

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 стали и ферросплавов.**

**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 2012

## Лабораторная работа № 1

### ПЛАВКА СЕРОГО ЧУГУНА В ИНДУКЦИОННОЙ ЭЛТРОПЕЧИ

Цель работы: изучение технологического процесса плавки чугуна с пластинчатым графитом в индукционной электропечи.

#### 1.1. Общие теоретические сведения

**Шихтовые материалы для получения расплава серого чугуна.**

Смесь твердых материалов, загружаемых в плавильный агрегат, называют шихтой.

В качестве основных металлических шихтовых материалов для выплавки чугуна применяются первичные и вторичные черные металлы, ферросплавы и отходы собственного производства.

Первичные являются продукцией металлургической промышленности, получаемой из рудных материалов и поставляемой, как правило, в чушках трех видов: переклассовые ГОСТ 805, литейные ГОСТ 4832 и природнолегированные. В зависимости от содержания кремния, марганца, фосфора и серы литейные и переклассовые чугуны подразделяются соответственно на марки, группы, классы и категории (Таблицы 1 и 2 соответственно Приложение 1).

Согласно ГОСТ 4832, маркировка литейного чугуна ЛЗ-П-Б-2 означает:

- чугун литейный марки 3 с содержанием кремния от 2,2 до 2,8%;
- группа П — содержание марганца 0,3...0,5 %;
- класс Б — содержание фосфора до 0,12 %;
- категория 2 — содержание серы до 0,01 %.

Вторичные металлы представляют собой лом и отходы металлов и сплавов, которые согласно ГОСТ 2787 в зависимости от содержания углерода разделяются на два класса — стальной лом и отходы, и чугунные лом и отходы; по наличию легирующих элементов на две категории: А - углеродистые, Б - легированные; по показателям качества на 21 вид (вид определяется физическим состоянием и показателями качества: кусковые, прессованные, стружка, габаритные, негабаритные); по содержанию легирующих элементов на 67 групп.

Ферросплавы — сплавы железа с одним или несколькими легирующими элементами, применяемые для корректировки химического

состава расплава, раскисления, легирования или модифицирования сплавов чугуна и стали. Первая буква во всех марках ферросплавов - «Ф», за ней следуют буквы, соответствующие легирующему элементу. Для ферросилиция в марке указывается среднее содержание кремния в процентах, например, ФС75-5 ферросилиций с содержанием кремний 75 %, класс крупности 5, размер кусков от 3,2 до 20 мм.

Отходы собственного производства - это литники, скрап и окончательный брак литья. Их применение значительно снижает стоимость шихты.

Помимо металлических составляющих шихты в процессе плавки используют карбюризаторы (науглероживатели) – среду с высоким углеродным потенциалом, в которой происходит насыщение поверхности расплава углеродом. В качестве карбюризаторов используются графитовую стружку, коксовую мелочь, электродный бой, угольный гранулят и различные науглероживатели с промышленными названиями.

#### **Требования к шихтовым материалам.**

Размеры кусков шихты не должны превышать 1/3 диаметра плавильного агрегата.

Возврат собственного производства отливок (литники, питающие бобышки, окончательный брак) применяется предварительно очищенный от формовочной, стержневой смеси и пригара песка.

Карбюризаторы и модификаторы для модифицирования применяются в дробленном и сухом состоянии.

Лом стальной покупной, возврат собственного производства в состоянии поставки, хранения и применения не должны быть ржавыми (местный налет ржавчины допускается), горелыми, разъеденными кислотами. Засоренность неметаллическими примесями (мусором, тряпками, ветошью и др.), ломом цветных металлов и сплавов допускается не более 1%.

Все шихтовые материалы для плавки чугуна должны быть сухими. Применение влажных материалов не допускается во избежание возможности выброса расплава чугуна и нанесения травмы обслуживающему персоналу.

#### **Технология плавки в индукционной печи.**

Плавкой называется процесс переработки материалов (металлов) в плавильных печах с получением конечного продукта в жидком виде.

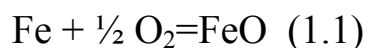
Технологический процесс плавки в индукционной печи включает следующие операции: загрузку шихты, нагрев и расплавление ее, перегрев, науглероживание и доведение химического состава чугуна до заданного, а также термовременную обработку (выдержку).

Загружаемая шихта частично погружается в расплав, создавая сплошную электропроводную среду, в которой индуктором наводятся вихревые токи. В печах промышленной частоты необходимым условием нормальной эксплуатации является работа печи с неполным сливом расплавленного металла, т. е. с остаточной емкостью (с «болотом»). Загрузка в жидкий металл (остаток от предыдущей плавки, называемый *зumpfом* или «болотом») необходима потому, что при использовании электрического тока промышленной частоты в дискретных элементах шихты наведение вихревых токов малоэффективно. Вихревые токи разогревают металл, и он плавится. Масса зумпфа доходит до 50 % от общей массы металла в печи (емкости печи) и соответственно влияет на длительность периодов плавки. С увеличением «болота» производительность печи заметно возрастает. Это объясняется улучшением условий теплопередачи от жидкого металла к твердой шихте (благодаря интенсивному движению жидкого металла), и увеличением потребляемой печью мощности. Наиболее рациональным режимом работы печей промышленной частоты являются частые отборы металла небольшими порциями, составляющими 20 – 30 % от емкости тигля.

В печах средней частоты, которые обычно работают с полным сливом металла, производительность во многом зависит от плотности укладки шихты в тигле и ее чистоты. В этом случае (при плотной укладке) потребляется мощность, близкая к номинальной, и плавка по времени производится быстро - близко к расчетному времени.

Ускорения времени плавки можно достичь также периодическим уплотнением шихты, погружая нерасплавленные куски шихты в уже расплавленный металл, а также поддерживая электрический режим на номинальном уровне, т. е. напряжение, сила тока, мощность,  $\cos \varphi$  должны быть близкими к номинальным значениям

Во время нагрева и плавления шихты происходят процессы окисления железа по реакции (1.1). Кислород воздуха окисляет также примеси железа. Окислы железа, кремния, марганца образуют шлак. Закись железа окисляет элементы чугуна по реакциям типа (1.2).



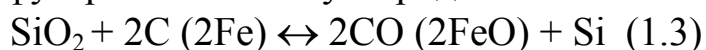


При плавке чугуна в индукционных печах для восстановления железа из FeO целесообразно расходовать карбюризатор и экономить ферросплавы. Карбюризатор необходимо вводить на дно тигля в завалку, а ферросилиций и ферромарганец - в жидкий чугун после его расплавления и перегрева, так как при вводе карбюризатора в завалку, а ФС75 и ФМн78 после перегрева до 1550 °С и охлаждения в печи до 1440-1460 °С угар углерода составляет до 30-35 %, а угар кремния и марганца резко снижается и составляет 5-7 и 18-24 % соответственно. В первую очередь необходимо загружать карбюризатор и стальной лом. После их расплавления и растворения следует производить загрузку чугунного лома и возврата, ферросплавы вводить в последнюю очередь (при доводке).

Состав шлаков индукционной плавки связан с режимом плавки, угаром элементов и переходом окислов из поверхностного слоя футеровки в шлак. Состав кислых шлаков: 2-3 % CaO, 0,5-2,5 % MnO, 7-14 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, а SiO<sub>2</sub> 70 %.

Науглероживание чугуна и доведение его до определенного химического состава является одной из основных операций индукционной плавки чугуна. Скорость науглероживания зависит от температуры, химического состава расплава, типа плавильного агрегата, вида карбюризатора и др.

Заключительной операцией индукционной плавки чугуна является термовременная обработка, которую проводят с целью гомогенизации расплава и обеспечения требуемой температуры выпуска расплава из печи. Термовременная обработка представляет собой выдержку при температуре на 50 °С превышающей равновесную температуру тигельной реакции. В режиме выдержки при температуре более 1400-1450 °С происходит восстановление и пригар кремния из кислой футеровки за счет углерода или железа:



При этом процесс происходит тем энергичнее, чем выше температура и содержание углерода и ниже содержание кремния в расплаве.

При выдержке чугуна в жидком состоянии происходит некоторое изменение содержания основных элементов, основной же угар элементов имеет место в режиме плавления. Сведения о величине угара (пригара) отдельных элементов, полученные опытным путем

при плавке чугуна в конкретных типах плавильных агрегатов, представлены в Таблице 9 Приложения 1.

Затем удаляют шлак и, при соответствии химического состава требуемому, приступают к сливу металла в раздаточную печь или непосредственно в разливочные ковши.

#### **Расчет шихты.**

Задачей расчета является установление такого соотношения компонентов шихты, которое обеспечивает получение сплава требуемого химического состава при минимальной его стоимости.

Исходными данными для расчета шихты служат:

- требуемый химический состав выплавляемого чугуна;
- химический состав имеющихся компонентов металлозавалки с учетом технологических ограничений для данного плавильного агрегата;
- тип плавильного агрегата и характер применяемой футеровки;
- угар химических элементов в процессе плавки;
- усвоение расплавом чугуна конкретного химического элемента, вводимого в чугун ферросплавами, карбюризатором или в результате внепечной (ковшевой) обработки металла.

#### **Расчет шихты для выплавки расплава серого чугуна марки СЧ 20 ГОСТ1412 в индукционной тигельной печи.**

Обычно расчет шихты для выплавки чугуна проводится по трем элементам: углероду, кремнию, марганцу. При необходимости состав чугуна может контролироваться и по сере, фосфору, хрому, никелю, меди и т.д.

Содержание контролируемых элементов в шихте определяется с учетом величины угара (-) или пригара (+) и требуемого содержания элемента в жидком чугуне определяется по формуле 1.4:

$$\mathcal{E}_{ш} = \mathcal{E}_{ж} \frac{100}{100 \pm Y_{\text{э}}}, \quad (1.4)$$

где  $\mathcal{E}_{ш}$ - содержание контролируемого элемента в шихте, %;

$\mathcal{E}_{ж}$  - требуемое содержание элемента в жидком чугуне, %;

$Y_{\text{э}}$  - величина угара (-) или пригара (+) элемента, %.

Аналитический метод расчета шихты.

Данный метод расчета применяется при большом количестве шихтовых компонентов и заключается в составлении систем уравнений, в которых неизвестными являются содержания элементов в шихте и, например, в чугуне. Для упрощения расчета задаются значениями двух или трех неизвестных. Количество уравнений должно быть

равно числу неизвестных. В этом методе также удобно вести расчет на 100 кг шихты.

Допустим, что в отливках необходимо получить 1,9% Si и 0,65% Mn. В индукционной тигельной печи промышленной частоты с кислой футеровкой угар кремния 3 % и марганца 15%. Тогда с учетом угара в шихту необходимо ввести кремния и марганца.

$$Si = (1,9 \times 100)/(100 - 3) = 1,95\%;$$

$$Mn = (0,65 \times 100)/(100 - 15) = 0,76\% .$$

Допустим, что шихту можно приготовить из четырех сортов металла, химический состав которых по кремнию и марганцу приведен в таблице 1.1.

В шихте возврат собственного производства составляет 40%, металлическая шихта из трех сортов доменных чугунов - 60%.

Для того, чтобы убедиться, что можно составить шихту из компонентов, приведенных в таблице, предварительно выясним возможность получения требуемых содержаний кремния и марганца.

Среднее содержание кремния в доменных чугунах:

$$Si = (2,1 + 2,3 + 2,2)/3 = 2,2\%,$$

среднее содержание кремния в 100 кг шихты

$$Si = [(60 \times 2,2/100) + (40 \times 2/100)] = 2,1 \text{ кг.}$$

Таблица 1.1

**Химический состав компонентов шихты**

Компоненты шихты	Содержание компонента в металлозавалке, %	Массовая доля элемента, %	
		Si	Mn
Литейный чугунов			
А	x	2,1	0,9
Б	y	2,3	0,95
С	z	2,2	0,8
Возврат собственного производства	40	2,0	0,7

Аналогично определяем содержание марганца

$$Mn = (60/100)(0,9 + 0,95 + 0,8)/3 + (40/100) 0,7 = 0,81 \text{ кг.}$$

Для нахождения неизвестных величин  $x$ ,  $y$ ,  $z$  составляем три уравнения, причем массу шихты при расчете принимаем равной 100 кг. Тогда содержание компонентов в процентах будет равно их массе в килограммах.

Первое уравнение

$$x + y + z + 40 = 100 \text{ или } x + y + z = 60.$$

Второе уравнение для кремния

$$2,1x + 2,3y + 2,2z + 40 \times 2,0 = 100 \times 2,1 \text{ или } 2,1x + 2,3y + 2,2z = 130.$$

Третье уравнение для марганца

$$0,9x + 0,95y + 0,8z + 40 \times 0,7 = 100 \times 0,8 \text{ или } 0,9x + 0,95y + 0,8z = 52.$$

Выразив  $x$  через  $y$  и  $z$ , после преобразования получим два уравнения с двумя неизвестными

$$0,2y + 0,1z = 4 \text{ и } 0,1y - 0,1z = -2.$$

После сложения обоих уравнений находим  $y$ :

$$0,25y = 2,0, \text{ откуда } y = 8.$$

Подставив в одно из уравнений значение  $y$ , получим  $z = 24$ . Величину  $x$  найдем из уравнения  $x + 8 + 24 = 60$ , откуда  $x = 28$ .

На основании проведенного аналитическим методом расчета можно написать состав шихты на 100 кг металлической завадки

Содержание компонентов шихты,	кг
чугун сорта А	28,0
Б	8,0
С	24,0
Возврат собственного	
производства	40,0
Итого: металлозавадка	100,0

## 1.2. Постановка работы

Работа выполняется в два этапа. Студенты производят расчет шихты для заданной преподавателем марки чугуна в соответствии с данными таблицы 3 Приложения 1 в лаборатории кафедры. На базе РУП «ГЛЗ «Центролит» знакомятся с порядком подготовки шихтовых материалов, производят наблюдение за электрическим режимом и процессом плавки чугуна в индукционной печи промышленной частоты и/или среднечастотной печи, определяют температуру выплавляемого чугуна, ведут хронометраж плавки, наблюдают за отбором проб чугуна в различные периоды плавки. Проводят анализ изменения химического состава чугуна по ходу плавки.



### **1.3. Порядок выполнения работы**

Перед выполнением лабораторной работы студенты должны изучить действующие технологические инструкции предприятия по выплавке чугуна в индукционной печи промышленной частоты и среднечастотной печи с кислой футеровкой, сделать необходимые выписки. Выполнить эскизы печи и вспомогательных приспособлений по указанию преподавателя. Произвести наблюдения за выполнением установленных операций и режимов плавки: произвести замер температуры чугуна при помощи оптического пирометра или термопары и ознакомиться с их устройством.

### **1.4. Содержание отчета**

Отчет должен содержать:

- Цель работы.
- Расчет шихты
- Краткие сведения о процессе плавки чугуна в индукционных печах промышленной и средней частоты. Хронометраж плавки.
- Хронометраж и описания основных периодов плавки.
- Описание применяемых шихтовых материалов и химсостава выплавленного чугуна.
- Выводы.

### **Контрольные вопросы.**

1. Требования, предъявляемые к шихтовым материалам?
2. Технология плавки серого чугуна в индукционных печах промышленной и средней частоты?
3. Какие компоненты входят в состав шихты?
4. Как изменяется содержание основных элементов в сером чугуне с увеличением марки?

## **Лабораторная работа № 2**

## **ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕРОГО ЧУГУНА**

Цель работы: изучение влияния модифицирования на структуру и механические свойства серого чугуна; освоение методов оценки структуры образцов из серого чугуна.

### **2.1 Общие теоретические сведения**

Из литейных сплавов чугун является самым распространенным конструкционным материалом в машиностроении. Широкое применение чугуна обусловлено многими ценными его качествами: хорошими литейными, антифрикционными и прочностными свойствами, износостойкостью, хорошей обрабатываемостью, высокой усталостной прочностью, невысокой стоимостью и т. д. Требования к качеству чугуна, его прочностным и служебным характеристикам с каждым годом повышаются. Их разнообразие обуславливает создание и применение большого числа типов и марок чугуна.

Механические свойства чугуна в значительной степени зависят от количества, формы и размеров графита. В обычном сером чугуне графит имеет форму розеток с крупными лепестками, оказывающими сильное надрезающее действие на металлическую основу. Поэтому такой чугун обладает невысокими механическими свойствами.

Повышение механических свойств чугуна достигается главным образом за счет управления процессом кристаллизации в целях изменения количества, формы, размеров и характера распределения графитовых включений. Одним из наиболее распространенных методов воздействия на процессы графитизации чугунов является модифицирование расплавов. Модифицированием называется процесс воздействия на кристаллизацию и структуру сплава путем введения специальных добавок - модификаторов. Его проводят графитизирующими или стабилизирующими модификаторами. К графитизирующим модификаторам относятся ферросилиций, силикокальций, графит, алюминий и др. Стабилизирующие модификаторы обычно содержат марганец, хром, медь, олово, сурьму и др. Модифицирование стабилизирующими добавками способствует формированию перлитной основы, уменьшению размеров графитных включений и их количества, что обеспечивает повышение механических и эксплуатационных свойств чугуна. Такое модифицирование, применяемое в основном для чугунов с высокой степенью эвтектичности, по сравнению с графитизирующим модифицированием распространено в производстве меньше.

Модифицирование серого чугуна графитизирующими добавками уменьшает склонность его к отбелу, устраняет междендритный графит, уменьшает размеры лепестков графита.

Чугуны, подвергаемые графитизирующему модифицированию, в общем случае имеют следующий состав, %: 2,8—3,4 С; 0,6—1,5 Мп; до 0,3 Р; до 0,12 S и 1,0—2,5 Si.

Графитизирующее модифицирование чугунов с низкой степенью эвтектичности ( $S_e = 0,65 \div 0,85$ ) является обязательной технологической операцией, в противном случае в структуре формируется цементитная составляющая, не позволяющая получать высокие литейные и механические свойства.

Модифицировать чугуны, но химическому составу близкие к эвтектическому ( $S_e = 0,85 \div 0,98$ ), следует при производстве тонкостенных и разностенных отливок, а также в условиях быстрого охлаждения. Модифицированный чугун имеет практически такие же литейные свойства, как и немодифицированный. Модифицирование графитизирующими добавками гарантирует получение высоких и устойчивых результатов только при соблюдении определенных технологических условий. На результат модифицирования существенно влияют природа используемых шихтовых материалов, химический состав исходного сплава, температура перегрева, предварительная обработка исходного чугуна, тип и количество вводимого модификатора, режимы заливки чугуна после ввода в него модификаторов, вид литейной формы и многие другие факторы.

Например, эффект модифицирования при прочих равных условиях проявляется тем сильнее, чем ниже степень эвтектичности чугуна. Снижение содержания углерода или кремния в чугуне повышает эффективность модифицирования графитизирующими добавками.

Графитизирующие модификаторы в зависимости от содержания кремния можно условно подразделить на два класса: кремнистые ( $\geq 15\% \text{ Si}$ ) и бескремнистые ( $< 15\% \text{ Si}$ ). Наиболее эффективными модификаторами являются сплавы на основе ферросилиция с добавками небольшого количества одного или нескольких элементов, таких как Ca, Ba, Zr, самыми распространенными модификаторами серого чугуна с пластинчатым графитом являются ферросилиций ФС75 (74—80 % Si; 1,5 % Al), силикокальций СК-30 (62 % Si, 30 % Ca, 2 % Al,  $> 6\% \text{ Fe}$ ) и силикобарий (72-78 % Si, 2-3% Ba, 1-2 % Ca, 1,5 % Al). В настоящее время находят применение и другие модификаторы, в состав которых наряду с кремнием, кальцием, алюминием входят барий, цирконий, стронций и другие элементы.

Модификаторы вводят в жидкий чугун при выпуске его из печи в ковш, а иногда непосредственно в литейную форму. Перед вводом в чугун модификаторы дробят и просеивают до размера кусков 2—15 мм. Количество вводимого модификатора зависит от химического состава чугуна, его назначения, толщины стенок отливки, материала формы. Обычно вводят 0,1—1 % массы чугуна. Модифицирование проводят при температурах 1350—1420 °С. Более высокий уровень прочности чугунов достигается при снижении углеродного эквивалента и повышении перегрева чугуна. Каждый из этих факторов способствует уменьшению количества графита, его измельчению, увеличению количества и повышению дисперсности перлита. Однако при этом увеличивается и склонность чугуна к отбелу, междендритной кристаллизации графита. Например, доэвтектический чугун с низким углеродным эквивалентом (3,3—3,4 %), затвердевающий с большим переохлаждением, имеет структуру белого или половинчатого чугуна с неблагоприятным междендритным расположением графита. Подобная структура делает чугун хрупким и снижает его прочностные свойства. Графитизирующее модифицирование позволяет в определенных пределах предотвратить эти отрицательные явления.

Введение графитизирующего модификатора способствует формированию большого количества центров кристаллизации графита, что приводит к уменьшению переохлаждения и увеличению степени графитизации. В структуре серого чугуна образуются мелкие, равномерно распределенные графитовые включения.

После введения модификатора чугун должен определенное время выдерживаться в ковше. Уменьшение или увеличение этого периода в равной мере уменьшает эффект модифицирования.

При недостаточной выдержке модификатор не успевает равномерно распределяться по всему объему металла, при длительной выдержке происходит, очевидно, растворение или ошлакование зародышей, образованных модификатором. Оптимальная продолжительность выдержки определяется емкостью ковша, размером кусков модификатора и т. п. Можно считать, что наибольший эффект модифицирования наступает в среднем через 8—12 мин, а при более длительной выдержке действие модификатора ослабевает.

С учетом необходимого времени выдержки, затрат теплоты на нагрев и растворение модификатора, потерь теплоты при переливах металла разница между температурой выпуска чугуна из печи и температурой заливки составляет ~80 °С. Чтобы исключить большое

снижение температуры чугуна при выпуске, ковши должны подаваться под заливку прокаленными и хорошо подогретыми.

## 2.2. Постановка работы

Работа выполняется в два этапа. Студенты производят расчет шихты для заданной преподавателем марки чугуна в соответствии с данными таблицы 7 Приложения 1. На базе РУП «ГЛЗ «Центролит» знакомятся с технологией модифицирования чугуна, ведут хронометраж и последовательность проведения отдельных операций вплоть до заливки образцов. Осваивают методы оценки структуры образцов из серого чугуна в лаборатории кафедры.

## 2.4. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием, приборами, оснасткой, необходимыми для выполнения работы. Изучить инструкции по эксплуатации оборудования и технике безопасности.

2. Рассчитать шихту для плавки базового сплава, подготовить необходимые шихтовые материалы, модификаторы.

3. Изготовить формы для образцов и установить их для заливки. Подготовить формы для заливки трех цилиндрических образцов размером  $\varnothing 30 \times 350$  мм (рисунок 2.1) и две формы клиновой пробы на чугуна (рисунок 2.2).

4. Выплавить исходный чугун, перегреть его до заданной температуры, залить в формы первую порцию ( $\sim 8$  кг) немодифицированного чугуна.

5. Осуществить модифицирование сплава заданным количеством модификатора и залить формы.

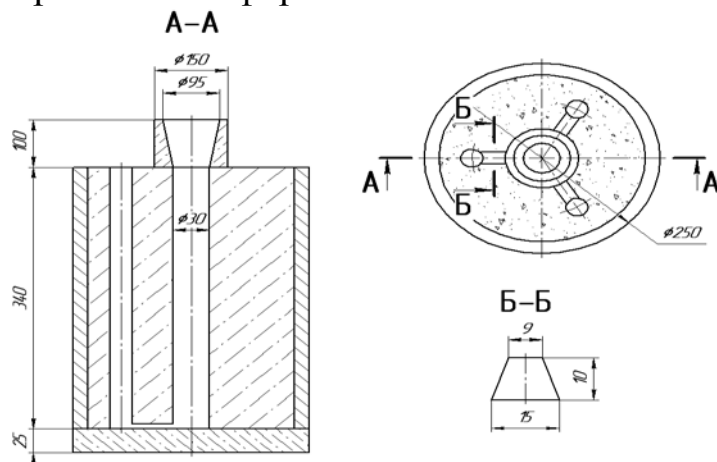


Рис. 2.1 – Форма для заливки образцов для механических испытаний

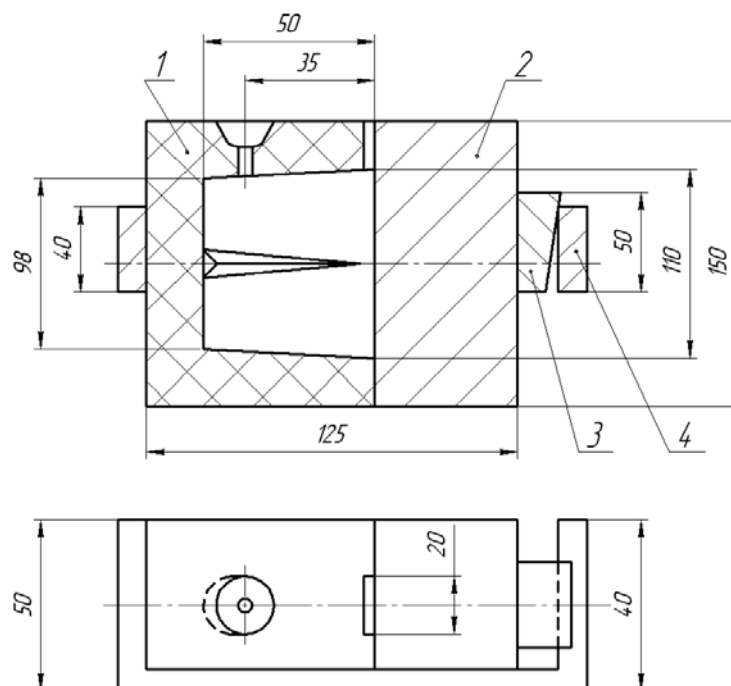


Рис. 2.2 – Форма для получения технологической пробы на отбел: 1-форма; 2- металлическая пластина; 3 – клин; 4 -скоба

6. Охладить отливки в формах, выбить их и очистить.

7. Разрушить пробы на отбел по пережиму, измерить глубину зоны чистого отбела  $h_1$  и переходной зоны  $h_2$ , и определить общий отбел  $h$ .

8. Из цилиндрических отливок изготовить образцы для проведения механических испытаний по ГОСТ 27208 (рисунок 2.3), провести испытания на растяжение по ГОСТ 1497 на разрывной машине МР-200, определяя временное сопротивление (предел прочности на разрыв),  $\sigma_B$ , Н/мм<sup>2</sup> и определить марку серого чугуна в соответствии с данными таблицы 4 Приложения 1.

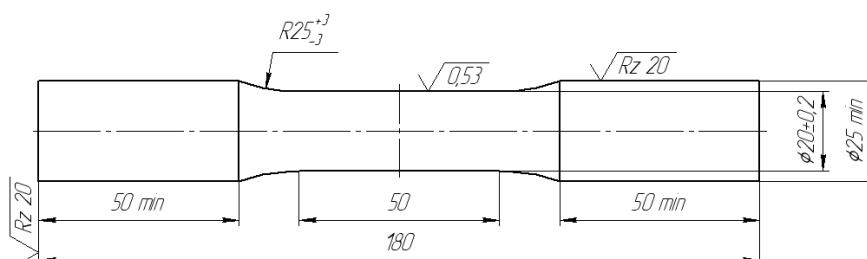


Рис. 2.3 - Образец для испытания на растяжения для чугуна с пластинчатым графитом

9. На расстоянии ~20 мм от низа цилиндрической отливки отрезать образцы для исследования микроструктуры и подготовить шлифы.

10. Изучить нетравленные шлифы на микроскопе. По ГОСТ 3443 определить количество графита, форму, размеры его включений и характер распределения.

11. Провести травление шлифов в 4 %-ном спиртовом растворе азотной кислоты по ГОСТ 3443. Измерить твердость чугуна по Бринеллю. Сфотографировать (зарисовать) структуру чугуна.

12. Обобщить полученные экспериментальные данные. Результаты измерений температуры металла, глубины отбела и другие данные записать. В случае использования модификатора одного состава, но в разных количествах, построить графические зависимости влияния количества вводимого модификатора на глубину отбела и размеры графитных включений.

13. Результаты определений количества, формы и размера графитовых включений, глубины отбела, твердости и прочностных свойств немодифицированного и модифицированного чугунов свести в таблицы 2.1 и 2.2.

*Таблица 2.1*

### Результаты измерений

Содержание элементов в сером чугуне, %	C, %	Модификатор		Глубина отбела, мм			Твердость		Прочность, МПа
		Тип	Количество, %	Чистая, h <sub>1</sub>	Переходная, h <sub>2</sub>	Общая, h	Диаметр отпечатка, мм	HB, ед.	

Таблица 2.2

## Результаты измерений

Содержание элементов в сером чугуна, %	C, %	Модификатор		Графит				Перлит		Феррит
		Тип	Количество, %	Количество, %	Форма	Размер, мкм	Распределение	Количество, %	Дисперсность, мкм	Количество, %

**2.5 Содержание отчета**

1. Исходные шихтовые материалы, типы и составы модификаторов.

2. Расчет шихты.

3. Описание технологий плавки чугуна и модифицирования, хронометраж и последовательность проведения отдельных операций вплоть до заливки образцов.

5. Эскизы форм, проб, образцов, микрофотографии структуры до и после модифицирования, их характеристика в соответствии с ГОСТами.

6. Таблицы.

7. Графическая зависимость влияния количества вводимого модификатора на глубину отбела и размеры графитовых включений.

8. Выводы.

**Контрольные вопросы.**

1. Задачи модифицирования расплавов?

2. В чем заключается механизм графитизирующего модифицирования?

3. Какие модификаторы применяют для модифицирования серых чугунов с пластинчатым графитом?

4. Назовите оптимальные для осуществления модифицирования температуры?

5. Как оценивается эффект модифицирования?



тельность?

7. Какие пробы используют для определения склонности чугуна

### **Лабораторная работа № 3**

#### **ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА И ЕГО СТРУКТУРЫ, ПОЛУЧЕННОЙ ПРИ РАЗНЫХ СКОРОСТЯХ ОХЛАЖДЕНИЯ**

Цель работы: ознакомление со способами ввода сфероидизирующих присадок в расплав и изучение структуры ЧШГ, полученной при различных скоростях охлаждения.

##### **3.1. Общие теоретические сведения**

Высокопрочный чугун (ЧШГ) получает все более широкое применение в машиностроении. Предел прочности у этого чугуна превышает в 2 - 4 раза, а удлинение - в десятки раз соответствующие характеристики чугуна с пластинчатым графитом. Предел выносливости при кручении ЧШГ - на 20...60% больше, чем у стали. Одной из главных причин резкого повышения свойств является значительное уменьшение надрезающего действия шаровидного графита по сравнению с пластинчатым. Литейные свойства ЧШГ практически такие же, как у серых чугунов, и значительно превышают аналогичные характеристики сталей. Наименьшая толщина стенок отливок, которые могут быть получены из ЧШГ.

Основным модификатором в производстве ЧШГ является магний. С целью предотвращения отбела чугуна проводят вторичное, графитизирующее модифицирование. Для этого обычно используют ферросилиций ФС75.

Оптимальные свойства чугуна достигаются при модифицировании расплавов, перегретых до 1420-1550 °С.

**Принципы выбора химического состава базового расплава чугуна.**

По своему влиянию на структуру и свойства ВЧ все элементы классифицируются следующим образом:

- первичные элементы: C, Si, Mn, S, P;

- сфероидизирующие элементы: Mg, редкоземельные элементы (Ca, Ce, La, Y и т.д.);
- элементы, влияющие на вид металлической структуры: Cu, Sn;
- легирующие элементы: Ni, Mo;
- элементы, способствующие карбидообразованию: Cr, V, B, Mo;
- губительные элементы (искажающие форму графита): Bi(н/б 0,003%), Al(н/б 0,3%), Pb (н/б 0,009 %), Sb (н/б 0,026%), As (н/б 0,08%), Ti(н/б 0,04%).

#### **Требования к химическому составу ВЧШГ.**

**Углерод и кремний.** Высокоуглеродистые ЧШГ рекомендуются для тонкостенных отливок. Для тонкостенных отливок рекомендуется устанавливать следующие значения содержания углерода при содержании кремния < 2,75% (числитель) и < 2,50% (знаменатель) таблица 3.1:

*Таблица 3.1*

<b>Максимальная толщина стенок, мм</b>	<b>С,%</b>	<b>Максимальная толщина стенок, мм</b>	<b>С, %</b>
3	4,35/4,40	25	3,55/3,60
6	4,05/4,10	50	3,40/3,40
12	3,85/3,90	> 100	3,35/3,40

**Марганец** оказывает на структуру ВЧШГ влияние, противоположное влиянию Si, уменьшая количество феррита и увеличивая количество перлита, в связи с чем повышается  $\sigma_b$  и понижается  $\delta$ . Поэтому для ферритных чугунов содержание Mn не должно превышать 0,4 %.

**Сера** затрудняет процесс модифицирования и получение шаровидной формы графита, понижает механические свойства вследствие образования со сфероидизаторами сульфидов, которые флотируют в жидком чугуне. Повышенное содержание серы увеличивает расход модификаторов на обессеривание расплава. Содержание в чугуне до модифицирования должно быть до 0,020 %.

Содержание **фосфора** в ЧШГ не должно превышать 0,1 %; при более высоком содержании фосфора образуется фосфидная эвтектика, понижая удлинение, увеличивая твердость, резко снижается ударная вязкость при отрицательных температурах. Если же высокое удлинение не обязательно, содержание P может быть увеличено до 0,12-0,15 %.

Содержание **магния** в ЧШГ составляет от 0,02 до 0,07%. Стабильное образование ШГ в чугунах обеспечивается, как правило, при соблюдении соотношения  $Mg_{ост} / S_{ост} = 1,0 - 3,0$ . При  $Mg/S < 1$ , то образуется только ПГ.

### **Сфероидизаторы графита.**

Для первичной сфероидизирующей обработки чугуна используют металлический магний, лигатуры и смеси, содержащие щелочноземельные и редкоземельные металлы.

**Металлический магний.** По ГОСТ 804 магний первичный трех марок поставляется в чушках массой 8 кг: Мг 96 (свыше 99,96 % Mg), Мг 95 (свыше 99,95 % Mg) и Мг 90 (свыше 99,90 % Mg). Обладает низким удельным весом  $\rho = 1,74 \text{ г/см}^3$ ,  $T_{пл} = 650^\circ\text{C}$ ,  $T_{кип} = 1107^\circ\text{C}$ .

**Магниевый кокс.** Пропитанный магнием металлургический кокс (магниевый кокс) содержит около 43 % металлического магния. Используется не только как сфероидизатор графита, но и как десульфуратор. Преимущества: отсутствие в его составе кремния, что позволяет повысить долю собственного возврата ЧШГ в металлозавалке; совмещение десульфурации и сфероидизации в одной операции; снижение по сравнению с металлическим магнием дефектов отливок, связанных с захваченными неметаллическими включениями («черными пятнами»), низкие потери температуры жидким чугуном во время обработки; меньшее по сравнению с магниевыми лигатурами на основе ферросилиция зарастание плунжерного устройства.

**Магнийсодержащие лигатуры.** В отличие от металлического магния многокомпонентные сплавы-сфероидизаторы позволяют существенно упростить и удешевить процесс модифицирования, целенаправленно управлять структурообразованием и свойствами ЧШГ, а также снизить пораженность отливок литейными дефектами.

Они характеризуются однородностью состава и весьма узкими пределами содержания магния, РЗМ, кальция, кремния и других элементов для каждой марки лигатуры. Стандартная кусковатость частиц лигатуры 2-30 мм для ковшовых методов и 1-4 мм для внутриформенного модифицирования.

### **Смесевые сфероидизаторы.**

Сферофлюсы (смеси солей и дробленых лигатур) облегчают образование ферритной структуры ЧШГ в литом состоянии, снижают количество усадочных раковин и неграфитовых неметаллических включений в отливках, улучшают жидкотекучесть чугуна, уменьшают размер и повышают удельное количество ШГ. Модифицирование

сферофлюсами протекает спокойно, без свечения и выплесков металла. Недостатки сферофлюсов: высокая стоимость, токсичность газообразных выделений при модифицировании.

### **3.1.1 Модифицирование с помощью колокола**

При использовании для модифицирования чистого магния необходимо обеспечить принудительное и достаточно глубокое погружение легкого магния (плотность  $1,74 \text{ г/см}^3$ ). Колокол - коробка круглого или прямоугольного сечения с отверстиями в боковых стенках из огнеупорного материала, укрепленная на штанге, с помощью которой производится ее погружение в расплав. Ввод магния с помощью колокола производится одним из трех способов: в специальных камерах, в которых механизм управления погружением и подъема колокола вынесен за ее пределы; в копильнике вагранки; с помощью простых защитных устройств, например, крышки, закрывающей ковш при погружении колокола (рисунок 3.1,а). Недостатки способа: низкая степень усвоения магния, большой расход колоколов.

### **3.1.2 Ввод чистого магния в герметизированных ковшах**

Способ основан на использовании для повышения давления над расплавом паров магния, образующихся в результате взаимодействия магния с чугуном. Металлический магниевый закладывается в специальную реакционную камеру (РК) через отверстие, герметично закрываемое крышкой. С полостью ковша РК соединяется калиброванным отверстием (рисунок 3.1,б). Наполненный чугуном ковш с герметично закрытой крышкой поворачивают на  $90^\circ$ . Находящийся в камере магниевый расплавляется (при нагреве  $650^\circ\text{C}$ ) и испаряется (при  $1107^\circ\text{C}$ ). Проходя сквозь чугун, пары магния взаимодействуют с ним, создавая необходимые условия для образования шаровидного графита.

Достоинства метода: ВЧШГ чище по неметаллическим включениям; низкие потери углерода; возможность строгого контроля химического состава ВЧШГ; отсутствие пироэффекта и дымовыделения; степень усвоения магния до 60 %.

К недостаткам модифицирования чугуна металлическим магнием следует отнести повышенное зашлаковывание ковша и сравнительно низкую стойкость футеровки. Герметизированные ковши не всегда гарантируют безопасные условия работы и стабильность процесса.

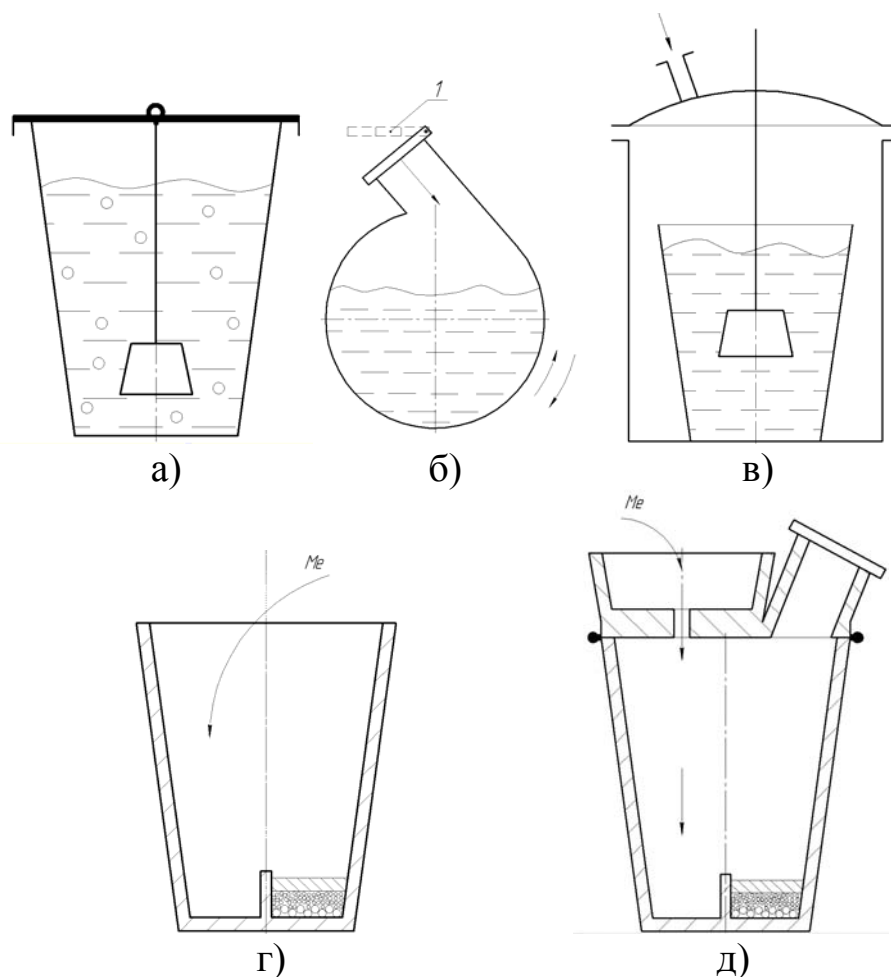


Рис. 3.1 - Способы обработки жидкого чугуна сфероидизирующими присадками

### 3.1.3 Ввод магния в камерах-автоклавах

Ковш с чугуном устанавливается в автоклав (рисунок 3.1,в), создается воздушное давление 4 - 6 атмосфер и с помощью колокола в расплав вводится чистый магний. Расход магния, как и при использовании герметизированных ковшей, составляет 0,2 - 0,3% от массы металла. Степень усвоения магния до 65%. Емкость ковшей колеблется в пределах от 0,1 до 15 т.

Недостатки способа: ограниченность обрабатываемой массы чугуна; сложность регулирования давления в процессе обработки чугуна и применение специальных приспособлений для введения магния; сложность и дороговизна оборудования.

### 3.1.4 Обработка чугуна коксом, пропитанным магнием

Пропитанный магнием кокс закладывают на дно ковша под съемную решетку или вводят в расплав при помощи колокола. Замедленное, благодаря коксу, протекание реакции взаимодействия магния с чугуном обеспечивает высокую степень усвоения (до 65%) магния при практическом отсутствии пироэффекта и дымовыделения.

Разновидностью данного процесса можно считать способ, основанный на защите кусков магния огнеупорным покрытием. Куски магния покрывают слоем огнеупорного материала таким образом, чтобы определенная часть (обычно выступ) его поверхности оставалась непокрытой. Реакция взаимодействия чугуна начинается с непокрытой поверхности, но протекает существенно медленнее. Скорость реакции зависит от многих факторов, но, прежде всего от толщины и теплофизических свойств покрытия. Степень усвоения магния составляет 40 - 65%.

### **3.1.5 Ввод магния в копыльнике вагранки**

Магний вводится с помощью колокола аналогично ранее приведенным способам. Шлаковая и металлическая летки при этом закрываются.

Недостатки способа: затруднения при обслуживании вагранки; тяжелые условия работы с горячим копыльником при вводе магния.

Во всех перечисленных способах вторичное графитизирующее модифицирование производится совместно с вводом магния или раздельно, при этом время процесса колеблется в пределах 15 - 25 мин, а температура металла снижается на 60 - 100°C. Степень усвоения магния составляет 15 - 25% для случая модифицирования при атмосферном давлении и 20 - 65% - при повышенном давлении.

### **3.1.6 Ввод лигатур с низким удельным весом**

Основой для изготовления легких лигатур является ферросилиций, в состав тяжелых лигатур входят медь, никель. Наиболее распространенными легкими лигатурами в странах СНГ является ЖКМ (железо – кремний - магний) и ЖКМК (железо – кремний – магний - кальций). Марки содержат цифры от 1 до 5, указывающие на различное (не соответствующее цифре) содержание магния и кальция, а также на наличие РЗМ и легирующих элементов.

**Сэндвич-метод (*Sandwich*).** Он предусматривает размещение мелкокускового магнийсодержащей лигатуры в углублении донной части футеровки ковша, нанесение на всю открытую поверхность

сфероидизатора слоя покровного материала (обычно стальных штамповочных высечек, листовой обрезки, ферросилиция). Углубление или одна из отгороженных половин дна ковша служит РК, куда загружают лигатуру, измельченную до кусков 10...25 мм. Ковш заполняется жидким чугуном таким образом, чтобы струя расплава не попадала прямо на лигатуру и покровный материал (рисунок 3.1 г).

Основные преимущества сэндвич-процесса: простота, низкая себестоимость, технологическая гибкость. Основные недостатки: значительные дымовыделения (оксид магния) и свечение, сопровождающие обработку; относительно низкое, иногда нестабильное усвоение магния (обычно 30—40 %); значительное увеличение содержания кремния в чугуне, что ограничивает количество оборотного скрапа ЧШГ, который может быть переплавлен, и содержание кремния в исходном чугуне; значительное снижение температуры чугуна при обработке; необходимость тщательной очистки ковшей от шлака после обработки для предотвращения попадания шлаковых включений в отливки; невозможность использования высокосернистого чугуна прямо из вагранки.

Оптимальная температура исходного чугуна к началу сфероидизирующей графит обработки составляет 1480—1535 °С. Если масса разовой порции обрабатываемого чугуна меньше 0,5 т, то сэндвич-метод не позволяет получать качественные отливки из ЧШГ вследствие сильного охлаждения чугуна во время модифицирования.

**Тандиш-кавер (*Tundish-cover*).** Эффективный и относительно простой метод является разновидностью процесса сэндвич. Он предусматривает использование совмещенной крышки-чаши (тандиш-кавер), футерованной огнеупорами и имеющей заливочно-выпускное отверстие (рисунок 3.1,д). Расплав чугуна заливают через крышку-чашу в ковш, в реакгентной камере которого размещен мелкокусовой магниевый сплав-сфероидизатор. Выпуск чугуна из ковша производится через отверстие той же чаши. По сравнению с методом сэндвич этот метод имеет следующие преимущества: более высокое и воспроизводимое усвоение магния; отсутствие пироэффекта и резкое снижение дымовыделения; пониженные потери углерода и температуры жидкого чугуна; менее бурная реакция; более технологичная конструкция ковша; меньшее количество шлака, образующегося при сфероидизирующей обработке.

### 3.1.7 Ввод лигатур с высоким удельным весом

Такие лигатуры помещаются на дно ковша или забрасываются на зеркало металла. Идет плавное растворение лигатуры без пироэффекта. На некоторых заводах используется ферроцерий, мишметалл и др. Однако процесс модифицирования нестабилен, поэтому отливки, обработанные этими присадками должны подвергаться графитизирующему отжигу. Кроме того, низкое усвоение РЗМ из этих лигатур, а также высокая стоимость и дефицитность ограничили их применение в производстве. Указанные недостатки устраняют лигатуры СИИТМИШ и СИМИШ, содержащие ~ 30% РЗМ. Усвоение РЗМ из них значительно выше, чем из высокопроцентных лигатур. Усвоение магния из лигатур с большим удельным весом гораздо выше, чем из легких и доходит до 85 - 90%.

### 3.1.8 Модифицирование магнийсодержащими добавками в форме

**Inmold-процесс.** Модифицирование в форме весьма перспективный процесс, особенно в массовом и крупносерийном производстве. Сущность способа заключается в том, что размягченную лигатуру или смесь помещают в расположенную в литниковой системе реакционную камеру. В процессе заливки модификатор растворяется движущимся потоком металла по мере заполнения формы (рисунок 3.2).

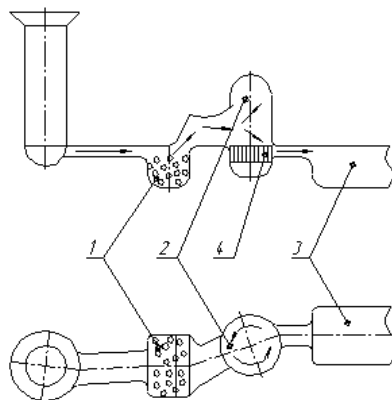


Рис. 3.2 – Схема модифицирования в форме: 1-реакционная камера; 2-центробежный шлакоуловитель; 3-полость формы; 4- фильтр

Основными недостатками процесса являются: необходимость низкого содержания серы в чугуне; ограничение массы отливки; уменьшение выхода годного; опасность загрязнения отливок неметаллическими включениями; неравномерное модифицирование во времени в процессе заливки всей порции металла, что затрудняет получение однородной структуры чугуна в различных сечениях отливки.



Достоинства: высокое усвоение магния (80-90 %) и низкий расход модификатора; отсутствие дымовыделения и свечения; отсутствие постепенного исчезновения эффекта сфероидизации; возможность возврата в печь неиспользованного исходного чугуна; более низкая требуемая температура металла в печи за счет устранения потерь температуры при ковшовой сфероидизации (до 60—90 °С); пригодность процесса для полной автоматизации заливки; более высокие и стабильные физико-механические свойства ЧШГ; более короткий производственный цикл получения ЧШГ.

### 3.2. Постановка работы

Работа выполняется в два этапа. Студенты производят расчет шихты для заданной преподавателем марки чугуна в соответствии с данными таблицы 6 Приложения 1. На базе РУП «ГЛЗ «Центролит» знакомятся с технологией сфероидизирующего модифицирования чугуна, описывают последовательность проведения отдельных операций вплоть до заливки образцов. Осваивают методы оценки структуры образцов из высокопрочного чугуна в лаборатории кафедры.

### 3.3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием, приборами, оснасткой, необходимыми для выполнения работы. Изучить инструкции по эксплуатации оборудования и технике безопасности.

2. Рассчитать шихту для плавки базового сплава и количество модификатора для сфероидизирующей обработки.

3. Подготовить формы для заливки двух образцов для механических испытаний (рисунок 3.3) и форму для клиновой пробы (рисунок 2.2).

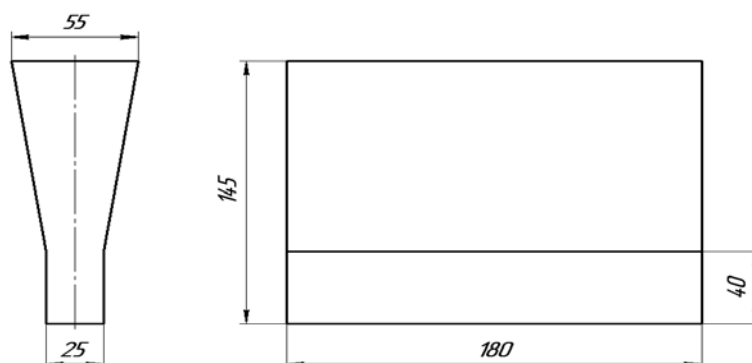


Рис. 3.3 - Проба для изготовления образцов для механических испытаний высокопрочного чугуна

4. Осуществить модифицирование сплава заданным количеством модификатора и залить формы.

6. Охладить отливки в формах, выбить их и очистить.

7. Разрушить клиновую пробу. Изготовить шлифы и изучить изменение структуры чугуна по высоте проб на нетравленных и травленных образцах. Характерные структуры зарисовать.

8. Из V-образных проб изготовить образцы для проведения механических испытаний по ГОСТ 27208 (рисунок 3.4), провести испытания на растяжение по ГОСТ 1497 на разрывной машине МР-200, определяя временное сопротивление (предел прочности на разрыв),  $\sigma_B$ , Н/мм<sup>2</sup> и определить марку высокопрочного чугуна в соответствии с данными таблицы 7 Приложения 1.

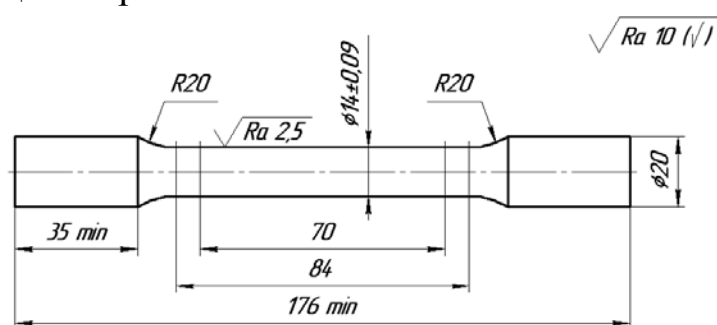


Рис. 3.4 -Образец для испытания на растяжения для чугуна с шаровидным графитом

9. Результаты определений количества, формы, размера графитовых включений и характера распределения по высоте пробы свести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

### Результаты измерений

	Графит				Перлит		Феррит
	Количество, %	Форма	Размер, мкм	Распределение	Количество, %	Дисперсность, мкм	Количество, %
Зона А							
Зона Б							

11. Обобщить результаты и сделать выводы.

### **3.4. Содержание отчета**

По выполненной работе должен быть составлен отчет, содержащий:

- цель работы;
- расчет шихты для заданной марки чугуна;
- краткое описание способов ввода в чугун сфероидизирующих графит присадок;
- эскизы форм, проб, образцов;
- описание (с приложением зарисовок) микроструктур по высоте пробы;
- обобщение результатов и выводы.

### **Контрольные вопросы.**

1. Какие модификаторы применяют для получения чугунов с шаровидным графитом?
2. Какова последовательность операций обработки чугуна с целью получения графита шаровидной формы?
3. При каких температурах проводят модифицирование чугуна?
4. С какой целью проводят вторичное модифицирование?
5. Как оценивают эффект модифицирования и сколько времени он сохраняется?
6. Какие технологические варианты модифицирования для получения высокопрочного чугуна Вам известны, в чем их преимущества и недостатки?
7. Как изменяется концентрация первичных элементов в высокопрочных чугунах с увеличением марки и каково их влияние на структуру и свойства ВЧШГ?

## **Лабораторная работа № 4**

### **ВЫПЛАВКА СТАЛИ В ОСНОВНОЙ ДУГОВОЙ ПЕЧИ**

Цель работы: изучить технологию плавки стали в дуговой печи.

#### **4.1 Общие теоретические сведения**

**Шихтовые материалы для получения стали в дуговых печах.**

Основными шихтовыми материалами для выплавки электростали являются: металлическая (металлсодержащая) часть шихты, шла-

кообразующие (флюсы), окислители, науглероживатели (карбюризаторы), раскислители и легирующие.

К шихтовым материалам предъявляют требования относительно: габаритных размеров (крупность кусков); химической однородности; степени окисленности поверхности (ржавчина); засоренности другими веществами (маслом, землей, мусором, цветными металлами и т.д.); влажности, взрыво- и пожаробезопасности и др.

#### **Металлическая часть шихты. Металлизированные окатыши.**

Металлическая часть шихты для электроплавки — это железный и стальной лом, переделный чугун марок ПВК-1, ПВК-3 в количестве до 10% массы садки, легированные и обычные отходы металлургических и машиностроительных предприятий, шихтовые заготовки и металлизированные окатыши, а также ферросплавы и лигатуры. Лом и отходы легированных сталей и сплавов поставляют по ГОСТ2787-75.

Углеродистая и легированная стружка должна быть обезжирена и сбрикетирована. В ломе не допускается наличие цветных металлов (меди, бронзы, олова, свинца, латуни и др.), так как в случае попадания в сталь они ухудшат ее физико-механические свойства.

Для снижения содержания в готовом металле фосфора, углерода и других элементов, а также примесей при выплавке стали и сплавов некоторых марок методом переплава используют паспортную шихтовую заготовку или мягкое железо с содержанием  $<0,03\%$  С,  $0,015\%$  Р и  $0,015\%$  S.

Для получения требуемого содержания углерода в металле используют добавки кокса и электродного боя, которые вводят после расплавления шихты.

В последнее время получил развитие процесс выплавки стали в дуговых печах с использованием в шихте (до 70—80%) железа прямого восстановления (металлизированных окатышей) вместо металлического лома. Металлизированные окатыши — это железорудное сырье, содержащее восстановленное железо, при этом степень металлизации (отношение содержания металлического железа к общему его содержанию) бывает разной. Количество пустой породы в металлизированном сырье для сталеплавильного производства не должно превышать 4%.

#### **Шлакообразующие и окислители**

В основных печах для образования шлакового покрова применяют известняк; свежееобожженную известь  $\text{CaO}$ , получаемую из известняка  $\text{CaCO}_3$  при температуре 900-1100 °С в шахтных и вращаю-

щихся трубчатых обжиговых печах или в печах кипящего слоя (%: CaO 85-93, ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ) <3, S <0,1,  $\text{CO}_2$  3- 5, MgO <4,  $\text{SiO}_2$  <4); шамотный бой; боксит, содержащий >50%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и <20 % FeO, и пластовый шпат, содержащий >85%  $\text{CaF}_2$ ; в кислых печах - кварцевый песок(>95%  $\text{SiO}_2$ ); шамотный бой (30-35%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и 70-65%  $\text{SiO}_2$ ) и известь.

Для окисления углерода, фосфора и других примесей применяют окислители: железную и марганцевую руду, окалину от металлопроката и поковок, хромистую руду, газообразный кислород и другие материалы.

Наиболее широко в качестве окислителя применяют газообразный кислород, содержащий >99,5%  $\text{O}_2$ , <0,05%  $\text{N}_2$  и влаги <1 г/м<sup>3</sup>. Давление газообразного кислорода составляет 1-2 МПа.

### **Науглероживатели, раскислители и легирующие**

Для увеличения содержания в металле углерода до требуемых пределов применяют углеродсодержащие вещества, или науглероживатели. К ним относят: мелкие отходы производства графитизированных электродов и изделий, электродный бой, кокс, древесный уголь и др.

Графитизированный порошок и коксик (мелкий кокс) применяют для раскисления шлака в дуговой печи. Для науглероживания металла в ковше в процессе выпуска плавки чаще всего применяют кусковой кокс, содержащий 85 % C, 10 % золы. В ряде случаев ванну науглероживают (~0,01% C/мин), опуская в металл электроды. Для корректировки содержания углерода в металле разливочного ковша применяют углеродсодержащую оболочковую порошковую проволоку.

В качестве раскислителей применяют материалы, содержащие элементы с большим сродством к кислороду, чем железо. К ним относятся: ферромарганец, силикомарганец, ферросилиций, алюминий, силикокальций, алюмобарий, алюмокальций и ряд других комплексных сплавов.

Для раскисления наиболее широко используют алюминий. Для раскисления углеродистой и низколегированной стали используют вторичный алюминий (>8% примесей свинца, цинка, меди, железа и др.).

Для получения стали и сплавов с различным содержанием легирующих элементов (никеля, меди, кобальта, титана, хрома, молибдена, вольфрама, алюминия, марганца) используют присадки соответствующих металлических материалов и сплавов в виде ферросплавов

(ферросилиция, ферромарганца, феррохрома, ферровольфрама, ферромолибдена, феррованадия и др).

Раскисление и легирование сталей и сплавов ответственного назначения осуществляют только первичным алюминием (98—99,5% Al).

Алюмосиликомарганец (АМС), содержащий 4—6 % Al, 9—12% Mn и 9—12% Si, производят в дуговых печах и используют в виде кусков или порошка для раскисления и легирования стали.

Алюмобарий и алюмокальций применяют для раскисления и модифицирования сталей и сплавов.

### **Способы выплавки стали в основных дуговых печах**

В дуговых печах с основной футеровкой стали и сплавы выплавляют: на свежей шихте (не содержит легирующих элементов) с кипением ванны; на отходах легированных сталей и сплавов методом их сплавления с ферросплавами с частичным окислением ванны; на металлизированных окатышах; методом смешивания расплавов.

### **Выплавка стали методом переплава**

Сущность выплавки стали и сплавов методом переплава состоит в том, что металлолом, легированные отходы и ферросплавы входят в состав шихты, которую загружают в печь одновременно или с одной подвалкой. Плавку ведут без использования кислорода (без окисления) и с его использованием для ускорения расплавления шихты и обезуглероживания металла.

При плавке методом переплава без окислительного периода шихту, как правило, составляют из ферросплавов и легированных отходов, обеспечивающих получение расплава с требуемым химическим составом.

С учетом науглероживающего действия электродов и для получения требуемого содержания углерода в металле после расплавления твердой садки в шихту вводят низкоуглеродистое железо (мягкое). Шихта, как правило, состоит из 60-80% легированных отходов и 40-20% мягкого железа с низким (0,05-0,15%) содержанием углерода и ферросплавов. Ферросплавы, содержащие легкоокисляющиеся элементы (ванадий, титан, цирконий и др.), в завалку не дают и присаживают в жидкий металл периода доводки.

Выплавка конструкционных коррозионностойких, жаропрочных, быстрорежущих и других сталей и сплавов методом переплава легированных отходов и ферросплавов без окисления позволяет снизить угар ферросплавов, сократить продолжительность плавки, умень-

шить расход электроэнергии, повысить стойкость футеровки печи, снизить себестоимость металла.

При загрузке шихты в центральную часть корзины укладывают тугоплавкие составляющие шихты (мягкое железо, ферровольфрам и др.), а к ее стенкам — относительно легкоплавкие материалы (углеродистый лом, чугун и др.) и ферросплавы, способные науглероживаться (феррохром и др.). При расчете шихты учитывают возможное науглероживание металла за время плавления на 0,02-0,05% и принимают: общий угар металлошихты равным -4%, угар кремния-50%, марганца 30-40%, хрома 10-15%, вольфрама до 8%, ванадия 15-25% и титана до 70%. До загрузки шихты в печь подсчитывают содержание различных элементов в шихте и ожидаемый анализ металла по расплавлению.

При наличии в шихте ценных легкоокисляющихся элементов (V, Ti, Nb), переходящих в шлак в период плавления садки, последний не скачивают, а раскисляют обычными порошкообразными смесями кокса, ферросилиция, силикокальция и др. до получения белого или слабокарбидного шлака в зависимости от содержания в металле углерода.

Для получения металла высокого качества при выплавке стали методом переплава необходимо: не допускать в завалку неизвестных и перепутанных отходов; обеспечивать точное взвешивание всех составляющих шихты; прокаливать ферросплавы и шлакообразующие материалы; применять высококачественные графитизированные электроды; использовать мягкое железо с содержанием фосфора <0,020%; избегать местного перегрева металла путем своевременной осадки шихты; тщательно просушивать футеровку сливного желоба и сталеразливочного ковша. В период доводки металл продувают через металлические трубы аргоном.

При переплаве отходов металл нагревают в основном в период плавления и за время ожидания анализа проб металла. Переплав легированных отходов без окисления затрудняет получение стали и сплавов с низким содержанием углерода. Применение кислорода на переплавных плавках облегчает обезуглероживание металла и делает процесс более экономичным.

Вдувание в металл через погружные трубки кислорода в смеси с порошкообразными известью и железной рудой повышает эффект дефосфорации расплава. Использование при переплаве отходов кислородной продувки обеспечивает также обезуглероживание металла

и получение стали с требуемым низким содержанием углерода. Применение кислородной продувки позволяет отказаться от использования в шихте мягкого железа и заменить его более дешевым металлоломом. При этом период расплавления шихты сокращается не менее чем на 20% и исключается дополнительное время, требующееся на подогрев ванны до расплавления садки.

В результате переплава отходов с применением кислорода общее время плавки оказывается меньше времени плавки без окисления, снижается удельный расход электроэнергии более чем на 20% и повышается качество стали за счет частичной дегазации металла и уменьшения содержания фосфора.

С металлошихтой в печь загружают 2—2,5 % извести. В конце расплавления шихты ванну начинают продувать кислородом и заканчивают продувку при температуре металла 1600—1640 °С в зависимости от состава выплавляемой стали. Продолжительность окислительного периода не регламентируют.

Присадку к металлу раскислителей и ферросплавов проводят с учетом остаточного содержания соответствующих элементов в жидкой ванне. После скачивания шлака окислительного периода в печи наводят шлак доводочного периода из извести, шамота и плавикового шпата.

## **4.2 Порядок выполнения работы**

Произвести расчет состава металлической части шихты при выплавке стали методом переплава для заданной преподавателем марки стали.

**Упрощенный расчет состава металлической части шихты при выплавке стали методом переплава.**

### **1. Шихтовые материалы**

В качестве примера расчета шихты для выплавки конструкционных сталей на отходах рассмотрим выплавку стали марки 40ХНМА, содержащей, %: С 0,36-0,44; Мn 0,5-0,8; Cr 0,6-0,9; Ni 1,25-1,75; Мо 0,15-0,25; Si 0,17-0,37; S и Р не более 0,03 - из легированных отходов в печи емкостью 25 т.

В плавке будут использованы следующие материалы: отходы марки 40ХНМА - 60% от общего количества металлической части шихты, отходы марки 33ХН3МА-20%, отходы марки 18Х2Н4МА -20



%. Расход мягкого железа, ферромарганца, ферромolibдена, ферросилиция и феррохрома определяется расчетом.

Состав металлической части шихты приведен в таблице 4.1.

Таблица 4.1

**Состав металлической части шихты**

Материал	Содержание элементов, %					
	C	Mn	Cr	Ni	Mo	Si
Отходы 40ХНМА	0,42	0,60	0,70	1,30	0,20	0,30
Отходы 18Х2Н4МА	0,18	0,40	1,45	3,50	0,30	0,30
Отходы 33ХН3МА	0,35	0,60	1,00	2,60	0,30	0,30
Мягкое железо	0,10	0,30	-	-	-	-
Ферромарганец ФМн78А	7,0	80,0	-	-	-	2,00
Ферромolibден ФМо52	0,20	-	-	-	60	2,00
Ферросилиций ФС75	0,10	0,40	0,40	-	-	75,00

## 2.Определение расхода мягкого железа.

Мягкое железо используется для понижения содержания углерода в шихте в том случае, когда среднее содержание углерода в отходах легированной стали равно или несколько больше нижнего предела для стали заданной марки. Когда среднее содержание углерода в легированных отходах значительно ниже, чем нижний предел для заданной марки стали в состав шихты следует вводить чугуны, а не мягкое железо.

Расход мягкого железа  $G_{м.ж.}$  определяем из балансового уравнения по углероду:

$$[C]_{распл} G_{Г} = [C]_{л} (100 - G_{МЖ}) + (C)_{МЖ} G_{МЖ}, \quad (4.1)$$

где  $[C]_{распл}$  - содержание углерода в металле по расплавлению, %;

$G_{ГС}$  - выход годной жидкой стали, %;

$[C]_{л}$  - среднее содержание углерода в легированных отходах, %;

$[C]_{МЖ}$  - содержание углерода в мягком железе, %.

Содержание углерода в металле по расплавлению необходимо иметь на 0,04- 0,08 меньше нижнего предела в заданной марке стали, поскольку в восстановительный период плавки происходит науглероживание металла. В данном случае принимаем:

$$\Delta [C]_{ВП} = 0,04 \%$$

Тогда

$$[C]_{распл} = G_{МГ} - \Delta [C]_{ВП} = 0,36 - 0,04 = 0,32 \%$$

Среднее содержание углерода в легированных отходах составляет:

$$[C]_л = 10^{-2} (0,42 \cdot 60 + 0,18 \cdot 20 + 0,35 \cdot 20) = 0,358 \%$$

Выход годной жидкой стали принимаем равным 97,5 %, т.к. до 2 % составляют потери металла за счет мусора и окалины на поверхности лома и около 0,5 % составляют выносы с газообразными продуктами плавки.

Подставляя в балансовое уравнение известные величины, находим расход мягкого железа:

$$0,32 \cdot 97,5 = 0,358 \cdot (100 - G_{МЖ}) + 0,10 \cdot G_{МЖ}$$

$$0,258 \cdot G_{МЖ} = 4,60$$

$$G_{МЖ} = \frac{4,60}{0,258} = 17,82 \%$$

Расход легированных отходов составляет:

$$G_{ЛО} = 100 - 17,82 = 82,18 \%$$

В этом количестве легированных отходов содержится:

$$40ХНМА \quad 10^{-2} \cdot 82,18 \cdot 60 = 49,30 \%$$

$$18Х2Н4МА \quad 10^{-2} \cdot 82,18 \cdot 20 = 16,44 \%$$

$$33ХН3МА \quad 10^{-2} \cdot 82,18 \cdot 20 = 16,44 \%$$

### 3. Определение состава металла по расплавлению

Для определения состава металла по расплавлению необходимо вычислить, какое количество элементов вносит каждый из компонентов металлической части шихты. Расчет производится по формуле (8888) и результаты представлены в таблице 4.2.

$$\mathcal{E}_{ж} = \frac{\mathcal{E}_{ш} \cdot K}{100} \% \quad (4.2)$$

где  $\mathcal{E}_{ж}$  - требуемое содержание элемента в жидком чугуна, %;

$\mathcal{E}_{ш}$  - содержание контролируемого элемента в шихте, %;

$K$  - количество компонента шихты, %.

Например, отходы стали 40ХНМА вносят углерода:

$$\frac{0,42 \cdot 49,30}{100} = 0,208 \%$$

По аналогии определяется поступление всех остальных элементов.

Таблица 4.2

**Расчет поступления элементов из компонентов  
металлической шихты**

Компонент шихты	Кол- во, %	Вносится на 100 кг шихты, %					
		C	Mn	Cr	Ni	Mo	Si
Отходы 40ХНМА	49,30	0,208	0,296	0,345	0,641	0,099	0,148
Отходы 18Х2Н4МА	16,44	0,030	0,066	0,238	0,575	0,049	0,049
Отходы 33ХН3МА	16,44	0,058	0,099	0,164	0,427	0,049	0,049
Мягкое железо	17,82	0,018	0,054	-	-	-	-
ИТОГО:	100	0,314	0,515	0,747	1,643	0,197	0,246

В процессе плавления отдельные элементы окисляются, другие полностью остаются в металле. Принимаем следующее усвоение элементов из легированных отходов: C-90 %; Mn-80 %; Si-50 %; Ni -100 %; Mo -100 %; Cr-100 %. Тогда состав металла по расплавлению с учетом усвоения элементов рассчитывается по формуле:

$$\sum \mathcal{E}_{ж.распл} = \frac{\sum \mathcal{E}_{ж} \cdot A}{100}, \quad (4.3)$$

где  $\sum \mathcal{E}_{ж}$  - суммарное содержание элемента с учетом всех компонентов шихты, %;

$A$  - усвоение элемента, %.

Тогда содержание марганца по расплавлению с учетом усвоения:

$$\frac{0,515 \cdot 80}{100} = 0,412 \quad \%$$

По аналогии определяется содержание всех остальных элементов. Химический состав металла по расплавлению с учетом усвоения элементов представлен в таблице 4.3.

Таблица 4.3

**Химический состав металла по расплавлению**

Содержание элементов, %					
C	Mn	Cr	Ni	Mo	Si
0,314	0,412	0,672	1,643	0,197	0,123

#### 4. Расход ферросплавов в восстановительный период плавки

Сравнение химического состава сплава по расплавлению с

заданной маркой стали показывает, что в восстановительный период необходимо вводить в металл только Mn и Si. При этом Mn, вводимый с ферромарганцем, усваивается полностью, а Si, введенный с 75%-м ферросилицием в составе раскисляющей смеси, усваивается только на 50 %.

Расход ферромарганца определяем по формуле

$$G_{\text{ФМн}} = \frac{G_{\text{ГС}} \cdot ([\text{Mn}]_{\text{ГС}} - [\text{Mn}]_{\text{распл}})}{[\text{Mn}]_{\text{ФМн}}}, \quad (4.4)$$

где  $G_{\text{ФМн}}$  - расход ферромарганца, кг;

$G_{\text{ГС}}$  - выход годной жидкой стали, %;

$[\text{Mn}]_{\text{ГС}}$  - содержание марганца в готовой стали, %;

$[\text{Mn}]_{\text{распл}}$  - содержание марганца в металле по расплавлению, %;

$[\text{Mn}]_{\text{ФМн}}$  - содержание марганца в ферромарганце, %.

Расход ферромарганца составит:

$$\frac{97,5 \cdot (0,60 - 0,412)}{80} = 0,23 \text{ кг}$$

Расход ферросилиция ФС75 определяем по формуле

$$G_{\text{ФС}} = \frac{100 \cdot G_{\text{Г}} \cdot ([\text{Si}]_{\text{ГС}} - [\text{Si}]_{\text{распл}})}{[\text{Si}]_{\text{ФС}} \cdot U}, \quad (4.5)$$

где  $U$  - усвоение кремния, %.

Тогда расход ферросилиция составит:

$$\frac{100 \cdot 97,5 \cdot (0,30 - 0,123)}{75 \cdot 50} = 0,46 \text{ кг}$$

Ферромарганец вносит марганца:

$$G_{\text{ФМн}} \cdot \frac{\mathcal{E}_{\text{ш}}}{100} = \mathcal{E}_{\text{ж}}$$

$$0,23 \cdot \frac{80}{100} = 0,184 \text{ кг}$$

Ферросилиций вносит кремния:

$$0,46 \cdot \frac{75}{100} = 0,345 \text{ кг}$$

С учетом окисления 50 %:

$$0,345 \cdot 0,5 = 0,172 \text{ кг}$$

Ввод других легирующих элементов Ni, Cr, Mo не требуется, т.к. содержание их в металле по расплавлению находится в пределах, соответствующих готовой стали.

## 5. Химический состав и выход готовой стали после раскисления

Ферромарганец и ферросилиций вносят в металл содержащиеся в них элементы. Расчет поступления элементов в металл из ферромарганца и ферросилиция приведен в таблице 4.4.

Таблица 4.4

**Поступление элементов в металл из ферромарганца  
и ферросилиция**

Элемент	Вносит ФС, %	Вносит ФМн, %
C	$0,23 \cdot 7 / 100 = 0,016$	$0,46 \cdot 0,1 / 100 = 0,0005$
Si	$0,23 \cdot 2 / 100 = 0,004$	$0,46 \cdot 75 \cdot 0,5 / 100 = 0,172$
Mn	$0,23 \cdot 80 / 100 = 0,184$	$0,46 \cdot 0,4 / 100 = 0,002$
Cr	-	$0,46 \cdot 0,4 / 100 = 0,002$

Химический состав стали после раскисления и легирования:

$$[Э]_{ГЛ} = (Э_{распл} + Э_{МЖ} + Э_{ФМн} + Э_{ФС}) \cdot \frac{100}{G_{ГС}}, \% \quad (4.6)$$

где  $[Э]_{ГЛ}$  - содержание элемента в стали после раскисления и легирования, %;

$Э_{распл}$  - содержание элемента в стали по расплавлению, %;

$Э_{МЖ}$  - количество элемента, вносимого мягким железом, %;

$Э_{ФМн}$  - количество элемента, вносимого ферромарганцем, %;

$Э_{ФС}$  - количество элемента, вносимого ферросилицием, %.

$$[C]_{ГС} = (0,314 + 0,040 + 0,016 + 0,0005) \cdot \frac{100}{97,5} = 0,380 \%$$

$$[Si]_{ГС} = (0,123 + 0,004 + 0,172) \cdot \frac{100}{97,5} = 0,306 \%$$

$$[Mn]_{ГС} = (0,412 + 0,184 + 0,002) \cdot \frac{100}{97,5} = 0,613 \%$$

$$[Cr]_{ГС} = (0,02 + 0,672) \cdot \frac{100}{97,5} = 0,691 \%$$

$$[Ni]_{ГС} = 1,643 \cdot \frac{100}{97,5} = 1,685 \%$$

$$[Mo]_{гс} = 0,197 \cdot \frac{100}{97,5} = 0,202 \%$$

Выход годной стали после раскисления и легирования:

$$G_{гл} = 97,5 + 0,23 + (0,46 - 0,172) = 98,018 \%$$

Расход материалов на плавку:

$$\text{Отходы 40ХНМА} \quad \frac{25000 \cdot 49,30}{100} = 12325 \text{ кг}$$

$$\text{Отходы 18Х2Н4МА} \quad \frac{25000 \cdot 16,44}{100} = 4110 \text{ кг}$$

$$\text{Отходы 33ХН3МА} \quad \frac{25000 \cdot 16,44}{100} = 4110 \text{ кг}$$

$$\text{Мягкое железо} \quad \frac{25000 \cdot 17,82}{100} = 4455 \text{ кг}$$

$$\text{Ферросилиций ФС45} \quad \frac{25000 \cdot 0,46}{100} = 115 \text{ кг}$$

$$\text{Ферромарганец ФМн78} \quad \frac{25000 \cdot 0,23}{100} = 57,5 \text{ кг}$$

$$\text{Получено стали} \quad \frac{25000 \cdot 98,018}{100} = 24504,5 \text{ кг}$$

Невязка баланса  $25172,5 - 24504,5 = 668 \text{ кг}$

#### 4.4 Содержание отчета

В отчете должно быть отражено:

- Цель работы.
- Краткие сведения об особенностях плавки стали в дуговых печах.
- Описание технологии выплавки стали методом переплава.
- Расчет шихты для заданной преподавателем марки стали.

#### Контрольные вопросы.

1. Какие материалы используются в качестве металлошихты и каким требованиям она должна удовлетворять?

2. Какие Вы знаете шлакообразующие и окислители?
4. Какие существуют способы интенсификации плавления шихты и окислительного периода плавки в дуговых печах?
5. При каких условиях протекает эффективная дефосфорация стали в дуговых печах?
6. Какие существуют способы выплавки стали в дуговых печах?
7. В чем положительный эффект применения кислородной продувки?

## **Лабораторная работа № 5**

### **ПЛАВКА, РАФИНИРОВАНИЕ И МОДИФИЦИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

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

#### **5.1. 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.

Чаще 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 разливочных устройств, покровных, рафинирующих и модифицирующих флюсов; прокаливают и окрашивают плавно-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 течей, 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.

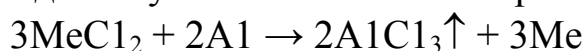
Очистка расплавов **продувкой** инертными или активными газами основана на просекании двух процессов - диффузии растворенного газа в пузырьки продуваемого рафинирующего газа и флотации ими неметаллических включений. Рафинирование осуществляется тем успешнее, чем меньше размер пузырьков продуваемого газа 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; внутрь

пузырьков диффундирует растворенный в металле водород - происходит очистка расплава. По окончании перемешивания расплаву дают отстояться в течение 10 - 15 мин при температуре 720 - 730 °С 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 примесями, 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 °C.

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 5.1).

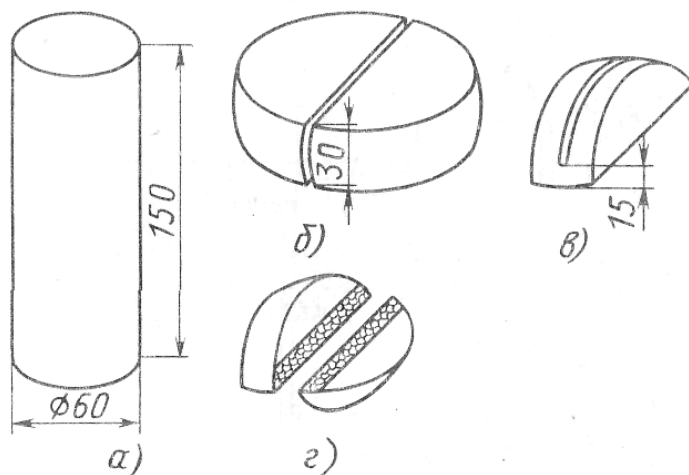


Рис.5.1. Технологическая проба Добаткина - Зиновьева для определения наличия неметаллических включений и оксидных плен: *а* - литая заготовка; *б* - осаженная заготовка; *в* - расположение надреза; *г* - излом.

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

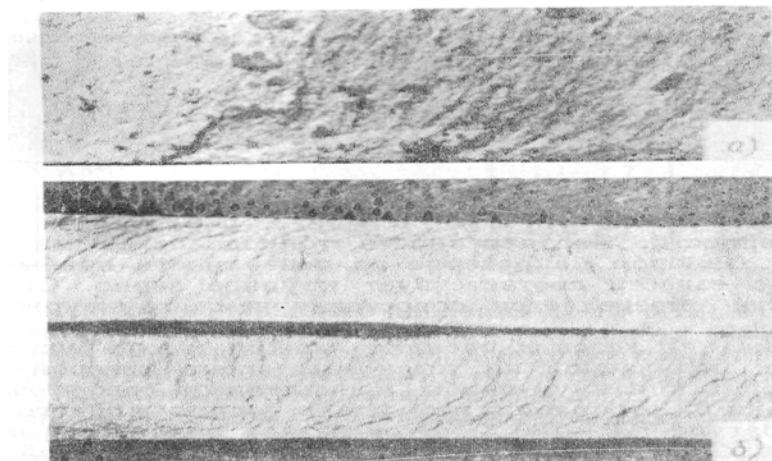


Рис.5.2- Изломы технических проб из нерафинированного (а) и рафинированного (б) сплавов.

### 5.2. 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.

### 5.3. 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  $\frac{2}{3}$  глубины расплава с помощью «колокольчика». Выдерживать 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.

#### **5.4. 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 № 6**

### **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  $1083^{\circ}\text{C}$ , 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 последовательность 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 6.1*

### **Покровные и рафинирующие флюсы для медных сплавов**

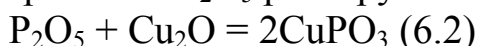
<b>Состав, % по массе</b>	<b>Назначение</b>
41 - 47 SiO <sub>2</sub> ; 25 - 32 MnO <sub>2</sub> ; 10 - 15 Na <sub>2</sub> O; 11 - 14 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Покровный для оловянных бронз
7Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ; 60 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ; 33 CaF <sub>2</sub>	Рафинирующий для оловянных бронз
50 CaF <sub>2</sub> ; 50 MgF <sub>2</sub>	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  $\text{P}_2\text{O}_5$  испаряется ( $t_{\text{пл}} = 563^\circ\text{C}$ ). Пузырьки  $\text{P}_2\text{O}_5$ , поднимаясь вверх через толщу жидкого металла, удаляют неметаллические включения и газы. Одновременно  $\text{P}_2\text{O}_5$  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.

### **6.2. 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.

### **6.3. 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.

### **6.4. 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?

Таблица 1

## Химический состав литейного чугуна (ГОСТ 4832-95)

Мар- ка чугу- на	Массовая доля, %													
	Si	Mn				P					S, не более			
		группы				класса					категории			
		I	II	III	IV	A, н/б	Б, н/б	В, н/б	Г	Д	1	2	3	4
Л5	Св. 1,6 до 2,0 включ.	До 0,3 включ.	Св. 0,3 до 0,9 включ.	Св. 0,5 до 0,9 включ.	Св. 0,9 до 1,5 включ.	0,08	0,12	0,30	Св. 0,3 до 0,7 включ.	Св. 0,7 до 1,2 включ.	0,02	0,03	0,04	0,05
Л6	Св. 1,2 до 1,6 включ.	До 0,3 включ.	Св. 0,3 до 0,9 включ.	Св. 0,5 до 0,9 включ.	Св. 0,9 до 1,5 включ.	0,08	0,12	0,30	Св. 0,3 до 0,7 включ.	Св. 0,7 до 1,2 включ.	0,02	0,03	0,04	0,05

Таблица 2

## Химический состав перелитого чугуна (ГОСТ 805-95)

Мар- ка чугу- на	Массовая доля, %												
	Si	Mn				P, не более			S, не более				
		группы				класса			категории				
		1	2	3	4	A	Б	В	1	2	3	4	5
ПЛ 1	Св. 0,9 до 1,2 включ.	До 0,3 включ.	Св. 0,3 до 0,5 включ.	Св. 0,5 до 0,9 включ.	Св. 0,5 до 0,9 включ.	0,08	0,12	0,3	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
ПЛ 2	Св. 0,5 до 0,9 включ.	До 0,3 включ.	Св. 0,3 до 0,5 включ.	Св. 0,5 до 0,9 включ.	Св. 0,5 до 1,5 включ.	0,08	0,12	0,3	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05

Таблица 3

**Химический состав чугуна с пластинчатым графитом (ГОСТ 1412-85)**

Марка чугуна	Массовая доля элементов, %				
	C	Si	Mn	P	S
				не более	
СЧ10	3,5-3,7	2,2-2,6	0,5-0,8	0,3	0,15
СЧ15	3,5-3,7	2,0-2,4	0,5-0,8	0,2	0,15
СЧ20	3,3-3,5	1,4-2,4	0,7-1,0	0,2	0,15
СЧ25	3,2-3,4	1,4-2,2	0,7-1,0	0,2	0,15
СЧ30	3,0-3,2	1,3-1,9	0,7-1,0	0,2	0,12
СЧ35	2,9-3,0	1,2-1,5	0,7-1,1	0,2	0,12

Таблица 4

**Ориентировочные данные о временном сопротивлении при растяжении и твердости в стенках отливки различного сечения (ГОСТ 1412-85)**

Марка чугуна	Толщина стенки отливок, мм						
	8	15	30	8	15	30	50
Временное сопротивление при растяжении, МПа, не менее				Твердость НВ, не более			
СЧ10	120	100	80	205	200	190	185
СЧ15	180	150	110	241	224	210	201
СЧ20	220	200	160	255	240	230	216
СЧ25	270	250	210	260	255	245	238
СЧ30	330	300	260	-	270	260	250
СЧ35	380	350	310	-	290	275	270

Таблица 5

**Химический состав литейного рафинированного марганцем чугуна (ГОСТ 4832-95)**

Марка чугуна	Массовая доля, %							
	Si	Mn			P, не более		S, не более	
		группы			класса		категории	
		I	II	III	A	Б	1	2
ЛР5	Св. 1,6 до 2,0 включ.	До 0,3 включ.	Св. 0,3 до 0,5 включ.	Св. 0,5 до 1,0 включ.	0,08	0,12	0,005	0,010
ЛР6	Св. 1,2 до 1,6 включ.	До 0,3 включ.	Св. 0,3 до 0,5 включ.	Св. 0,5 до 1,0 включ.	0,08	0,12	0,005	0,010

Таблица 6

## Рекомендуемый химический состав ЧШГ ГОСТ 7293-85

Марка чугуна	Массовая доля элементов, %												
	C			Si			Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	
	При толщине стенки отливки, мм							Не более					
	<50	>50 <100	<100	<50	>50 <100	<100							
ВЧ45	3,3- 3,8	3,0- 3,5	2,7- 3,2	1,9- 2,9	1,2- 1,7	0,5- 1,5	0,3- 0,7	0,1	0,02	0,1	-	-	
ВЧ50	3,2- 3,7	3,0- 3,5	2,7- 3,2	1,9- 2,9	2,2- 2,6	0,8- 1,5	0,3- 0,7	0,1	0,02	0,15	-	-	
ВЧ60	3,2- 3,6	3,0- 3,5	-	2,4- 2,6	2,4- 2,8	-	0,4- 0,7	0,1	0,02	0,15	0,3	0,4	
ВЧ70	3,2- 3,6	3,0- 3,5	-	2,6- 2,9	2,6- 2,9	-	0,4- 0,7	0,1	0,01 5	0,15	0,4	0,6	
ВЧ80	3,2- 3,6	-	-	2,6- 2,9	-	-	0,4- 0,7	0,1	0,01	0,15	0,6	0,6	
ВЧ100	3,2- 3,6	-	-	3,0- 3,8	-	-	0,4- 0,7	0,1	0,01	0,15	0,8	0,8	

Таблица 7

## Механические свойства (не менее) ЧШГ ГОСТ 7293-85

Марка чугуна	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	НВ
ВЧ45	450	310	10	140-225
ВЧ50	500	320	7	153-245
ВЧ60	600	370	3	192-277
ВЧ70	700	420	2	228-302
ВЧ80	800	480	2	248-351
ВЧ100	1000	700	2	270-360

Таблица 8

## Химический состав переклельного высококачественного чугуна (ГОСТ 805-95)

Мар- ка чугуна	Массовая доля, %										
	Si	Mn			P, не более				S, не более		
		группы			класса				категории		
		1	2	3	А	Б	В	Г	1	2	3
ПВК 1	Св. 0,9 до 1,2 включ.	До 0,5 включ.	Св. 0,5 до 1,0 включ.	Св. 1,0 до 1,5 включ.	0,020	0,030	0,040	0,050	0,015	0,020	0,025
ПВК 2	Св. 0,5 до 0,9 включ.	До 0,5 включ.	Св. 0,5 до 1,0 включ.	Св. 1,0 до 1,5 включ.	0,020	0,030	0,040	0,050	0,015	0,020	0,025
ПВК 3	До 0,5 включ.	До 0,5 включ.	Св. 0,5 до 1,0 включ.	Св. 1,0 до 1,5 включ.	0,020	0,030	0,040	0,050	0,015	0,020	0,025



Таблица 9

## Угар (пригар) химических элементов при плавке чугуна

Плавильный агрегат	Футеровка	Изменение содержания элемента, отн. %									
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Ti
Вагранка холодного дутья	Кислая	+10...+30	-10... -25	-15... -30	0	+25...+10	-15... -30	До - 10	До - 10	До - 10	-20... -50
Вагранка горячего дутья	Кислая	+20...+30	-10... +20	-10... -20	0	+10...+50	-10... -15	До -5	До -5	До -5	-20... -40
	Основная	+30...+36	-15... -20	-5...-15	До -10	-20...-50	-5... -10	До -5	До -5	До -5	-20... -40
Дуговая печь	Кислая	-15...+5	0...+5	-15... -20	0	0	-15... -30	До -10	До -10	До -10	-30... -60
	Основная	-10...+5	-10... -15	-5...-10	До -10	-20...-50	-5...-10	До -10	До -10	До -10	-30... -60
ИТП промышленной частоты	Кислая	-5...-15	-3...+5	-10... -25	0	-5	-5	0	0	0	0
	Основная	-5...-10	-10... -15	-5...-10	0	-30...-60	0	0	0	0	0
ИТП средней частоты	Кислая	-10...-20	-5...+5	-10... -15	0	-5	-5	0	0	0	0
	Основная	-15...-20	-10... -15	-8...-12	0	-20...-45	0	0	0	0	0

Примечание: Знак «+» перед числом означает пригар элемента, знак «-» – угар

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Каблуковский, А.Ф. Производство электростали и ферросплавов/ А.Ф Каблуковский.- М.:ИКЦ «Академкнига», 2003.-511 с.
3. Лабораторные работы по технологии литейного производства/А.В.Курдюмов [и др.]- М.: Машиностроение,1990.-272 с.
4. Чурсин, В.М. плавка медных сплавов (Физико-химические и технологические основы)/ В.М.Чурсин. - М.: Металлургия, 1982.-152 с.
5. Чугуны с шаровидным и вермикулярным графитом и аустенитно-бейнитной матрицей-современные материалы для литых деталей (свойства, применение, особенности технологии)- М.: ИТЦМ «Металлург», 2004.- 254 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1 .....	3
ПЛАВКА СЕРОГО ЧУГУНА В ИНДУКЦИОННОЙ ЭЛТРОПЕЧИ.....	3
Лабораторная работа № 2 .....	10
ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕРОГО ЧУГУНА.....	10
Лабораторная работа № 3 .....	18
ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА И ЕГО СТРУКТУРЫ, ПОЛУЧЕННОЙ ПРИ РАЗНЫХ СКОРОСТЯХ ОХЛАЖДЕНИЯ .....	18
Лабораторная работа № 4 .....	28
ВЫПЛАВКА СТАЛИ В ОСНОВНОЙ ДУГОВОЙ ПЕЧИ .....	28
Лабораторная работа № 5 .....	40
ПЛАВКА, РАФИНИРОВАНИЕ И МОДИФИЦИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ .....	40
Лабораторная работа № 6 .....	49
ПЛАВКА МЕДНЫХ СПЛАВОВ .....	49
ЛИТЕРАТУРА .....	59