

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: перепельные ГОСТ 805, литейные ГОСТ 4832 и природнолегированные. В зависимости от содержания кремния, марганца, фосфора и серы литейные и перепельные 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.

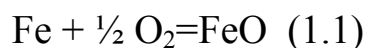
Технологический процесс плавки в индукционной печи включает следующие операции: загрузку шихты, нагрев и расплавление ее, перегрев, науглероживание и доведение химического состава чугуна до заданного, а также термовременную обработку (выдержку).

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 *зумпфом* 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 достигает 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).



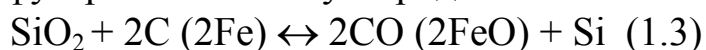


При плавке чугуна в индукционных печах для восстановления железа из FeO целесообразно расходовать карбюризатор и экономить ферросплавы. Карбюризатор необходимо вводить на дно тигля в завалку, а ферросилиций и ферромарганец - в жидкий чугун после его расплавления и перегрева, так как при вводе карбюризатора 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 % Al₂O₃, а SiO₂ 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.

Пример расчета 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 чугунок			
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.

Лабораторная работа №2

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.

Модифицирование наиболее эффективно для доэвтектических чугунов при высоком перегреве расплава, использовании большого количества стального лома в шихте и повышенных скоростях охлаждения отливки. Практически же модифицированию можно подверг-

нать чугуны любых химических составов. 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 Са, Ва, Zr, самыми распространенными модификаторами серого чугуна с пластинчатым графитом являются ферросилиций ФС75 (74—80 % Si; 1,5 % Al), силикокальций СК-30 (62 % Si, 30 % Са, 2 % Al, $> 6\% \text{ Fe}$) и силикобарий (72-78 % Si, 2-3% Ва, 1-2 %Са, 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 (~ 8 кг) немодифицированного чугуна.

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

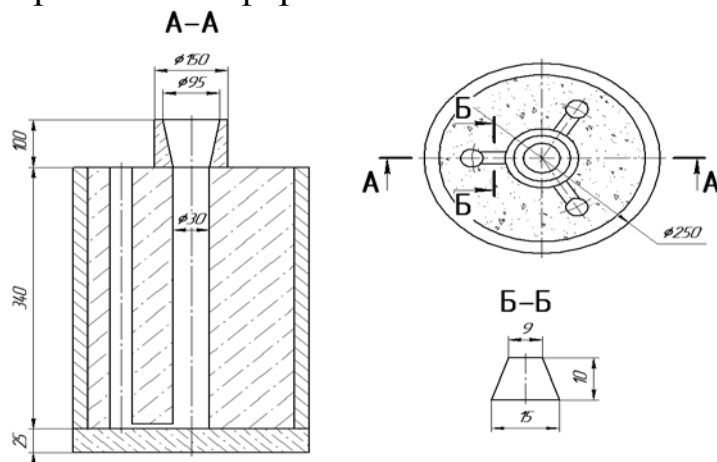


Рис. 2.1 – Форма для заливки образцов для механических испытаний

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

Максимальная толщина стенок, мм	С,%	Максимальная толщина стенок, мм	С, %
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 σ_b и понижается δ . 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° . Находящийся в камере магниевый расплавляется (при нагреве 650°C) и испаряется (при 1107°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.

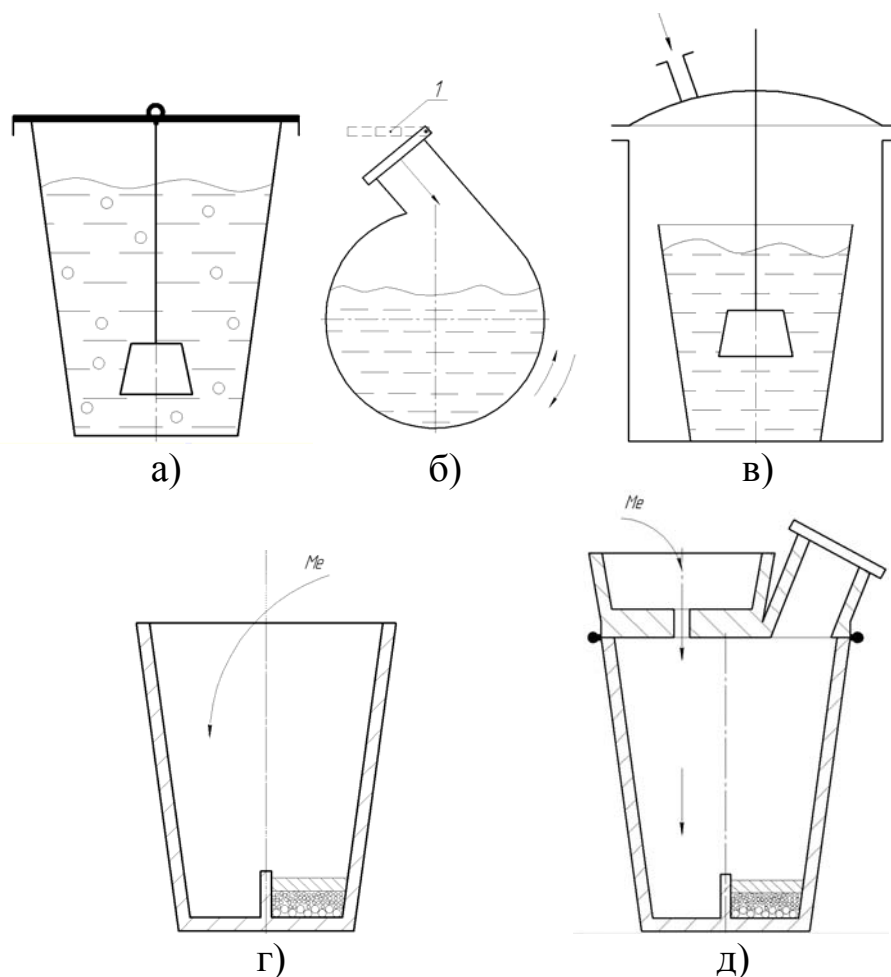


Рис. 3.1 - Способы обработки жидкого чугуна сфероидизирующими присадками

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 копильнике 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 копильником 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 (*Sandvich*). 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).

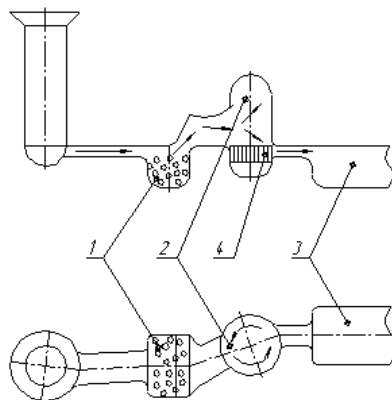


Рис. 3.2 – Схема модифицирования в форме: 1-реакционная камера; 2-центробежный шлакоуловитель; 3-полость формы; 4- фильтр

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.

ВЫПЛАВКА СТАЛИ В ОСНОВНОЙ ДУГОВОЙ ПЕЧИ

Цель работы: изучить технологию плавки стали в дуговой печи.

Металлическая часть шихты. Металлизированные окатыши.

Металлическая часть шихты для электроплавки — это железный и стальной лом, передельный 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 CaO , получаемую из известняка 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, CO_2 3- 5, MgO <4, SiO_2 <4); шамотный бой; боксит, содержащий >50% Al_2O_3 и <20 % FeO, и плавленый шпат, содержащий >85% CaF_2 ; в кислых печах - кварцевый песок(>95% SiO_2); шамотный бой (30-35% Al_2O_3 и 70-65% 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% O_2 , <0,05% N_2 и влаги <1 г/м³. 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 аргонem.

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 марки 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:

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

Расход материалов на плавку:

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

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

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

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

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

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

Получено стали

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

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.