

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О.Сухого»

Кафедра «Металлургия и литейное производство»

А.В. Ткаченко

**Теория и технология электроплавки
цветных сплавов.**

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
по выполнению лабораторных работ
по одноименному курсу для студентов специальности
1-42 01 01 «Металлургическое производство и
материалообработка (по направлениям)»
1-42 01 01-01 «Металлургическое производство и
материалообработка (металлургия)»
дневной и заочной форм обучения

Гомель 2016

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Изучение конструкции и работы электродуговой печи с основной футеровкой

Цель работы: Ознакомиться с конструкцией и устройством основной электродуговой печи, ознакомиться с процессом плавки стали на углеродистой шихте. Изучить окислительные и восстановительные периоды плавки в основной электродуговой печи.

Теоретическая часть

Дуговая печь – электрическая печь для плавки металлов и других материалов, в которой используется тепловой эффект электрической дуги. Вместимость печей составляет 0,5...400 тонн. В металлургических цехах используют электропечи с основной футеровкой, а в литейных – с кислой.

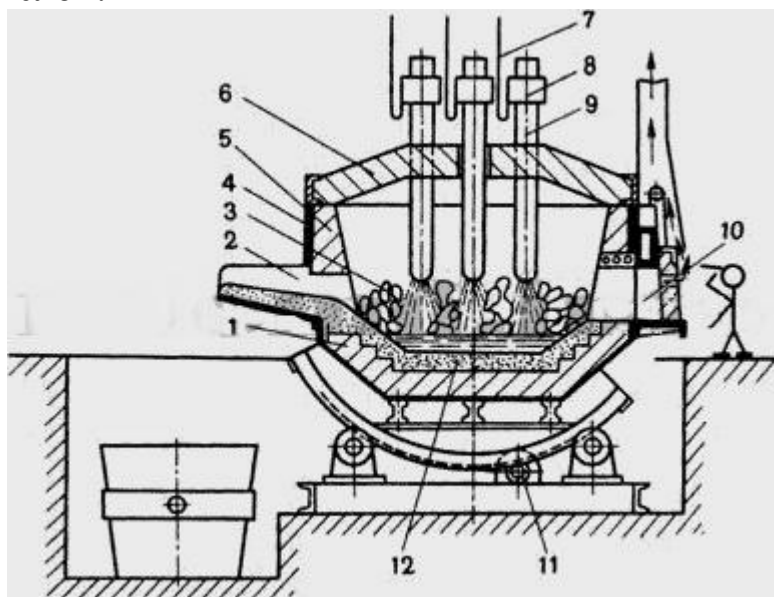


Рисунок 1 - Схема дуговой плавильной печи

Дуговая печь питается трёхфазным переменным током. Имеет три цилиндрических электрода 9 из графитизированной массы, закреплённых в электрододержателях 8, к которым подводится электрический ток по кабелям 7. Между электродом и металлической шихтой 3 возникает электрическая дуга. Корпус печи имеет форму цилиндра. Снаружи он заключён в прочный стальной кожух 4, внутри футерован основным или кислым кирпичом 1. Плавильное пространство ограничено стенками 5, подиной 12 и сводом 6. Съёмный свод 6

имеет отверстия для электродов. В стенке корпуса рабочее окно 10 (для слива шлака, загрузки ферросплавов, взятия проб), закрытое при плавке заслонкой. Готовую сталь выпускают через сливное отверстие со сливным желобом 2. Печь опирается на секторы и имеет привод 11 для наклона в сторону рабочего окна или желоба. Печь загружают при снятом своде.

В основной дуговой печи осуществляется плавка двух видов:

- на шихте из легированных отходов (методом переплава);
- на углеродистой шихте (с окислением примесей).

Плавку на шихте из легированных отходов ведут без окисления примесей. После расплавления шихты из металла удаляют серу, наводя основной шлак, при необходимости науглероживают и доводят металл до заданного химического состава. Проводят диффузионное раскисление, подавая на шлак измельченные ферросилиций, алюминий, молотый кокс. Так выплавляют легированные стали из отходов машиностроительных заводов.

Плавку на углеродистой шихте применяют для производства конструкционных сталей. В печь загружают шихту: стальной лом, чушковый передельный чугун, электродный бой или кокс, для науглероживания металлов и известь. Опускают электроды, включают ток. Шихта под действием электродов плавится, металл накапливается в подине печи. Во время плавления шихты кислородом воздуха, оксидами шихты и окислы окисляются железо, кремний, фосфор, марганец, частично, углерод. Оксид кальция из извести и оксид железа образуют основной железистый шлак, способствующий удалению фосфора из металла. После нагрева до 1500...1540 °C загружают руду и известь, проводят период «кипения» металла, происходит дальнейшее окисление углерода. После прекращения кипения удаляют шлак. Затем приступают к удалению серы и раскислению металла заданного химического состава. Раскисление производят осаждением и диффузионным методом. Для определения химического состава металла берут пробы и при необходимости вводят в печь ферросплавы для получения заданного химического состава. Затем выполняют конечное раскисление алюминием и силикокальцием, выпускают сталь в ковш.

При выплавке легированных сталей в дуговых печах в сталь вводят легирующие элементы в виде ферросплавов.

Плавку стали ведут в рабочем пространстве, ограниченном сверху куполообразным сводом, снизу сферическим подом и с боков стенками. Огнеупорная кладка пода и стен снаружи заключена в

металлический кожух. Съёмный свод может быть набран из огнеупорных кирпичей, опирающихся на опорное кольцо, а может быть из водоохлаждаемых панелей, как и стенки. Через три симметрично расположенных в своде отверстия в рабочее пространство введены токопроводящие электроды, которые с помощью специальных механизмов могут перемещаться вверх и вниз. Печь обычно питается трёхфазным током, но есть печи постоянного тока. Современная мощная дуговая печь используется преимущественно как агрегат для расплавления шихты и получения жидкого полупродукта, который затем доводят до нужных состава и степени чистоты внепечной обработкой в ковше.

Данная технология также носит название технологии плавки на свежей шихте с окислением и применяется на печах малой и средней (≤ 40 т) емкости при выплавке качественных легированных сталей. Плавка состоит из следующих периодов:

1. заправка печи;
2. загрузка шихты;
3. плавление;
4. окислительный период;
5. восстановительный период;
6. выпуск стали.

Заправка печи

Заправка – это исправление изношенных и поврежденных участков футеровки пода. После выпуска очередной плавки с подины удаляют остатки металла и шлака. На поврежденные подины и откосов забрасывают магнезитовый порошок или же магнезитовый порошок, смешанный с каменноугольным пеком (связующим). Длительность заправки 10-15 мин.

Загрузка шихты

При выплавке стали в печах малой и средней емкости шихта на 90-100% состоит из стального лома. Для повышения содержания углерода в шихту вводят чугун ($<10\%$), а также электродный бой или кокс. Общее количество чугуна и электродного боя или кокса должно быть таким, чтобы содержание углерода в шихте превышало нижний предел его содержания в готовой стали на 0.3% при выплавке высокоуглеродистых сталей, на 0.3-0.4 % при выплавке среднеуглеродистых и на 0.5% для низкоуглеродистых. Этот предел несколько снижается при росте емкости печи. Чтобы совместить удаление части фосфора с плавлением шихты в завалку рекомендуется давать 2-3% извести.

Загрузку ведут бадьями или корзинами. В корзины и бадьи шихту укладывают в следующей последовательности: на дно кладут часть мелочи, чтобы защитить подину от ударов тяжелых кусков стального лома, затем в центре укладывают крупный лом, а по периферии средний и сверху – оставшийся мелкий лом. Плотная укладка шихты улучшает ее проводимость, обеспечивая устойчивое горение дуги, ускоряя плавление. Для уменьшения угара кокс и электродный бой кладут под слой крупного лома.

Плавление

После окончания завалки электроды опускают почти до касания с шихтой и включают ток. Под действием высокой температуры дуги под электродами плавиться, жидкий металл стекает вниз, накапливаясь в центральной части подины. Электроды постепенно опускаются, проплавляя в шихте "колодцы" и достигая крайнего нижнего положения. По мере увеличения количества жидкого металла электроды поднимаются. Это достигается при помощи автоматических регуляторов для поддержания определенной длины дуги. Плавление ведут при максимальной мощности печного трансформатора.

Во время плавления происходит окисление составляющих шихты, формируется шлак, происходит частичное удаление в шлак фосфора и серы. Окисление примесей осуществляется за счет кислорода воздуха, окислы и ржавчины, внесенных металлической шихтой.

За время плавления полностью окисляется кремний, 40-60% марганца, частично окисляется углерод и железо. В формировании шлака наряду с продуктами окисления (SiO_2 , MnO , FeO) принимает участие и окись кальция, содержащаяся в извести. Шлак к концу периода плавления имеет примерно следующий состав, %: 35-40 CaO ; 15-25 SiO_2 ; 8-15 FeO ; 5-10 MnO ; 3-7 Al_2O_3 ; 0.5-1.2 P_2O_5 . низкая температура и наличие основного железистого шлака благоприятствует дефосфорации. В зоне электрических дуг за время плавления испаряется от 2 до 5% металла, преимущественно железа.

Для ускорения плавления иногда применяют газо-кислородные горелки, вводимые в рабочее пространство через под или стенки печи. Для уменьшения продолжительности плавления часто применяют продувку кислородом, вводимым в жидкий металл после расплавления $\frac{3}{4}$ шихты с помощью фурм или стальных футерованных трубок. При расходе кислорода 4-6 $\text{м}^3/\text{т}$ длительность плавления сокращается на 10-20 мин.

Продолжительность периода плавки определяется мощностью трансформатора и составляет от 1.1 до 3.0 ч. Расход электроэнергии за время плавления составляет 400-480 кВт*ч.

Окислительный период

Задача окислительного периода плавки состоит в следующем:

- а) уменьшить содержание в металле фосфора до 0.01-0.015%;
- б) уменьшить содержание в металле водорода и азота;
- в) нагреть металл до температуры близкой к температуре выпуска (на 120-130 °С выше температуры ликвидуса).

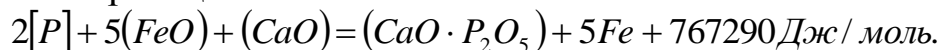
Кроме того, за время периода окисляют углерод до нижнего предела его содержания в выплавляемой стали. За счет кипения (выделения пузырьков СО при окислении углерода) происходит дегазация металла и его перемешивание, что ускоряет процессы дефосфорации и нагрева.

Окисление примесей ведут, используя либо железную руду (окалину, агломерат), либо газообразный кислород.

Окислительный период начинается с того, что из печи сливают 65-75% шлака, образовавшегося в период плавления. Шлак сливают не выключая печь, наклонив её в сторону рабочего окна на 10-12°. Слив шлака производят для того, чтобы удалить из печи перешедший в шлак фосфор. Удалив шлак, в печь присаживают шлакообразующие: 1-1.5% извести и при необходимости 0.15-0.25% плавикового шпата, шамотного боя или боксита.

После формирования жидкоподвижного шлака в ванну в течение всего окислительного периода ведут продувку кислородом; печь для слива шлака в течение периода наклонена в сторону рабочего окна. Присадка руды вызывает интенсивное кипение ванны – окисляется углерод, реагируя с окислами железа руды с выделением большого количества пузырьков СО. Под воздействием газов шлак вспенивается, уровень его повышается и он стекает в шлаковую чашу через порог рабочего окна. Новую порцию руды присаживают, когда интенсивность кипения металла начинает ослабевать. Общий расход руды составляет 3-6.5% от массы металла. С тем, чтобы предотвратить сильное охлаждение металла, единовременная порция руды не должна быть более 0.5-1%.

В течение всего окислительного периода идет дефосфорация металла по реакции:



Для успешного протекания той реакции необходимы высокие основность шлака и концентрация окислов железа в нем, а также

пониженная температура. Эти условия создаются при совместном введении в печь извести и руды.

Из-за высокого содержания окислов железа в шлаках окислительного периода условия для протекания реакции десульфурации являются неблагоприятными и десульфурация получает ограниченное развитие: за все время плавления и окислительного периода в шлак удаляется до 30-40% серы, содержащейся в шихте.

При кипении вместе с пузырьками СО из металла удаляются водород и азот. Этот процесс имеет большое значение для повышения качества электростали, поскольку в электропечи в зоне электрических дуг идет интенсивное насыщение металла азотом и водородом. В связи с этим электросталь обычно содержит азота больше, чем мартеновская и кислородно-конвертерная сталь.

Кипение и перемешивание обеспечивает также ускорение выравнивания температуры металла и его нагрев. За время окислительного периода необходимо окислить углерода не менее 0.2-0.3% при выплавке высокоуглеродистой стали (содержащей >6% С) и 0.3-0.4% при выплавке средне- и низкоуглеродистой стали.

Шлак в конце окислительного периода имеет примерно следующий состав, %: 35-50 СаО; 10-20 SiO₂; 4-12 MnO; 6-15 MgO; 3-7 Al₂O₃; 6-30 FeO; 2-6 Fe₂O₃; 0.4-1.5 P₂O₅. содержание окислов железа в шлак зависит от содержания углерода в выплавляемой марке стали; верхний предел характерен для низкоуглеродистых сталей, нижний – для высокоуглеродистых.

Окислительный период заканчивается тогда, когда углерод окисляется до нижнего предела его содержания в выплавляемой марке стали, а содержание фосфора снижено до 0.010-0.015%. Период заканчивают сливом окислительного шлака. Полное скачивание окислительного шлака необходимо, чтобы содержащийся в нем фосфор не перешел обратно в металл во время восстановительного периода.

Восстановительный период

Задачами восстановительного периода являются:

- а) раскисление металла;
- б) удаление серы;
- в) доведение химического состава стали до заданного;
- г) корректировка температуры.

Все эти задачи решаются параллельно в течение всего восстановительного периода; раскисление металла производят одновременно осаждающим и диффузионным методами.

После удаления окислительного шлака в печь присаживают ферромарганец в количестве, необходимом для обеспечения содержания марганца в металле на его нижнем пределе для выплавляемой стали, а также ферросилиций из расчета введения в металл 0.10-0.15% кремния и алюминий в количестве 0.03-0.1%. Эти добавки вводят для обеспечения осаждающего раскисления металла.

Далее наводят шлак, вводя в печь известь, плавиковый шпат и шамотный бой. Через 10-15 мин. шлаковая смесь расплавляется и после образования жидкоподвижного шлака приступают к диффузионному раскислению. Вначале, в течение 15-20 мин. раскисление ведут смесью, состоящей из извести, плавикового шпата и кокса в соотношении 8:2:1, иногда присаживают один кокс. Далее начинают раскисление молотым 45 или 75%-ным ферросилицием, который вводят в состав раскислительной смеси, содержащей известь, плавиковый шпат, кокс и ферросилиций в соотношении 4:1:1:1, содержание в этой смеси уменьшают. На некоторых марках стали в конце восстановительного периода в состав раскислительной смеси вводят более сильные раскислители – молотый силикокальций и порошкообразный алюминий, а при выплавке ряда низкоуглеродистых сталей диффузионное раскисление ведут без введения кокса в состав раскислительных смесей.

Суть диффузионного раскисления, протекающего в течение всего периода, заключается в следующем. Так как раскисляющие вещества применяют в порошкообразном виде, плотность их невелика и они очень медленно опускаются через слой шлака. В шлаке протекают следующие реакции раскисления:



В результате содержание FeO в шлаке уменьшается и в соответствии с законом распределения $(\text{FeO})/[\text{FeO}] = \text{const}$ кислород (в виде FeO) начинает путем диффузии переходить из металла в шлак (диффузионное раскисление). Преимущество диффузионного раскисления заключается в том, что поскольку реакции раскисления идут в шлаке, выплавляемая сталь не загрязняется продуктами раскисления – образующимися окислами. Это способствует получению стали с пониженным содержанием неметаллических включений.

По мере диффузионного раскисления постепенно уменьшается содержание FeO в шлаке и пробы застывшего шлака светлеют, а затем становятся почти белыми. Белый шлак конца восстановительного периода электроплавки имеет следующий состав, %: 53-60 CaO; 15-25 SiO₂; 7-15 MgO; 5-8 Al₂O₃; 5-10 CaF₂; 0.8-1.5 CaS; < 0.5 FeO; < 0.5 MnO.

Во время восстановительного периода идет десульфурация, поскольку условия для её протекания лучше, чем в других сталеплавильных агрегатах. Хорошая десульфурация объясняется высокой основностью шлака восстановительного периода ($\text{CaO/SiO}_2 = 2.7-3.3$) и низким (< 0.5 %) содержанием FeO в шлаке, обеспечивающим сдвиг равновесия реакции десульфурации $[\text{FeS}] + (\text{CaO}) = (\text{CaS}) + (\text{FeO})$ вправо (в сторону более полного перехода серы в шлак). Коэффициент распределения серы между шлаком и металлом $(\text{S})/[\text{S}]$ в восстановительный период электроплавки составляет 20-50 и может достигать до 60. в электропечи с основной футеровкой можно удалить серу до тысячных долей процента.

Для улучшения перемешивания шлака и металла и интенсификации медленно идущих процессов перехода в шлак серы, кислорода и неметаллических включений в восстановительный период рекомендуется применять электромагнитное перемешивание, особенно на большегрузных печах, где удельная поверхность контакта металл-шлак значительно меньше, чем в печах малой емкости.

Длительность восстановительного периода составляет 40-100 мин. За 10-20 мин. до выпуска проводят корректировку содержания кремния в металле, вводя в печь кусковой ферросилиций. Для конечного раскисления за 2-3 мин. до выпуска в металл присаживают 0.4-1.0 кг алюминия на 1 т стали. Выпуск стали из печи в ковш производят совместно со шлаком. Интенсивное перемешивание металла со шлаком в ковше обеспечивает дополнительное рафинирование – из металла в белый шлак переходит сера и неметаллические включения.

Порядок легирования

При выплавке легированных сталей в дуговых печах порядок легирования зависит от сродства легирующих элементов к кислороду. Элементы, обладающие меньшим сродством к кислороду, чем железо (никель, молибден) во время плавки не окисляются и их вводят в начальные периоды плавки – никель в завалку, а молибден в конце плавления или в начале окислительного периода.

Хром и марганец обладают большим сродством к кислороду, чем железо. Поэтому металл легируют хромом и марганцем после слива окислительного шлака в начале восстановительного периода.

Вольфрам обладает большим сродством к кислороду, чем железо и он может окисляться и его обычно вводят в начале восстановительного периода. Особенность легирования вольфрамом заключается в том, что из-за высокой температуры плавления он растворяется медленно и для корректировки состава ферровольфрам можно присаживать в ванну не позднее, чем за 30 до выпуска.

Кремний, ванадий и особенно титан и алюминий обладают большим сродством к кислороду и легко окисляются. Легирование стали феррованадием производят за 15-35 мин. до выпуска, ферросилиций – за 10-20 мин. до выпуска. Ферротитан вводят в печь за 5-15 мин. до выпуска, либо в ковш. Алюминий вводят за 2-3 мин. до выпуска в ковш.

Контрольные вопросы:

1. Устройство ДСП.
2. Виды плавки в основной ДСП.
3. Периоды плавки в ДСП.
4. Задачи окислительного и восстановительного периода и методы их решения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Изучение конструкции и работы электродуговой печи с кислой футеровкой

Цель работы: Ознакомиться с конструкцией и устройством основной электродуговой печи, ознакомиться с процессом плавки стали на углеродистой шихте. Изучить окислительные и восстановительные периоды плавки в основной электродуговой печи.

Теоретическая часть

Кислый процесс в дуговых печах - футеровка кислых дуговых печей состоит почти из чистого кремнезема и, как отмечалось, шлаки кислого процесса обычно насыщены SiO_2 . Высокая вязкость кислых шлаков замедляет диффузионные процессы в ванне, и поэтому в кислой печи реакции между сталью и шлаком протекают с меньшей скоростью, чем в основных.

Высокое содержание в шлаке окиси кремния исключает возможность перехода из металла в шлак фосфора и серы, поэтому в печах с кислой футеровкой отсутствуют условия для проведения важнейших металлургических процессов — дефосфорации и десульфурации стали. Кроме того, в печах с кислой футеровкой возможно восстановление кремния из футеровки углеродом, марганцем и более активными к кислороду элементами, что ограничивает при проведении кислого процесса возможности легирования металла.

Это служит причиной того, что в дуговых печах с кислой футеровкой выплавляют ограниченный сортамент стали, включающий лишь простые среднеуглеродистые (0,25—0,40% C), а также хромоникелевые, хромомолибденовые и некоторые другие среднеуглеродистые легированные стали. Выплавка в них сложнолегированных сталей и сплавов, содержащих марганец, титан, алюминий, цирконий и др., практически невозможна.

В то же время в отношении тепловой работы печи кислая футеровка предпочтительнее. По сравнению с основными, кислые шлаки обладают более высоким омическим сопротивлением, что позволяет нагревать жидкую сталь более короткой дугой на высокой ступени напряжения печного трансформатора. Это улучшает передачу тепла металлу и увеличивает электрический к.п.д. установки, так как электрические потери в цепи определяются главным образом силой тока.

Доля жидкого периода плавки (суммарная продолжительность окислительного и восстановительного периодов) в кислых печах намного меньше, чем в основных, так как при проведении кислой плавки не выполняют рафинирования от фосфора и серы и вводят меньшее количество легирующих присадок. Большой удельный вес по времени периода плавления позволяет полнее использовать мощность трансформатора, ввиду чего кислые печи целесообразно оборудовать трансформаторами более высокой удельной мощности, чем в случае основных печей. Это позволяет быстрее расплавлять металл и сокращает длительность плавки в целом.

В связи с отсутствием условий для дефосфорации и десульфурации металла геометрия ванны кислых печей может отличаться от геометрии ванны основных печей. Для дуговых печей с кислой футеровкой удельная поверхность зеркала металла не имеет особого значения, поэтому форму ванны целесообразно выбирать, исходя из минимума тепловых потерь, что достигается при более глубокой ванне. Уменьшению тепловых потерь через кладку и более быстрому нагреву металла способствует также более низкая теплопроводность кислых огнеупоров. Из-за отсутствия длительных периодов рафинирования металла от фосфора и серы это обеспечивает более высокий тепловой к.п.д. дуговой печи, значительное сокращение длительности плавки, уменьшение расхода электроэнергии и электродов.

Меньшая продолжительность плавки и более высокая термостойкость кислых огнеупоров обуславливают более высокую стойкость футеровки в кислых печах: она в несколько раз выше, чем у основной печи. И так как стоимость песка и динасового кирпича намного меньше стоимости магнезитовых огнеупоров, то удельные затраты на футеровку кислых печей в 2,5—3,0 раза ниже, чем основных.

Высокая термостойкость кислой футеровки допускает, кроме того, периодический характер работы с многократными разогревами и охлаждениями печи. Основные огнеупоры при таких условиях растрескиваются, а пропитанные известковым шлаком слои основной футеровки при охлаждении рассыпаются в порошок.

Из сопоставления преимуществ и недостатков кислых дуговых печей следует, что кислые дуговые печи лучше основных приспособлены для плавления и нагрева металла и значительно уступают им по возможностям получения качественной стали из обычной шихты. В шихту кислых печей, кроме оборотного скрапа, необходимо вводить специально выплавляемую в основных печах шихтовую заготовку или лом с низким содержанием фосфора и серы. Дефицит и высокая

стоимость таких шихтовых материалов ограничивают использование печей с кислой футеровкой.

Емкость кислых печей, как правило, составляет до 10 т, и их применяют в литейных цехах при плавке стали и чугуна для фасонных отливок. К металлу для этих отливок обычно предъявляют менее жесткие требования по содержанию фосфора и серы: содержание фосфора и серы в стали, предназначенной для литья, обычно допускается до 0,05% каждого из этих компонентов. В литейных цехах особое значение приобретают жидкотекучесть металла, возможность печи быстро расплавлять и нагревать металл, выдавать металл малыми порциями, приспособленность его к периодической работе. С этой точки зрения дуговые печи с кислой футеровкой более удобны, чем основные.

Использование кислых дуговых сталеплавильных печей при выплавке стали для отливок имеет и экономические преимущества, поскольку для футеровки этих печей используют менее дефицитные и более дешевые огнеупорные материалы, меньше расходуют шлакообразующих, электроэнергии, электродов. Даже высокая вязкость кислых шлаков в литейном производстве приобретает положительное значение, так как при таком шлаке удобнее заполнять формы из малых ковшей.

Однако затруднения с обеспечением фасоннолитейных цехов ломом с низким содержанием фосфора и серы приводят к тому, что на некоторых заводах у части печей даже в литейных цехах футеровка выполнена из основного материала, поскольку это дает возможность использовать оборотный скрап из основных печей в шихте для печей с кислой футеровкой.

Практическая часть

Особенности кислого процесса:

Кислая футеровка обладает большей термостойкостью по сравнению основной, что является важным ее преимуществом в условиях литейных цехов, работающих с перерывами в одну или две смены. Кроме того, пониженная отражательная способность кислого шлака уменьшает тепло-вую нагрузку на футеровку.

По этим причинам стойкость футеровки кислых дуговых печей выше, чем основных. Стоимость кислых огнеупоров в 2 — 2,5 раза ниже, чем основных.

Теплопроводность кислых огнеупоров ниже, чем основных, что способствует уменьшению тепловых потерь. Влияние шлака на металл в кислых печах менее существенно, чем в основных. По-этому глубина ванны в кислых печах больше, чем в основных при том же диаметре ванны. В результате этого тепловой КПД кислых печей выше, чем основных. Этим объясняется широкое использование кислых дуговых печей в сталелитейных цехах.

Шихта. Для плавки в кислых дуговых печах содержание серы и фосфора в шихте должно быть ниже допустимого предела в готовой стали, так как удалить их в процессе плавки не удастся.

Для эффективного рафинирования металла в процессе кипения содержание углерода в шихте должно быть большим, чем в готовом металле, на 0,15... 0,20 %. Для этого в шихту наряду с возвратом и отборным стальным ломом добавляют передельный чугуны, кокс или электродный бой. Порядок загрузки шихты в печь такой же, как при основном процессе.

Период расплавления сопровождается окислением кремния, марганца, железа и углерода. Доля образующегося при этом шлака невелика, поэтому для улучшения защиты расплавляемого металла от окисления и растворения газов объем шлака увеличивают добавкой сухого песка, шлака предыдущей плавки или формовочной смеси. В конце периода расплавления шлак имеет следующий состав, %: SiO_2 40...50; FeO 15...30; MnO 10...30; Al_2O_3 2...6; прочие оксиды 5... 15.

Окислительный период имеет целью дегазацию металла в процессе кипения. Окисление углерода происходит оксидами железа и марганца, содержащимися в шлаке. При этом содержание SiO_2 в шлаке растет, и к концу кипения оно достигает 60 %, способствуя процессу восстановления кремния.

При активном процессе восстановления кремния сдерживают присадкой руды и извести, кипение продолжают до достижения заданного содержания углерода. Раскисление проводят в два этапа — введением ферросилиция и ферромарганца в печь, а при выпуске металла — присадкой алюминия в ковш.

При кремневосстановительном процессе содержание восстановленного кремния доводят до 0,2 %. При этом требуется только раскисление в ковше алюминием.

Особенности плавки стали в дуговых печах постоянного тока.

Дуговые сталеплавильные печи постоянного тока получили распространение с начала 1980-х гг., после того, как было освоено

производство мощных, экономичных и надежных выпрямителей на базе тиристорov. К 1993 г. в мире эксплуатировалось около 80 печей постоянного тока емкостью до 150 т.

Большая часть печей постоянного тока — это вновь создаваемые печи, но в ряде случаев они представляют собой результат реконструкции печей, работавших на переменном токе.

Дуговые печи постоянного тока обычно имеют только один графитовый электрод, диаметр которого может достигать 700 мм. По сравнению с электродами печей переменного тока, в которых наблюдается поверхностный эффект, плотность постоянного тока равномерна по сечению электрода. Важнейшее конструктивное отличие дуговой печи постоянного тока состоит в наличии подового электрода. Подовый электрод располагается не соосно с верхним электродом, а на расстоянии 500...600 мм от оси печи. Это обеспечивает интенсивное электромагнитное перемешивание металла в ванне. Кроме того, к преимуществам таких печей относятся:

- уменьшение, примерно, в 5 — 9 раз удельного расхода графитовых электродов;
- связанное с этим уменьшение вредных выбросов из печи;
- уменьшение шума и вибрации при работе печи;
- некоторое снижение расхода электроэнергии и угара металла при плавке.

В то же время следует отметить усложнение конструкции и эксплуатации пода печи в связи с расположением в нем подового электрода. Технология плавки в дуговых печах постоянного тока может не иметь существенных отличий от плавки в печах переменного тока. Но часто технологией предусматривается загрузка шихты на металл и шлак, частично оставленные в печи от предыдущей плавки. Используются также топливно-кислородные горелки в начале плавления и вдувание кислорода в ванну металла.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Плавка алюминия и алюминиевых сплавов

Цель работы. Знакомство с теорией и практикой заготовительно-рафинировочной плавки алюминия и его сплавов.

Основные определения, теория и технология

Извлекаемый из электролизных ванн так называемый сырой алюминий содержит примеси электроположительных элементов, перешедшие из сырья, и неметаллические включения. К последним относятся электролит, тугоплавкие соединения и растворенные газы. Металлические примеси можно удалить только при помощи специального рафинирования. Удаление неметаллических включений производится путем переплавки. Наличие примесей в сыром алюминии неизбежно, так как во время выпуска из ванны вместе с ним увлекается электролит, а сам металл содержит растворенные газы и карбид алюминия, что является следствием процессов, происходящих внутри электролизера. Кроме того, окисление алюминия воздухом в момент выпуска приводит к его загрязнению оксидом.

Алюминий, используемый для механической обработки (прокатки и волочения), должен быть особенно чистым и подлежит обязательной переплавке. Если алюминий не предназначается для обработки, а идет на изготовление сплавов, то он может переплавляться в момент их приготовления и по месту производства.

Плавка большинства алюминиевых сплавов не доставляет затруднений. Легирующие компоненты, за исключением магния, цинка, а иногда и меди, вводят в виде лигатуры. При выплавке небольших порций литейных сплавов в тигельных печах флюсы, как правило, не применяют, но при использовании пламенных печей (рис.1) они необходимы. Обязательной операцией является рафинирование от неметаллических включений и растворенного водорода. Наиболее сложна плавка алюминиево-магниевых и многокомпонентных жаропрочных сплавов.

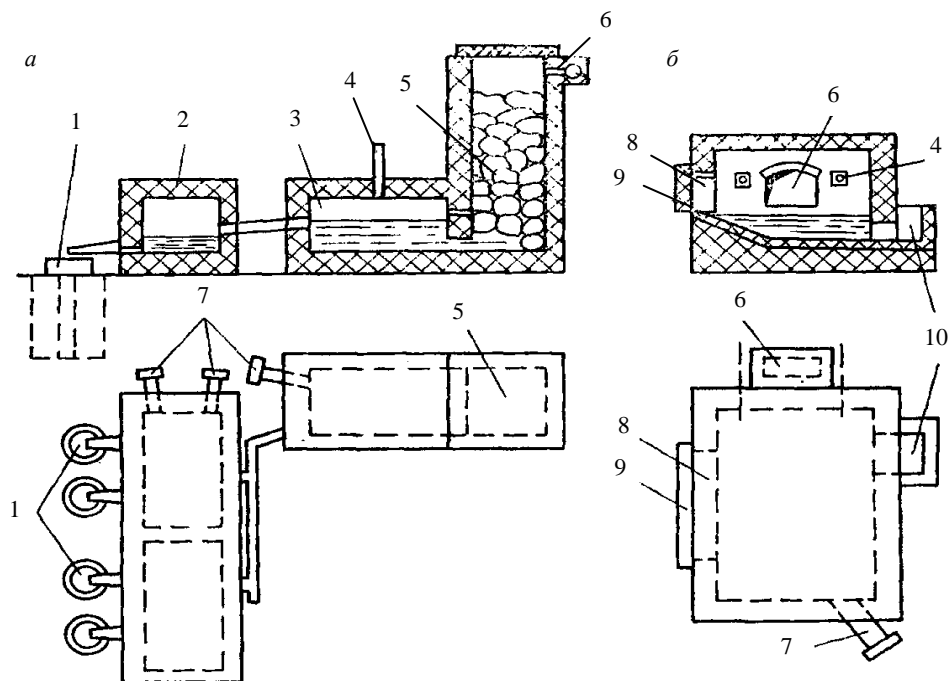
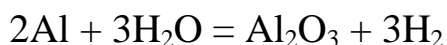


Рисунок 1. – Схемы газовых печей для плавки алюминиевых сплавов:

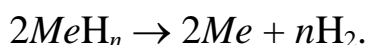
а – шахтно-ванная для непрерывной плавки; б – отражательная

1 – литейная машина; 2 – миксер; 3 – ванна; 4 – форсунка; 5 – шахта; 6 – дымоход; 7 – газодинамический насос; 8 – загрузочное окно; 9 – крышка; 10 – переливной карман

Загрязнение алюминиевых сплавов неметаллическими включениями объясняется повышенной склонностью алюминия к газопоглощению при температурах плавки, а также высокой химической активностью алюминия и некоторых легирующих элементов, входящих в состав этих сплавов. При взаимодействии жидкого алюминия с топливными газами пламенных печей и влагой, вносимой шихтой, расплав насыщается водородом, растворимость которого увеличивается с ростом температуры. Реакция взаимодействия алюминия с парами воды

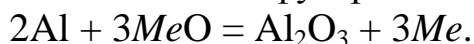


начинается при очень малых значениях парциального давления H_2O ($p_{\text{H}_2\text{O}} = 2,6 \cdot 10^{-19}$ ат при 1000 К). Значительное количество водорода вводится в расплав с лигатурами, содержащими гидридообразующие металлы (титан, цирконий и др.). Гидриды металлов имеют переменный химический состав и активно диссоциируют при температурах 690-730 °С с выделением водорода:



Высокая химическая активность алюминия (большое сродство к кислороду) приводит к повышенной окисляемости расплава и загрязнению его оксидом. Кроме того, алюминий является

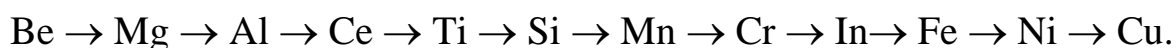
восстановителем по отношению к оксидам большинства металлов. Это вызывает активное взаимодействие алюминия с оксидами, входящими в состав футеровки и тиглей, по реакции



В основном, неметаллические включения (твердые и газообразные) попадают в расплав из шихтовых материалов, а насыщение ими происходит затем в процессе плавки и разливки сплавов.

Газы, попавшие в сплав, образуют растворы или химические соединения. Растворенные газы при охлаждении отливок являются источником газовой пористости. При понижении температуры растворимость газов в жидком алюминии уменьшается, но при этом растет вязкость сплава, что затрудняет отделение пузырьков. Неметаллические включения располагаются преимущественно по границам зерен, нарушая связь между ними, снижая прочность, герметичность и коррозионную стойкость отливок.

В нисходящем ряду химической активности, по величине стандартного сродства к кислороду при образовании оксидов, основные легирующие элементы располагаются в следующем порядке:



Этот ряд показывает, что у большинства алюминиевых сплавов оксидная пленка будет состоять в основном из Al_2O_3 . Сплошность этой пленки зависит от отношения молекулярных объемов оксида и металла, из которого он образовался, $V_{\text{ок}}/V_{\text{мет}}$. Если $V_{\text{ок}}/V_{\text{мет}} > 1$, то оксидная пленка будет сплошной и дальнейшее окисление зависит только от скорости диффузии кислорода в глубь металла (правило Пиллинга – Бэдвордса). Растворимость кислорода в алюминии очень мала, а отношение $V_{\text{ок}}/V_{\text{мет}} > 1$, поэтому оксидная пленка на поверхности алюминиевого сплава является сплошной и хорошо защищает его от окисления.

Перед плавкой основные шихтовые материалы подвергают следующей обработке:

- тщательной очистке чушковых материалов, лигатур и отходов от следов коррозии и масла;
- предварительной переплавке мелких отходов (стружки, сплесков и т.п.) и разливке в чушки;
- просушке для удаления гигроскопичной влаги;
- отбраковке посторонних материалов.

Загрузка шихты в плавильную печь выполняется в определенной последовательности: сначала вводят чушковый алюминий и крупногабаритные отходы, затем переплав и лигатуры (чистые металлы). В жидкий металл при температуре не выше 730 °С разрешается загружать сухую стружку и малогабаритный лом. Максимально допустимый перегрев для литейных сплавов 800-830 °С, а для деформируемых 750-760 °С.

Режим плавки (температура, время расплавления) является важным фактором, влияющим на газонасыщенность сплава. В интервале температур 660-750 °С растворимость водорода в алюминиевых сплавах примерно 0,5-1,0 см³/100 г. Повышение температуры, а также увеличение времени выдержки расплава в печи приводит к значительному увеличению растворимости водорода. Поэтому сокращение времени плавки и минимально необходимый перегрев расплава (на 50 °С выше температуры литья) рекомендуются для технологии приготовления любого алюминиевого сплава.

Защитно-покровные флюсы применяют, как правило, при переплавке стружки и мелких отходов (табл.1). Такие флюсы состоят из смеси галоидных солей щелочных и щелочно-земельных металлов и являются пассивными как по отношению к газам печной атмосферы, так и по отношению к металлам, образующим сплав. Фтористые соли повышают поверхностное натяжение флюса на границе с расплавом и способствуют отделению флюса.

Таблица 1 – Флюсы, применяемые при плавке алюминиевых сплавов

Назначение флюса	Состав, % по массе					
	NaCl	KCl	Na ₃ AlF ₆	MgCl ₂ KCl	NaF	CaF ₂
Покровно-защитный для переплавки отходов и стружки	39	50	6,6	—	—	4,4
	50	35	15,0	—	—	—
	40	50	—	—	10	—
Для рафинирования сплавов систем Al-Si, Al- Si -Mg, Al-Cu, Al-Si-Cu	30	47	23,0	—	—	—
Для рафинирования сплавов систем Al-Mg, Al-Mg-Si, Al- Mg- Zn	—	—	—	80	—	20,0
	—	—	—	60	—	40,0

Покровный флюс (2-3 % от массы шихты) сразу же после загрузки шихты в печь засыпается на ее поверхность. Флюс

предохраняет поверхность расплава от окисления и взаимодействия с газами печной атмосферы.

Соли, входящие в состав флюсов, следует предварительно просушивать при температуре 150-200 °С (для удаления гигроскопической влаги) и размалывать.

Широкое применение нашли покровно-рафинирующие флюсы с повышенным содержанием фторидов. Эти флюсы не только защищают расплав от воздействия атмосферы, но и способствуют его дегазации и очистке от оксидных включений.

Рафинирующее воздействие флюсов заключается в том, что они способны адсорбировать до 10 % по массе оксида алюминия. При этом происходит и дегазация расплава, так как водород, образующий комплексы с оксидом алюминия, удаляется вместе с частицами Al_2O_3 . Основной рафинирующей солью большинства флюсов является криолит Na_3AlF_6 .

Сплавы с повышенным содержанием магния в качестве неметаллических включений содержат, в основном, оксид магния, на который криолит не оказывает адсорбирующего воздействия. MgO хорошо адсорбируется хлористым магнием, поэтому рафинирование сплавов на основе системы $Al-Mg$ производится флюсом, содержащим карналлит $MgCl_2 \cdot KCl$.

Покровно-рафинирующий флюс (табл.1) в количестве 0,1-0,2 % от массы шихты засыпается на поверхность расплава. При температуре рафинирования производится замешивание флюса в глубь расплава для более полного взаимодействия с металлом. Время замешивания и последующего отстаивания расплава под флюсом устанавливается опытным путем.

Все адсорбционные методы рафинирования обладают одним общим недостатком: рафинирующие газы практически не могут охватить весь объем рафинируемого металла и очищают только те участки расплава, через которые они проходят.

Особую группу составляют универсальные флюсы, оказывающие одновременно защитное, рафинирующее и модифицирующее воздействие на сплавы (табл.2).

Таблица 2 – Состав универсальных флюсов

Номер флюса	Состав, % по массе				Температура модифицирования, °C
	NaF	NaCl	KCl	Na ₃ AlF ₆	
1	60	25	-	15	800-820
2	40	45	-	15	750-780
3	30	50	10	10	720-740

Введением в расплав небольших количеств металлов или их лигатур органических или неорганических соединений можно существенно повлиять на процесс кристаллизации сплавов. В зависимости от природы и количества модификаторов, а также скорости кристаллизации можно достигнуть значительного измельчения зерен твердого раствора основы сплава или первичных кристаллов вторых фаз, или эвтектики, или всей структуры сплава. Например, сплавы, содержащие более 7 % кремния (рис.2); после рафинирования перед разливкой в формы рекомендуется подвергать модифицированию для получения мелкозернистого строения эвтектики $\alpha + \text{Si}$ с целью повышения механических свойств сплавов. Для модифицирования эвтектики применяется натрий, который обычно вводится в сплав из смеси галоидных солей натрия и калия.

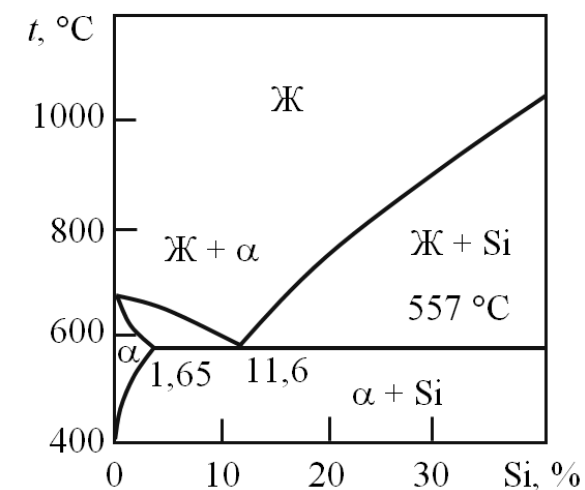
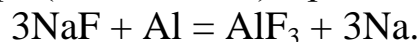


Рисунок 2. Диаграмма Al – Si

При оптимальном содержании в сплаве натрия (0,08-0,1 %) из жидкости кристаллизуется тройная эвтектика. При этом фазой, ведущей кристаллизацию тройной эвтектики, является алюминий. Дендриты алюминия захватывают в процессе роста кристаллы кремния. В отличие от двойной эвтектики $\alpha + \text{Si}$, где кремний кристаллизуется в

грубой, пластинчатой форме, в тройной эвтектике $\alpha + \text{Si} + \text{NaAlSi}_4$ он кристаллизуется в виде мелких округлых частиц, что способствует повышению прочности и особенно пластичности сплава.

Введение в расплав натрия осуществляется при взаимодействии плавящегося модификатора (смеси солей) с расплавом по реакции



Предварительно переплавленный, размолотый и просеянный модификатор в количестве 1,5-2 % от массы шихты насыпается на поверхность расплава. Расплав выдерживается под флюсом в течение 10-12 мин. Затем флюс замешивается в расплав на глубину 100-150 мм в течение 2-3 мин. Время после окончания модифицирования до конца разлива сплава не должно превышать 25-30 мин во избежании выгорания натрия.

Применение тройного модификатора (62,5 % NaCl, 25 % NaF и 12,5 % KCl) позволяет снизить температуру модифицирования до 725-740 °C.

Лабораторное оборудование. Электрическая печь, нагреватели для сушки шихты и флюсов, вспомогательное оборудование для брикетирования мелких отходов и измельчения флюсов, лабораторный микроскоп и химико-аналитическое оборудование.

Содержание задания. Сведения об используемых шихтовых и флюсовых материалах, рекомендации по технологии плавки, составу и количеству конечного сплава.

Порядок проведения работы

1. В соответствии с заданием выбрать и обосновать технологический режим, необходимый для заготовительно-рафинировочной плавки указанных материалов.

2. Провести расчет количества отдельных компонентов шихты для приготовления сплава данного состава или вторичного алюминия.

3. Для принятой технологической схемы плавки приготовить необходимое количество флюса и модификатора.

4. Мелкие компоненты шихты окусковать путем проковки или брикетирования.

5. Плавильный тигель разогреть вместе с электропечью до необходимой температуры. Контролируя температурный и временной режим, провести плавку шихты и рафинирование расплава.

6. По окончании плавки разлить металл с получением слитка в металлической изложнице или отливки в разъемной металлической

форме – кокиле. Разливка металла производится в присутствии преподавателя с соблюдением необходимых мер техники безопасности и противопожарной безопасности. Металлические формы должны быть предварительно очищены от нагара и ржавчины, а также подогреты до температуры 150-200 °С.

7. После охлаждения отливки механически очистить ее от шлака и остатков флюса и взвесить. Определить выход годного металла и его угар.

8. Выполнить микроскопическое исследование отливки и сделать заключение о наличии неметаллических примесей и особенностях кристаллической структуры.

9. Провести химический анализ сплава на содержание железа (по указанию преподавателя).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Плавка, рафинирование и модифицирование алюминиевых сплавов

Цель работы: изучение технологического процесса плавки, рафинирования и модифицирования алюминиевых сплавов.

Общие теоретические сведения

Алюминий - сравнительно легкоплавкий и легкий металл ($t_{пл}=658\text{ }^{\circ}\text{C}$, плотность $2,7\cdot 10^3\text{ кг/м}^3$).

Алюминиевые сплавы, применяемые в технике, делят на литейные и деформируемые. Первые из них предназначены для изготовления фасонных отливок, вторые — для производства полуфабрикатов (листов, лент, профилей, труб, штамповок и поковок) методами холодной или горячей обработки давлением. Основными компонентами алюминиевых сплавов являются кремний, медь, магний, марганец и цинк.

Для изготовления фасонных отливок в промышленности используют пять групп литейных алюминиевых сплавов: I - сплавы на основе системы алюминий—кремний (АЛ2, АЛ4, АЛ9, АЛ34, АК7, АК9); II - сплавы на основе системы алюминий—кремний—медь (АЛ5, АЛ5-1, АЛ32, АК5М2, АК5М7, АК8М3, АЛ30, АЛ25 АК4М4); III - сплавы на основе системы алюминий—медь (АЛ19, ВАЛ10); IV - сплавы на основе системы алюминий—магний (АМг4К1, АЛ13, АЛ22, АЛ23, АЛ27, АЛ28); V - сложнолегированные сплавы (АЛ11, АЛ24, АК9Ц6р).

При маркировке сплавов для изготовления фасонных отливок по ГОСТ 1583 - буквы АЛ (алюминиевый, литейный) и число, которое показывает номер сплава. Это число не имеет никакой связи с составом или свойствами сплава.

Чаше других для изготовления отливок применяют сплавы системы алюминий-кремний (силумины). Сплавы этой системы обладают лучшими, по сравнению с другими сплавами, литейными свойствами - малой линейной усадкой, хорошей жидкотекучестью, не склонны к образованию трещин при затрудненной усадке.

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 раз-

ливочных устройств, покровных, рафинирующих и модифицирующих флюсов; прокаливают и окрашивают плавильно-разливочный инструмент; очищают и сушат шихтовые материалы. Однако как бы тщательно ни проводилась плавка на воздухе, алюминиевые расплавы всегда оказываются загрязненными оксидами, нитридами, водородом, включениями шлака и флюса. Поэтому сплавы подвергают 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. В слитках крупные включения и пленки являются очагами образования расслоений при пластической деформации. Тонкодисперсные неметаллические включения оказывают влияние на структуру отливок и 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 плавки.

В качестве шихтовых материалов используют:

- первичный алюминий в чушках ГОСТ 11069 особой чистоты А999 (Al=99,99%), высокой чистоты А995 и т.д. и силумин в чушках СИЛ-00, СИЛ-2, где цифры обозначают степень чистоты от примесей;
- алюминиевые сплавы в чушках ГОСТ 1583 выпускают 19 марок. Буквы, следующие за А, обозначают легирующие элементы (К-кремний, М- медь, Н- никель и т.д.), а цифры - их среднее содержание, например, АК9 содержит 9 % Si;

- лом и отходы цветных металлов и сплавов ГОСТ 1639 на 3 класса по физическим признакам, на 10 групп и марки – по химическому составу, по показателям качества - на сорта;

- возврат, а также лигатуры. Лигатура используется с целью введения в сплав тугоплавких компонентов (Cu, Ni и др.) или активных легкоокисляющихся компонентов с минимальными потерями.

Алюминиевые сплавы выплавляют в открытой атмосфере в печах различных типов: тигельных и отражательных, работающих на электроэнергии, жидком и газообразном топливе. В лабораторных условиях для плавки алюминиевых сплавов применяют графитошамотные тигли. Часто используют чугунные тигли, покрытые огнеупорным покрытием.

Загрузка шихтовых материалов обычно производится в следующей последовательности: чушковый алюминий, крупногабаритный лом, переплав, лигатуры.

Цинк вводят перед магнием. Медь вводят при температуре 700 - 750°C. Легко окисляющиеся добавки вводят последними. Материалы, имеющие малую плотность, вводят в колокольчике.

После обработки флюсами сплав обычно проверяют на остаточное содержание газов с помощью вакуум - пробы. Если газонасыщение завышенное, производят повторную обработку флюсом или подвергают вакуумированию. Можно также производить длительную (в течение 3 - 5 часов) дегазирующую выдержку в индукционном канальном миксере под покровным флюсом.

Технология рафинирования

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

Эффективность рафинирования отстаиванием определяется разностью плотностей расплава и включений, вязкостью расплава и размерами включений и величиной работы адгезии их с расплавом.

Очистка расплавов продувкой инертными или активными газами основана на просекании 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

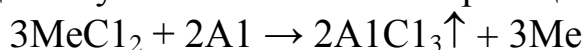
равномернее их распределение по объему расплава. Для этого используются пористые керамические вставки.

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 аргонem ведут при 720 - 730°C. Длительность продувки зависит от объема расплава и задается в пределах 5 - 20 мин, расход газа составляет 0,3 - 1 % на тонну расплава.

Обработка расплавов хлористыми солями основана на их летучести, термической диссоциации и способности вступать в обменные реакции с компонентами сплава с выделением парообразных 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 ($MnCl_2$) или переплавке ($ZnCl_2$). В расплав их вводят с помощью «колокольчика».

Хлористый цинк и хлористый марганец вводят в количестве 0,05-0,2 % при температуре расплава 700 - 730 °C; гексахлорэтан - в количестве 0,3-0,7 % при температуре 740 - 750°C 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 - происходит очистка расплава. По окончании перемешивания расплаву дают отстояться в течение 10 - 15 мин при температуре 720 - 730 °C для удаления мелких пузырьков газа.

Лучшие результаты в таких случаях дает рафинирование флюсами. Основное назначение – создание химически пассивного защитного слоя на поверхности расплава и удаление твердых и газообразных неметаллических включений и металлических примесей. Рафинирующее действие флюсов может состоять в адсорбции и растворении загрязнений или в химическом взаимодействии флюса с приме-

сями, причем образующийся продукт реакции удаляется в виде шлака.

Флюсы для Al-вых сплавов по плотности меньше, чем расплав, поэтому адсорбируемые и растворяющиеся в них примеси концентрируются в верхних слоях расплава.

Дегазирующее действие флюсов объясняется тем, что они, адсорбируя окись алюминия, способствуют одновременно удалению из расплава H_2 , образующего с окисью алюминия комплекс $(Al_2O_3)_x \cdot (H_2)_y$.

Для предохранения расплавленного металла от взаимодействия с атмосферой печи применяют покровные флюсы, вводимые при загрузке шихты. Они должны обладать возможно меньшей удельной массой, минимальной гигроскопичностью, располагаться равномерным слоем по зеркалу металла и легко отделяться от его поверхности при снятии шлака.

Рафинирующие флюсы вводят непосредственно на поверхность расплава в ковше или тигле печи, эффективнее - ввод при помощи колокольчика вглубь расплава.

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% 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 алюминиево-магниевых сплавов в качестве покровного флюса используют карналлит ($MgCl_2 \cdot KCl$) 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.

Предварительно переплавленные и высушенные флюсы в количестве 0,5 - 1% массы металла засыпают на поверхность расплава при температуре 700 - 750°C. Затем флюс в течение 3 - 5 мин энергично замешивают в расплав, удаляют шлак и дают расплаву отстояться 10 - 15 мин. 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 мин. 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.

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.

Контроль рафинирования. Содержание неметаллических включений определяют методами химического анализа и отбором технологических проб. Наличие крупных включений и плен определяют по пробе Добаткина—Зиновьева (рисунок 2.1).

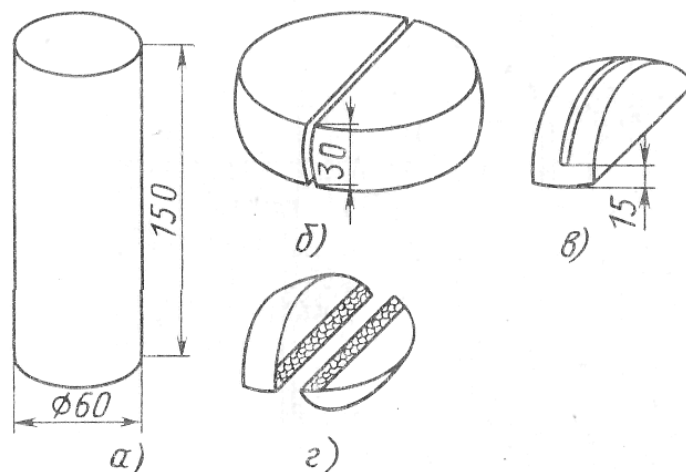


Рисунок.1. – Технологическая проба Добаткина - Зиновьева для определения наличия неметаллических включений и оксидных плен:
а - литая заготовка; *б* - осаженная заготовка; *в* - расположение надреза; *г* - излом.

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 (рисунок 2). Удовлетворительным считается такой расплав, площадь неметаллических включений в котором по технологической пробе не превышает $0,05 \text{ мм}^2$ на квадратный сантиметр площади излома.

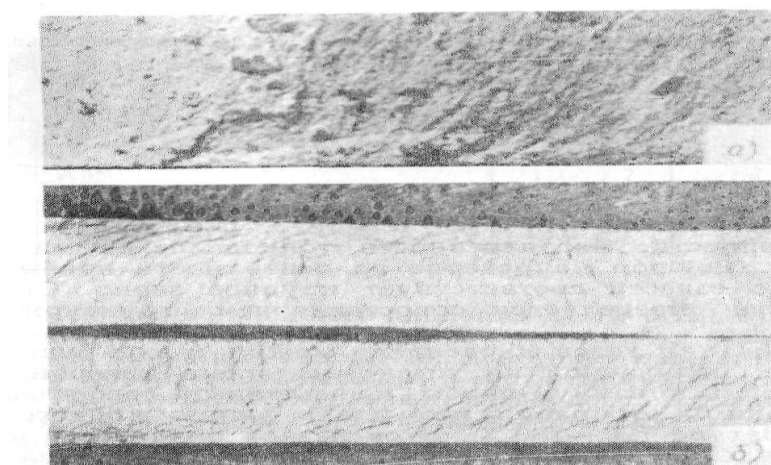


Рисунок.2- Изломы технических проб из нерафинированного (а) и рафинированного (б) сплавов.

2. Постановка работы

Работа выполняется в лаборатории кафедры.

При выполнении настоящей лабораторной работы студенты определяют состав шихтовых материалов, следят за выполнением всех технологических операций процесса плавки, отливают пробы из нерафинированного и рафинированного сплавов для определения наличия крупных включений и плен.

3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием и приборами, изучить инструкцию по технике безопасности.

2. Ознакомиться с применяемыми шихтовыми материалами, флюсами. Рассчитать и взвесить шихту для приготовления 1,5 кг алюминиевого сплава. Марку сплава, виды и количество используемых в шихте отходов указывает преподаватель.

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

4. Провести рафинирование сплава одной из солей. Навеску соли вводить на 2/3 глубины расплава с помощью «колокольчика». Выдержать расплав в течение 10-15 мин и удалить с его поверхности шлак. Операцию рафинирования и последующую выдержку проводить при температуре 720-740 °С.

5. Отлить образцы (диаметром 20х20 мм), изготовить микрошлифы и изучить структуры сплавов до и после модифицирования.

4. Содержание отчета

По выполненной работе отчет должен содержать:

- Цель работы.
- Расчет шихты для выплавки сплава заданного состава.
- Краткое описание технологии плавки и рафинирования с приведением всех используемых материалов.
- Методика оценки загрязненности сплава неметаллическими включениями.
- Результаты рафинирования.
- Выводы по работе.

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 марганцем?
9. Какие методы контроля используют для оценки содержания неметаллических включений?
10. Как отражается природа материала фильтра на эффективности очистки расплавов от неметаллических включений и плен?
11. Какой механизм лежит в основе очистки расплавов от дисперсных включений при фильтровании через зернистые фильтры?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Комбинированные способы внепечной обработки медных сплавов

Цель работы: Изучить технологию выплавки медных сплавов (бронз), химический состав шихтовых материалов, флюсов, модификаторов, лигатур, используемых при их выплавке.

Теоретическая часть

Медь и её сплавы используются в различных отраслях промышленности в качестве конструкционных материалов. Благодаря высокой электрической проводимости, теплопроводности, коррозионной стойкости, хладостойкости, отливки из меди в ряде случаев незаменимы в электротехнических установках, аппаратах криогенной техники, теплообменных устройствах агрегатов ЭШП, электронно-лучевых и плазменных печах.

Медь имеет низкие литейные свойства: большую линейную (2,1 %) и объёмную (11 %) усадку, высокую склонность к поглощению газов и образованию трещин, низкую жидкотекучесть. Поэтому чистую медь используют редко, а чаще применяют медные сплавы.

Медные сплавы подразделяют на бронзы и латуни. Бронзы в свою очередь делят на оловянные и безоловянные.

Отливки из оловянных бронз производят по техническим условиям согласно ГОСТ 613-79 (табл. 1), из безоловянных бронз по ГОСТ 493-79 (табл. 2).

Таблица 1 -Химический состав оловянных бронз (ГОСТ 613-79)

Марка бронзы	Массовая доля элемента, % (остальное Cu)				
	Sn	Zn	Pb	Прочие	Примеси, не более
Бр 03Ц7С5Н1	2,5-4,0	6,0-9,5	3,0-6,0	0,5-2,0 Ni	1,3
Бр 05Ц5С5	4-6	4,0-6,0	4,0-6,0	—	1,3
Бр 04С4С17	3,5-5,5	2,0-6,0	14,0-20,0	—	1,3
Бр 010Ц2	9,0-11,0	1,0-3,0	—	—	1,0
Бр 010Ф1	9,0-11,0	—	—	0,4-1,1 Р	1,0

Таблица 2 - Химический состав безоловянных бронз (ГОСТ 493-79)

Марка бронзы	Массовая доля элемента, % (остальное Cu)			
	Al	Fe	Прочие	Примеси, не более
Бр А9Мц2Л	8,0-9,5	–	1,5-2,5 Mn	2,8
Бр А9Ж3Л	8,0-10,0	2,0-4,0	–	2,7
Бр А10Ж4Н4Л	9,5-11,5	3,5-5,5	3,5-5,5 Ni	1,5
Бр С30	–	–	27-31 Pb	0,9

Плавку литейных медных сплавов ведут в отражательных, дуговых печах с независимой дугой, индукционных канальных и тигельных печах.

При плавке бронзы получение требуемого химического состава не вызывает особых трудностей, сложнее обеспечить минимальное насыщение сплава газами, которые интенсивно поглощаются расплавом в процессе плавки и являются причиной образования газовых раковин и газоусадочной пористости. В связи с этим особое значение приобретает выбор защитного покрытия расплава, которое, однако, только предохраняет сплав от окисления, но не удаляет газы, растворённые в жидком металле.

При плавке медных сплавов в качестве покровных материалов применяют древесный уголь и покровные флюсы (табл. 3).

Таблица 3 - Покровные и рафинирующие флюсы для медных сплавов

№ п/п	Состав, % по массе	Назначение
1	41-47 SiO ₂ ; 25-32 MnO ₂ ; 10-15 Na ₂ O; 11-14 Al ₂ O ₃	Покровный для оловянных бронз (в печах с шамотной футеровкой)
2	50 SiO ₂ ; 30 Na ₂ B ₄ O ₇ ; 20 CaO	То же
3	10-30 SiO ₂ ; 90-70 Na ₃ B ₄ O ₇	То же (в печах с магнезитовой футеровкой)
4	7 Na ₂ B ₄ O ₇ ; 60 Na ₂ CO ₃ ; 33 CaF ₂	Рафинирующий для оловянных бронз
5	50 Na ₂ CO ₃ ; 50 – бой стекла	Покровный для алюминиевых бронз
6	50 CaF ₂ ; 50 MgF ₂	Покровно-рафинирующий для бронз и латуней

7	20 CaF_2 ; 60NaF; 20 Na_3AlF_6	Рафинирующий для алюминиевых бронз
8	6 $\text{Na}_3\text{B}_4\text{O}_7$; 70 Na_2CO_3 ; 12 Na_3AlF_6 ; 12 K_2CO_3	То же

Для удаления из расплава водорода применяют несколько способов: обогащение металлической ванны кислородом, введение в расплав дегазирующих присадок.

Обогащение кислородом значительно уменьшает содержание водорода, но приводит к насыщению металла кислородом, что вызывает необходимость раскисления.

Дегазация окислением производится продувкой расплава воздухом, чистым кислородом и введением в жидкий металл окисляющих флюсов. В качестве окислителей в состав флюсов вводят окислы меди, марганца.

Окислительное рафинирование флюсами осуществляется при температуре 1180-1200 °С, расход окислителей составляет 0,5-1 % от массы металла.

Для удаления кислорода из расплава применяют раскисление.

Для раскисления медных сплавов с оловом и свинцом применяется фосфор. Сплавы содержащие в своём составе Zn, Al, Be, Si раскисляют бериллием, т.к. окислы этих элементов не восстанавливаются фосфором.

В качестве поверхностного раскислителя наиболее эффективен борный шлак, состоящий из борной кислоты или буры и порошок магния в соотношении 95:5.

Дегазацию медных сплавов производят также газами, для чего используют азот, хлор, гелий и аргон.

Дегазацию медных сплавов, как и алюминиевых, производят гексахлорэтаном C_2Cl_6 .

Для рафинирования применяют также фильтрацию сплавов, например алюминиевых бронз. Для этого используют керамические зернистые фильтры из магнезита, пропитанного CaF_2 , и металлические сетки из молибдена.

При плавке бронз в качестве шихтовых материалов используют медь ГОСТ 859-78), сплавы в чушках ГОСТ 614-73Е (табл. 4) и ГОСТ 17328-78Е (табл. 5), возврат, лом и лигатуры (табл. 6).

Приготовление лигатур можно производить в любой печи, однако предпочтительнее индукционные печи, в которых обеспечиваются

минимальные потери дорогостоящих цветных металлов и перемешивание расплава.

Таблица 4 - Химический состав и маркировка оловянных бронз в чушках (ГОСТ 614–73Е)

Марка	Массовая доля элемента, % (остальное Cu)						
	Sn	Zn	Pb	Ni	Примеси, не более		
					Al	Si	Ni
БрО5Ц6С5	4,1–6,0	4,5–6,5	4,0–6,0	–	0,05	0,05	1,0
БрО3Ц13С4	2,1–3,5	9,0–16,0	3,0–6,0	–	0,02	0,02	2,0
БрО3Ц8С4Н1	2,6–4,0	7,0–10,0	3,0–6,0	0,5–2,0	0,02	0,02	–
БрО4Ц7С5	3,1–5,5	6,5–9,0	4,0–7,0	–	0,05	0,05	2,0

Таблица 5 - Химический состав и маркировка безоловянных бронз в чушках (ГОСТ 17328–78Е)

Марка	Массовая доля элемента, % (остальное Si)										
	Al	Fe	Mn	As	Примеси, не более						
					Sn	Ni	Pb	P	Zr	Mn	Сумма
БрА10ЖЗр	8,5–10,5	2,0–4,0	–	0,05	0,2	1,0	0,1	0,1	1,0	0,5	1,7
БрА10ЖЗ	8,5–10,5	2,0–4,0	–	0,05	0,2	1,0	0,3	0,1	1,3	0,5	2,4
БрА10ЖЗМц2	9,0–11,0	2,0–4,0	1,3–3,0	0,01	0,1	0,5	0,1	0,03	1,1	-	1,7

Таблица 6 - Лигатуры, применяемые при плавке медных сплавов

№ п/п	Лигатура	Состав, %	Температура плавления, °С
1	Медно-марганцевая	73 Cu, 27Mn	860
2	Медно-бериллиевая	85–93 Cu, 7–15 Be	900
3	Медно-железная	90–95 Cu, 5–10 Fe	1450
4	Медно-кремнистая	84 Cu, 16 Si или 75 Cu, 25 Si	800
5	Медно-сурьмянистая	50 Cu, 50 Sb	680
6	Медно-оловянная	50 Cu, 50 Sn	780

7	Медно-никелевая	67–85 Cu, 15–33Ni	1050–1250
8	Медно-алюминиевая	50 Cu, 50 Al	580
9	Алюминиево-медно-марганцевая	50 Al, 40 Cu, 10 Mn	650
10	Алюминиево-медно-никелевая	50 Al, 40 Cu, 10 Ni	670
11	Алюминиево-медно-железная	70 Al, 20 Cu, 10 Fe	830
12	Медно-фосфористая	90–93 Cu, 7–10 P	970

При расчёте шихты учитывают угар элементов, который зависит от применяемых материалов, а также от типа печи (табл. 7).

Таблица 7 - Угар элементов при плавке медных сплавов

Элемент	Угар, %, элемента при использовании шихты	
	чистой	окисленной и загрязненной
Al	(1,0–1,5)/(1,0–2,0)	(1,0–2,0)/(2,0–2,0)
Be	(2,0–3,0)/(3,0–5,0)	(3,0–5,0)/(5,0–10,0)
Mg	(2,0–3,0)/(3,0–5,0)	(3,0–5,0)/(1,0–10,0)
Zn	(1,0–3,0)/(2,0–4,0)	(2,0–3,0)/(3,0–5,0)
Sn	(0,5–1,0)/(1,0–1,5)	(1,0–1,5)/(1,5–2,0)
Si	(0,1–1,0)/(1,0–1,5)	(1,0–1,5)/(1,5–2,0)
Pb	(0,5–2,0)/(1,0–1,5)	–
Cu	(0,5–1,0)/(1,0–2,0)	(1,0–2,0)/(2,0–3,0)
Mn	(0,5–1,0)/(1,0–2,0)	(1,0–2,0)/(2,0–3,0)

Примечание. В числителе угар элемента при плавке в электрической и тигельной печах, в знаменателе при плавке в пламенной печи.

Плавка оловянных бронз. В подготовленную разогретую печь загружают большую часть шихты и засыпают её просушенным древесным углем. По расплавлению медь раскисляют фосфористой медью (9–10% P) в количестве 0,2% от массы, доводят расплав до температуры 1100–1150 °С, после чего поочерёдно вводят остальные составляющие шихты Zn, Sn, Pb, затем сплав нагревают до температуры 1100–1200 °С, рафинируют хлористым марганцем или азотом, модифицируют, например, комплексным модификатором 0,05% Zn, 0,06%

В и 0,02 Ti, отбирают технологические пробы и транспортируют на заливку.

При выплавке оловянных бронз, наряду с раскислением фосфористой медью, применяют раскисление цинком из расчёта 500 г фосфористой меди и 500 г цинка на 100 кг сплава. Фосфористую медь вводят в два приёма, вначале присаживают 250 г фосфористой меди и сплав перемешивают (если плавят на первичных материалах, то перед присадкой олова), затем присаживают цинк в количестве 500 г и перед выпуском сплава вводят оставшиеся 250 г фосфористой меди.

Плавка безоловянных бронз. Плавку алюминиевых бронз чувствительных к перегреву, обладающих высокой активностью к поглощению газов, проводят в окислительной атмосфере под слоем флюса, избегая перегрева сплава выше 1200 °С. При плавке алюминиевой бронзы, легированной никелем, марганцем или железом, вначале расплавляют медь, производят раскисление фосфористой медью (0,05–0,10%), а затем вводят алюминий или лигатуру Al-Cu. Алюминий необходимо вводить перед марганцем и железом, так как в противном случае образующиеся плёны делают сплав непригодным для заливки. Сплав перегревают до 1150-1200 °С, рафинируют хлористым марганцем либо криолитом из расчёта 0,1-0,3% от массы расплава и вводят лигатуры, содержащие Mn, Ni и Fe. Плавку ведут под флюсом (см. табл. 1). Во избежание ликвации сплав необходимо тщательно перемешивать. Для удаления плен целесообразно производить фильтрацию сплава.

Плавку свинцовых бронз, из-за высокой разницы в плотности входящих в сплав компонентов, во избежании ликвации рекомендуется плавить в индукционных печах, легировать бронзы никелем до 2-2,5% и производить заливку сплава в металлические формы, обеспечивающие высокую скорость кристаллизации сплава в отливках.

На заключительной стадии выплавки медных сплавов рекомендуется проводить их модифицирование.

Медные сплавы модифицируют тугоплавкими элементами Ti, V, Zr, В, Мо, W с помощью лигатур: Cu-B (3-4 % В), Cu-Ti, Al-V (до 50%), Al-Ti в количествах 0,002-0,1% от массы металла при 1200-1250 °С. Перегрев сплава не допускается, так как это ведёт к укрупнению зерна. Следует иметь ввиду, что Ti, В, W для сплавов не содержат железа, не являются модификаторами.

Практическая часть

Особенности плавки и разливки медных сплавов

При плавке медных сплавов в состав шихты обычно входит красная электролитическая медь, которую расплавляют и раскисляют фосфористой медью до загрузки в печь остальных составляющих шихты. Плавка меди должна происходить очень быстро под слоем хорошо просушенного и прокаленного древесного угля. Печь перед загрузкой меди надо хорошо разогреть. Качество раскисления можно проверить по технологической пробе: залитый и охлажденный брусок при загибе не должен давать трещин в месте изгиба.

Плавка оловянной бронзы.

В разогретую печь загружают часть вторичных и оборотного сплавов и покрывают слоем сухого древесного угля, который после расплавления шихты должен покрыть ровным слоем всю поверхность жидкого сплава. По мере расплавления первоначальной порции шихты в печь вводят частями или полностью остаток шихты, подогретой до температуры 150—200 °С. Из применяемых для подшихтовки свежих металлов медь и никель загружают в печь одновременно с первой порцией шихты, а цинк, свинец и олово вводят непосредственно в ванну к концу плавки для уменьшения их угара.

После расплавления всей шихты и достижения требуемой температуры сплав раскисляют фосфористой медью в количестве 0,2% от массы шихты и покрывают хорошо просушенным флюсом, состоящим из 60% кальцинированной соды, 33% плавикового шпата и 7% буры. Расход флюса составляет 2—3% от массы шихты. Затем сплав нагревают до температуры 1250—1300 °С и 20—30 мин выдерживают под флюсом, периодически перемешивая его. После этого счищают образовавшийся шлак и выпускают сплав в ковш для разливки в формы.

Плавка латуней. Рассмотрим технологию плавки кремнистой латуни марки ЛКС80-3-3.

При плавке шихты из свежих металлов сначала расплавляют медь и раскисляют ее фосфористой медью, затем вводят меднокремнистую лигатуру, цинк и свинец.

Если шихта содержит оборотный сплав этой же марки, то его загружают вместе с медью в том случае, когда масса свежих металлов

не превышает 30—40% от массы всей шихты. При большом количестве свежих металлов оборотный сплав загружают после расплавления меди и введения остальных элементов. Учитывая склонность этого сплава к поглощению газов, плавку необходимо форсировать, сохраняя нейтральную или слегка окисленную атмосферу в печи. В качестве флюса можно применять битое стекло и буру.

Для дегазации сплав нагревают до температуры 1150—1160 °С и выдерживают при этой температуре 10—15 мин. Выделяющиеся при выдержке пары цинка механически увлекают за собой растворенные газы и удаляют их из жидкого сплава. Для компенсации повышенного угара цинка при выдержке сплава перед его заливкой в печь вводят дополнительное количество цинка.

После окончания выдержки сплав охлаждают до температуры 1050—1100 °С и проверяют (путем взятия пробы) содержание в нем газов. При избыточном количестве газов в сплаве происходит «рост» пробы в стаканчике. В этом случае производят «замораживание» сплава путем охлаждения его до температуры затвердевания и затем быстро нагревают до температуры разливки.

В конце плавки берут пробу для химического анализа, а также технологическую пробу, которая позволяет определить по излому качество сплава и содержание в нем газов; пробу сравнивают с эталонами.

Для получения высококачественных медных сплавов необходим тщательный контроль за соблюдением правил подготовки исходных материалов и проведения процесса плавки. Особое внимание надо уделять контролю температуры жидкого сплава как в процессе самой плавки, так и при выпуске его из печи и разливке.

Обычно для измерения температуры сплава применяют термопары погружения с защитными чехлами из жароупорной стали. Термопары в сочетании с аппаратурой автоматического действия могут самостоятельно регулировать температурный режим в печах или же путем световой или звуковой сигнализации привлекать внимание рабочего к нарушению температурного режима.

Ввиду того что медные сплавы имеют склонность к поглощению газов и окислению, при заливке форм необходимо поддерживать небольшую высоту струи, не прерывать ее и не допускать разбрызгивания сплава. Разливку производят через носок ручных и крановых ковшей, подобных тем, которые применяют при разливке чугуна.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Основные свойства меди и медных сплавов и их применение.
2. Этапы технологического процесса плавки медных сплавов.
- 3 . Рафинирование медных сплавов.
4. Особенности плавки и виды бронз.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

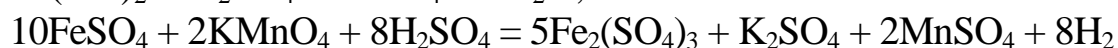
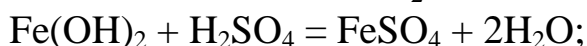
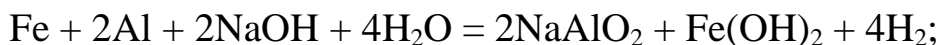
Химический анализ алюминия и его сплавов

Цель работы. Знакомство с теоретическими основами и методами анализа технического алюминия и его сплавов на основе практического выполнения химико-аналитических работ.

Основные определения, теория и технология

Анализ алюминия и его сплавов обычно сводится к определению железа, кремния, меди, магния, марганца, реже калия, натрия, цинка, кальция, никеля. Присутствие примесей в алюминии зависит от технологии производства и состава используемых материалов. Соответственно возникает необходимость контроля качества товарной продукции и оценки его соответствия требованиям ГОСТа. В производстве алюминиевых сплавов введение легирующих добавок существенно изменяет их свойства и расширяет области применения алюминия. Так, марганец повышает устойчивость к коррозии; магний снижает плотность и увеличивает прочность; кремний увеличивает прочность и улучшает литейные свойства, но уменьшает пластичность; медь увеличивает прочность и т.д. Для сертификации товарной продукции является обязательным использование методов анализа в соответствии с требованиями ГОСТа. В лабораторной практике находят применение упрощенные методы анализа, удовлетворяющие по своим показателям (чувствительности, точности и воспроизводимости) решению поставленных задач.

Определение железа. Железо осаждают при щелочном растворении в виде гидрата закиси железа, затем растворяют в серной кислоте и подвергают окислительно-восстановительному титрованию по реакциям



О.

Необходимые реактивы: 20-процентный раствор едкого натра, разбавленная в отношении 1:1 серная кислота и 0,01 М раствор марганцово-кислого калия.

Порядок анализа следующий:

1) навеску сплава массой около 1 г поместить в коническую колбу на 500 мл;

2) прилить 30 мл 20-процентного раствора NaOH, закрыть колбу воронкой и растворить на холоде;

3) после прекращения растворения прилить в колбу 40 мл H_2SO_4 , дать постоять в холоде до полного растворения гидрата закиси железа;

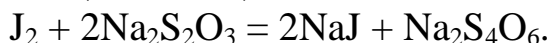
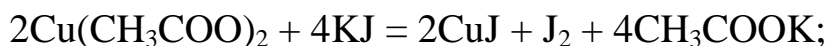
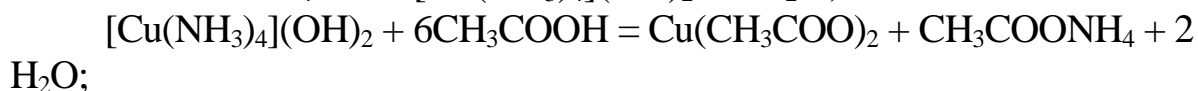
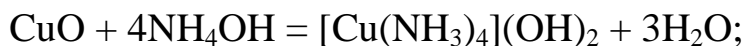
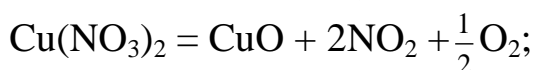
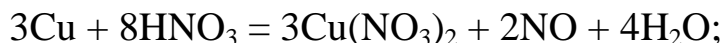
4) прилить 100-120 мл воды, две капли фосфорной кислоты и титровать 0,1 М раствором KMnO_4 до розовой окраски раствора. Если в сплаве много меди и получен темный раствор, то его перед титрованием следует быстро профильтровать через вату, закрыв колбу воронкой;

5) вычислить содержание железа в процентах по формуле

$$(\text{Fe}) = V_{\text{KMnO}_4} T_{\text{Fe}} \cdot 100 / m_{\text{н}},$$

где V_{KMnO_4} – объем KMnO_4 , израсходованный на титрование, мл; T_{Fe} – титр железа по 0,01 М раствору KMnO_4 , г/мл; $m_{\text{н}}$ – масса анализируемой навески, г.

Определение меди. Медь отделяют от алюминия в щелочном растворе, затем окисляют азотной кислотой и растворяют в аммиачном растворе. Количество растворенной меди устанавливают иодометрическим титрованием в уксусно-кислой среде. Основные реакции следующие:



Необходимые реактивы: 20-процентный раствор едкого натра, 15-процентный раствор сульфида натрия, азотная кислота, разбавленная в отношении 1:1, и ее 2-процентный раствор; аммиак, разбавленный в отношении 1:2; 15-процентные растворы уксусной кислоты и йодистого калия; 1 н раствор тиосульфата натрия.

Порядок анализа следующий:

1) около 1 г сплава (с точностью до 0,0002 г) растворить в 20-25 мм 20-процентного раствора NaOH, затем прибавить 100 мл горя-

чей воды, 2 мл 15-процентного раствора Na_2S и для уплотнения осадка нагревать в течение 10 мин;

2) декантировать раствор и отфильтровать на воронке; оставшийся в стакане осадок промыть 2-3 раза, добавляя по 30 мл воды;

3) воронку с осадком установить над стаканом с осадком и для растворения осадков на фильтр подать 6-8 мл разбавленной в отношении 1:1 азотной кислоты, промывая фильтр 2-3 раза 2-процентным раствором HNO_3 ;

4) стакан с раствором нагреть на песчаной бане до полного растворения осадка, затем упарить досуха;

5) к сухому остатку прибавить 20-25 мл разбавленного в отношении 1:2 раствора аммиака и умеренно нагреть для растворения солей меди;

6) отфильтровать раствор, собирая фильтрат в коническую колбу емкостью 250 мл;

7) осадок в стакане и фильтр еще раз обработать аммиаком, затем промыть 5-6 раз горячей водой, собирая промывные воды в ту же колбу;

8) нейтрализовать аммиачный раствор 15-процентной уксусной кислотой, добавляя избыток (2-3 мл);

9) провести йодометрическое титрование, прилив к анализируемому раствору 20 мл 15-процентного раствора KJ , перемешать, покрыть стеклом и дать отстояться 5 мин в темном месте;

10) выделившийся йод оттитровать 0,1 М раствором $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, прибавляя в конце титрования 2 мл водного раствора крахмала;

11) вычислить содержание меди в процентах по формуле

$$(\text{Cu}) = \frac{M_{\text{тс}} V_{\text{тс}} \cdot 63,55 \cdot 100}{1000 m_{\text{H}}},$$

где $M_{\text{тс}}$ – молярность раствора тиосульфата натрия, моль/л; $V_{\text{тс}}$ – объем тиосульфата натрия, мл; 63,55 – молекулярный вес меди, г/моль.

Определение кремния. Анализ основан на получении гетерополикислоты состава $\text{H}_4[\text{Si}(\text{Mo}_3\text{O}_{10})_4]$ желтого цвета и ее последующем восстановлении аскорбиновой кислотой. Окраска комплексного соединения при этом переходит из желтой в синюю. Фотометрирование окрашенного раствора производят на фотоколориметре при $\lambda = 630$ нм в кюветах на 1 см светопоглощающего раствора.

Необходимые реактивы: 14 и 1-процентный раствор едкого натра, 3 М раствор соляной кислоты, 15-процентный раствор молиб-

дата аммония, 4 М раствор серной кислоты (240 мл H_2SO_4 с плотностью $1,84 \text{ г/см}^3$ разбавляют до 1 л водой), 1-процентный раствор аскорбиновой кислоты *свежеприготовленный*, стандартный раствор кремнекислоты.

Порядок анализа следующий:

1) около 0,1-0,15 г сплава (с точностью до 0,0002 г) поместить в никелевый или железный тигель, растворить в 10 мл 14-процентного раствора едкого натра при нагревании;

2) после растворения темного осадка, лежащего на дне, прилить к раствору 10 мл воды и нагревать в течение 10 мин;

3) раствор вместе с осадком гидроксида железа перелить в мерную колбу на 100 мл, разбавить водой до метки и хорошо перемешать;

4) профильтровать раствор через фильтр, смоченный 1-процентным раствором едкого натра, собирая фильтрат в чистую сухую колбу;

5) в зависимости от содержания кремнекислоты в приготовленном растворе в мерную колбу на 100 мл отобрать такую аликвотную часть, чтобы содержание в ней SiO_2 не превышало 0,24 мг;

6) к раствору прилить из бюретки по каплям 3 М раствор HCl в количестве, необходимом для нейтрализации алюминатного раствора по индикаторной бумаге «конго-красный» (окраска бумаги меняется с красной на сиреневую);

7) добавить избыток 3 М раствора HCl (3 мл), при этом окраска бумажки становится синей;

8) разбавить раствор водой до объема 50 мл, прилить к раствору в мерной колбе 5 мл 5-процентного раствора молибдата аммония, перемешать и дать отстояться 10-15 мин для полного выявления окраски;

9) прибавить 4 М раствора серной кислоты и перемешать;

10) через 2-3 мин добавить 10 мл аскорбиновой кислоты, перемешать, довести объем раствора до метки и снова перемешать;

11) спустя 20-30 мин измерить оптическую плотность окрашенного раствора на фотоколориметре с красным фильтром ($\lambda = 630 \text{ нм}$);

12) зная оптическую плотность раствора, вычислить содержание кремния в исходной пробе (в процентах)

$$(\text{Si}) = \frac{28m_{\text{SiO}_2} \cdot 100 \cdot 100}{60 \cdot 10 \cdot 1000m_{\text{H}}},$$

где m_{SiO_2} – масса кремнекислоты, найденная по градуировочному графику или рассчитанная по уравнению $m_{\text{SiO}_2} = kD$ (в описанных условиях $k = 0,34$) для $D = 0,15 \div 1,5$ мг; 28 и 60 – молекулярный вес кремния и его оксида, г/моль.

Для построения градуировочного графика (по пяти-шести точкам) в мерные колбы на 100 мл (соответственно пять или шесть) приливают из бюретки различные количества разбавленного раствора кремнекислоты (стандартного). В одну из колб раствор SiO_2 не прибавляют, в ней готовят раствор холостого опыта. В каждую из колб прибавляют по 20 мл воды и по 2,5 мл 3 М раствора HCl . Разбавляют растворы водой до объема, равного 50 мл, и далее проводят анализ в описанном выше порядке. По его результатам строят градуировочный график $D = f(m_{\text{SiO}_2})$.

Математическая обработка результатов анализа. На основе данных параллельных определений вычислить стандартное отклонение среднего арифметического

$$S(y) = \sqrt{\frac{S^2(y)}{n}},$$

где $S^2(y)$ – дисперсия результатов анализа,

$$S^2(y) = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1};$$

\bar{y} – среднее арифметическое значение результатов анализа из n параллельных определений; y_i – результат определения в i -м анализе.

Ошибка среднего результата

$$\Delta y = \pm t S(y),$$

где t – табличное значение критерия Стьюдента (коэффициента нормированных отклонений) при выбранном уровне значимости (доверительной вероятности) и числе параллельных анализов n (см. таблицу).

В этом случае определяемая величина $y = \bar{y} \pm \Delta y$. Это означает, что с принятой вероятностью можно заключить, что искомый результат лежит в интервале от $\bar{y} - \Delta y$ до $\bar{y} + \Delta y$.

Коэффициенты нормированных отклонений
(для малого числа наблюдений)

<i>n</i>	Доверительная вероятность		
	0,9	0,95	0,99
2	6,3	12,71	63,66
3	2,9	4,30	9,93
4	2,4	3,18	5,84
5	2,1	2,78	4,60

Лабораторное оборудование. Мерная посуда, установки для титрования, песчаные бани, фотоколориметры и другое лабораторное оборудование, обеспечивающее возможность выполнения всех операций, связанных с проведением химико-аналитических работ, и необходимую точность получаемых результатов.

Содержание задания. Краткая характеристика анализируемого сплава по способу его получения и ориентировочному составу; требования к точности и воспроизводимости выполняемых анализов; рекомендации по используемым реактивам, оборудованию и методам анализа.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методами анализа алюминия и его сплавов, используемыми реактивами и оборудованием. При необходимости приготовить реактивы требуемого состава и концентраций.

2. Выполнить химические анализы с заданным количеством параллельных определений. При необходимости внести изменения, обеспечивающие большую точность проводимых измерений.

3. Провести математическую обработку и представить результаты с учетом доверительного интервала. Сделать выводы о соответствии состава анализируемых продуктов требованиям технологии и стандартам.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Плавка медных сплавов

Цель работы: изучение технологического процесса плавки медных сплавов.

6.1. Общие теоретические сведения

Сплавы на основе меди являются распространенными конструкционными материалами. Медь имеет температуру плавления 1083°C , латуни и бронзы плавятся в интервале температур $950 - 1050^{\circ}\text{C}$, оптимальной температурой литья медных сплавов можно считать $1150 - 1200^{\circ}\text{C}$. Жидкие медные сплавы склонны к поглощению газов, преимущественно водорода, который попадает в металл из печной атмосферы, содержащий пары воды. Насыщение газами зависит от химического состава сплава и резко увеличивается с повышением температуры расплава. Одни легирующие элементы способствуют уменьшению количества растворенного водорода, другие - увеличению. Например, чистые двойные сплавы Cu-Al имеют малую склонность к газопоглощению, но она резко возрастает при введении в сплав дополнительных легирующих компонентов и при наличии в сплаве примесей. В связи с этим особое значение приобретает выбор защитного покрытия расплава.

Получение требуемого химического состава не вызывает особых трудностей при плавке медных сплавов. Он обеспечивается вводом в шихту или присадкой в расплав необходимых компонентов в виде чистых металлов и лигатур. Лигатуры обычно готовят на медной основе и широко применяют в тех случаях, когда введение легко окисляющихся и легко испаряющихся элементов вызывает значительные их потери, или когда необходимо ввести тугоплавкие компоненты без излишнего перегрева расплава.

Технология плавки.

Плавку бронз обычно производят в дуговых печах с независимой дугой или пламенных печах, а латуней - во всех типах печей, кроме дуговых и вакуумных, в которых наблюдается повышенный угар цинка. Температурный режим и наиболее рациональную после-

довательность операций процесса плавки устанавливают исходя из конкретных условий производства.

При загрузке шихтовых материалов необходимо соблюдать следующую последовательность:

- при проведении процесса плавки с применением свежих металлов и лигатур сначала загружают в печь и расплавляют свежие металлы, а затем добавляют лигатуры;

- при ведении процесса плавки с использованием отходов, лома и свежих металлов порядок загрузки определяется количеством составных частей шихты; вначале загружают и расплавляют наибольшую (по массе) часть шихты; сильно угарающие элементы (магний, цинк, олово) вводят в расплав в последнюю очередь.

Шихта загружается в предварительно нагретую печь и должна быть очищена от влаги, масла и других загрязнителей.

Древесный уголь, применяемый в качестве защитного слоя, должен быть хорошо просушен и прокален. Флюсы также должны быть просушены или переплавлены.

Окислы из расплава могут быть удалены следующим образом:

- отстаиванием перегретого расплава;
- флотацией, т.е. извлечением твердых включений из расплава пузырьками газа при продувке с одновременным удалением из металла растворенных в нем газов;

- флюсованием, т.е. обработкой расплава флюсами, растворяющими окислы. Рафинирование (очистка) жидкого металла от растворенных в нем окислов производится восстановлением окислов раскислителями.

В качестве покровных и рафинирующих флюсов применяют смеси различных солей и оксидов. Примеры некоторых из них приведены в таблице 6.1.

Таблица 4.1 – Покровные и рафинирующие флюсы для медных сплавов

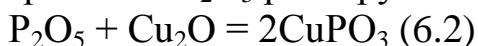
Состав, % по массе	Назначение
41 - 47 SiO_2 ; 25 - 32 MnO_2 ; 10 - 15 Na_2O ; 11 - 14 Al_2O_3	Покровный для оловянных бронз
7 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$; 60 Na_2CO_3 ; 33 CaF_2	Рафинирующий для оловянных бронз
50 CaF_2 ; 50 MgF_2	Покровно-рафинирующий для бронз и латуней

Раскисление сплавов

Производят различными, методами и материалами. Наиболее широко применяемым раскислителем при плавке медных сплавов с оловом и свинцом является фосфор в виде фосфористой меди, содержащий 7 - 10% Р. Раскисление происходит по реакции:



При температуре расплава ангидрид фосфорной кислоты P_2O_5 испаряется ($t_{\text{пл}} = 563^\circ\text{C}$). Пузырьки P_2O_5 , поднимаясь вверх через толщу жидкого металла, удаляют неметаллические включения и газы. Одновременно P_2O_5 реагирует с окислами меди:



Раскисление сплавов меди, содержащих цинк, алюминий, бериллий и кремний, производят бериллием, так как окислы этих элементов не восстанавливаются фосфором. В качестве раскислителей применяются также Zn, Al, Sn, Mg, В, Ва, Се и др. элементы. Количество вводимых раскислителей определяется степенью окисления ванны и обычно составляет 0,1 - 0,5% от массы садки. Раскислители вводят вглубь ванны колоколом или клещами под слой защитного флюса.

В качестве поверхностных раскислителей используют борид магния, карбид кальция и борный шлак. Наиболее эффективен борный шлак, состоящий из борной кислоты или буры и порошка магния в соотношении 95:5. Флюсы вводят в сплав в количестве 1 - 1,5% от его массы.

Перед рафинированием расплав нагревают до $1200 - 1250^\circ\text{C}$, снимают шлак, на зеркало металла засыпают порошок измельченного флюса и в течение 10 - 15 мин тщательно перемешивают, после чего расплав отстаивают в течение 10 - 15 мин, очищают от шлака и разливают.

Дегазация

Дегазацию медных сплавов производят продувкой расплава азотом, хлором, гелием и аргоном. С повышением температуры расплава процесс дегазации интенсифицируется. Рекомендуется проводить продувку при $1270 - 1370^\circ\text{C}$. Дегазацию медных сплавов, как и алюминиевых, производят также гексахлорэтаном.

Рафинирование расплава хлором протекает за счет образования хлоридов. Расход инертных газов составляет 0,25 - 0,5 м на 1 т расплава. После рафинирования в течении 5 - 10 мин расплав выдерживают 10 - 15 мин для удаления пузырьков и разливают.

Модифицирование

Модифицирование медных сплавов производят тугоплавкими элементами (Ti, V, Zn, B, Mo, W) с помощью лигатур: Cu - B (3 - 4% B), Cu - Ti, Al - V (до 5% V), Al-Ti в количестве 0,002 - 0,01% от массы металла при 1200 - 1250°C. Более высокий перегрев металла не рекомендуется, так как это ведет к укрупнению зерна в сплаве.

4.2. Постановка работы

Работа выполняется в лаборатории кафедры.

При выполнении настоящей лабораторной работы студенты определяют состав шихтовых материалов, следят за выполнением всех технологических операций процесса плавки, отливают образцы для последующих исследований.

4.3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием и приборами, изучить инструкцию по технике безопасности.

2. Ознакомиться с применяемыми шихтовыми материалами, флюсами. Рассчитать и взвесить шихту для приготовления медного сплава. Марку сплава, виды и количество используемых в шихте отходов указывает преподаватель.

3. В нагретый тигель, установленный в плавильной печи, загрузить медь, отходы и расплавить их. Контролировать температуру.

4. Провести раскисление сплава одной фосфористой медью в количестве 0,3-1,0 %. Навеску фосфористой меди ввести вглубь расплава с помощью клещей или колокольчика. Выдержать расплав в течение 5-10 мин и удалить с его поверхности шлак. Операцию раскисления и последующую выдержку проводить при температуре 1150-1200 °C.

5. Отлить две клиновые пробы в форму (рисунок 2.2), охладить, выбить, разломать и изучить излом до и после раскисления. Излом технологической пробы должен быть мелко кристаллический, без газовых раковин, шлаковых включений и других дефектов.

4.4. Содержание отчета

По выполненной работе отчет должен содержать:

- Цель работы.
- Основные теоретические сведения по плавке сплавов на основе меди.

- Краткое описание техпроцесса плавки с приведением всех используемых материалов.
- Описание изломов проб с выводами по эффективности раскисления.
- Выводы по работе.

Контрольные вопросы.

1. Какими способами осуществляют дегазацию расплавов?
2. Какова сущность механизма раскисления медных сплавов?
3. При каких температурах целесообразно проводить операцию раскисления и в чем ее сущность?
4. Какие модификаторы используются для медных сплавов?
5. Какие способы очистки расплава от окислов Вам известны?
6. Какие компоненты входят в состав покровных и рафинирующих флюсов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Изучение способов и оборудования для фильтрации жидкого расплава

Цель работы: Ознакомиться со способами и оборудованием для фильтрации жидкого расплава

Теоретическая часть

Использование керамических фильтров при производстве отливок приносит неоспоримые выгоды, которые определяются качественными и экономическими показателями. Повышение качества производимых изделий, которое определяется идеальной внешней поверхностью и чистотой внутренней структуры металла, обеспечивает возможность производства отливок более сложных и тонкостенных конструкций. Экономические выгоды от внедрения фильтровальных технологий заключаются в снижении производственных затрат на механическую обработку отливок, уменьшении расхода расплава, и что самое главное - значительном снижении процента брака.

Благодаря выше указанным преимуществам технология фильтрования получила постоянное применение практически во всех литейных производствах Европы. Здесь не ставится вопрос о необходимости фильтрования, а решаются проблемы повышения эффективности фильтровальных технологий. Такая эффективность зависит от правильного подбора типоразмера фильтра для конкретной технологии, его размещения в литниковой системе, правильной конструкции самой литниковой системы, а также соблюдения необходимых условий на протяжении всего технологического процесса.

Фильтрование способствует устранению многих недостатков отливок, достижению их высокого качества, а также решению многих производственных проблем. Это проявляется в следующем:

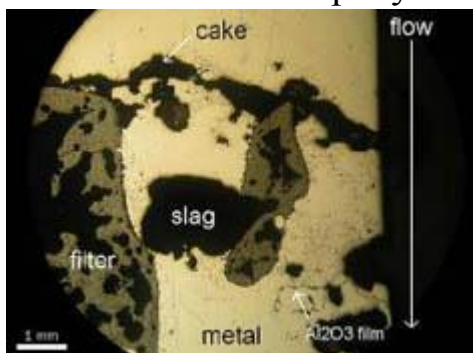
- Повышение однородности внутренней структуры металла.
- Улучшение механических свойств.
- Устранение целого ряда металлургических недостатков (газовые раковины, пористость, негерметичность).
- Улучшение качества поверхности.

- Значительное улучшение механической обрабатываемости изделий.

Самой главной задачей фильтрования является устранение неметаллических включений, которые наиболее влияют на качество готовой отливки. Основными источниками включений являются:

- Шлаки (первичные и вторичные).
- Продукты оксидации металла.
- Формовочные материалы и продукты эрозии форм и стержней.
- Остатки рафинаторов, расплавленные покрытия, нерастворимые части модификаторов и др.

В процессе литья включения бывают твердые, жидкие и полужидкие (вязкие). Улавливанию фильтром этих примесей способствует не только его пенистая структура, но и физические свойства керамического материала, из которого изготовлено изделие. При высокой температуре к поверхности материала фильтра прилипают как твердые, так и жидкие частицы. Примеры улавливания включений показаны на рисунке.



Cake - "фильтрационная лепешка" (шлаки и другие включения на поверхности фильтра).

Slad - частички шлаков, уловленные механизмом процеживания.

Al2O3 film - оксидная пленка совместно с другими включениями образует "фильтровальный мост" внутри фильтра.

Поток металла

после VUKOPOR S20

Следующим преимуществом фильтрования является исключение влияний, которые проявляются в процессе литья вследствие высокой скорости и турбулентности расплава в литниковой системе и в форме. Это, прежде всего, вымывание потоком металла частиц формы или стержня, а также захват потоком расплава пузырьков газа, вследствие его завихрения. Здесь фильтр

исполняет роль успокоителя, который преобразует турбулентный поток расплава на входе в ламинарный, спокойный поток на выходе. Таким образом, его применение исключает влияние "человеческого фактора" - непостоянная скорость литья, неопытность рабочего.

Учитывая все выгоды от применения фильтров, нельзя не отметить также возможность оптимизации (уменьшения) при этом литниковой системы, а как следствие, экономии жидкого металла. Это происходит за счет отказа от массивных шлакоулавливателей и больших песчаных воронок. А в случае применения экзотермических воронок убирается вся литниковая система.

В результате внедрения технологии фильтрования при производстве отливок снижаются производственные затраты, которые определяются следующими факторами:

- Экономия жидкого металла (более простая и небольшая литниковая система).
- Значительное снижение процента брака.
- Уменьшение затрат на мехобработку (вплоть до полного исключения).
- Повышение технологических возможностей производства и его производительности.

Керамические фильтры для фильтрования стали

Керамические фильтры и ситечка - керамические изделия с прямыми отверстиями по всей плоскости размерами 4-10 мм (ситечка) и 1-3 мм (фильтры), и разной толщиной. Они размещаются на дне литниковой воронки (переход в литник), и позволяют притормозить расплав вначале литья, тем самым заполнить воронку. Включения здесь улавливаются в основном за счет механизма процеживания. Однако при использовании фильтров уже присутствуют элементы глубинной фильтрации благодаря способности керамики вязать на поверхности каналов включения подобного химического состава.

Пенокерамические фильтры - образованы открытой системой взаимно присоединенных ячеек. Прохождение расплава через пенокерамический фильтр приводит к образованию местных фильтров и к частому изменению своего направления, в результате чего, включения гораздо чаще соприкасаются с керамической поверхностью и прилипают к ней.

В пенокерамических фильтрах используются все три механизмы фильтрования: процеживание, образование "фильтровальной лепешки" на входной стороне фильтра, глубинная фильтрация. Это

позволяет улавливать достаточно мелкие включения (1-5 μm), которые по своим размерам гораздо меньше пор фильтра. Они прилипают к стенкам фильтра и друг к другу, образуя "фильтровальные мосты", закрепленные на стенках фильтра. В процессе литья фильтр постепенно забивается до полной непроходимости расплава. Фильтрационный ресурс фильтра зависит от количества и величины включений, размера пор и от адгезных сил, действующих между частицами включений и стенками фильтра (т.е. от материала фильтра).

Высокая эффективность глубинной фильтрации и успокоение потока жидкого металла являются основными характеристиками пенокерамических фильтров, выгодно отличающих их от фильтров других типов. На глубинную фильтрацию влияет толщина фильтра - чем толще фильтр, тем эффективнее фильтрование. Обычно пенокерамические фильтры производятся толщиной 12-50 мм. Вариативность производства изделий очень большая. Практически можно произвести фильтры любых размеров.

Пенокерамические фильтры Vukopor НТХ изготавливаются на базе углерода, и предназначены для фильтрования железосодержащих сплавов при температуре до 1700°C. Высокая стабильность фильтра в процессе литья, уникальная теплопроводность вместе с малым удельным весом обуславливают быстрый прогрев фильтра с минимальными тепловыми потерями. Фильтры хорошо обрабатываются и не приводят к выходу из строя инструментов при механическом удалении использованного фильтра. Благодаря своим свойствам изделия очень хорошо себя показывают в технологии прямого литья на фильтр при фильтровании тяжелых отливок.



*Пенокерамические фильтры
Vukopor НТХ*



*Пенокерамические фильтры
Vukopor НТ*

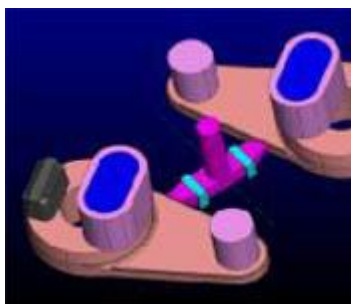
Пенокерамические фильтры Vukopor НТ изготавливаются на базе ZrO_2 , и предназначены для фильтрования стали при температуре

до 1700°C. Они отличаются высокой механической прочностью и химической чистотой. За счет более низкого фильтрационного ресурса и высокого удельного веса, который приводит к нежелательному охлаждению расплава при обычном литье, в частности в песчаные формы, изделия находят свое применение в технологии точного литья по выплавляемым моделям. Химическая чистота фильтров позволяет применять их при фильтровании низкоуглеродистых марок стали (абсолютно не науглераживают фильтруемый материал).

Варианты установки фильтров

Установка фильтра в литниковом канале.

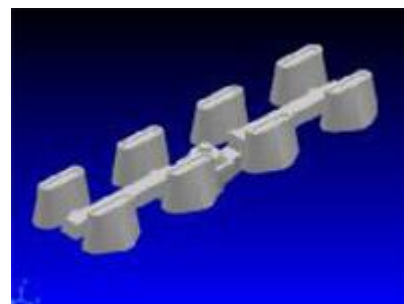
Здесь речь идет о широко распространенных решениях размещения фильтров в распределительном канале или непосредственно под литником. Каждое решение имеет свои преимущества и недостатки, и при выборе варианта необходимо взвесить все аргументы. Большую роль при этом также играет способ установки фильтра - горизонтальный, вертикальный или наклонный. Самым оптимальным является наклонный способ, при котором изделие хорошо оmyвается расплавом с возможностью всплытия шлака в пространстве над фильтром, что увеличивает его фильтровальный ресурс. Наименее выгодным является горизонтальное размещение фильтра непосредственно под литником. В этом случае шлак не имеет возможности всплытия, и под давлением металла загрязняет фильтр, уменьшая тем самым его фильтровальный ресурс.



*Вертикальное
положение фильтров*



*Наклонное положение
фильтров*

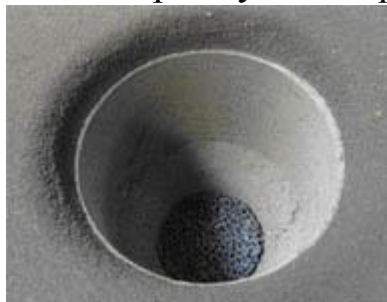
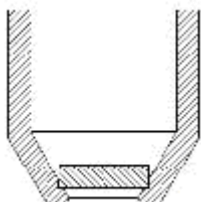


*Горизонтальное
положение фильтров*

Установка фильтра в экзотермической воронке.

В последнее время при литье и фильтровании стали начал широко применяться способ прямого литья на фильтр через экзотермическую воронку. Эта технология обладает следующими преимуществами:

- Краткий путь прохождения жидкого металла (без распределительных каналов) - экономия расплава.
- Плавный поток металла - исключение эрозии формы.
- Плавное застывание - самый горячий металл всегда в воронке.
- Использование всех преимуществ фильтрования.

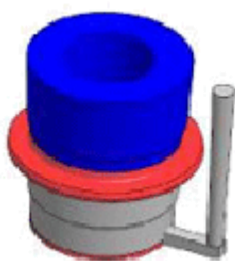


Технология литья через экзотермическую воронку применяется для специальной категории отливок. Речь идет, прежде всего, о невысоких отливках несложной формы из марганцевых сталей (мельющие плиты, челюсти дробилок и др.).

Ниже приводятся реальные примеры использования выше указанной технологии:

1. Отливка: корпус коробки передач грузового автомобиля.

Материал: низколегированная марганцевая сталь.



Обычная технология.
 - заполнение формы снизу
 - воронка из прессованного песка
 - без фильтра
 $m = 315 \text{ kg}$; $Y = 41\%$



Новая технология 1.
 - прямое литье на фильтр
 - экзотермические воронки 3 шт.
 - фильтр Vukopor NTX 1 шт.
 $m = 186 \text{ kg}$; $Y = 70\%$



Новая технология 2.
 - прямое литье на фильтр
 - экзотермические воронки 2 шт.
 - фильтр Vukopor NTX 1 шт.
 - холодильники 6 шт.
 $m = 168 \text{ kg}$; $Y = 76\%$

- Очевидное снижение затрат - большая экономия жидкого металла (отсутствие большой воронки и литниковой системы), исключение песчаного стержня.

- Улучшение качества отливки - исключение нежелательных примесей.

2. Отливка: мелющая плита.

Материал: марганцевая сталь.

Обычная технология.

- заполнение формы снизу через шамотовую воронку с литником

- экзотермические воронки 2 шт.

- без фильтров.

$m = 135 \text{ kg}$; $Y = 65\%$

Новая технология.

- прямое литье на фильтр

- экзотермические воронки

2 шт.

- фильтр Vukopor НТХ 1 шт.

$m = 115 \text{ kg}$; $Y = 74\%$

- Повышение выхода годного на 9%.
- Улучшение качества отливки - исключение нежелательных примесей.

- Уменьшение затрат на финальную обработку.

- Исключение шамотных воронок.

Фильтрование слитков и тяжелых отливок

Фильтрование жидкого металла при производстве слитков является единственным способом удаления нежелательных включений сразу после металлургической обработки. Фильтрование больших объемов расплава при высоких температурах требует использования специальных фильтровальных форм.

Керамические формы специальных конструкций позволяют получить следующие выгоды:

- хороший подогрев фильтров - снижение риска разрушения изделий, повышение их фильтровальных ресурсов.

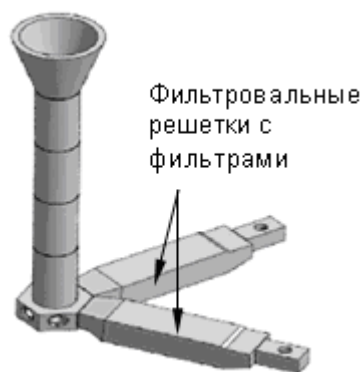
- использование всех базовых механизмов фильтрации - процеживание, образование "фильтровальной лепешки" на входной стороне фильтра, глубинная фильтрация.

- спокойное наполнение формы - исключение образования вторичных включений.

- простое подключение форм к существующим литниковым системам.

Фильтровальные решетки.

Керамическая форма фильтровальной решетки состоит из двух половин и вложенных в середину пенокерамических фильтров. Количество использованных фильтров и их размеры отвечают требуемому фильтровальному ресурсу и времени литья. Этим способом можно фильтровать стальные слитки весом 2-9 т.



Процесс заливки

Пример применения фильтровальной решетки в реальном производстве:

Фильтрация стальных слитков.

- Вес слитков - 3,8 т
- Материал - сталь 16 231
- Температура расплава - 1580 - 1600°C
- Время литья - 3,5 мин.

Техническое решение:

Фильтровальная решетка 200-140-1050.

Пенокерамические фильтры Vukoror НТХ 150x150x30 pp10 - 6

шт.



Подготовка металлической плиты



Установка фильтровальной решетки



Состав литниковой системы перед заливкой



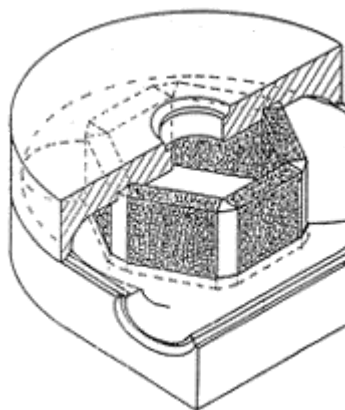
Вид сверху через кокиль

Результатом фильтрования является получение высококачественного слитка с однородной внутренней структурой и безупречной чистотой поверхности.

При использовании современных экзотермических футеровок можно добиться еще более качественных отливок и более высокой экономической эффективности производства слитков.

Фильтровальные карусели.

Конструкция фильтрационной карусели состоит из верхней и нижней керамических частей, ограничительных стоек и пробки. Внутри карусели вставляются шесть пенокерамических фильтров типа VUKOPOR®. Размеры карусели и фильтров отвечают требуемым литейным параметрам на данном производстве. Данное техническое решение позволяет фильтровать отливку весом 2-15 т.



Подготовка литниковой системы с 4" каруселью в нижней половине формы отливки арматуры

ЛИТЕРАТУРА

1. Бричкин В.Н. Металлургия легких металлов. Производство алюминия и магния: Лабораторный практикум / В.Н.Бричкин, В.М.Сизяков. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). – СПб, 2005. – 88 с.
2. Воздвиженский, В.М. Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении / В.М.Воздвиженский, В.А.Грачев, В.В.Спасский.-М.: Машиностроение, 1984.-432 с.
3. Чурсин, В.М. плавка медных сплавов (Физико-химические и технологические основы)/ В.М.Чурсин. - М.: Metallurgy, 1982.-152 с.
4. Алюминий. Методы химического анализа. – М.: Госстандарт, 1982. – 73 с.
5. Антипин Л.Н. Электрохимия расплавленных солей / Л.Н.Антипин, С.Ф.Важенин. – М.: Metallurgizdat, 1964. – 355 с.
6. Беляев А.И. Металлургия легких металлов. – М.: Metallurgy, 1970. – 367 с.
7. Беляев А.И. Электрометаллургия алюминия / А.И.Беляев, М.Б.Рапопорт, Л.А.Фирсанова. – М.: Metallurgy, 1953. – 720 с.
8. Борисоглебский Ю.В. Металлургия алюминия: Учеб. пособие / Ю.В.Борисоглебский, Г.В.Галевский, Н.М.Кулагин и др. – Новосибирск: Наука, 1999. – 437 с.
9. Борисоглебский Ю.В. Теория и технология электрометаллургических процессов: Лаб. практикум (учеб. пособие для втузов) / Ю.В.Борисоглебский, М.М.Ветюков, В.Н.Москвитин, С.Н.Школьников. – М.: Metallurgy, 1994. – 240 с.
10. Ветюков М.М. Электрометаллургия алюминия и магния / М.М.Ветюков, А.М.Цыплаков, С.Н.Школьников. – М.: Metallurgy, 1987. – 320 с.
11. Годовская К.И. Технический анализ / К.И.Годовская, Л.В.Рябинина, Е.Ю.Новик, М.М.Гернер. – М.: Высшая школа, 1967. –414 с.
12. Городничий Н.И. Литейное производство цветных металлов и сплавов. – М.: Metallurgy, 1989. – 102 с.
13. Курдюмов А.В. Литейное производство цветных и редких металлов / А.В.Курдюмов, М.В.Пикунов, В.М.Чурсин. М.: Metallurgy, 1982. 352 с.
14. Сандлер Р.А. Электрометаллургия алюминия и магния / Р.А.Сандлер, А.Х.Ратнер. Ленинградский горный ин-т. – Л., 1983. – 94 с.
15. Справочник металлурга по цветным металлам. Производство алюминия / Под ред. Ю.В.Баймакова. М.: Metallurgy, 1971. 560 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1	2
Изучение конструкции и работы электродуговой печи с основной футеровкой	2
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2.....	11
Изучение конструкции и работы электродуговой печи с кислой футеровкой	11
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.....	16
Плавка алюминия и алюминиевых сплавов	16
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4.....	24
Плавка, рафинирование и модифицирование алюминиевых сплавов	24
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5.....	33
Комбинированные способы внепечной обработки медных сплавов..	33
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6.....	42
Химический анализ алюминия и его сплавов	42
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7.....	48
Плавка медных сплавов	48
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8.....	53
Изучение способов и оборудования для фильтрации жидкого расплава	53
ЛИТЕРАТУРА	62