения NaCl, KCl, MnCl₂, MgCl₂·KCl, C₂Cl₆, фтористые соли Na₃AlF₆, K₃AlF₆, K₂SiF₆, CaF₂, баллон с азотом, устройство для продувки расплава азотом.

Порядок проведения работы

Работа рассчитана на 4 часа.

1. Ознакомиться с оборудованием и приборами, изучить инструкцию по технике безопасности.
2. Рассчитать и взвесить шихту для приготовления 1,5 кг одного из сплавов. Марку сплава, виды и количество используемых в шихте отходов указывает преподаватель.

3. В нагретый тигель, установленный на плавильной печи, загрузить алюминий, отходы, лигатуру и расплавить их. Контролировать температуру.

4. При температуре 700–720 °С ввести в расплав магний. Навеску магния погружают на дно с помощью «колокольчика».

5. По указанию преподавателя провести качественную оценку содержания водорода по вакуумной пробе. Плотность вакуум-пробы определяют методом гидростатического взвешивания с точностью до 0,01 г и рассчитывают по формуле

$$\rho = \frac{P_1 \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}}{P_1 - P_2}, \text{ кг/м}^3,$$

где P_1, P_2 – масса образца на воздухе и в воде, кг;

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ – плотность воды, кг/м³.

6. Провести дегазацию сплава одной из солей по указанию преподавателя. Навеску соли вводить на 2/3 глубины расплава с помощью «колокольчика». Выдержать расплав в течение 10–15 минут и удалить с его поверхности шлак. Операцию рафинирования и последующую выдержку проводить при температуре 720–740 °С. Удалить шлак и определить плотность вакуум-пробы.

7. Провести рафинирование сплава флюсом, состав которого выбрать по согласованию с преподавателем. Флюс засыпать на поверхность металла и интенсивно замешать в объеме расплава ложкой. Температура рафинирования 720–740 °С. Удалить шлак и определить плотность вакуум-пробы.

8. Провести дегазацию расплава азотом при температуре 720–740 °С под давлением 0,05 МПа. Удалить шлак и определить плотность вакуум-пробы.

Результаты измерений и их обработка

Результаты замеров плотности вакуумных проб и исследования их пористости свести в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Результаты измерений

Вид обработки расплава	Плотность вакуумной пробы, кг/м ³	Пористость вакуумной пробы, %	Число пор, штук на 1 см ² , шлифа размером, мм			Балл пористости
			0,1	0,2–0,5	0,6–1,0	

Содержание отчета

1. Расчет шихты для выплавки сплава заданного состава.
2. Краткое описание технологии плавки и рафинирования расплава.
3. Методика определения содержания газов.
4. Результаты исследований.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какими способами осуществляют дегазацию расплавов?
2. В чем сущность дегазации вакуумированием? При каких обстоятельствах ее осуществляют?
3. Какова сущность механизма дегазации продувкой расплавов инертными и активными газами, обработкой хлоридами?
4. Сколько рафинирующего газа и хлоридов расходуется на тонну расплава?
5. Какие хлориды используют для рафинирования расплавов? Какую подготовку они проходят перед введением в расплав?
6. Какой из способов дегазации наиболее эффективен?
7. Какие методы используют для очистки расплавов от неметаллических включений? Какой из них наиболее эффективен?
8. При каких температурах целесообразно проводить дегазацию и очистку от неметаллических включений расплавов хлористым цинком и хлористым магнием?

9. Какие методы контроля используют для оценки содержания неметаллических включений?

10. Какие параметры зернистых фильтров обеспечивают оптимальные условия очистки алюминиевых расплавов от крупных включений и плен?

11. Как отражается природа материала фильтра на эффективности очистки расплавов от неметаллических включений и плен?

12. Какой механизм лежит в основе очистки расплавов от дисперсных включений при фильтровании через зернистые фильтры?

13. В чем сущность электрофлюсового рафинирования?

Лабораторная работа № 2

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПЕРВИЧНОГО ЗЕРНА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Цель работы

Изучить влияние модификаторов первого рода на размер макрозерна алюминиевых сплавов и некоторые литейные свойства.

Теоретическая часть

Модифицирование первичного зерна алюминиевых сплавов производится с целью его измельчения. При модифицировании уменьшается анизотропия структуры и существенно возрастают технологические свойства алюминиевых сплавов – уменьшается склонность сплавов к образованию горячих трещин, изменяются форма и распределение усадочных дефектов. Улучшение комплекса литейных свойств сплавов в результате измельчения зерна обусловлено снижением температуры начала линейной усадки, т. е. температуры образования кристаллического каркаса в сплаве в интервале кристаллизации. Крупные кристаллы, представляющие собой в процессе

роста сильно разветвленные дендриты с осями первого, второго и третьего порядков, имеют большую поверхность контакта с расплавом. Отдельные ветви дендритов при температуре вблизи ликвидуса образуют кристаллический каркас, вызывающий начало линейной усадки и затрудняющий питание отливки. Измельчение макрозерна препятствует развитию их дендритного строения. В зернах хорошо модифицированного сплава различаются только оси первого и редко второго порядков. Модифицирование увеличивает жидкотекучесть сплавов и заполняемость формы вследствие уменьшения температуры нулевой жидкотекучести.

Механизм модифицирования. Измельчение макроструктуры алюминиевых сплавов осуществляется введением в расплав элементов, образующих с компонентами сплава тугоплавкие соединения ($TiAl_3$, $ZrAl_3$, TiB_2 и другие). При этом модификаторами следует называть элементы, вызывающие измельчение структуры при небольшом их содержании (менее 0,1 %).

Энергия образования зародыша, которая определяется межфазными свойствами контактирующих фаз, должна быть минимальной. Низкая энергия образования зародышей α -твердого раствора Al на границе Al– $TiAl_3$, Al– $ZrAl_3$ объясняется идеальным кристаллографическим соответствием плоскостей решеток $(100)_{TiAl_3} \parallel (100)_{Al}$, $(100)_{ZrAl_3} \parallel (100)_{Al}$, имеющих расхождение параметров не более 5 % в твердом состоянии. Физическое соответствие контактирующих фаз характеризуется равенством числа свободных электронов в пересчете на один атом (три электрона на один атом). Именно благодаря близости концентрации свободных электронов в зародыше и алюминиевом сплаве на их границе имеет место низкая межфазная энергия. В реальных условиях затвердевания центрами кристаллизации могут быть только фазы, зарождение кристаллов α -твердого раствора Al на которых происходит при переохлаждении не более нескольких градусов.

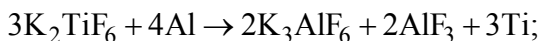
Благоприятные термодинамические свойства зародышей являются необходимыми, но недостаточными для получения стабильного эффекта модифицирования. Необходимо, чтобы центры кристаллизации выделялись в очень дисперсном виде (не более 1 мкм), образуя при этом устойчивую взвесь, не склонную к коагуляции и седиментационному расслоению во время длительной выдержки расплава в миксере и в процессе литья.

Алюминиды титана и циркония выделяются в виде сравнительно крупных кристаллов иглообразной формы, размеры которых сильно зависят от скорости охлаждения, перегрева, длительности выдержки расплава. Более дисперсные и стабильные интерметаллиды образуются при совместном введении титана и бора. Бор образует тугоплавкие, нерастворимые в алюминиевом расплаве соединения TiB_2 , AlB_2 , $(Ti,Al)B_2$, которые имеют размер менее 1 мкм и компактны по форме. В период кристаллизации на бориде выделяется слой алюминида титана, а на нем зарождаются кристаллы α -твердого раствора Al.

Технология модифицирования. В промышленности для модифицирования сплавов в большинстве случаев применяют титан или титан совместно с бором, которые вводят чаще всего в виде лигатуры $AlTi5B$ (5 % Ti, 1 % B). Соотношение $Ti : B = 5 : 1$ является оптимальным. Количество вводимого модификатора зависит от состава сплава, качества модифицирующей лигатуры, условий ее введения и режимов литья. В этой связи к лигатуре предъявляются определенные требования: в ней не должны встречаться крупные интерметаллиды, а их фазовый состав должен соответствовать заданному. Крупные интерметаллиды не растворяются в расплаве при его модифицировании и переходят в слиток, образуя затем соответствующие дефекты в полуфабрикатах.

Ввиду сложности приготовления лигатуры с тонкими выделениями интерметаллидов, распространен метод введения титана и бора с помощью солей. Для этой цели применяют смеси солей типа модифицирующего препарата «Зернолит»,

содержащего 55 % K_2TiF_6 , 30 % KBF_4 и 15 % C_2Cl_6 . Титан и бор образуются при обработке расплава в результате протекания следующих реакций:



Фтортитанат и фторборат калия целесообразно вводить в алюминиевый расплав в смеси с хлоридами натрия и калия (35 % $NaCl$, 33 % KCl , 20 % K_2TiF_6 , 10 % KBF_4), что позволяет увеличить степень усвоения модифицирующих элементов. Кроме того, модифицирующий флюс этого типа в процессе обработки расплава находится в жидком состоянии и дополнительно оказывает рафинирующее действие. Обработка расплава солями производится при температуре 720–750 °С. Расход флюсов составляет 0,2–1,0 % массы расплава. Аналогичные действия оказывает и фторцирконат калия (K_2ZrF_6).

Оборудование, инструмент и материалы

Шахтная печь электросопротивления с автоматическим регулированием температуры, потенциометр для измерения температуры расплава, переносная хромель-алюмелевая термопара, графитовая изложница диаметром 50 мм, технические и аналитические весы, прибор конструкции И. Ф. Большакова, полировальная установка, слесарные инструменты, набор плавильно-заливочного инструмента, набор инструментов и материалов для изготовления и травления макро- и микрошлифов, рукавицы, защитные очки, халат, силумин марки АК12ч или АК12пч, алюминий первичный А8 или А7, лигатуры: алюминий-медь, алюминий-марганец, магний первичный Мг90 или Мг96, возврат сплавов АК9ч или АК7ч, хлористые соединения $NaCl$, KCl , C_2Cl_6 , фтористые соли K_2TiF_6 , KBF_4 , K_2ZrF_6 .

Порядок проведения работы

Работа рассчитана на 4 часа.

1. Рассчитать и взвесить шихту для получения сплава заданного состава массой 5000 г. Загрузить шихту в горячий тигель, установить тигель в печь.

2. Рассчитать массу каждой порции одного из модификаторов, приведенных в табл. 2.1. Состав и количество модификатора согласовать с преподавателем.

Таблица 2.1

Модификаторы

№ п/п	Состав, %	Необходимое количество от массы металла, %
1	$55\text{K}_2\text{TiF}_6$, 30KBF_4 , $15\text{K}_2\text{ZrF}_6$	0,1–0,5
2	35NaCl , 35KCl , $20\text{K}_2\text{TiF}_6$, 10KBF_4	0,5–2,0
3	$100\text{K}_2\text{ZrF}_6$	0,2–0,8

3. Подготовить литейные формы для отливки образцов диаметром 50 мм на исследование макроструктуры и линейной усадки.

4. Отлить образцы из немодифицированного сплава при температуре 700–720 °С, 800–820 °С или 900–920 °С по указанию преподавателя.

5. Провести модифицирование сплава. Для этого ввести в расплав модификатор в виде смеси солей при температуре 700–750 °С и перемешать. После десяти минутной выдержки с поверхности расплава удалить шлак и при заданной температуре отлить образцы для исследования макроструктуры и определения величины ϵ и температуры начала линейной усадки $t_{\text{нлу}}$.

6. В остаток расплава ввести вторую порцию модификатора и повторить операции, перечисленные в пункте 5.

7. В остаток расплава ввести третью порцию модификатора и провести операции, перечисленные в пункте 5.

8. Определить величину и температуру начала линейной усадки. Промаркировать полученные образцы.

9. Изготовить микрошлифы. Травление микрошлифов проводить в «царской водке» или растворе следующего состава, %: 20–30 CuCl_2 , 70–80 H_2O , затем осветлить их концентрированной азотной кислотой. Из исходного образца с максимальным содержанием модификатора изготовить микрошлифы. Травить шлифы раствором Келлера.

10. Исследовать структуру образцов. Размер макрозерна определить на шлифах методом случайных секущих визуально и вычислить по формуле

$$d_3 = \frac{L}{N},$$

где L – длина секущей;

N – число зерен на секущей.

11. Зарисовать макро- и микроструктуры исходного и модифицированного сплавов.

Результаты наблюдений и их обработка

Результаты измерения представить в виде табл. 2.2.

Провести статистическую обработку результатов определения размера макрозерна пробы. Найти доверительный интервал при вероятности 0,95.

Построить графические зависимости d_3 , ε и $t_{\text{пл}}$ от количества модификатора.

Результаты наблюдений

Модификатор	Количество, %	d_3 , мм	ε , %	$t_{\text{нлу}}$, °С

Содержание отчета

1. Краткое описание теории и технологии модифицирования сплава
2. Таблицы.
3. Графики.
4. Рисунки микро-, макроструктуры до и после модифицирования.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие цели преследует модифицирование?
2. В чем состоит механизм модифицирующего действия переходных металлов?
3. Как оценивают эффект модифицирования?
4. На какие свойства алюминиевого расплава влияет модифицирование?
5. Какие элементы применяют для модифицирования макрозерна?
6. Какие соединения являются центрами кристаллизации алюминия?
7. В каком виде вводят модифицирующие элементы в расплав?
8. Какой состав имеет модифицирующий препарат «Зернолит»?

Лабораторная работа № 3

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ЭВТЕКТИКИ И ПЕРВИЧНОГО КРЕМНИЯ В СИЛУМИНАХ

Цель работы

Освоить технологию модифицирования силуминов. Определить зависимость величины переохлаждения сплава от скорости охлаждения.

Теоретическая часть

Силумины – наиболее распространенные литейные алюминиевые сплавы, обладающие хорошим сочетанием технологических и эксплуатационных свойств. Однако при литье доэвтектических силуминов в разовые формы или при получении толстостенных отливок литьем в кокиль из-за грубого выделения кремния в эвтектике невозможно обеспечить необходимый уровень механических свойств. В немодифицированном сплаве эвтектический кремний кристаллизуется в виде пластин, длина которых достигает 100 мкм. Такая форма кремния придает сплаву низкие пластические свойства, его разрушение идет по хрупкой фазе кремния при относительном удлинении 1–3 %. Поэтому доэвтектические силумины, содержащие более 6 % кремния, в целях измельчения выделений эвтектического кремния, подвергаются модифицированию.

Модифицирование осуществляют введением в расплав поверхностно-активных элементов (натрий, стронций, литий и др.), которые затрудняют рост пластин кремния. Пластинчатая форма кристаллов кремния переходит в компактную, почти равноосную, с длиной кристаллов кремния 2–5 мкм. Дисперсность кремния в эвтектике, которая характеризуется длиной кристаллов кремния, расстоянием между кристаллами или ветвями

дендритов, зависит также и от скорости охлаждения (кристаллизации) сплава.

Зависимость дисперсной структуры эвтектики от переохлаждения расплава при кристаллизации и содержания модификатора позволяют контролировать качество модифицирования расплава путем сопоставления кривых охлаждения, снятых до и после модифицирующей обработки. Например, при литье в песчаные формы хорошо модифицированная структура достигается при содержании в силумине 0,006–0,12 % Na, чему соответствует переохлаждение $\Delta t = 6\text{--}10$ °С. При меньшем переохлаждении структура сплава модифицирована недостаточно.

В сплавах заэвтектического состава необходимо измельчать первичные кристаллы кремния. Модифицирование достигается путем введения центров кристаллизации, например фосфида алюминия (AlP).

В производственных условиях для модифицирования микроструктуры алюминиевых сплавов используют модификаторы, приведенные в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Составы модификаторов и режимы модифицирования
алюминиевых сплавов

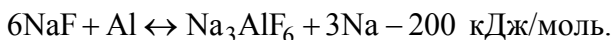
Но- мер смеси	Состав, %	Количество модифика- тора, %	Расчетное коли- чество модифи- цирующего эле- мента, %	Температура модифициро- вания, °С
1	100 Na	0,05–0,1	0,05–0,1 Na	750–780
2	67 NaF, 33 NaCl	1,0–2,0	0,05–1,0 Na	780–810
3	62,5 NaCl, 25 NaF, 12,5 KCl	1,0–2,0	0,05–0,1 Na	730–750
4	50 NaCl, 30 NaF, 10 KCl, 10 Na ₃ AlF ₆	0,5–1,0	0,05–,1 Na	720–750

Окончание табл. 3.1

Но- мер смеси	Состав, %	Количество модифика- тора, %	Расчетное коли- чество модифи- цирующего эле- мента, %	Температура модифициро- вания, °С
5	35 NaCl, 40 KCl, 10 NaF, 15 Na ₃ AlF ₆	1,0–1,5	0,05–0,1 Na	740–760
6	90 Al, 10 Sr (лигатура)	0,6–0,8	0,06–0,08 Sr	750–780
7	90 Cu, 10 P (лигатура)	0,5–2,0	0,05–0,1 P	790–820
8	20 P, 10 K ₂ ZrF ₆ , 70 KCl	1,5–2,0	0,05–0,1 P	790–825
9	8P, 58 K ₂ ZrF ₆ , 34 Al	0,3–0,4	0,05–0,1 P	790–825

Модифицирование двойным модификатором (см. табл. 3.1, смесь № 2), ведут при температуре 780–810 °С, при использовании тройного модификатора (см. табл. 3.1, смесь № 3) обработку расплава ведут при 730–750 °С. Модификатор в количестве 1–2 % массы расплава ровным слоем засыпают на поверхность последнего.

При температуре модифицирования металл с двойным модификатором выдерживают 12–15 минут, при использовании тройного модификатора 6–7 минут. При этом происходит взаимодействие



Выделяющийся натрий оказывает модифицирующее действие.

Для ускорения протекания реакции и насыщения сплава натрием флюс замешивают в расплаве на глубину 50–100 мм. После удаления шлака расплав в течение 20–30 минут разливают по формам.

Целесообразно модифицировать силумины универсальным флюсом следующего состава, %: 50 NaCl, 30 NaF, 10 KCl, 10 Na₃AlF₆. Порошок сухого флюса в количестве 0,5–1 % массы расплава засыпают под струю металла при переливе из плавильной печи в ковш. Струя энергично замешивает флюс в расплав. Процесс идет при температуре 720–750 °С. Этот способ модифицирования приводит к измельчению кремния в эвтектике и очистке сплава от неметаллических включений.

Хорошими модифицирующими свойствами относительно эвтектики обладает стронций. В отличие от натрия этот элемент значительно медленнее выгорает из алюминиевого расплава и является модификатором длительного действия (более 5–6 часов). Кроме того, стронций не увеличивает в такой мере, как натрий, окисляемость алюминиевых сплавов, их склонность к газонасыщению, объемную усадку. Стронций вводят в алюминиево-кремниевые сплавы в количестве 0,01–0,05 % в виде лигатуры Al-Sr.

При литье в кокиль алюминиево-кремниевых сплавов, не содержащих магний, в качестве модификатора рекомендуют применять сурьму. Это модификатор длительного действия, который вводят в количестве 0,1–0,3 % в виде чистого металла. Сурьма практически не выгорает из расплава.

Качество модифицирования оценивают по излому и макроструктуре. Излом модифицированного сплава характеризуется мелким зерном светло-серого цвета. По микроструктуре эффективность модифицирования оценивается длиной частиц кремния в эвтектике: в немодифицированной структуре длина частиц достигает 10 мкм, в хорошо модифицированной эвтектике – 3–5 мкм. В последней частицы имеют форму, близкую к равноосной.

Заэвтектические силумины (18–25 % Si) в литом состоянии имеют грубую структуру – кремний выделяется в виде крупных кристаллов, затрудняющих обработку отливок резанием и снижающих литейные и механические свойства. Модифицирование этих сплавов осуществляют фосфором в количестве 0,05–0,1 %. Для этой цели используют модификаторы № 7–9 (см. табл. 3.1). Модификатор № 9 представляет собой смесь K_2ZrF_6 , красного фосфора и порошка алюминия. Модифицирование заэвтектических силуминов ведут при температуре 780–820 °С. После модифицирования расплав рафинируют хлористым марганцем и заливают в литейные формы.

Оборудование, инструмент и материалы

Шахтная печь электросопротивления с автоматическим регулированием температуры, хромель-алюмелевая термопара с электродами диаметром 0,1–0,2 мм, установка «Термозонд», песчаная и чугунная формы диаметром 20 мм, микроскоп МИМ-7, технические и аналитические весы, набор слесарного инструмента, набор плавно-заливочного инструмента, тигли графитошамотные, силумин марки АК12ч или АК12пч, лигатуры Al – 10 % Sr; Cu – 10 % P, соли для изготовления модифицирующих флюсов ($NaCl$, KCl , Na_3AlF_6 , K_2ZrF_6), шлифовальная шкурка, защитные очки, халат, кристаллический кремний.

Порядок выполнения работы

Работа рассчитана на 4 часа.

1. Навесить шихту в количестве 5000 г и загрузить ее в печь.
2. Рассчитать количество модификатора и подготовить его для введения в расплав.
3. Изготовить песчаную форму для отливки трех–четырех образцов.
4. Подготовить к работе установку «Термозонд», шесть сменных термопар с равными термоэлектрическими свойствами и

установить по одной термопаре в песчаную и металлическую формы (по центру образцов).

5. После достижения металлом температуры 700 °С залить его поочередно в песчаную и металлические формы и снять кривые охлаждения с помощью установки «Термозонд».

6. Провести модифицирование расплава по указанию преподавателя, вновь залить образцы и снять термограммы, определить переохлаждение

7. Надпилить и сломать образцы. Описать вид поверхности излома пробы.

8. Изготовить микрошлиф и протравить его 0,5 % раствором плавиковой кислоты.

9. На микроскопе, при увеличении 200, методом секущих определить длину кристаллов кремния и расстояние между частицами кремния в эвтектике. Замеры производить в центре образца в трех–четырёх полях по трем–пяти секущим.

Результаты наблюдений и их обработка

Результаты измерений представить в виде табл. 3.2.

Таблица 3.2

Результаты наблюдений

Состояние расплава	Форма	Скорость охлаждения, °С/с	Переохлаждение, °С	Длина кристаллов кремния, мкм	Расстояние между частицами кремния, мкм

По кривой охлаждения в интервале 600–700 °С определить скорость охлаждения.

Зарисовать микроструктуры сплава до и после модифицирования.

Определить зависимость величины переохлаждения сплава от скорости охлаждения. Построить графические зависимости переохлаждения и дисперсности структуры от количества модификатора.

Содержание отчета

1. Краткое описание теории и технологии модифицирования силуминов.
2. Описание условий проведения экспериментов (составы сплавов, лигатуры, температурные режимы, расчеты шихты).
3. Таблицы и графические зависимости.
4. Рисунки микроструктур сплава до и после модифицирования.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие цели преследует модифицирование?
2. В чем состоит механизм модифицирующего действия модификаторов?
3. С каким минимальным содержанием кремния доэвтектические силумины подвергаются модифицированию?
4. Какие модификаторы применяются для модифицирования доэвтектических силуминов?
5. Какие модификаторы используются для модифицирования заэвтектических силуминов?
6. Какие соли входят в состав двойного модификатора?
7. В каком виде вводят в расплав натрий, стронций, сурьму?
8. Какое количество двойного модификатора необходимо для модифицирования?
9. При каких температурах осуществляют модифицирование на поверхности расплава?
10. Сколько времени выдерживают двойной модификатор на поверхности расплава?
11. Какие соли входят в состав тройного модификатора?

12. При каких температурах осуществляют модифицирование тройным модификатором?

13. Сколько времени сохраняется эффект модифицирования натрием, стронцием и сурьмой?

14. Как оценивают эффект модифицирования?

15. Какие свойства алюминиевого сплава улучшаются при модифицировании?

Лабораторная работа № 4

РАФИНИРОВАНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ-МАГНИЙ И МАГНИЙ-АЛЮМИНИЙ

Цель работы

Сравнить пределы прочности при растяжении и относительное удлинение исходного и модифицированного сплавов. Определить влияние размера первичного зерна на прочностные характеристики сплавов.

Теоретическая часть

Сплавы системы алюминий-магний отличаются малой плотностью, высокими коррозионной стойкостью и прочностью, их используют для изготовления отливок, несущих большие вибрационные нагрузки. Основными структурными составляющими сплавов этой группы являются α_{Al} -твердый раствор магния в алюминии и двойная эвтектика $\alpha_{\text{Al}} + \text{Al}_8\text{Mg}_5$.

Прочность сплавов на основе системы алюминий-магний с увеличением концентрации магния до 13 % возрастает, но пластичность начинает снижаться при содержании более 11 % магния.

Средней прочностью обладают сплавы АМг5К, АМгблч, АМг7, содержащие 4,5–7 % магния (по массе), и применяемые без термической обработки.

Сплавы повышенной прочности (АМг10, АМг11) содержат 9,5–13 % магния (по массе) и применяются в закаленном состоянии.

Для улучшения технологических свойств в большинство сплавов вводят до 0,15–0,2 % титана и циркония. Образующиеся на их основе интерметаллиды $TiAl_3$, $ZrAl_3$ более тугоплавкие, чем основа сплава, и являются модификаторами первого рода. Механические свойства сплавов повышаются на 20–30 %.

Сплавы АМг10, АМг11 применяют только в закаленном состоянии. Термическая обработка производится по режиму Т4: нагрев до температуры 430 °С, выдержка 12–20 часов, охлаждение в масле с температурой 45 °С. При закалке фиксируется состояние пресыщенного твердого раствора, повышается прочность и пластичность до 20 %, увеличивается также коррозионная стойкость. Особенностью сплава АМг10 является повышенная чувствительность к естественному старению. Поэтому литые детали из этого сплава можно применять до рабочих температур –60–80 °С.

Сплавы АМг5К, АМг11 и АМг7, содержащие 0,8–1,3 % кремния, имеют более высокие литейные свойства, так как кремний увеличивает количество эвтектики, в результате чего повышается жидкотекучесть и плотность отливок, снижается их склонность к образованию горячих трещин.

Сплавы системы Al-Mg обладают повышенной склонностью к взаимодействию с газами и к образованию газовой и газоусадочной пористости, а при взаимодействии с азотом и парами воды образуются неметаллические включения и оксидные пленки.

Сплавы алюминия с магнием образуют оксидную пленку переменного состава. При малом содержании магния (до 0,0005 %) оксидная пленка имеет структуру $\gamma-Al_2O_3$ и представляет собой твердый раствор MgO в $\gamma-Al_2O_3$; при содержании магния 0,01–1 % оксидная пленка состоит из шпинели ($MgO \cdot Al_2O_3$) переменного состава и оксида магния; при содержании свыше 1 % Mg пленка практически полностью состоит из оксида магния.

Бериллий и лантан (до 0,01 %) снижают скорость окисления этих сплавов до уровня скорости окисления алюминия. Защитное действие их обусловлено уплотнением оксидной пленки сплавов за счет заполнения образующихся в ней пор. Продувка расплава газами с целью его рафинирования сопровождается потерями магния. При обработке азотом теряется 0,01 % магния. Дегазация хлором увеличивает эти потери до 0,2 %.

При плавке алюминиевых сплавов, содержащих более 1 % Mg, необходимо использовать защитные флюсы на основе карналлита ($MgCl_2 \cdot KCl$) и смесь карналлита с 10–15 % фтористого кальция или фтористого магния. Если применять флюс нельзя, то защиту расплава от окисления осуществляют введением в сплав бериллия (0,001–0,005 %). Технология плавки сплавов системы Al-Mg с содержанием более 10 % Mg сравнима с технологией плавки сплавов системы магний-алюминий.

Оборудование, инструмент и материалы

Тигельная печь сопротивления с автоматическим регулированием температуры для плавки сплавов, гальванометр, термопары, металлографический микроскоп, сухие песчаные формы, набор плавно-заливочного инструмента, алюминий марки А7, А8, магний чушковый Mg96, сплав АК12ч, лигатуры алюминий-титан, алюминий-цирконий, фторцирконат калия, фтортитанат калия, карналлит, фторид магния, фторид кальция, набор инструментов и материалов для изготовления шлифов, защитные очки, халат.

Порядок выполнения работы

Работа рассчитана на 4 часа.

1. Рассчитать шихту для приготовления 3 кг одного из сплавов системы алюминий-магний. Марку сплава, виды и количество используемых в шихте отходов указывает преподаватель. Подготовить шихтовые материалы согласно расчету.

2. Взвесить флюс ($80 \% \text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} + 20 \% \text{CaF}_2$) из расчета 2 % от массы шихты. Применение влажного флюса не допускается.

3. Загрузить шихту, кроме магния, в прокаленный тигель и присыпать ее половиной навески флюса.

4. Расплавить содержимое тигля при температуре 680°C и ввести навеску магния при помощи колокольчика. Загрузить остаток флюса и нагреть расплав до 720°C .

5. При температуре расплава 720°C пробить корочку флюса на поверхности расплава и залить пробу в песчаную форму. Одновременно залить партию разрывных образцов в подогретый до 200°C кокиль.

6. Остаток расплава промодифицировать 0,15 % титана из лигатуры и после 10-минутной выдержки снять пробу в сухую песчаную форму и партию разрывных образцов в кокиль.

7. Разрывные образцы отделить от литниковой системы и промаркировать.

8. Определить предел прочности при растяжении и относительное удлинение модифицированного и исходного сплавов.

9. Из остатков разрывных образцов и проб сделать шлифы для металлографического анализа.

Результаты наблюдений и их обработка

Рассчитать предел прочности при растяжении и относительное удлинение исходного и модифицированного сплавов.

Определить размеры зерна проб для модифицированного и исходного сплавов при литье в кокиль и сухую песчаную форму.

Содержание отчета

1. Общие сведения о технологии рафинирования и упрочнения сплавов системы алюминий-магний.

2. Расчет шихты на 3 кг заданного состава.

3. Условия проведения плавки и модифицирования.

4. Данные по механическим свойствам и размеру зерна исследованных сплавов.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Как влияет содержание магния на механические свойства сплавов системы алюминий-магний?
2. Какие существуют способы упрочнения сплавов системы алюминий-магний?
3. Какие сплавы системы алюминий-магний имеют лучшие технические свойства?
4. Как обеспечивается защита от окисления при бесфлюсовой плавке алюминий-магниевых сплавов?
5. Назовите составы защитных флюсов для алюминий-магниевых сплавов.
6. Как влияет продувка хлором и азотом на содержание магния в сплавах системы алюминий-магний?

Лабораторная работа № 5

ВЛИЯНИЕ ИНТЕРВАЛА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА ПЛОТНОСТЬ ОТЛИВОК ИЗ МЕДНЫХ СПЛАВОВ

Цель работы

Определить влияние параметров кристаллизации на характер усадочных явлений в медных сплавах.

Теоретическая часть

Согласно общим представлениям образование усадочной пористости в отливках связано с наличием области твердого состояния при затвердевании. Затвердевание сплавов типа твердых растворов начинается от стенок формы в глубь

отливки, т. е. продвижением границы начала кристаллизации, соответствующей изотерме ликвидуса. Вслед за этой границей движется граница затвердевания, соответствующая изотерме солидуса. Расстояние между границами начала и конца затвердевания зависит от температурного интервала затвердевания и скорости охлаждения. Чем шире температурный интервал затвердевания расплава и меньше скорость охлаждения, тем шире область твердожидкого состояния в отливке и тем больше зона рассеянной пористости.

По величине интервала кристаллизации медные сплавы условно делят на три группы. Первую группу составляют сплавы с узким (15–30 °С) интервалом кристаллизации. В нее входят латуни с содержанием цинка около 40 %, высокопрочные латуни, алюминиевые бронзы. Эти сплавы при недостаточном питании отливки образуют глубокие сосредоточенные усадочные раковины. Во вторую группу входят оловянные и кремнистые бронзы с широким интервалом кристаллизации (70–200 °С). Отливки из этих сплавов склонны к рассеянной усадочной пористости. К третьей группе относят сплавы со средним интервалом кристаллизации (30–70 °С). Это латуни с содержанием цинка от 20 до 30 %, кремниевые латуни, мельхиоры, никелевые бронзы.

Оборудование, инструмент и материалы

Тигельная печь (индукционная или сопротивления с автоматическим регулированием температуры) для плавки сплавов, гальванометр, термопары, металлографический микроскоп, графитошамотный тигель вместимостью 3–5 кг, графитовая изложница для отбора проб, набор плавно-заливочного инструмента, графитовый стержень для перемешивания расплава, электролитическая медь марок М0, М1, М2, М3, олово, цинк, кремний, никель, железо, марганец, алюминий, лигатуры (медь-фосфор, медь-литий), защитные покровы (древесный уголь, порошок графита, флюсы из 50 % Na_2CO_3 и 50 % CaF_2 или из

25 % Na_3AlF_6 , 10 % NaCl , 35 % KCl и 30 % $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), модельная оснастка, аналитические и технические весы, формовочный инструмент, набор инструментов и материалов для изготовления микрошлифов, установка для полирования шлифов, защитные очки, спецодежда.

Порядок выполнения работы

Работа рассчитана на 4 часа.

1. Рассчитать шихту для приготовления 0,5 кг медных сплавов с узким и широким интервалами кристаллизации. Марку сплава, виды и количество используемых в шихте отходов указывает преподаватель.

2. В нагретый тигель, установленный в плавильной печи, загрузить рассчитанное количество меди, засыпать ее древесным углем и расплавить.

3. Подготовить литейные формы для отливки образцов диаметром 60 мм на исследование усадочной пористости.

4. После нагрева меди до 1160–1200 °С ввести раскислитель (фосфор) в количестве 0,01–0,05 %, затем последовательно ввести в тигель предварительно подогретые легирующие элементы или лигатуры. Произвести рафинирование расплава хлористым марганцем в количестве 0,15 %.

5. Перемешать расплав нагретым графитовым стержнем, снять шлак и залить сплав в предварительно подогретую песчаную форму и подогретую до 50 °С металлическую изложницу. Полученные образцы промаркировать.

6. Произвести плавку и разливку второго сплава согласно пунктам 2–5.

7. Определить объем усадочных раковин в отливках, заполняя их водой из бюретки.

8. Разрезать полученные образцы по вертикальной плоскости, зачистить поверхность реза, протравить ее в азотной кислоте.

9. Очертить на шлифах участки, пораженные усадочной пористостью. Определить их объем.

10. Отметить на каждом шлифе на расстоянии 10, 30, 50 мм от дна по три участка площадью 3 см^2 , начиная от оси слитка. С помощью бинокулярной лупы подсчитать на каждом участке число пор.

Результаты наблюдений и их обработка

Результаты определения объемов усадочных раковин и пористых зон, а также результаты подсчета числа пор внести в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Результаты расчетов

Сплав	Литейная форма	Объем, см^3		Число пор на участке, расположенном от дна отливки на расстоянии, мм		
		усадочной раковины	пористой части отливки	10	30	50

Содержание отчета

1. Расчет шихты заданного состава сплава.
2. Краткое описание технологии плавки и заливки образцов.
3. Методика определения пористости образцов.
4. Результаты подсчета пористости и эскизы образцов с расположением пористости.
5. Эскизы разрезанных отливок с указанием расположения усадочной раковины и зоны видимой пористости.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. На какие группы по химическому составу подразделяют медные сплавы?
2. Какими характерными эксплуатационными свойствами обладают медные сплавы?
3. Какие бронзы используют как заменители оловянных бронз?
4. Какие футеровки используют для плавки медных сплавов?
5. В каком виде фосфор вводят в расплав?
6. В какой последовательности в медный расплав вводят легирующие элементы?
7. Какие медные сплавы имеют узкий интервал кристаллизации, а какие – широкий?

Лабораторная работа № 6

РАСКИСЛЕНИЕ МЕДИ

Цель работы

Освоить практику определения содержания кислорода в меди и технологию ее раскисления.

Теоретическая часть

Сплавы на основе меди имеют высокие механические и антифрикционные свойства, хорошо противостоят коррозии в морской воде, водяном паре и других средах, сохраняют высокую пластичность при низких температурах. Медные сплавы немагнитны, легко полируются и обрабатываются резанием.

При плавке на воздухе медные сплавы окисляются и насыщаются водородом. Окисляются в первую очередь компоненты, имеющие более высокий, чем медь, изобарный потенциал образования оксида. По этой причине легирующие элементы

медных сплавов (алюминий, бериллий, олово, цинк и др.) раскисляют медь, образуя твердые, жидкие и газообразные оксиды. Твердые оксиды медленно всплывают в расплавах и могут попасть в отливки.

Для защиты от окисления плавку медных сплавов ведут под покровом древесного угля или флюсов на основе фторидов, стекла или соды (2–3 % массы расплава). Чтобы предупредить образование твердых нерастворимых оксидов, медь перед введением легирующих элементов раскисляют 0,01–0,15 % фосфора. Легирующие компоненты вводят в расплав только после раскисления меди.

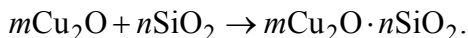
Во избежание сильного окисления и насыщения водородом не рекомендуется сильно нагревать расплавы. Особенно это касается алюминиевых бронз и кремнистых латуней, так как образующиеся оксиды алюминия и кремния трудно удаляются из расплавов и, попадая в отливки, снижают их свойства. Перегрев алюминиевых бронз может быть обусловлен выделением теплоты смешения при введении алюминия в расплав. Поэтому рекомендуется вводить алюминий небольшими порциями одновременно с медью.

Для очистки расплавов от растворенного водорода и твердых неметаллических включений их подвергают продувке газами, вакуумированию, обработке флюсами или фильтрованию. Наиболее глубокую очистку расплавов от неметаллических твердых включений дает фильтрование через зернистые фильтры из фторидов кальция и магния. Фильтры перед использованием подогревают до 800 °С.

Чистая медь применяется в технике в основном в виде деформированных полуфабрикатов: проволоки, труб, прутков, листов и др. Отливки из меди применяют в котлостроении, при изготовлении электроаппаратуры и сварочных машин, в химической промышленности. Изготовление фасонных отливок, ввиду низких литейных свойств меди, сопряжено с рядом трудностей.

В зависимости от требований, предъявляемых к свойствам изделий, применяют катодную медь марок М0, М1, М2, М3.

При нагреве на воздухе медь окисляется. Образующийся оксид Cu_2O растворяется в жидкой меди. Растворимость кислорода в твердой меди при $100\text{ }^\circ\text{C}$ составляет $0,005\%$. При большем содержании кислорода по границам зерен меди выделяется эвтектика, существенно снижающая пластические свойства меди и делающая ее предрасположенной к водородной болезни – образованию трещин в изделиях, работающих в атмосфере водяного пара. Содержание кислорода в расплаве определяет выбор футеровки плавильных агрегатов. Медь с повышенным содержанием кислорода нельзя плавить в печах с кислой футеровкой, так как последняя оплавляется в результате образования легкоплавкого силиката:



На практике используют футеровку из магнезита. Расплавленная медь интенсивно растворяет водород. Между содержанием кислорода и водорода устанавливается динамическое равновесие, описываемое гиперболической зависимостью (кривая Аллена). Взаимодействие с газами интенсифицируется при повышении температуры перегрева расплава.

Для предохранения от взаимодействия с газами печной атмосферы плавку меди ведут с применением защитного покрова из древесного угля. Необходимым условием применения древесного угля является его тщательная сушка в целях удаления адсорбированной влаги. Лучшие результаты обеспечивает плавка в вакуумных печах или печах с защитной атмосферой.

При плавке на воздухе в медных расплавах всегда обнаруживается некоторое количество кислорода. Содержание кислорода определяют измерением его активности или металлографическим путем по площади, занимаемой эвтектикой $\text{Cu} + \text{Cu}_2\text{O}$. Удаление кислорода из нераскисленной меди осу-

ществляют вакуумной переплавкой, раскислением или фильтрованием расплава через слой раскаленного древесного угля. Для получения бескислородной меди (менее 0,001 % кислорода) используют плавку в вакууме.

Раскислением называют процесс удаления кислорода из расплава путем введения в него активных элементов, образующих нерастворимые в расплаве оксиды. Раскислитель должен обладать большим по сравнению с расплавленной медью сродством к кислороду. По характеру действия раскислители делят на две группы: поверхностные нерастворимые и объемные растворимые в расплаве. При использовании поверхностных раскислителей (карбид кальция CaC_2 , борид магния Mg_3B_2 , углерод С, борный шлак $\text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO}$) реакция с кислородом протекает только по поверхности раздела раскислителя с расплавом, что обуславливает малую скорость раскисления. Для ускорения этого процесса раскислители замешивают в расплав. Достоинством данной группы раскислителей является то, что с их участием процесс раскисления проходит по диффузионному механизму. Расход поверхностных раскислителей составляет 1–3 % от массы расплава.

Растворимые раскислители взаимодействуют с кислородом по всему объему расплава. Существенным недостатком их является неблагоприятное воздействие на эксплуатационные свойства меди (электрическую проводимость).

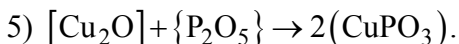
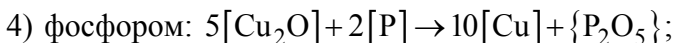
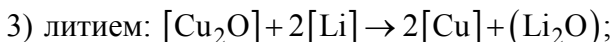
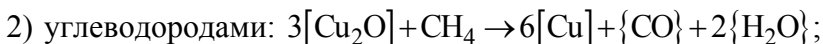
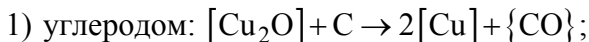
По физическому состоянию продуктов раскисления растворимые раскислители делят на три группы:

- дающие газообразные продукты (углеводороды, оксид углерода);
- образующие парообразные или жидкие продукты (фосфор, литий);
- дающие твердые продукты (кальций, магний, алюминий, кремний).

Поскольку газообразные и жидкие оксиды удаляются из расплава легче, чем твердые, при раскислении предпочтение

отдают раскислителям первой и второй групп. Растворимые раскислители вводят в медь в количестве 0,1–0,15 % от массы расплава.

Реакции раскисления меди раскислителями первых двух групп упрощенно можно представить в следующем виде:



Ход процесса раскисления контролируют по показаниям активометра, установленного в печи, либо по технологическим пробам на излом и усадку. Хорошо раскисленный металл характеризуется светлым мелкозернистым изломом без вспучиваний и концентрированной раковины.

Оборудование, инструмент и материалы

Тигельная печь с силитовыми нагревателями, графитошамотный тигель, хромель-алюмелевая термопара, гальванометр, технические весы, металлографический микроскоп, слесарные тиски, установка для полирования шлифов, набор инструментов и материалов для изготовления микрошлифов, шлифовальная бумага, шихтовые материалы, раскислители, защитные очки, спецодежда.

Порядок выполнения работы

Работа рассчитана на 4 часа.

1. Навеску исходной меди (0,5–1 кг) расплавить под слоем древесного угля. Перегреть расплав на 100 °С выше температуры плавления меди и выдержать в течение 10 мин.

2. Отлить пробу на излом и усадку. Путем вакуумного всасывания отлить образцы для определения электросопротивления металла. Разлить в два тигля, загрузить древесный уголь и поместить в печь.

3. Разрезать образец и изготовить микрошлиф. По нему определить содержание кислорода. Для этого микрошлиф просматривают при увеличении 200 и сравнивают микроструктуру с эталонами. При определении содержания кислорода необходимо строго различать включения оксида меди, имеющие голубовато-серый цвет, от темных неметаллических включений и пор, которые не должны приниматься в расчет. В поляризованном свете включения оксида меди имеют рубиновокрасный цвет. При концентрации кислорода меньше эвтектической (менее 0,39 %) на металлографическом шлифе определяют площадь, занимаемую эвтектикой ($F_э$) и площадь шлифа ($F_ш$). Затем рассчитывают содержание кислорода в меди, %:

$$[O] = 0,39 \frac{F_э}{F_ш}.$$

Определение кислорода производится в пяти-десяти полях зрения и вычисляется среднее значение.

4. Рассчитать количество раскислителей, необходимое для связывания кислорода, содержащегося в меди.

5. Раскислить двумя раскислителями медь, разлитую в тигли. Залить пробы на излом и усадку, отлить образцы для определения электросопротивления.

6. Определить содержание кислорода по излому и микрошлифам. Сделать снимки микроструктур исходной и раскисленной меди. Произвести замеры электросопротивления образцов меди. Оценить полноту раскисления меди различными раскислителями.

Результаты наблюдений и их обработка

Результаты определения содержания кислорода в меди и замеров электросопротивления представить в виде таблицы.

Оценить качество раскисления меди различными раскислителями и сравнить полученные результаты с замерами электросопротивления.

Содержание отчета

1. Описание технологии плавки и рафинирования меди.
2. Описание методики плавки и определения содержания кислорода в меди по микроструктуре и излому.
3. Расчет необходимого количества раскислителей.
4. Описание изломов образцов и полученных микроструктур, результатов измерения электросопротивления.
5. Фотографии микроструктур.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. С какой целью проводят раскисление меди?
2. В чем состоит сущность раскисления?
3. Какими раскислителями раскисляют медь, используемую для электротехнических целей?
4. В каком виде вводят раскислители в расплав?
5. Как защищают медь от взаимодействия с газами во время плавки?
6. Какие продукты получают при раскислении фосфором, литием, магнием, углеродом и углеводородами?
7. Какие продукты раскисления наиболее предпочтительны?
8. Какие методы используют для определения содержания кислорода в меди?
9. Как изменяется содержание кислорода в меди с увеличением содержания водорода?

Лабораторная работа № 7

МОДИФИЦИРОВАНИЕ МЕДНЫХ СПЛАВОВ

Цель работы

Исследовать влияние процесса модифицирования на макро- и микроструктуру медных сплавов.

Теоретическая часть

Особенностью многих медных сплавов является их склонность к образованию столбчатой структуры. При определенных условиях литья и охлаждения столбчатые кристаллы могут пронизывать всю толщину слитка или отливки. Столбчатая структура слитков во многих случаях служит причиной их разрушения при последующей обработке давлением. Фасонные отливки с такой структурой имеют низкие механические свойства.

Улучшения механических свойств медных сплавов достигают измельчением первичного зерна отливки и изменением размеров кристаллизующихся фаз. Для этого в расплав вводят добавки (0,02–0,1 %) тугоплавких элементов (титан, бор, молибден, ванадий, вольфрам, цирконий), образующих с компонентами сплава тугоплавкие интерметаллиды, являющиеся дополнительными центрами кристаллизации при формировании первичной структуры отливок. Следует заметить, что модифицирующее действие присадок тугоплавких элементов во многом определяется присутствием в сплаве железа. В сплавах, не содержащих железа, модифицирующие действия титана, бора и вольфрама проявляются слабо.

Для получения мелкозернистой структуры отливок в сплавы, не содержащие железо и алюминий (оловянные бронзы, свинцовые бронзы, латуни), вводятся тугоплавкие элементы (титан, цирконий, молибден, ванадий) в количестве 0,05 % вместе с 0,02 % бора. В алюминиевых бронзах, содержащих железо

и марганец, резкое измельчение зерна наблюдается при введении сотых долей процента указанных элементов. При этом полностью устраняется зона столбчатых кристаллов в отливках. Совместное введение модификаторов в алюминиевые бронзы способствует более сильному измельчению первичного зерна отливок. Введение тугоплавких модификаторов изменяет и микроструктуру сплавов.

Тугоплавкие модификаторы вводят в расплав в виде лигатур: алюминий-ванадий (до 50 % ванадия), медь-бор (3–5 % бора), алюминий-титан (5 % титана), медь-титан (30 % титана) и других при температуре 1200–1250 °С. Перегрев модифицированного металла перед заливкой сопровождается огрубением зерна.

Оборудование, инструмент и материалы

Тигельная печь (индукционная или сопротивления с автоматическим регулированием температуры) для плавки меди, гальванометр, термопары, металлографический микроскоп, графитошамотный тигель вместимостью 1–3 кг, графитовая изложница для отбора проб, набор инструментов для плавки и заливки металла, графитовый стержень для перемешивания расплава, электролитическая медь марок М0, М1, М2, М3, алюминий, лигатуры (медь-фосфор, медь-бор, медь-титан), защитные покровы (древесный уголь, порошок графита), набор инструментов и материалов для изготовления микрошлифов, установка для полирования шлифов, защитные очки, спецодежда.

Порядок выполнения работы

Работа рассчитана на 4 часа.

1. Рассчитать шихту для приготовления 0,5 кг одного из медных сплавов, указанных преподавателем.

2. В графитошамотный тигель, установленный в плавильной печи, загрузить рассчитанное количество меди, засыпать прокаливаемым древесным углем и расплавить.

3. После расплавления меди и перегрева ее до 1200 °С ввести в расплав 0,05 % фосфора, используя для этого лигатуру медь-фосфор (10 %), затем загрузить в печь легирующие элементы, тщательно перемешивая жидкий металл.

4. Отлить образцы из немодифицированного сплава.

5. Осуществить модифицирование сплава тугоплавкими элементами в количествах, указанных преподавателем.

6. Отметить образцы из модифицированных сплавов.

7. Из немодифицированного и модифицированного сплавов изготовить макро- и микрошлифы. Травление макрошлифов проводить 85 %-м раствором азотной кислоты, а микрошлифов – раствором, содержащим 3 % FeCl₃ и 10 % HCl.

8. Исследовать структуру образцов. Размер макрозерна определять на шлифах методом случайных секущих визуально. Число секущих должно быть не менее 5, длина линии 20–40 мм. Степень модифицирования микрозерна оценить аналогично под микроскопом при увеличении 200. Сделать рисунки микроструктур.

Результаты наблюдений и их обработка

Результаты измерения размеров микро- и макрозерен исследованных образцов занести в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Результаты наблюдений

Сплав	Состояние сплава	Модификатор		Средний размер, мкм	
		вид	количество	макрозерна	микрозерна
	Немодифицированный				
	Модифицированный				

Содержание отчета

1. Расчет шихты заданного состава сплава.
2. Описание технологии плавки и модифицирования сплава.
3. Методика подготовки образцов и исследования величины зерна.
4. Результаты модифицирования.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. В чем заключаются особенности плавки медных сплавов?
2. С какой целью проводят раскисление меди перед введением легирующих компонентов?
3. В каком количестве вводят в расплав покровно-рафинирующие флюсы?
4. Какие цели преследуют при модифицировании?
5. В чем состоит механизм модифицирования медных сплавов?
6. Почему в присутствии железа и марганца в большей степени проявляется эффект модифицирования при введении титана и бора?
7. В каком виде вводят в расплав титан, бор, ванадий?
8. Как оценивается эффект модифицирования?

Лабораторная работа № 8

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА РЕЦИКЛИНГА ЦИНКА И ЕГО СПЛАВОВ

Цель работы

Изучить технологию плавки цинка и его сплавов из вторичных шихтовых материалов.

Теоретическая часть

Под *рециклингом* понимают повторное использование шихтовых материалов в виде лома и различных отходов, как промышленных, так и бытовых. Согласно ГОСТ 1639–93 наиболее распространенными видами лома цинкового сплава ЦА4М1 являются детали транспортных машин, сверлильных и токарных станков, кухонного оборудования, декоративные детали.

Вредными примесями в цинковых сплавах являются олово и свинец. Образуя с цинком легкоплавкие эвтектики, эти элементы придают цинку красноломкость, делая невозможной обработку давлением при повышенных температурах.

Отрицательное влияние на свойства цинковых сплавов оказывает также железо. Последнее плохо растворяется в твердом сплаве и при концентрациях, превышающих тысячные доли процента, образует интерметаллиды FeZn_7 и FeAl_3 , твердость которых значительно превышает твердость матрицы сплавов, что затрудняет прокатку цинка и его сплавов.

Цинк и его сплавы легко окисляются. Образующийся оксид цинка ZnO нелетуч. Высокая химическая активность компонентов сплава обуславливает образование на поверхности расплава пленки шпинели ZnAl_2O_x . Обогащению расплавов оксидными пленками в большей мере способствует использование в шихте литников, стружки, сплесов. Наряду со шпинелью в цинковых сплавах обнаруживают включения кремнезема

(SiO_2), а иногда и глинозема (Al_2O_3), источниками которых являются загрязненные шихтовые материалы. Для снижения интенсивности окисления плавку цинка и его сплавов ведут под покровом древесного угля. Обогащение оксидными включениями происходит также в результате взаимодействия расплавов с футеровкой печи.

Для повышения свойств отливок цинковые расплавы подвергают очистке от металлических и неметаллических примесей. Рафинирование цинка и его сплавов приобретает особое значение при их рециклинге. Для этого используют отстаивание, обработку хлоридами, продувку инертными газами, фильтрование.

Очистка расплавов отстаиванием связана с седиментационной устойчивостью взвешенных в них включений. Она определяется разностью плотностей расплава и включений, вязкостью расплава, размерами включений. Влияние этих факторов на скорость седиментации взвешенных частиц определяется соотношением Стокса.

Возможности метода очистки расплава отстаиванием ограничены, поэтому как самостоятельный процесс он используется в случаях, когда разность в плотностях достаточно высока, а размер включений не слишком мал. Преимущественно процесс реализуется при рафинировании черного цинка от свинца, олова и железа на цинковых заводах.

Рафинирование цинковых расплавов осуществляется введением в расплав с помощью колокольчика при $450\text{--}470\text{ }^\circ\text{C}$ $0,1\text{--}0,2\text{ } \%$ хлористого аммония или $0,3\text{--}0,4\text{ } \%$ гексахлорэтана и перемешиванием жидкого металла до прекращения выделения продуктов реакции.

Наиболее эффективным способом рафинирования металлических расплавов от твердых включений является фильтрование через зернистые фильтры. Известно также, что очистка расплава в значительной степени определяется адгезией дисперсных частиц к поверхности зерен фильтра.

Работа адгезии включений к фильтру численно равна термодинамически обусловленной убыли удельной свободной энергии в системе расплав-включение-фильтр при переходе включения из расплава на поверхность зерен фильтра. Применительно к этой системе, в которой включения представляют микроскопические, несжимаемые и практически нерастворимые в расплаве тела, в изобарно-изотермических условиях величины работы адгезии могут быть определены по уравнению Дюпре:

$$W_a(L) = \sigma_{S_1L} + \sigma_{S_2L} + \sigma_{S_1S_2}, \text{ мДж/м}^2,$$

где σ_{S_1L} – межфазная энергия на границе фильтр-расплав;

σ_{S_2L} – межфазная энергия на границе включение-расплав;

$\sigma_{S_1S_2}$ – межфазная энергия на границе фильтр-включение.

Уравнение Дюпре в общем виде неприменимо для практических расчетов, поскольку в настоящее время межфазная энергия большинства твердых тел неизвестна. Решение этого уравнения совместно с аналогичным уравнением для адгезионного взаимодействия конденсированных тел в газообразной среде, а также с уравнением Дюпре-Юнга позволяет исключить из расчета межфазную энергию твердых тел:

$$W_{a(L)} = W_{a(V)} + \sigma_{LV} \cos \Theta_1 - \sigma_{LV} \cos \Theta_2, \text{ мДж/м}^2,$$

где $W_{a(L)}$ – работа адгезии включения к фильтру в газообразной среде;

$W_{a(V)}$ – работа адгезии расплава к включению в газообразной среде;

σ_{LV} – поверхностное натяжение расплава;

Θ_1 – краевые углы смачивания материала фильтра расплавом;

Θ_2 – краевые углы смачивания включения расплавом.

Это уравнение позволяет определить работу адгезии включения к фильтру по экспериментальным данным по смачиваемости фильтра и включения металлом, поскольку адгезия твердых фаз в газообразной среде ввиду их плохого контакта весьма мала и составляет не более 1 % от полной работы адгезии этих фаз в среде расплавленного металла.

Материал фильтрующего элемента может быть выбран из результатов теоретического расчета работы адгезии. Расчеты выполнены на кафедре «Металлургия литейных сплавов» в сравнении с данными других авторов, которые приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Расчетные величины работы адгезии
к различным материалам фильтра

Материал фильтра	Работа адгезии включений к фильтру $W_{a(L)}$, мДж/м ²		Краевые углы смачивания расплавом ЦА4М1 материала фильтров, град
	ZnAl ₂ O ₄	FeAl ₃	
ZnO	1157	-78	131°5'
Al ₂ O ₃	229	-5,7	138
MgO	1179	-5,8	133
SiO ₂	1265	-30,6	143
3Al ₂ O ₃ ·SiO ₂	1291	51	146°60'
ZnAlO ₄	1282	37	145
CaO	1201	-33	135
KF	1307	72,2	148°5'
CaF ₂	1183	-51,3	134
NaF	1308	73,7	
KCl	1323	88,4	151
CaCl ₂	1340	105,8	165°30'
NaCl	1358	103,8	160°30'
MgF ₂	1341	107,1	156°30'

Из таблицы следует, что в качестве фильтрующего материала желательнее использовать хлористый натрий (NaCl).

Теоретический анализ, включающий данные по вредным примесям в цинковых сплавах и существующих их методах рафинирования, позволил разработать технологический процесс выплавки сортовых цинковых сплавов из лома и отходов производства. Он должен включать разделку лома для удаления железа и других материалов, плавку в графитовом или графитошамотном тигле под слоем древесного угля, выстаивание жидкого металла, рафинирование хлористым аммонием и разливку в изложницу через слой хлористого натрия, обеспечивающего соответствующую экономику и экологичность процесса.

Оборудование, инструмент и материалы

Шахтная печь электросопротивления с автоматическим регулированием температуры, графитошамотные тигли, установка для фильтрования, технические и аналитические весы с разновесами, набор плавно-заливочного инструмента, набор инструментов и материалов для изготовления и травления шлифов, лом цинковых сплавов, магний первичный Mg90 или Mg96, лигатура алюминий-медь, хлористые соединения NaCl, NH₄Cl, древесный уголь, защитные очки, спецодежда.

Порядок выполнения работы

Работа рассчитана на 4 часа.

1. Определить засоренность цинкового лома и удалить стальные детали и другие загрязнения.
2. Взвесить шихту в количестве 5–10 кг.
3. Загрузить шихту в нагретый до температуры 500–550 °С графитошамотный тигель и присыпать древесным углем.
4. После расплавления металла взять пробу для определения химического состава сплава и, при необходимости, откорректировать его на марку ЦА4М1.

5. Залить пробу для металлографического анализа.
6. Снизить температуру расплава до 420–450 °С и произвести рафинирование хлористым аммонием в количестве 0,1–0,15 % от массы металла с помощью колокольчика, опущенного на дно тигля, и тщательно перемешать.
7. Удалить шумовкой шлак, выдержать 10–15 мин и отлить пробу для анализа
8. Залить в изложницу металл и отлить пробу для анализа.
9. Из отлитых проб сделать шлифы для металлографического анализа.

Результаты наблюдений и их обработка

Определить количество твердых включений до и после операций рафинирования.

Определить вид включений в светлом и темном поле.

Содержание отчета

1. Общие сведения о технологиях рафинирования цинковых сплавов.
2. Технология дометаллургической подготовки и плавки цинкового лома.
3. Данные по рафинированию выплавляемых сплавов.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какое значение имеет рециклинг цинка и его сплавов?
2. В чем заключается дометаллургическая подготовка лома?
3. Какие существуют способы рафинирования цинковых сплавов?
4. Как осуществляется защита цинкового расплава от окисления?

ЛИТЕРАТУРА

1. Производство отливок из сплавов цветных металлов / А. В. Курдюмов [и др.]. – Москва: МИСиС, 1996. – 504 с.
2. Лабораторные работы по технологии литейного производства / А. В. Курдюмов [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1990. – 272 с.
3. Цветное литье : справочник / Н. М. Галдин [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1989. – 528 с.
4. Чурсин, В. М. Плавка медных сплавов / В. М. Чурсин. – Москва: Metallurgia, 1982. – 152 с.
5. Золоторевский, В. С. Metallovedenie lityinykh aluminievykh spлавов / В. С. Золоторевский, Н. А. Белов. – Москва: МИСИС, 2005. – 376 с.
6. Немененок, Б. М. Теория и практика комплексного модифицирования силуминов / Б. М. Немененок. – Минск: Технопринт, 1999. – 270 с.
7. Повышение экологической безопасности процессов плавки и рафинирования алюминиевых сплавов / С. П. Задруцкий [и др.]. – Минск: БНТУ, 2012. – 231 с.
8. Кечин, В. А. Цинковые сплавы / В. А. Кечин, Е. Я. Люблинский. – Москва: Metallurgia, 1986. – 247 с.

Учебное издание

**ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВОВ
ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ**

Лабораторный практикум
для студентов специализации 1-42 01 01-01 01
«Литейное производство черных и цветных металлов»

Составители:

ЗАДРУЦКИЙ Сергей Петрович
НЕМЕНЁНОК Болеслав Мечеславович

Редактор *Ю. В. Ходочинская*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 01.03.2018. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 3,20. Уч.-изд. л. 2,50. Тираж 100. Заказ 603.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.