

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
Кафедра «Технология функциональных и конструкционных материалов»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ПРАКТИЧЕСКИМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАВКИ СПЛАВОВ
НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

Направление подготовки
Квалификация(степень) выпуска
Форма обучения

22.04.02 – «Металлургия»
магистр
очная

Составитель:

В.Н.Шаршин

Владимир 2019

УДК 621.74

Шаршин В.Н.

Методические указания к практическим работам по дисциплине «Прогрессивные технологии плавки сплавов на основе железа» / Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых; сост. В.Н.Шаршин. – Владимир, 2019. –55 с.

Методические указания составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Прогрессивные технологии плавки сплавов на основе железа» и рассчитаны на магистрантов, обучающихся по направлению 22.04.02 – «Металлургия». Служат руководством к проведению практических работ и направлены на формирование основных профессиональных компетенций, отвечающих требованиям ФГОС-3 по направлению подготовки 22.04.02 – «Металлургия» к результатам освоения ОПОП ВПО.

Табл. 13. Ил. 1.

Рассмотрены и одобрены на
заседании УМК направления
22.04.02 «Металлургия»
Протокол № 9 от 7.06. 2019 г.
Рукописный фонд кафедры
ТФ и КМ ВлГУ

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Практическая работа №1	
Плавка стали в мартеновских печах.....	5
Практическая работа №2	
Плавка стали в конвертерах.....	12
Практическая работа №3	
Плавка стали в дуговых печах.....	19
Практическая работа №4	
Плавка стали в индукционных печах.....	22
Практическая работа №5	
.Плавка стали в плазменных печах. Электрошлаковый переплав и литьё стали.....	26

Введение

Цель освоения дисциплины (модуля) - формирование теоретических знаний и практических навыков в области профессиональной деятельности магистров, включающей процессы получения литых заготовок из металлов и сплавов требуемого качества. Изучение современных методов контроля качества литых изделий. Приобретение понимания проблем развития литейного производства в области повышения качества отливок и путей их решения с учетом современных достижений науки и техники.

В результате освоения данной дисциплины у студентов формируются основные общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции, отвечающие требованиям ФГОС ВО, к результатам освоения ОПОП ВО по направлению 22.04.02 «Металлургия»:

Обладать готовностью проявлять инициативу, брать на себя ответственность (ОК-5).

Обладать готовностью проводить экспертизу процессов, материалов, методов испытаний (ОПК-9).

Обладать способностью выбирать методы и проводить испытания для оценки физических, механических и эксплуатационных свойств материалов ПК-14.

Учебная дисциплина «Современные методы контроля качества литых изделий» относится к обязательным дисциплинам вариативной части блока 1 ОПОП ВО.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

- **знать:** организацию контроля качества отливок в литейных цехах; основные виды дефектов, имеющих место при производстве отливок из, существующие методы их выявления. (ОПК-9, ПК-14).

- **уметь:** организовать контроль на различных операциях производства отливок; устанавливать причины возникновения брака на литье; устанавливать виновника брака, обобщать и анализировать информацию о состоянии качества отливок в литейном цехе (ОК-5; ОПК-9, ПК-14).

- **владеть:** основными понятиями качества отливок, способностями к анализу причин образования дефектов, средствами контроля качества отливок (ОПК-9, ПК-14).

Практическая работа №1.

Плавка стали в мартеновских печах

Цель работы:

- изучить порядок и особенности технологического процесса плавки сплавов на основе железа в мартеновских печах;
- основные периоды плавки стали в печи с основной футеровкой;
- основные периоды плавки стали в печи с кислой футеровкой;
- особенности расчёта шихты.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Температура стали на выпуске из печи составляет примерно 1600 °С. Плотность стали при этой температуре около 7,2 кг/дм³, энталпия 350 кДж/кг, удельное электрическое сопротивление 1,3·10⁶ м·м.

Схема и принцип действия мартеновской печи

В литейных цехах машиностроительных заводов для производства крупных стальных отливок используются мартеновские печи емкостью 5...50 т.

Мартеновская печь (рис.1) является пламенной регенеративной печью периодического действия.

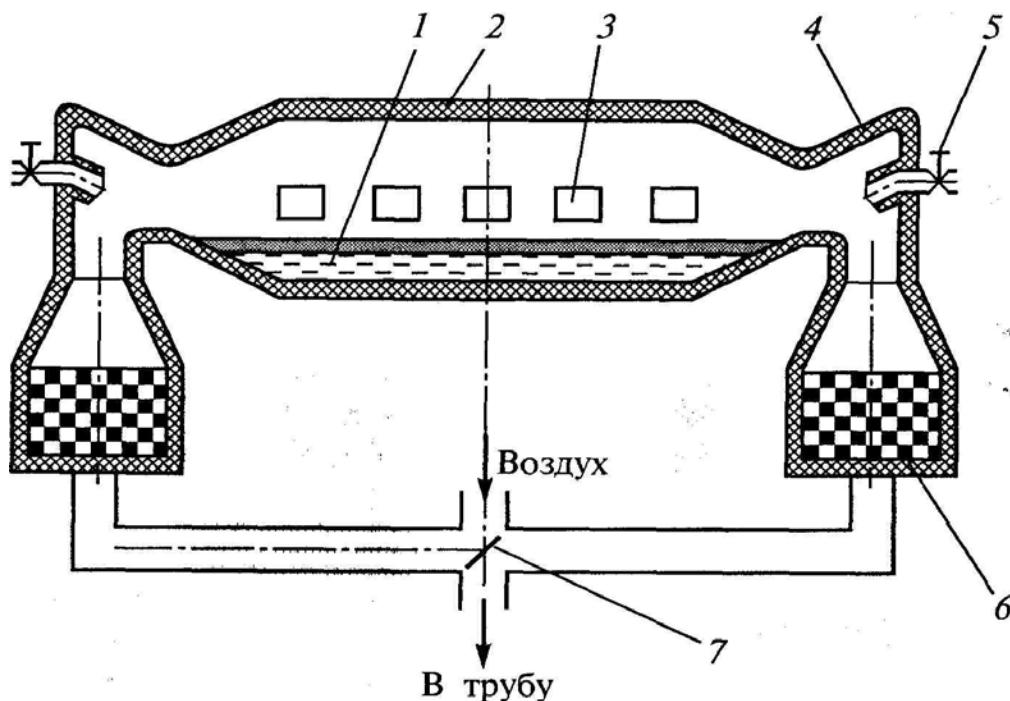


Рис.1. Схема мартеновской печи

В ванну печи 1, перекрытую сводом 2, через окна 3 загружается шихта,

состоящая, главным образом, из стального лома и чушкового чугуна. В торцах печи имеются головки 4, каждая из которых попеременно служит сначала для подачи в рабочее пространство печи топлива и воздуха, а затем для отвода продуктов горения.

На рис.1 отображен период работы печи, в котором левая головка служит для подачи топлива и воздуха, а правая — для отвода продуктов горения.

Выпуск стали при температуре около 1600 °С ведется через леточное отверстие, расположенное в нижней части ванны, напротив загрузочных окон 3. Чтобы достичь перегрева стали до 1600 °С через слой шлака, имеющего низкую теплопроводность, температура факела должна быть 1800... 1900 °С.

Жидкое и газообразное топливо, используемое в мартеновском процессе, обеспечивает такую температуру только при подогреве воздуха до 1000... 1300 °С.

Такой подогрев обеспечивают регенераторы 6, представляющие собой насадку из огнеупорного кирпича, по ячейкам которой поочередно пропускаются горячие газы и нагреваемый воздух. Когда температура воздуха на выходе из насадки снижается до минимальной, автоматически переключаются клапаны 5 и 7, и направление потока газов при этом меняется, воздух направляется в регенератор, разогретый в предыдущем периоде.

Плавка стали в мартеновской печи с основной футеровкой

В настоящее время в литейных цехах плавку сталей (как и других литейных сплавов) приходится вести с использованием низкосортной шихты — стального лома неизвестного происхождения, содержание серы и фосфора в котором может быть повышенным. В этих случаях для получения качественной стали необходимо проведение комплекса металлургических операций, в числе которых:

- а) окисление С, Si, Mn и других легирующих элементов, которые могут содержаться в шихте в избыточных количествах;
- б) рафинирование металла от «неметаллической мутти», образующейся при окислении этих элементов;
- в) удаление из металла газов, растворившихся в нем в период расплавления и окисления;
- г) удаление серы и фосфора;
- д) введение легирующих элементов;
- е) доводка металла до заданной температуры выпуска.

В курсе лекций показано, что перечисленные выше задачи можно решить в мартеновской печи только при наличии основной футеровки.

Футеровка печи выполняется из магнезитового кирпича. На под и откосы ванны поверх кирпича наносится слой магнезитового порошка.

Повреждения этого слоя перед каждой плавкой устраняются засыпкой свежего магнезита. Поврежденные места предварительно очищаются от металла и шлака.

Шихта. Минимальное количество передельного чугуна в шихте

определяется маркой выплавляемой стали, величиной угаря углерода в период расплавления и избытком углерода, необходимым для нормального процесса кипения.

Процесс кипения, как известно, обеспечивает эффективное рафинирование металла от газов и неметаллических включений. Обычно величина избыточного углерода составляет около 0,5 %.

Поэтому при плавке, например, стали 35Л, содержание углерода в металле после расплавления должно быть $0,35 + 0,5 = 0,85\%$.

Величина угаря углерода зависит от окисленности лома, продолжительности завалки и расплавления, содержания в шихте кремния, марганца, а также от других факторов, и составляет 30...40%. Поэтому с учетом угаря 35% содержание углерода в шихте должно быть $0,85 : 0,65 = 1,31\%$. Если в передельном чугуне содержится 4 % C, а в стальном ломе — 0,3 % C, то содержание чугуна в шихте x должно составить

$$4,0 \cdot x + 0,3(100 - x) = 1,31 \cdot 100; x = 27,3\%.$$

Расход известняка составляет 5... 10% от металлозавалки для образования первичного шлака с основностью 2,2.

Период загрузки и расплавления. Порядок загрузки устанавливается технологической инструкцией с учетом специфики данного производства. Однако общими являются следующие рекомендации:

- на подину следует загружать чистый лом в количестве 10... 25 % от общего количества стального лома в шихте;
- на лом загружать флюс — известняк;
- шихту прогревать в течение 10... 15 мин;
- на прогретый слой шихты заваливать остальную часть стального лома и после его прогрева в течение 20 мин загружать весь чугун.

Чугун плавится легче, чем сталь, и, стекая между кусками стальной шихты, передает им теплоту и наутлероживает их, снижая тем самым температуру плавления.

Периоды загрузки шихты, ее нагрева и плавления составляют большую часть времени плавки. Поэтому период нагрева шихты частично совмещают с периодом ее загрузки. Расплавление ведут на полной тепловой мощности печи с применением кислорода для обогащения воздуха, специальных топливно-кислородных горелок или путем создания локальных зон, в которых теплота выделяется за счет окисления Si, Mn, Fe.

Окислительный период. Кремний как обладающий наибольшим сродством к кислороду из элементов шихты и образующий кислотный оксид окисляется почти полностью уже в период расплавления (см. курс лекций). Окисление кремния сопровождается выделением теплоты, что ускоряет процесс плавки.

Марганец, как и кремний, легко окисляется, взаимодействуя с кислородом газовой фазы и оксидами железа в шлаке. При окислении марганца также выделяется теплота. Однако при повышении температуры протекает

эндотермическая реакция восстановления марганца углеродом



Фосфор окисляется одновременно с кремнием и марганцем в начале плавки и также с выделением большого количества теплоты по реакциям и при условиях, рассмотренных в курсе лекций.

Фосфор стремится удалить из металла в первой половине процесса кипения, когда металл еще сильно не разогрелся. Для создания окисленного шлака в него присаживают железную руду, окатыши или окалину.

При наличии основного шлака фосфор находится в нем в виде соединения $(CaO)_4 \cdot P_2O_5$. Во избежание частичного перехода фосфора в шлак при повышении температуры и раскислении металла шлак скачивают на 50 %, после чего наводят новый шлак. При необходимости дальнейшего снижения содержания фосфора скачивание шлака проводят неоднократно.

Кипение стали. Это явление связано с окислением углерода в ванне металла по реакции



Эффект кипения создается в связи с выделением из расплава моноксида углерода CO. На первой стадии кипения, совпадающей с процессом дефосфорации, для увеличения концентрации (FeO) в шлаке в него добавляют, как отмечалось выше, железную руду, окатыши, окалину. Интенсивное перемешивание металла способствует выравниванию его температуры и химического состава, увеличению поверхности соприкосновения металла со шлаком и тем самым облегчает процесс удаления фосфора.

После проведения последнего скачивания фосфористого шлака и наведения нового шлака ванну переводят в режим чистого кипения. Оно происходит без ввода руды, за счет кислорода, накопленного в жидкой фазе. Чистое кипение сопровождается дегазацией металла и удалением из него твердых неметаллических включений (см. курс лекций).

По мере уменьшения концентрации моноксида железа в шлаке (около FeO) скорость окисления углерода уменьшается и в конце периода составляет около 0,1 %/ч. Это позволяет точно определить момент достижения заданного содержания углерода.

Раскисление стали. Для фиксации полученного содержания углерода проводят раскисление стали. Обычно используют глубинное (осаждающее) раскисление комплексным раскислителем — силикомарганцем (см. курс лекций). Раскислитель вводят из расчета получения в стали марганца и кремния в количествах, соответствующих нижнему пределу химического состава.

Удаление серы. После раскисления стали в печи создаются условия, необходимые для удаления серы (см. курс лекций): высокая основность шлака, высокая температура и низкая окисленность металла. Однако вследствие постоянного контакта шлака с окислительной атмосферой печи содержание в нем оксидов железа остается повышенным. Поэтому процесс десульфурации

приобретает ограниченное развитие. Коэффициент распределения серы между шлаком и металлом невелик и составляет 2... 10. Однако при обычной шихте получение стали с содержанием серы не более 0,04%, соответствующим требованиям ГОСТа для большинства марок, не представляет особых трудностей.

Легирование. Никель вводят вместе с шихтой. Корректирующие добавки никеля вводят до окончания чистого кипения, для того чтобы обеспечить выделение из расплава водорода, растворенного в никеле.

Феррохром и ферромарганец вводят после предварительного раскисления.

Молибден в виде ферромолибдена вводят заблаговременно в период дефосфорации, учитывая его тугоплавкость, чтобы обеспечить полное его растворение и равномерное распределение по ванне.

Окончательное раскисление проводят путем введения на желоб дробленого ферросилиция ФС75.

Кроме того, в ковш вводят алюминий из расчета 1 кг/т стали.

Особенности плавки в марганцевой печи с кислой футеровкой

Футеровка выполняется из динасового кирпича, под печи наваривают чистым высококремнистым песком или молотым кварцитом. Состоянию пода уделяется особое внимание при заправке печи, так как в кислой печи под принимает активное участие в процессах, протекающих в ванне.

Для увеличения стойкости свода кислой печи его нередко выполняют из основного хромомагнезитового кирпича.

Шихта имеет свои особенности. В связи с невозможностью удаления серы и фосфора из металла в кислой печи их содержание в шихте не должно превышать допустимого в выплавляемой марке стали. Минимальное содержание передельного чугуна в шихте определяется так же, как при плавке в основной печи.

В связи с тем, что в кислом процессе в шихту не добавляют известняк, металл может оказаться покрытым недостаточным слоем шлака, в результате чего он интенсивно окисляется и насыщается газами. Для предотвращения этого на подину печи загружают конечный кислый шлак предыдущих плавок, кварцевый песок и шамотный бой в количестве 3...4%.

Окислительный период. Основные оксиды марганца и железа, образующиеся в период расплавления и в начале перегрева, вступают во взаимодействие с кремнеземом, образующимся при окислении кремния шихты. В результате появляются сравнительно легкоплавкие силикаты железа и марганца, однако этого количества SiO_2 для ошлакования FeO и MnO обычно недостаточно.

Недостающее количество кремнезема переходит в шлак из пода и футеровки. Таким образом, кислая футеровка и под регулируют состав шлака после расплавления.

Практически, несмотря на существенные различия состава шихты, состав шлака после расплавления остается примерно одинаковым, %: FeO 15...20, MnO

20...30, SiO₂ 42...47. Находясь в контакте с футеровкой и подом, шлак кислого процесса непрерывно обогащается кремнеземом, и к концу плавки его содержание достигает 55...60 %.

Кипение стали, связанное с окислением углерода, приводит к дегазации расплава и удалению из него твердых неметаллических включений. По мере восстановления FeO углеродом интенсивность кипения уменьшается, и создаются условия для восстановления кремния из шлака и футеровки по тигельной реакции:



(см. курс лекций).

В дальнейшем возможны два варианта продолжения процесса плавки — активный и кремневосстановительный.

При *активном процессе* протекание тигельной реакции ограничивают вводом руды. Тогда углерод взаимодействует с кислородом руды, содержание его уменьшается, и, когда оно достигнет заданного, в металл вводят раскислители. Содержание кремния в металле не превосходит 0,12 %.

При *кремневосстановительном процессе* обеспечивают возможность протекания тигельной реакции, для этого не вводят железную руду. Количество кремния в металле, восстановившегося в результате тигельной реакции, доводят до 0,22 % и более.

Проба металла, взятая в этом случае из печи, затвердевает спокойно с утяжиной, что свидетельствует о раскисленности металла. В этом случае ограничиваются только *окончательным раскислением*.

Преимущество кремневосстановительного процесса состоит в уменьшении вводимых в металл раскислителей, которые вносят соответственно меньшее количество газов и твердых неметаллических включений.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое мартеновская печь?
2. Перечислите основные элементы конструкции мартеновской печи.
3. Составьте описание технологического процесса плавки стали в мартеновской печи.
4. Поясните особенности процесса плавки стали в мартеновской печи с основной футеровкой.
5. Поясните особенности процесса плавки стали в мартеновской печи с кислой футеровкой.

Практическая работа №2.

Плавка стали в конвертерах

Цель работы:

- изучить порядок и особенности технологического процесса плавки стали в конвертерах;
- изучить схему, особенности устройства и принцип действия конвертера.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Жидкий чугун, необходимый для процесса, получают плавкой в вагранке. Для выплавки стали в литейных цехах используют воздушные конвертеры с боковым дутьем емкостью 1... 5 т (рис.2).

Схема и принцип действия конвертера

Принцип действия конвертера состоит в переделе жидкого чугуна в сталь путем продувки его воздухом. Источником тепла, необходимого для процесса, являются реакции окисления Si, Mn, C и частично Fe.

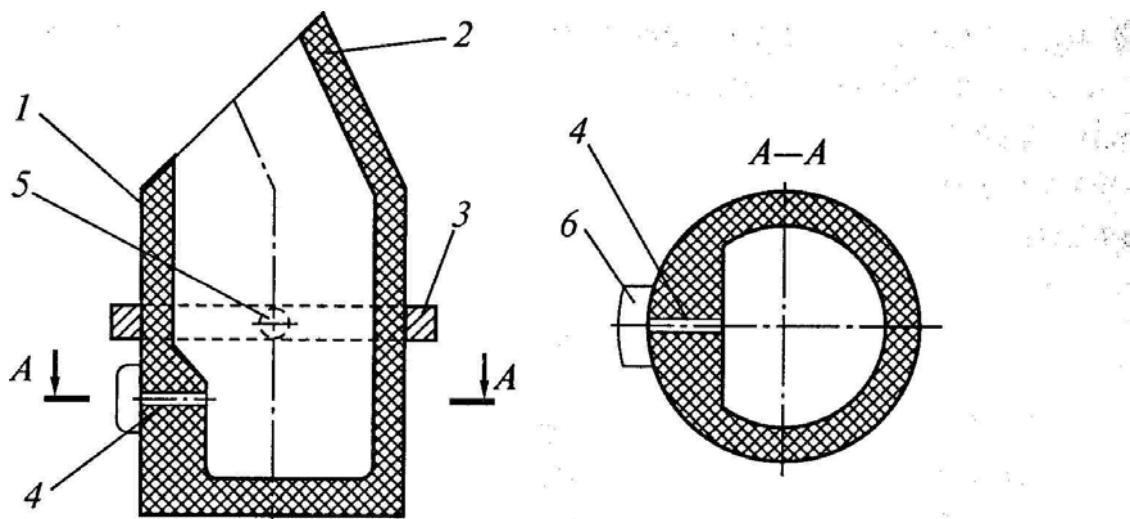


Рис.2. Схема конвертера с боковым дутьем

Стальной кожух 1 конвертера имеет двухслойную футеровку 2. Арматурный слой выкладывается шамотом, рабочий — динасовым кирпичом. Футеровка цилиндрической части конвертера имеет толщину 250 мм, а в области фурм — 350...450 мм.

Фурмы 4 диаметром 25... 40 мм располагают в один ряд, число фурм 5... 6.

Конвертер закреплен на опорном кольце 3 двумя цапфами 5. Одна из цапф полая, через нее подают воздух в распределительную коробку 6 фурм.

Горловина конвертера имеет уклон 30°, что позволяет заливать чугун при

горизонтальном положении конвертера.

Технология плавки

Чугун, заливаемый в конвертер, должен содержать достаточное количество кремния (около 2 %) как главного источника теплоты процесса.

Температура заливаемого чугуна — 1300... 1400 °С.

При плавке этого чугуна в вагранке используют возврат собственного производства стальных отливок (около 50 %) и передельный низкофосфористый чугун.

Для снижения содержания серы в выплавленном ваграночном чугуне применяют ковшовую десульфурацию кальцинированной содой, карбидом кальция и др.

Перед заливкой металла конвертер разогревают до 1000... 1100 °С.

Залитый чугун продувают воздухом под давлением 0,12... 0,15 МПа.

Продувка делится на два периода.

В первом периоде (4... 6 мин) включают дутье и поворачивают конвертер так, чтобы фурмы были слегка погружены в металл. При этом кислородом воздуха окисляется в первую очередь железо (по закону действующих масс), затем кремний и марганец, которые окисляются не только кислородом воздуха, но и моноксидом железа, растворенным в шлаке и в металле.

Во втором периоде происходит окисление углерода. Конвертер наклоняют так, чтобы дутье поступало на поверхность металла. Это создает условия для догорания CO, образующегося в ванне металла, до CO₂ над ее поверхностью.

Появление бурого дыма над горловиной конвертера свидетельствует о том, что Si, Mn и C выгорели, и начался интенсивный угар железа.

Продувку прекращают, вводят недостающее количество углерода и марганца с углеродистым ферромарганцем. При этом одновременно происходит предварительное раскисление стали. Окончательное раскисление стали проводят во время выпуска ферросилицием и алюминием.

Применение в конвертерах воздуха, обогащенного кислородом, или технически чистого кислорода позволяет сократить продолжительность плавки, использовать в шихте стальной лом, уменьшить угар металла.

При чисто кислородном дутье достаточно одной фурмы, представляющей собой медную трубку, защищенную огнеупорной трубкой. Фурма устанавливается в боковой стенке конвертера под углом 30... 45° к поверхности ванны.

При продувке кислорода в конвертер перед заливкой чугуна загружают до 40 % стального лома. В начале продувки устье фурмы должно быть заглублено в металл на 50... 100 мм.

В отличие от вдувания воздуха при кислородном дутье с самого начала окисляются одновременно кремний, марганец и углерод. Окисление кремния и марганца заканчивается через 3...5 мин. После этого конвертер наклоняют так,

чтобы форма располагалась над уровнем металла и дутье расходовалось на дожигание СО в полости конвертера.

Длительность продувки при давлении 0,5... 1,5 МПа составляет 10... 15 мин. Сталь, выплавленная на кислородном дутье, содержит в 2 — 3 раза меньше азота, чем при воздушном дутье.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Нарисуйте схему конвертера с указанием основных элементов и устройств.
2. Поясните: назначение и принцип действия конвертера.
3. Особенности рафинирования стали при её обработке в конвертере.
4. Когда и при каких условиях заканчивают продувку?
5. Сущность и назначение двух периодов продувки.
6. При какой температуре чугун заливают в конвертер.

Практическая работа №3.

Плавка стали в дуговых печах

Цель работы: изучить технологический процесс плавки стали в дуговых печах

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для плавки стали используются дуговые печи, которые по принципу действия не отличаются от чугуноплавильных печей.

В литьевых цехах основную массу стали выплавляют в дуговых печах емкостью 0,5... 12, реже 25 т.

Сталь в отличие от чугуна не допускает длительной выдержки в печах ожидания. Поэтому в крупносерийном производстве для согласования периодичности действия духовых печей с непрерывно действующими формовочными линиями используются печи небольшой емкости.

Металлургические возможности и технология плавки стали в печах с кислой и с основной футеровкой существенно различаются.

Плавка стали в основной дуговой печи с окислением примесей

Этот метод плавки применяют при использовании стального лома с повышенным содержанием фосфора и серы, а также для выплавки малоуглеродистой стали.

Плавка состоит из шести периодов, в числе которых периоды заправки печи, загрузки шихты, плавления, окислительный период, восстановительный период и период выпуска готовой стали.

Шихта состоит из собственного возврата около 50%, чушкового чугуна до 10 % для создания избытка углерода, необходимого для кипения, и стального лома. Чтобы совместить удаление фосфора с расплавлением шихты, в завалку добавляют 2...3% извести и около 2 % руды.

Заправка проводится немедленно после выпуска предыдущей плавки. Подина, откосы и все углубления очищают от оставшихся металла и шлака, и на поврежденные места забрасывают магнезитовый порошок.

Загрузку ведут с помощью корзины (бадьи) с раскрывающимся дном, которую вводят в открытую печь сверху. При заполнении корзины на дно укладывают часть мелкой шихты, чтобы защитить подину от ударов крупных кусков лома. Затем в центре укладывают крупный лом, а по периферии сверху оставшийся мелкий лом и возврат.

Плавление ведут путем проплавления колодцев при максимальной мощности трансформатора.

В период плавления полностью окисляется кремний, 40...60% марганца, происходит частичное окисление фосфора, углерода и железа. Формируется шлак,

в составе которого содержится 0,5... 1,5 % P₂O₅.

В период окисления необходимо обеспечить следующие процессы:

- уменьшить содержание фосфора в металле до 0,01 ...0,015 %;
- довести содержание углерода до заданного;
- дегазировать расплав и обеспечить всплытие твердых неметаллических включений;
- перегреть металл до температуры, близкой к температуре выпуска.

Если необходимая скорость окисления не обеспечивается оксидами железа, содержащимися в шихте, и притоком кислорода в печь за счет газоотсоса, то в печь добавляют железную руду либо вводят газообразный кислород.

Окислительный период начинается со скачивания шлака, образовавшегося в период расплавления, для *удаления из печи фосфора*. Скачивание фосфористого шлака облегчено возможностью наклона печи в сторону рабочего окна на 10... 15°.

После наведения нового шлака добавкой свежеобожженной извести и руды продолжается окисление фосфора и начинается интенсивное окисление углерода (кипение стали). Связанное с этим выделение пузырьков CO вспенивает шлак, в результате чего фосфористый шлак стекает через порог рабочего окна. Таким образом, содержание фосфора в металле удается снизить до 0,01 %.

Кипение стали сопровождается *удалением азота и водорода*, растворившихся в ней в предыдущих периодах плавки, а также флотацией «неметаллической мутти».

Для успешного протекания этих процессов количество углерода, окисленного в процессе кипения, должно быть не менее 0,35 % при плавке углеродистых сталей и не менее 0,45 % при плавке легированных сталей.

Продолжительность окислительного периода составляет 35...50 мин. Применение кислорода в окислительном периоде уменьшает продолжительность этого периода и сокращает расход электроэнергии и руды.

Когда содержание углерода в стали достигнет заданного, окислительный период завершают. Для этого полностью скачивают шлак окислительного периода во избежание возврата остатков фосфора в металл.

Восстановительный период. Задачами этого периода являются:

- раскисление металла;
- удаление серы;
- доведение химического состава до заданного;
- перегрев металла до заданной температуры.

Эти задачи решаются практически параллельно под *белым шлаком*. Для его наведения вводят шлаковую смесь, состоящую из извести, плавикового шпата и шамотного боя. После расплавления смеси образуется жидкокомпактный шлак, с помощью которого успешно протекает *диффузионное раскисление стали* (см. курс лекций).

Для раскисления шлака в него вводят смесь размолотого ферросилиция и кокса при их расходе по 5 кг/т металла каждого. В соответствии с законом

распределения концентрация моноксида железа в металле уменьшается пропорционально ее концентрации в шлаке.

Преимуществом диффузионного раскисления является то, что реакции раскисления протекают в шлаке, поэтому продукты раскисления образуются и остаются в шлаке, и не «замутняют» металл.

О степени завершенности диффузионного раскисления судят по цвету затвердевшей пробы шлака. По мере уменьшения в нем содержания FeO застывшая проба шлака светлеет. Белый цвет рассыпающегося в порошок шлака свидетельствует об окончании процесса диффузионного раскисления.

Десульфурация металла в основных дуговых печах характеризуется максимальной эффективностью по сравнению с ранее рассмотренными процессами. Это объясняется максимально полной реализацией трех условий ее протекания (см. курс лекций):

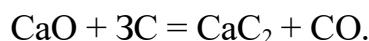
- высокая основность шлака;
- высокая температура шлака, нагреваемого электрической дугой, обеспечивающая хорошую активность, несмотря на высокую основность;
- низкая окисленность шлака и металла.

В результате коэффициент распределения серы между шлаком и металлом составляет 20...60 (для сравнения напомним, что в основной мартеновской печи его значения не превышают 10).

В конце восстановительного периода проводят легирование металла элементами, имеющими высокое сродство к кислороду.

В некоторых случаях восстановительный период проводят не под белым, а под карбидным шлаком.

Для этого после скачивания шлака окислительного периода в печь вводят шлаковую смесь, содержащую, кроме извести и плавикового шпата 6...8 кг молотого кокса на 1 т металла. Печь герметизируют, выключают газоотсос, при этом в зоне горения дуги образуется карбид кальция по реакции

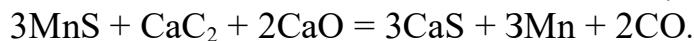
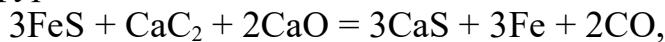


Образующийся карбид кальция обладает исключительно высокой раскислительной и десульфурирующей способностью:

реакции раскисления



реакции десульфурации



Выдержка под карбидным шлаком, содержащим 1,5... 2 % CaC₂, составляет 30...40 мин, тем не менее, при выпуске металла частицы карбидного шлака смешиваются с ним, образуя загрязнения металла. Поэтому за 20... 30 мин до выпуска карбидный шлак переводят в белый. Для этого открывают рабочее окно печи и включают газоотсос. Кислород воздуха окисляет карбид кальция до CaO и CO, превращая карбидный шлак в белый.

Обработка карбидным шлаком приводит к увеличению содержания в металле углерода, что делает процесс непригодным для выплавки низкоуглеродистых сталей. Наибольшее применение процесс получил для выплавки высокоуглеродистых и легированных инструментальных сталей.

Легирование. Порядок ввода легирующих определяется их сродством к кислороду. Чем выше сродство элемента к кислороду, тем позже следует его вводить в металл.

Никель, молибден, медь во время плавки не окисляются, поэтому их вводят в начальные периоды плавки.

Хром, марганец и вольфрам обладают большим сродством к кислороду, чем железо, поэтому легирование этими элементами проводят только после раскисления ванны. В связи с высокой температурой плавления ферровольфрама (около 2000 °C) он медленно растворяется в металле, поэтому его присаживают в ванну не позднее, чем за 30 мин до выпуска.

Кремний, ванадий, титан и алюминий особенно легко окисляются, поэтому феррованадий вводят за 15...35 мин до выпуска, ферросилиций — за 10... 20 и алюминий — за 2... 3 мин до выпуска. Ферротитан вводят в ковш, либо в печь за 5... 10 мин до выпуска металла.

Плавка стали в основной дуговой печи без окисления примесей

Этот метод наиболее рационален при выплавке легированных сталей с использованием в шихте легированного лома и отходов.

Отсутствие окислительного периода позволяет в максимальной степени сохранить легирующие элементы, содержащиеся в шихте.

Для получения заданного состава требуются минимальные присадки легирующих добавок, компенсирующие угар при расплавлении. Ориентировочно величины угаров при расплавлении составляют:

Элемент.....	Al	Ti	Si	V	Mn	Cr	W
Угар, %.....	100	80...90	40...100	15...20	15...25	10...15	5...15

После расплавления шлак, как правило, не скачивают, имея в виду возможность частичного восстановления оксидов легирующих элементов, содержащихся в нем.

Раскисление, десульфурацию и легирование проводят так же, как при плавке с окислением примесей.

Особенности кислого процесса

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

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

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

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

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

Период расплавления сопровождается окислением кремния, марганца, железа и углерода. Доля образующегося при этом шлака невелика, поэтому для улучшения защиты расплавляемого металла от окисления и растворения газов объем шлака увеличивают добавкой сухого песка, шлака предыдущей плавки или формовочной смеси.

В конце периода расплавления шлак имеет следующий состав, %: SiO_2 40...50; FeO 15...30; MnO 10...30; Al_2O_3 2...6; прочие оксиды 5... 15.

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

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

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

Особенности плавки стали в дуговых печах постоянного тока

Дуговые сталеплавильные печи постоянного тока получили распространение с начала 1980-х гг., после того, как было освоено производство мощных, экономичных и надежных выпрямителей на базе тиристоров.

К 1993 г. в мире эксплуатировалось около 80 печей постоянного тока емкостью до 150 т.

Большая часть печей постоянного тока — это вновь создаваемые печи, но в

ряде случаев они представляют собой результат реконструкции печей, работавших на переменном токе.

Дуговые печи постоянного тока обычно имеют только один графитовый электрод, диаметр которого может достигать 700 мм. По сравнению с электродами печей переменного тока, в которых наблюдается поверхностный эффект, плотность постоянного тока равномерна по сечению электрода.

Важнейшее конструктивное отличие дуговой печи постоянного тока состоит в наличии подового электрода. Подовый электрод располагается не соосно с верхним электродом, а на расстоянии 500...600 мм от оси печи. Это обеспечивает интенсивное электромагнитное перемешивание металла в ванне.

Кроме того, к преимуществам таких печей относятся:

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

В то же время следует отметить усложнение конструкции и эксплуатации пода печи в связи с расположением в нем подового электрода.

Технология плавки в дуговых печах постоянного тока может не иметь существенных отличий от плавки в печах переменного тока.

Но часто технологией предусматривается загрузка шихты на металл и шлак, частично оставленные в печи от предыдущей плавки. Используются также топливно-кислородные горелки в начале плавления и вдувание кислорода в ванну металла.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните особенности технологического процесса плавки стали в дуговой печи с основной футеровкой.
2. Поясните сущность технологического процесса плавки стали с окислением примесей.
3. Особенности кислого процесса плавки стали.
4. Особенности плавки стали в дуговых печах постоянного тока.

Практическая работа №4.

Плавка стали в индукционных тигельных печах

Цель работы: изучить особенности технологического процесса плавки стали в индукционных тигельных печах

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для плавки стали используются те же среднечастотные печи, что и для чугуна. Эти печи имеют емкость от 60 кг до 10 т.

Продолжительность плавки в таких печах обычно не превышает 1... 1,3 ч.

Высокая производительность и малая емкость индукционных тигельных печей позволяют эффективно их использовать при производстве некрупных отливок в конвейеризированном производстве. Так, например, в цехе точного литья по выплавляемым моделям КамАЗа использовалось 30 индукционных тигельных печей емкостью по 400 кг. Готовый металл из каждой печи выдавался в два разливочных ковша, что обеспечивало минимальную продолжительность выдержки стали перед разливкой в формы, а следовательно, и минимальные изменения состава стали за время выдержки.

Наиболее важной металлургической особенностью плавки в индукционной тигельной печи является низкая температура шлака. Это объясняется тем, что шлак, образующийся в тигельной печи, практически неэлектропроводен. Поэтому вихревые токи, а следовательно, и теплота генерируются только в металле, который разогревает шлаковый покров снизу. Поверхность шлака «захолаживается» атмосферой печи.

Таким образом, в отличие от шлака мартеновских и дуговых печей, шлак индукционных печей всегда «холоднее» металла. Низкая температура шлака делает нерезультивными процессы рафинирования металла от вредных примесей — фосфора и серы. Поэтому при плавке стали в индукционной тигельной печи используют шихтовые материалы, чистые по фосфору и сере.

Не обеспечивая возможности рафинирования металла, «холодный» шлак индукционных печей в то же время хорошо защищает металл от окисления, образуя на его поверхности плотный слой, препятствующий контакту металла с кислородом воздуха.

Это свойство шлака особенно важно при плавке легированных сталей, так как обеспечивает минимальный угар дорогостоящих легирующих элементов. Поэтому задачей плавки стали в индукционной тигельной печи является простой переплав шихты, средний состав которой соответствует заданному, с минимальными потерями на угар.

Выбор футеровки печи

Стойкость кислой футеровки тиглей в два раза выше, чем основной, а стоимость ее ниже. В этой связи основную футеровку печи следует применять для выплавки сталей с высоким содержанием хрома, марганца, титана, циркония, алюминия, которые в кислых печах интенсивно угорают и разрушают футеровку. В остальных случаях предпочтительнее кислая футеровка.

Плавка в печи с кислой футеровкой

Известно, что при нагреве мелкой шихты выше температуры в точке Кюри не удается «забрать» от источника питания его номинальную мощность, поэтому продолжительность периода расплавления и угар металла увеличиваются.

Исходя из этого, для *первой садки* отбирают куски оптимального размера для данной частоты тока (см. курс лекций) и загружают их ближе к стенкам тигля в среднюю по высоте его часть, где напряженность магнитного поля имеет максимальное значение. В эту часть тигля следует загружать чушковый чугун и чугунный лом, если они входят в состав шихты. Чугунные компоненты шихты, более легкоплавкие, чем сталь, быстрее образуют на дне тигля жидкую ванну металла, в которой куски стали не только расплавляются, но и растворяются. Это позволяет сократить продолжительность периода расплавления.

Важно отметить, что только после образования жидкой ванны проявляется защитное действие шлака на ее поверхности. Мелкую шихту — стружку, высечку и т. п. — загружают на дно тигля в зону ослабленного магнитного поля.

Период расплавления. Верхнюю часть тигля не следует загружать плотно, так как это затруднит осаживание шихты вниз по мере расплавления кусков, расположенных в средней части тигля.

Несоблюдение этой рекомендации приводит к образованию сводов, что вызывает увеличение продолжительности плавки и угар металла, а также вызывает ускоренный износ футеровки.

Свод образуется вследствие того, что раскаленные куски стальной шихты свариваются между собой и зависают в верхней части тигля, суживающегося книзу. Основная часть энергии выделяется в этот период в жидком металле, в то время как мощность, выделяющаяся в своде, в значительной мере теряется в атмосферу. Поэтому свод расплавляется медленно, а жидкий металл чрезмерно перегревается и интенсивно разрушает футеровку. Попытки осадить свод сильными ударами ломика приводят к механическому разрушению тигля.

Для печей малой емкости (до 160 кг) целесообразно при загрузке шихты оставлять свободное пространство в верхней части тигля у стенки. В случае образования свода через это пространство сталкивают в жидкую ванну подогретые куски шихты. Это позволяет снять опасный перегрев ванны и постепенно повысить уровень жидкого металла до уровня свода.

Шлак во время плавления шихты наводят добавками боя стекла, шамота и

извести.

Раскисление проводят присадкой в печь ферросилиция и в ковш алюминия.

Ввод легирующих добавок проводят с учетом закономерностей их угара и усвоения, рассмотренных выше.

Особенности плавки в индукционных тигельных печах с основной футеровкой

Футеровка печи выполняется из магнезитовых и хромомагнезитовых порошков, зерновой состав которых зависит от емкости печи.

Для наведения шлака используется смесь извести, плавикового шпата и магнезита. При необходимости снизить содержание фосфора в металле, шлак, образовавшийся после расплавления, снимают и наводят новый с использованием той же шлакообразующей смеси.

Плавка стали в вакуумных индукционных печах

В современном машиностроении многие отливки нельзя получить, не используя вакуумной плавки или внепечной вакуумной обработки. Принцип действия индукционных тигельных печей позволяет наиболее просто и полно реализовать преимущества плавки и заливки под вакуумом.

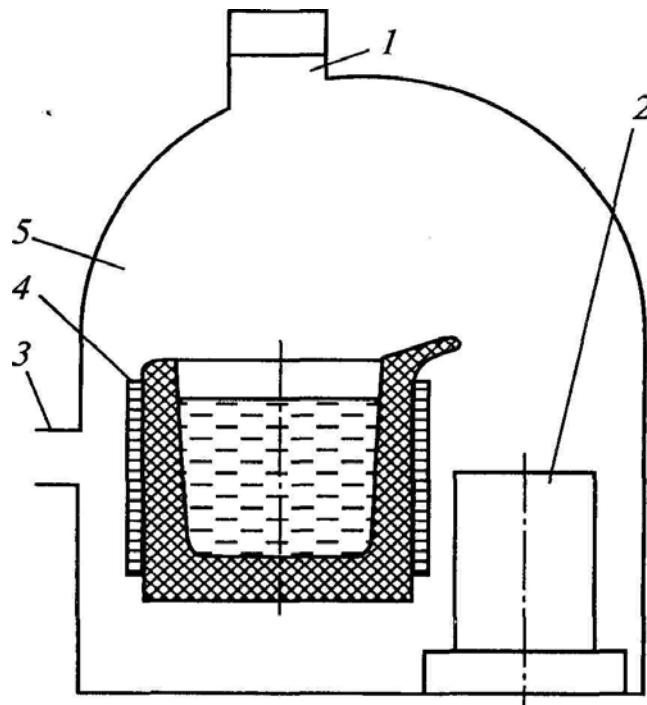


Рис. 14. 3 Схема индукционной печи

1 – дозатор; 2 – литейная форма; 3 – патрубок к вакуумному насосу;
4 – индукционная печь; 5 – вакуумная камера

Эти преимущества состоят в том, что в индукционной вакуумной печи:

- можно выплавлять стали, легированные практически любыми элементами, за исключением летучих металлов;
- сталь в процессе плавки подвергается глубокой дегазации;
- снижается необходимое количество раскислителей;
- особенно эффективным становится раскисление углеродистых сталей углеродом, так как оно не сопровождается образованием твердых продуктов раскисления, загрязняющих расплав.

Для плавки в индукционной вакуумной печи используют шихтовые материалы, чистые от масел, окалины и ржавчины.

Плавление ведут при непрерывной откачке газов из рабочего пространства.

За время плавления из металла удаляется большая часть газов, содержащихся в шихте. После расплавления делают выдержку, в течение которой завершается рафинирование металла, и вводят раскислители и легирующие элементы через шлюзовой дозатор.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чём заключаются особенности приготовления «первичной садки»?
2. Что такое «свод»? Причина образования свода.
3. Почему в индукционной печи образуется «холодный шлак»?
4. Преимущества и недостатки «холодного шлака»?
5. Особенности конструкции индукционной вакуумной печи.

Практическая работа №5.

Плавка стали в плазменных печах. Электрошлаковый переплав и литьё стали

Цель работы:

- изучить особенности технологического процесса плавки стали в плазменных печах;
- изучить особенности электрошлакового переплава и литья стали

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Плавка стали в плазменных печах

Для плавки стали используют плазменные печи с оgneупорной футеровкой 1 (рис.4).

В плазматроне 2 под действием электрической дуги и электромагнитного поля образуется поток ионизированного газа (плазма), температура которого достигает 20000 °С.

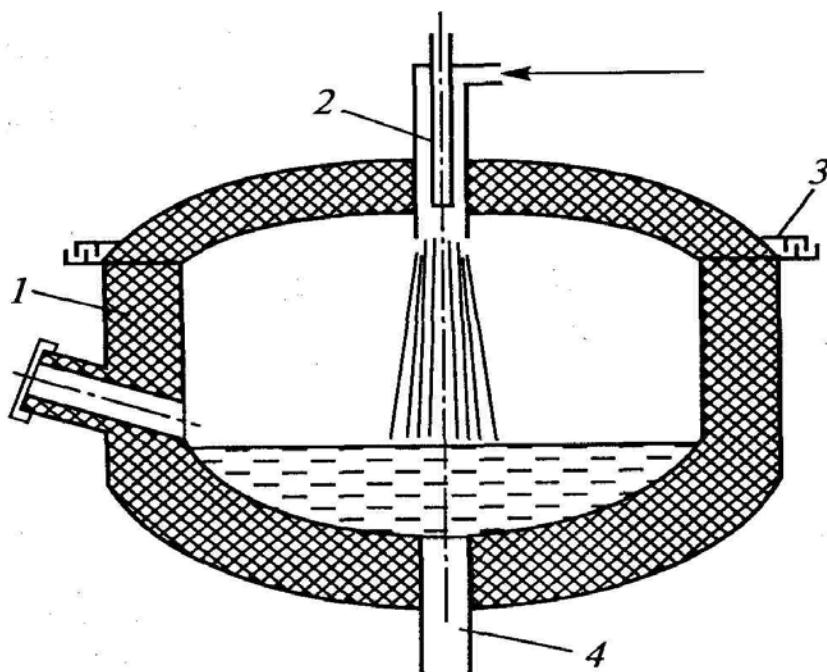


Рис.4. Схема плазменной печи
1 - футеровка; 2 - плазматрон; 3 - уплотнение; 4 – анод

Плазменная дуга горит между плазматроном и расплавляемым металлом.

При работе на постоянном токе ванна металла контактирует с водоохлаждаемым медным анодом 4. В трехфазных печах ее подсоединяют к нулевой точке источника питания.

Источником полезной теплоты являются излучательная энергия дуги, направленная на расплавляемый металл, и энергия, выделяющаяся в анодном пятне.

Шихту загружают при снятом своде, для чего печи оборудуются поворотным сводом или выкатной ванной. Свод устанавливается на корпус печи, на плазматрон подается напряжение, в результате чего загорается стартовая дуга между электродами соплом плазматрона. После этого плазматрон приближают к шихте на расстояние, при котором дуга начинает гореть между плазматроном и шихтой. Затем, отводя плазматрон, устанавливают рабочую длину плазменной дуги.

Благодаря наличию уплотнения 3 между корпусом и сводом печи в атмосфере печи содержится значительное количество аргона. В результате этого углар элементов при плавке минимальный - 60...80 %. Кроме того, из расплава в газовую фазу переходят кислород, водород и азот.

Важным преимуществом плазменных печей является отсутствие необходимости использования графитовых электродов, т. е. исключение связанных с этим пылегазовыделений в окружающую среду.

Однако стоимость стали, выплавленной в плазменных печах, выше в связи с большим удельным расходом электроэнергии на плавку и высокой стоимостью аргона.

При плавке высоколегированных сталей уменьшение расхода дорогостоящих легирующих элементов имеет решающее значение, поэтому применение плазменных печей для плавки таких сталей экономически целесообразно.

Электрошлаковый переплав стали

Схема электрошлакового переплава с расходуемым электродом показана на рис.5.

Расходуемый электрод 1 представляет собой пруток, сформированный в процессе непрерывной разливки стали, выплавленной в дуговой печи. Электрический ток проходит от расходуемого электрода 1, погруженного в шлаковую ванну 2, к поддону 3 кристаллизатора 4.

Шлаковую ванну в кристаллизаторе образуют путем заливки в него жидкого шлака из шлакоплавильной печи либо расплавлением шлаковой смеси непосредственно в кристаллизаторе. Расплавленный шлак электропроводен, но обладает высоким электрическим сопротивлением.

Теплота, выделяющаяся при прохождении тока через шлак, разогревает его до 1700... 2000 °C, при этом торец электрода оплавляется и по каплям стекает вниз, проходя через шлак.

Постепенно под шлаком образуется металлическая ванна. В ванне жидкого металла развивается процесс кристаллизации, образуется слиток, который опускается вниз вместе с поддоном. Направленная кристаллизация слитка и непрерывное поступление жидкого металла в зону кристаллизации обеспечивают

получение плотного слитка без усадочных раковин и рыхлот.

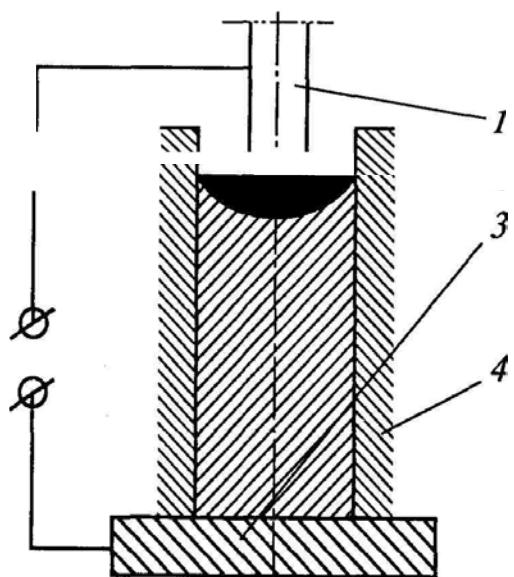


Рис.5. Схема электрошлакового переплава:
1 – электрод; 2 – шлаковая ванна; 3 – поддон; 4 – кристаллизатор

Составы шлаков при электрошлаковом переплаве различны, чаще всего используют шлак на основе CaF_2 с добавками CaO и Al_2O_3 .

Проходя через такой шлак, капли металла очищаются от серы и неметаллических включений. Высокая эффективность воздействия шлака на металл объясняется большой поверхностью контакта, высокими основностью и температурой шлака.

В литейном производстве затвердевание металла, полученного электрошлаковым переплавом, происходит в кристаллизаторе, полость которого соответствует наружным очертаниям отливки (рис.6).

Отличительной особенностью этого метода, получившего название электрошлакового литья (ЭШЛ), является одновременность процессов приготовления жидкого металла и формообразования отливки.

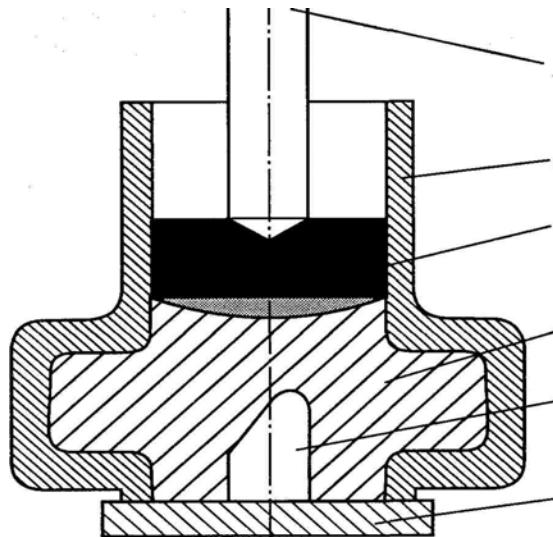


Рис.6. Схема электрошлакового литья:

- 1 — расходуемый электрод; 2 — кристаллизатор-форма; 3 — шлак;
4 — затвердевший металл; 5 — стержень; 6 — поддон

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните особенности процесса плавки стали в плазменных печах.
2. Расскажите сущность процесса электрошлакового переплава стали.
3. Особенности процесса электрошлакового литья стали.
4. Нарисуйте схему конструкции плазмотрона.
5. Нарисуйте схему процесса электрошлакового переплава стали.