

Министерство образования и науки Республики Казахстан

Павлодарский государственный университет
им. С. Торайгырова

Факультет металлургии, машиностроения и транспорта

Кафедра металлургии

ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ

Методические указания к лабораторным занятиям

Павлодар

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФММиТ

_____ Токтаганов Т.Т.

«___» _____ 200__г

Составитель: магистр, старший преподаватель

Кафедра металлургии

Методические указания
к лабораторным занятиям

по дисциплине «Электрометаллургия стали»

для студентов специальности 050709 «Металлургия»

Рекомендовано на заседании кафедры металлургии

«___» _____ 200__г., протокол №__

Заведующий кафедрой _____ Суюндиков М.М.
(подпись)

Одобрено МС факультета металлургии, машиностроения и
транспорта

«___» _____ 200__г., протокол №__

Председатель МС _____ Ахметов Ж.Е.
(подпись)

Содержание

1	Диссоциация карбонатов	4
2	Изучение вязкости расплавленных шлаков	9
3	Моделирование процесса окисления углерода в сталеплавильной ванне	15
4	Кинетика окисления углерода из расплава железа	17
5	Исследование процесса формирования слитка на прозрачной модели	21
	Литература	24

Лабораторная работа №1

Диссоциация карбонатов

Цель работы

1 Экспериментальное определение равновесного давления углекислого ангидрида над выбранным карбонатом при различных температурах.

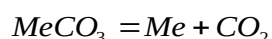
2 Построение графика в координатах $\lg P_{CO_2} - \frac{1}{T}$, установление коэффициентов уравнения температурной зависимости давления углекислого ангидрида $\lg P_{CO_2} = \frac{A}{T} + B$

3 Определение из опытных данных средней величины теплового эффекта реакции и температуры, при которой $P_{CO_2} = 1 \text{ ат}$.

Общие сведения

Разложение углекислых соединений кальция, магния, железа, и марганца в процессе нагревания имеет важное значение при обжиге и агломерации руд, при доменной плавке, а также при производстве стали в различных металлургических агрегатах, в которых карбонаты используются в качестве флюсующих добавок.

Диссоциация карбонатов различных металлов при нагревании происходит по обратимой реакции общего вида.



Реакция осуществляется в неоднородной системе и состояния равновесия можно описать с помощью правила фаз в виде определенного соотношения между числом компонентов и числом степенной свободы.

Для случая диссоциации карбоната без образования твердых растворов равновесная система состоит из двух твердых фаз и одной газообразной, что при двух компонентах дает степень свободы.

$$C = 2 + 2 - 3 = 1$$

Равновесное состояние подобной системы определяется давлением двуокиси углерода, которое будет зависеть только от температуры.

Каждой температуре соответствует строго определенное давление двуокиси углерода

$$P_{CO_2} = f(T)$$

При образовании твердых растворов переменной концентрации система состоит из одной твердой фазы (твердый раствор карбоната и оксида) и газовой фазы, число степеней свободы в этом случае увеличивается до двух:

$$C=2+2-2=2$$

При образовании твердых растворов появляется дополнительная зависимость состояния равновесия от концентрации раствора:

$$P_{CO_2} = f(T, N)$$

Соотношение между температурой и равновесным давлением угольного ангидрида совершенно не зависит от количественного соотношения конденсированных веществ, составляющих систему.

Добавление или частичное удаление угольного ангидрида из равновесной системы приводит к реакции образования или разложения карбоната. Давление угольного ангидрида при этом соответственно изменяется, вплоть до равновесного значения, отвечающего данной температуре.

Константа равновесия реакции диссоциации карбоната в общем виде учитывает возможность образования твердых растворов. В этом случае выражение для константы равновесия приобретает следующий вид:

$$K = \frac{P_{CO_2} \cdot a_{MeO}}{a_{MeCO_3}}$$

где a_{MeO} и a_{MeCO_3} - активности оксида и карбоната в растворе.

Для системы, состоящей из чистых фаз постоянного состава, активности получают значение

$$a_{MeO} = a_{MeCO_3} = 1,$$

а константа равновесия

$$K_p = P_{CO_2}.$$

Количественной характеристикой реакции диссоциации карбоната оказывается равновесное давление углекислого ангидрида, называемое упругостью диссоциации. Эта величина находится в простом соотношении со стандартной величиной изменения свободной энергии (энергия Гельмгольца, изохорно-изотермический потенциал) реакции и является мерой прочности карбоната:

$$\Delta A^\circ = -RT \ln K_p = -RT \ln P_{CO_2}$$

В соответствии со знаком теплового эффекта реакции и принципом смещения равновесия давление углекислого ангидрида должно возрастать с повышением температуры. Температурная зависимость константы равновесия выражается уравнением

$$\lg K = \frac{A}{T} + B \quad A = \frac{\Delta H}{4,575},$$

где А и В - числовые коэффициенты, устанавливаемые из опытных данных для определенного температурного интервала.

Кроме температуры и концентрации, при образовании твердого раствора на величину упругости диссоциации карбоната оказывает влияние степень дисперсности реагирующих веществ. Избыточная поверхностная энергия мелкокристаллических веществ в сравнении с крупнокристаллическими обуславливает зависимость их термодинамических свойств не только от температуры, но и самих кристаллов.

Повышение дисперсности кристаллов карбоната уменьшает его прочность и увеличивает соответственно равновесное давление двуокиси углерода. Наоборот, укрупнение кристаллов оксида вызывает снижение упругости диссоциации, т. е. повышает его прочность.

На основании термодинамического анализа реакции диссоциации карбонатов выявляются необходимые условия для практического осуществления процесса разложения углекислых солей.

Диссоциация карбоната при данной температуре возможна в том случае, если парциальное давление двуокиси углерода в окружающей атмосфере будет меньше упругости диссоциации карбоната при этой же температуре.

Упругость диссоциации карбонатов при низких температурах (до 400-500°С) ничтожно мала; с повышением температуры она растет и в зависимости от прочности карбоната достигает заметных величин при определенных температурах, не одинаковых для различных карбонатов. Интенсивное разложение карбонатов начинается при температуре, когда упругость диссоциации карбоната становится больше атмосферного давления.

При разложении карбоната кальция, которое протекает по реакции



упругость диссоциации для различных температур может быть подсчитана по уравнению

$$\lg P_{\text{CO}_2} = \frac{8920}{T} + 7,54$$

При давлении двуокиси углерода, равном 1 ат, температура начала разложения карбоната кальция равна 910°С.

Все сказанное можно полностью перенести на систему диссоциирующего оксида металла с той разницей, что газообразной фазой будет кислород, давление которого подчиняется всем закономерностям.

Методика проведения работы и лабораторная установка

В основу экспериментального изучения реакции диссоциации карбоната положен манометрический метод исследования равновесия в неоднородных системах.

Карбонат нагревают в реакционном сосуде, из которого предварительно удален воздух; давление двуокиси углерода, образующейся в результате диссоциации карбоната, фиксируют по показаниям манометра, соединенного с реакционным пространством.

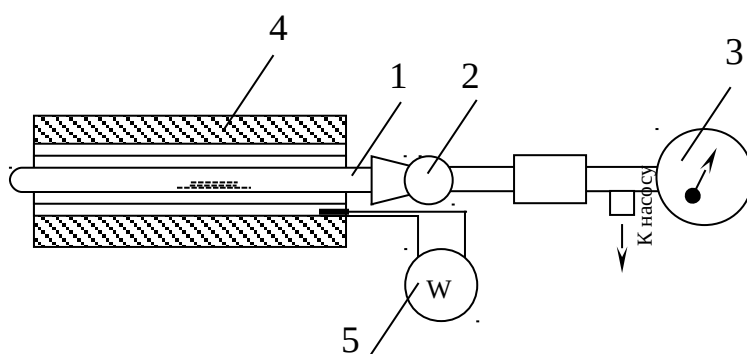


Рисунок 1 - Схема установки для изучения диссоциации карбонатов.

Установка для проведения опыта (рисунок 1) состоит из реакционной трубки 1, соединенной посредством вакуумного шлифа 2 с манометром 3.

В середину реакционной трубки, нагреваемой печью сопротивления 4, помещают кусочки карбоната кальция. Температура печи регулируется автотрансформатором и контролируется термопарой 5 с гальванометром.

Успешное выполнение эксперимента зависит от полноты удаления воздуха из реакционного пространства. Для этой цели служит вакуумный насос, присоединенный через вакуумный шланг к шлифу 2. Поворотом шлифа 2 можно сообщать реакционную трубку 1 с атмосферой или вакуумным насосом.

Перед началом опыта в середину реакционной трубки помещают кусочки карбоната кальция и тщательно удаляют воздух из установки при помощи вакуумного насоса. Для этой цели шлиф 2 ставят в положение, при котором реакционная трубка соединяется с вакуумным насосом. Необходимо добиться возможно большого разрежения в реакционной трубке, после чего при помощи крана реакционную трубку с карбонатом отключают от вакуумного насоса. Затем включают в сеть печь сопротивления и постепенно повышают температуру, регулируя ее автотрансформатором.

По достижении 700° измеряют давление двуокиси углерода, образовавшейся при диссоциации карбоната. В дальнейшем давление измеряют при различных заданных температурах (через $20-25^{\circ}\text{C}$). Ввиду того, что давление двуокиси углерода устанавливается не сразу, необходимо при заданной температуре осуществлять выдержку и после этого производить замер давления.

Меры безопасности

1 Запрещается самовольно, без указания руководителя работ приводить в действие оборудование и приборы, находящиеся в лаборатории.

2 При работе в лаборатории соблюдать осторожность, чтобы не повредить приборы и не разбить посуду.

3 Бережно держать поднятые тяжелые предметы, чтобы не уронить их на ноги себе или соседу.

4 При работе с лабораторной стеклянной и фарфоровой посудой следует соблюдать осторожность, так как при небрежном обращении с ней ее можно разбить и порезаться. Посуду и приборы следует держать осторожно, не сжимая руками, не следует их резко ставить на стол.

5 Горячие предметы нужно брать только специальными клещами, фарфоровую посуду вытаскивать из печи при помощи металлического крючка на металлическую пластину достаточного размера.

6 Разрешается загружать и выгружать электрические печи только после отключения электроэнергии.

7 Студентам запрещается ремонтировать электрооборудование и приборы лаборатории.

8 Лабораторные работы студенты должны проводить в халатах.

Содержание отчета

Цель работы, эскиз лабораторной установки, результаты экспериментов, графики, выводы по работе.

Лабораторная работа №2

Изучение вязкости расплавленных шлаков

Цель работы

1 Изучение особенностей вязкости расплавленных шлаков в зависимости от их химического состава и температуры перегрева.

2 Определение вязкости расплавленных шлаков методом затухающих колебаний.

Общие сведения

Одной из важнейших физических характеристик жидкости, в том числе расплавленных шлаков, является вязкость.

Свойства вязкости тесно связаны с атомной структурой жидкости и определяются природой межмолекулярного воздействия. Для характеристики вязкости жидкости принята особая величина - коэффициент вязкости или коэффициент внутреннего трения. Значение этого коэффициента может быть принято, исходя из закономерностей изменения силы внутреннего трения, возникающей между двумя слоями истинно-вязкой по упругости жидкости, перемещающимися по отношению друг к другу с различной скоростью. Силы внутреннего трения, обуславливающие вязкость, определяются уравнением Ньютона.

$$P = \eta \cdot F \frac{dw}{dr} \quad (1)$$

где P – сила трения (в динах);

F - поверхность соприкосновения элементарных слоев жидкости, см^2 ;

$\frac{dw}{dr}$ - градиент скорости по нормали к направлению течения жидкости (1/сек);

η - коэффициент пропорциональности.

Из (1) следует:

$$\eta = \frac{P}{F \frac{dw}{dr}} \quad (1a)$$

При $P=1$ дн, $F=1$ см^2 и $\frac{dw}{dr} = 1$ сек^{-1}

Получаем $\eta = 1$.

Величину вязкости, отвечающей таким условиям, принимают за единицу и именуют пуазом (сила внутреннего трения между двумя слоями жидкости, равная 1 дине, при площади соприкосновения слоев в 1 см^2 и при градиенте скорости слоев по нормали к движению в 1 м/сек).

Согласно (1a) пуаз имеет размерность в системе СГС

$$\eta = [\text{дин} \cdot \text{с} \cdot \text{см}^{-2}] = [\text{г} \cdot \text{масса} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}]$$

$$\text{или в системе СИ} - \left[\frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} \right]$$

Отношение динамической вязкости к плотности жидкости названо кинематической вязкостью (ν)

$$\nu = \frac{\eta \text{ см}^2}{\rho \text{ с}} \quad (2)$$

От вязкости шлаков в значительной мере зависит скорость протекания металлургических процессов и нормальная работа металлургического агрегата. Вязкость определяет в основном диффузию в расплавах: скорость диффузии обратно пропорциональна вязкости.

Для определения температурной зависимости, вязкостей жидкостей и расплавов пользуются уравнением Френкеля:

$$\eta = A \cdot c^{\frac{E_n}{RT}}$$

где A - постоянная, характерная для данной жидкости;

E_n -энергия активации вязкого течения;

R - универсальная газовая постоянная;

T - абсолютная температура.

Существует целый ряд способов экспериментального определения вязкости. В настоящей работе использован метод затухающих колебаний, теоретически разработанный Е.Г. Швидковским.

Принцип работы вискозиметров применительно к методу затухающих колебаний основан на определении периода и степени затухания колебаний тигля с расплавленным шлаком, подвешенного на упругой нити.

Если обозначить начальную и конечную амплитуду колебаний, соответственно, через A_0 и A_f , то логарифм отношения A_0/A_f , приходящийся на одно колебания, называется логарифмическим декрементом затухания (δ)

$$\delta = \frac{1}{f} \ln \frac{A_0}{A_f} = \frac{2,303}{f} \lg \frac{A_0}{A_f} \quad (4)$$

где f – число колебаний.

Кинетическая вязкость сильно вязких жидкостей (шлак) может быть определена по формуле:

$$\gamma = \frac{0,8225 \cdot \frac{MR^2}{2} \cdot R^2 \cdot \sigma}{\tau \left[K + \frac{MR^2}{2} \delta - K \frac{\tau}{\tau_i} \cdot \delta_0 \right]}, \quad (5)$$

где K - момент инерции подвесной системы, г/см²;

M – вес шлака, г;

R – внутренний радиус тигля, см;

τ, τ_0 - соответственно период колебаний тигля со шлаком и без шлака, с;

δ, δ_0 - соответственно декремент затухания колебаний тигля со шлаком и без шлака.

Значение σ в (5) выражается соотношением

$$\sigma = 1 + 0,250 \cdot Z \cdot \delta - 0,076 \cdot \delta^2 - 0,1645 \cdot Z^2 - 0,4924 \cdot \frac{R}{2H} \quad (6)$$

$$\text{и } Z = \frac{R^2}{\tau\gamma},$$

где $2H$ – высота слоя шлака в тигле, см.

Вычисление γ ведется методом последовательных приближений; сначала по формуле (5) вычисляется грубое значение $\gamma = \gamma^*$ при $\sigma = 1$, после чего определяется σ по формуле (6), затем окончательный результат:

$$\gamma = \gamma^* \cdot \sigma \quad (7)$$

Если σ значительно отличается от единицы, то таким же образом находится второе приближение для γ .

Критерий применимости формулы (5)

$$J = R \sqrt{\frac{2\pi}{\tau\gamma}} \leq 1,0 \dots 1,2 \quad (8)$$

Методика проведения работы и лабораторная установка

Для плавления исследуемого шлака используется печь Таммана. Штатив вискозиметра прикрепляется к корпусу печи в строго вертикальном положении. На верхнюю перекладину штатива насажена передвижная для зажима железного стержня квадратного сечения. К последнему крепится нить с подвесной системой (графитовый стержень, тигель, шлак) (рисунок 2).

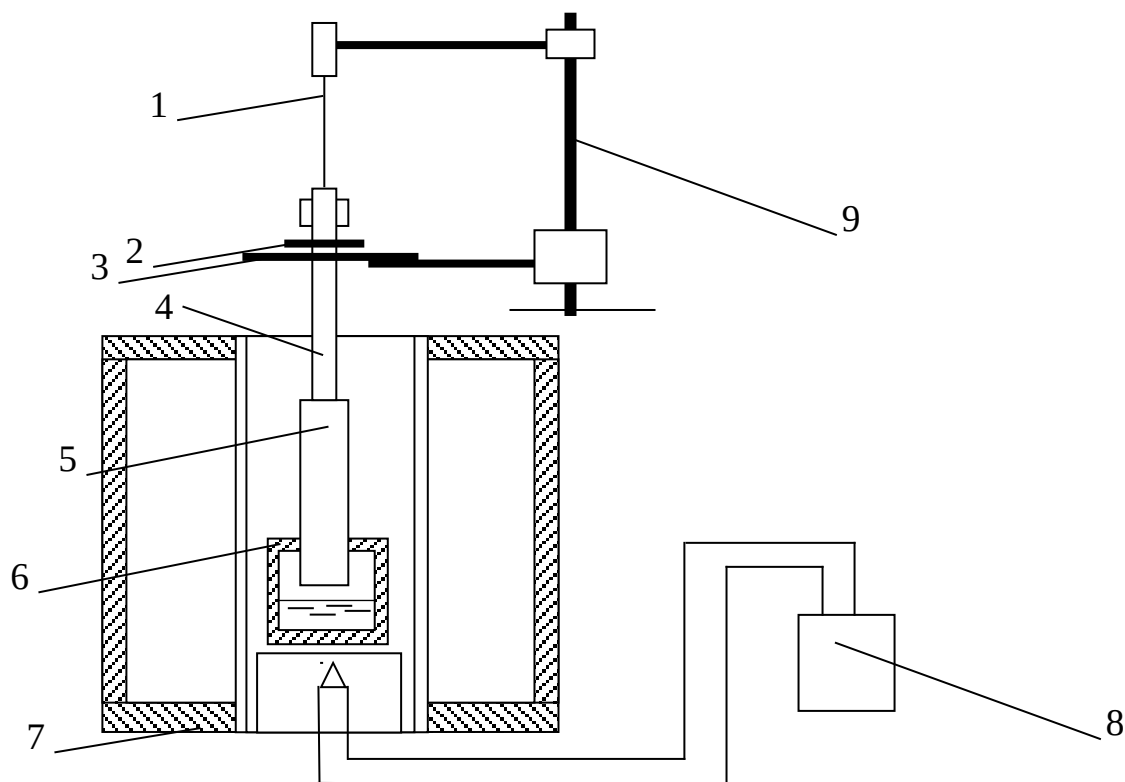


Рисунок 2 - Схема установки для определения вязкости шлаковых расплавов

1 - стальная проволока (упругая нить); 2 - стрелка; 3 - шкала; 4 - стальной стержень; 5 - графитовый стержень; 6 - графитовый тигель со шлаком; 7 - печь сопротивления; 8 - гальванометр; 9 - штатив.

Упругая нить позволяет графитовому тиглю со стержнем совершать свободные колебания вокруг своей оси.

Для отсчета угла закручивания служит подвижная шкала и стрелка, укрепленная на стержне. Шкала связана со штативом и ее можно передвигать по вертикальной стойке.

Исследуемый шлак расплавляется в графитовом тигле, помещенном внутрь трубки печи.

В начале работы измеряют внутренний радиус R и высоту h графитового тигля.

Определение момента инерции подвесной системы K производится вне печи по двум наблюдениям периода колебаний системы при пустом тигле без какой-либо дополнительной нагрузки и периода τ колебаний подвесной системы, нагруженной эталоном с известным моментом инерции K_0 .

Подвеска выводится из состояния покоя путем закручивания нити на определенный угол. После устранения закручивающей силы система испытывает затухающие крутильные колебания.

Отсчет амплитуды колебаний производят по одну сторону от нулевого положения. Записывают 20 амплитуд колебания.

Одновременно определяется среднее значение периода колебаний.

Эталон изготовлен из алюминиевого листа в виде тонкого диска большого радиуса. Поэтому его момент инерции легко найти по формуле:

$$K' = 0,5 \cdot Y_{\text{дис.}} \cdot R_{\text{дис.}}^2 \quad (9)$$

где $Y_{\text{дис.}}$ - вес диска, г;

$R_{\text{дис.}}$ - радиус диска, см.

Момент инерции подвесной системы определяют по формуле:

$$K = \frac{K_0 \cdot \tau_0^2}{(\tau')^2 \cdot \tau_0^2} \quad (10)$$

Декремент затухания в период колебаний пустой системы δ_0 и τ_0 зависит от температуры. Во-первых, потому, что нить подвеса может нагреваться, и ее упругие свойства меняются в процессе опыта, во-вторых, вследствие увеличения ее температурной вязкости газовой среды, окружающей тигель.

Поэтому для определения δ_0 и τ_0 помещают пустой тигель в рабочее пространство печи и измеряют указанные величины во всем интервале температур, в котором производится измерение вязкости. Затем загружают в графитовый тигель определенное количество шлака известного состава и определяют декремент затухания и период колебания подвесной системы со шлаком δ и τ .

Расчет кинематической вязкости производится по формуле (5).
Динамическая вязкость определяется по известному соотношению (2).
 $\eta = \gamma * \rho$

Меры безопасности

См. лабораторную работу №1.

Содержание отчета

Цель работы, эскиз лабораторной установки, результаты экспериментов, выводы по работе.

Лабораторная работа №3

Моделирование процесса окисления углерода в сталеплавильной ванне

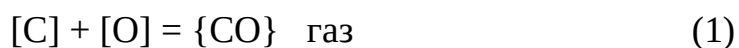
Цель работы

На основании проведенного моделирования сделать выводы о механизме процесса зарождения пузырей оксида углерода применительно к условиям реальной сталеплавильной ванны.

Общие сведения

Процесс окисления примесей в сталеплавильной ванне после расплавления шихты являются результатом взаимодействия трех фаз: газовой, шлаковой, металлической.

Оксид железа (FeO), растворенный в шлаке в процессе окислительной плавки, переходит из шлаковой фазы в металлическую и окисляет примеси, содержащиеся в жидком железе, по различным реакциям, важнейшей из которых является реакция окисления углерода:



Оксид углерода, образующийся при этой реакции, выделяется из металлического расплава в виде пузырьков, всплывающих кверху, что и создает “кипение” сталеплавильной ванны. Условия зарождения пузырьков CO в сталеплавильной ванне в значительной степени определяют ход процесса обезуглероживания.

Можно сделать различные предположения о месте зарождения пузырьков оксида углерода в расплавленном железе:

а) внутри металлической фазы;

- б) на границе шлак-металл;
- в) на неметаллических включениях;
- г) на твердой поверхности подины и откосов печи.

Теоретические расчеты, однако, показывают, что зарождение пузырьков СО внутри металлической ванны и на границе шлак-металл являются маловероятным. Вопрос о месте преимущественного зарождения пузырьков, играющих большую роль с точки зрения управления сталеплавильными процессами, можно решать также экспериментально.

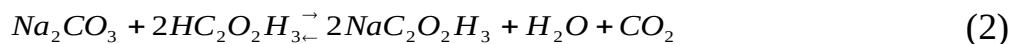
Исследование газообразования непосредственно в расплавленной сталеплавильной ванне встречает большие затруднения, связанные в основном с высокими температурами процесса и непрозрачностью металла. Поэтому прибегают к экспериментальному изучению этого процесса с помощью моделирования его, позволяющего осуществить визуальное наблюдение.

Методика такого моделирования заключается в следующем.

В стеклянный сосуд наливают сначала раствор соды в воде, затем сверху наливают раствор уксусной кислоты в бензоле.

В этом случае водный раствор моделирует металлический расплав с растворенным в металле углеродом, а верхний бензольный слой с растворенной в нем уксусной кислотой моделирует, шлаковую фазу, содержащую оксиды железа.

Переход уксусной кислоты из бензольного слоя в содовый раствор вызывает протекание реакции:



моделирующей реакцию окисления углерода.

Образуемая при реакции углекислота плохо растворима в воде и выделяется из раствора в виде пузырьков.

Задачей лабораторной работы является доказательство того, что газообразный продукт реакции, протекающий в растворе, не может самопроизвольно образовать пузырьки внутри раствора или на поверхности раздела жидких фаз.

Методика проведения работы и лабораторная установка

Сначала опыт проводится в обычных условиях, и мерк очистке воды и бензола от загрязнений не принимается.

Изготавливается раствор соды технической в обычной водопроводной воде (100см³) из расчета 3г соды на 100 см³ воды.

В целях ускорения растворения соды в воде рекомендуется перемешивать раствор стеклянной палочкой и слегка его подогреть. После этого раствор отстаивается в течение 5-10 минут.

После растворения соды и отстаивания раствора слить его в стакан объемом 150 см³. Затем в стакан осторожно налить слой бензола высотой в 10-12 мм. После этого набрать пипеткой 1 см³ концентрированной уксусной кислоты и осторожно слить ее в бензольный слой.

Провести наблюдение за процессом образования пузырьков (обратив внимание на место их образования) и записать результаты наблюдения.

Второй опыт провести, в отличие от первого, с очисткой раствора от загрязнения.

Изготовить сначала содовый раствор той же концентрации, что и в предыдущем опыте. Трехкратно профильтровать раствор через обычный бумажный фильтр и слить его в стакан. После этого также как и в предыдущем опыте, налить в стакан бензол и уксусную кислоту.

Провести наблюдение за процессом газовыделения и записать результат.

В отчете отметить, возможно ли образование пузырьков внутри раствора или на границе раздела жидких фаз (при отсутствии загрязнения) и место преимущественного образования пузырьков в случае загрязненного и чистого растворов.

Меры безопасности

См. лабораторную работу №1.

Содержание отчета

Цель работы, эскиз лабораторной установки, результаты экспериментов, выводы по работе.

Лабораторная работа №4

Кинетика окисления углерода из расплава железа

Цель работы

Моделирование и исследование процесса окисления углерода из железоуглеродистого расплава газообразным кислородом.

Общие сведения

Реакция окисления углерода – одно из важнейших реакций сталеварения, от скорости протекания которой зависит как производительность сталеплавильного агрегата, так и качество получаемого металла.

Процесс окисления углерода сложный, многостадийный и в сталеплавильном агрегате протекает в многофазной системе, состоящей из твердого пода, жидких железоуглеродистого расплава и шлака и газообразной фазы.

В лабораторных условиях, когда выплавка производится в основном магnezитовых тиглях при отсутствии шлакового покрова, система состоит из трех фаз: твердой (внутренняя поверхность тигля), жидкой (железоуглеродистый расплав) и газовой (кислород, продукты окисления углерода CO и CO₂).

В этом случае процесс обезуглероживания расплава газообразным кислородом протекает в четыре периода:

а) поверхностного окисления углерода на поверхности раздела Me – газовая фаза кислородом газовой фазы;

б) окисления железа кислородом газовой фазы на поверхности раздела газ – расплав и растворения кислорода в объеме расплава;

в) окисление углерода растворенным в металле кислородом на поверхности раздела твердая фаза – расплав и расплав - газовые пузырьки внутри металла;

г) окисления углерода кислородом газовой фазы на поверхности раздела расплав – газ и быстрого насыщения металла кислородом.

Наличие периодов и их продолжительность зависят от нескольких факторов, главными из которых при постоянстве прочих являются скорость подвода кислорода, температура расплава и концентрации углерода в расплаве и кислорода в газовой фазе.

Концентрация кислорода в газовой фазе и скорость подвода кислорода определяют поток кислорода q_0 в зону реакции, а концентрация углерода в объеме металла и температура расплава определяют поток углерода q_c в зону реакции.

$$q_0 = \eta \cdot \omega \cdot \rho \quad q_c = S \cdot \delta \cdot D_0 \cdot \frac{E}{eRT} ([C] - [C]_n)$$

где ω - скорость подвода кислорода, см²/мин;

ρ - содержание кислорода в дутье, моль/см³;

η - коэффициент использования окислителя;

S - поверхность реагирования углерода и кислорода, см²;

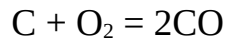
$[c]$, $[c]_n$ -концентрации углерода в объёме расплава и на поверхности реагирования, моль/см³;

D_o -коэффициент диффузии углерода в расплаве при определённых условиях, см²/сек;

δ -толщина диффузионного слоя, см.

От соотношения потоков q_o и q_c зависит местоположение зоны реакции окисления углерода.

В первом периоде при соотношении $q_o > q_c$ (это обычно имеет место при малых концентрациях кислорода и низких скоростях подвода его при высоких концентрациях углерода в объёме расплава и обычных температурах расплава) поток углерода к поверхности раздела росла газовая фаза больше потока кислорода туда же, окисление углерода протекает на поверхности раздела расплав - газовая фаза по реакции:



По мере окисления углерода из объёма расплава поток углерода в зону реакции на поверхности раздела газ – расплав уменьшается и при постоянстве потока кислорода q_o наступает момент равенства потоков кислорода и углерода $q_o = q_c$ в конце первого периода – поверхностного окисления углерода.

Затем по мере дальнейшего окисления углерода поток кислорода q_o становится больше потока углерода q_c в зону реакции на поверхности раздела газ – расплав. Теперь избыточный кислород реагирует с расплавленным железом по реакции $[Fe] + O_2 = 2(FeO)$, и на поверхности расплава появляется пленка оксидов. С этого момента кислород растворяется в расплаве и при достижении определенной концентрации, соответствующей данной температуре, начинается окисление углерода по реакции: $[C] + [O] = CO$

Выделяющийся оксид углерода интенсивно перемешивает расплав, создавая видимость кипения расплава.

По мере окисления углерода концентрация его в расплаве уменьшается, и реакция замедляется, а затем и прекращается. В объёме металла в каждом микрообъёме его частиц углерода уже недостаточно для образования пузырьков оксида углерода.

Дальнейшее очень медленное окисление из-за низких концентраций углерода протекает снова на поверхности раздела газ - расплавов. Кислород же теперь беспрепятственно растворяется в металле до пределов насыщения, определяемых температурой расплава.

Методика проведения работы и лабораторная установка

Выплавка железоуглеродистого сплава проводится в электрической печи сопротивления Таммана в магнетитовых тиглях. Вес плавки 200-300 г.

В тигле, установленном в печи, нагревается и расплавляется шихта, после чего проводится окислительный период. Весь ход плавки хронометрируется и записывается.

Последовательность выполнения работы:

1 Рассчитать шихту.

2 Подготовить и взвесить шихту. Кусочки материалов, присаживаемых по ходу плавки должны быть не более 25мм. По двум измерениям.

3 Ознакомиться с устройством печи и подготовить её к плавке. Проверить и подготовить устройства для отбора проб металла и замера температуры.

4 Загрузить металлическую шихту в тигель и установить его в печь.

5 Включить печь и, постепенно увеличивая силу тока, провести нагрев и расплавление шихты.

6 Через 15-20 минут после рас плавления шихты замерить температуру и отобрать пробу металла

7 7. Провести обдувку расплава окислительным газом. Во время обдувки расплава через 5 – 10 минут отобрать пробы металла. В конце плавки замерить температуру металла термопарой погружения.

8 8. В пробах металла определяется содержание углерода, и строится график в координатах (%C)=□ (мин).

Меры безопасности

См. лабораторную работу №1.

Содержание отчета

Цель работы, описание проведенного эксперимента, выводы.

Лабораторная работа №5

Исследование процесса формирования слитка на прозрачной модели

Цель работы

Путем моделирования воспроизвести геометрическое подобие процесса формирования различных кристаллических зон в слитках спокойной стали, определить скорость затвердевания слитка и ее влияние на кристаллическое строение металла, а также показать механизм образования усадочной раковины и развитие физической неоднородности слитка.

Общие сведения

В общем случае макростроение стального слитка состоит из трех зон (рисунок 3). Первая зона – наружная мелкозернистая корка, состоящая из дезориентированных мелких кристаллов. Она образуется вследствие очень большого переохлаждения металла при его соприкосновении с холодными стенками изложницы, что приводит к образованию многочисленных центров кристаллизации.

Вторая зона слитка – зона столбчатых кристаллов. После образования корки условие теплопровода меняются, градиент температур в прилегающем слое жидкого металла резко уменьшается

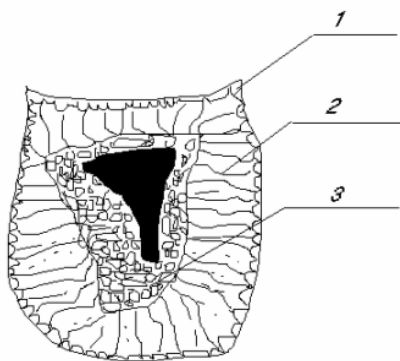


Рисунок 3 - Макроструктура стального слитка

и, следовательно, снижается степень переохлаждения стали. В результате из небольшого числа центров кристаллизации начинают расти нормально ориентированные к поверхности корки столбчатые кристаллы.

Третья зона слитка - зона крупных равноосных кристаллов. В центре слитка уже нет определенной направленности отдачи тепла, температура металла успевает выровняться в различных точках. Поэтому зародыши кристаллов возникают во всем объеме оставшегося жидкого металла, что приводит к равноосной кристаллизации. Образование здоровой литой структуры стального слитка зависит от многих факторов, среди которых большое значение имеет скорость кристаллизации.

Повышение скорости кристаллизации приводит к измельчению таких элементов зерна, как расстояние между осями дендритов и толщина их ветвей, размеры частиц электрических образований, выделения интерметаллических и неметаллических фаз. Для определения скорости затвердевания слитка может быть применена известная параболическая формула:

$$a = k\sqrt{\tau}$$

Где a - толщина закристаллизовавшейся корочки, мм;

k – коэффициент, зависящий от состава стали, температуры нагрева и других факторов;

τ – время, с.

Методика проведения работы и лабораторная установка

Описание установки. Установка (рисунок 4) состоит из плоской прозрачной изложницы 1, изготовленной из плексигласа. Изложница закрепляется на штативе 4. К нижней и боковым поверхностям изложницы подводится вода 2 для интенсификации охлаждения раствора 3. Для более четкого наблюдения за процессом кристаллизации прозрачная изложница просвечивается электрическим светом от источника, установленного со стороны одной из плоских граней. В качестве вещества, моделирующей кристаллизацию спокойной стали в изложницах, взят гипосульфит.

Выполнение работы

Гипосульфит, предварительно обработанный в эксикаторе для удаления излишней воды, расплавляется в чистом сосуде на слабом огне. Перегрев не должен превышать 60-70°С.

При этой температуре делается выдержка в течение 5-10 мин, а затем расплавленный гипосульфит фильтруется через матерчатый фильтр и вновь производится замер температуры.

Подготовленный таким образом гипосульфит заливается ровной струей в прозрачную изложницу, охлаждаемую циркулирующей водой.

Во время процесса кристаллизации необходимо систематически (через каждые 10-15 мин) производить замеры толщины нарастающей корочки, следить за характером формирования различных кристаллических зон, производить систематические замеры температур в различных местах рабочей модели обработки результатов.

По результатам опытов в отчете приводится описание процесса формирования слитка с соответствующими пояснениями. Результаты измерения скорости затвердевания слитка представляются в виде графика.

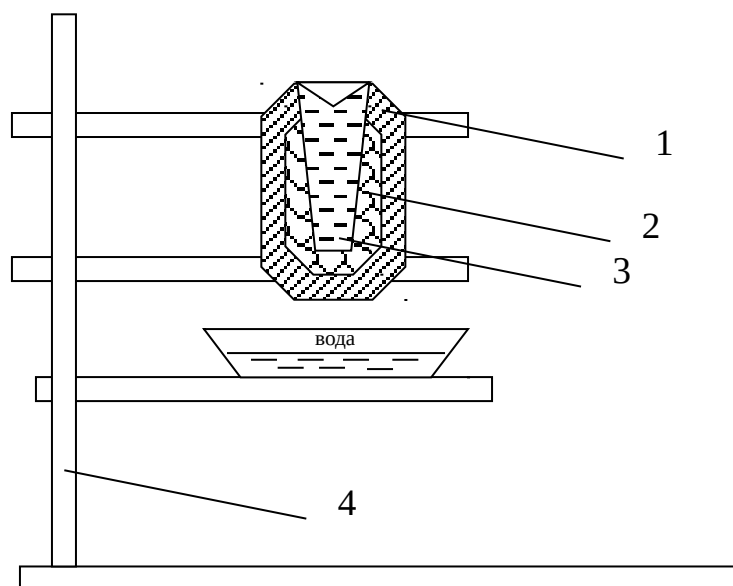


Рисунок 4 - Установка для исследования и формирования слитка на прозрачной модели

Меры безопасности

См. лабораторную работу №1.

Содержание отчета

Цель работы, описание проведенного эксперимента, выводы.

Литература

- 1 Киреев В.А. Курс физической химии. - М.: Химия, 1975.
- 2 Баландин Г.Ф., Васильев В.А. Физико-химические основы литейного производства. - М.: Машиностроение, 1971.
- 3 Грачев В.А., Расулов С.А. Металлургия литейного производства. – Ташкент: Укитувчи, 1987.