



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Технология конструкционных материалов»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к проведению практических занятий

по дисциплине

«Теория и методология
производства стали»

«Расчет взаимодействия элементов-раскислителей с кислородом в жидкой стали (на примере марганца)»

Автор

Кем А.Ю.

Ростов-на-Дону, 2016



Аннотация

Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения направления 22.03.02 - Металлургия.

Автор

д.т.н., с.н.с., зав.каф. «ТКМ» Кем А.Ю.



Оглавление

1. Материальное обеспечение	4
2. Общие сведения	4
3. Теория взаимодействия растворенных в жидкой стали элементов с кислородом	4
Пример расчета	6
Выводы	7
Варианты заданий	7
Литература	7

Цель работы - Рассчитать равновесную концентрацию кислорода [%O] в стали, содержащей Mn, при температурах внепечной обработки

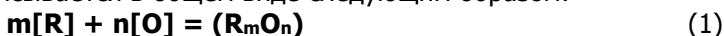
1. Материальное обеспечение

1.1. Компьютерный класс

2. Общие сведения

1.2. Стандартный комплект Matlab, табличный процессор EXCEL

Взаимодействие с кислородом растворенного в жидком железе элемента **R**, обладающего большим химическим сродством к кислороду, чем железо, приводит к образованию оксида **R_mO_n**. Это взаимодействие обычно называется **реакцией раскисления** и записывается в общем виде следующим образом:



Под раскислением понимают комплекс операций по снижению содержания кислорода в жидкой стали. Термодинамический подход, при этом, позволяет выявить связь между содержанием кислорода в жидкой стали и содержанием элемента – раскислителя **R**, определить степень влияния температуры на характер этой связи, а также рассчитать минимальное содержание кислорода в металлическом расплаве при раскислении его элементом **R**.

3. Теория взаимодействия растворенных в жидкой стали элементов с кислородом

Растворимость кислорода в железе под чистым железистым шлаком (**FeO**) оценивают на основе реакции:



$$K_p = \frac{a_{[O]}}{a_{(FeO)}} \approx [O]$$

Чипман установил, что для рассматриваемой реакции константа равновесия определяется зависимостью:

$$\ln K_p = -\frac{6320}{T} + 2,734, \quad \text{откуда следует, что}$$

$$\ln[O] = -\frac{6320}{T} + 2,734.$$

При $T = 1600^{\circ}\text{C}$ (1873K) предельная растворимость кислорода в железе составляет 0,21%. Как правило, содержание кислорода в жидкой стали не достигает предела растворимости и находится на уровне 0,06...0,08, поскольку при концентрации в металлическом расплаве более 0,05...0,06% С содержание кислорода определяется развитием реакции окисления углерода:



При достижении металлическим расплавом равновесного состояния при $T = 1873\text{ K}$ теоретически должно выполняться соотношение $[C] \cdot [O] = 0,0025$.

В случае когда оксид R_mO_n присутствует в системе не в чистом виде, а образует раствор или хим. соединение с другим оксидом, для расчета равновесных концентраций элемента " R " и кислорода используют коэффициенты активности " f_R " и " f_O ". Для реакции типа (1) получим:

$$K_R = \frac{[\%O] \cdot [\%R]^{m/n} \cdot f_O \cdot f_R^{m/n}}{a_{(R_mO_n)}^{1/n}} \quad (4)$$

Преобразуя (4) в логарифмическом виде, относительно $\lg [O]$, получим выражение для определения концентрации кислорода в стали:

$$\lg [O] = \lg K_R - (m/n) \cdot \lg [\%R] + (1/n) \cdot \lg a_{R_mO_n} - (m/n) \cdot \lg f_R - \lg f_O$$

Значения коэффициентов активности " f_R " и " f_O ", как правило, определяют с помощью параметров взаимодействия первого порядка:

$$\lg f_R = e_R^R [\%R] + e_R^O [\%O] \quad (5)$$

$$\lg f_O = e_O^O [\%O] + e_O^R [\%R] \quad (6)$$

Для расчета равновесной концентрации кислорода в жидкой стали, содержащей Mn используют следующее уравнение температурной зависимости константы равновесия реакций раскисления (В.А.Григорян, табл. 9):

$$\lg K_{Mn} = \lg \frac{[Mn] + [O] = (MnO)}{[\%O][\%Mn] f_O^{Mn} f_{Mn}^{Mn}} = -\frac{15200}{T} + 6,78 \quad (7)$$

Пример расчета

Рассчитать равновесную концентрацию кислорода [%O] в жидком железе, содержащем 0,7% Mn, при температурах 1550, 1600, 1650°C. Считаем бинарный раствор Fe-Mn идеальным; принимаем активность $a_{MnO} = 1$.

Решение.

1. Запишем выражение для константы равновесия:

$$\lg K_{Mn} = - \frac{15200}{T} + 6,78$$

2. Определим значения K_{Mn} для заданных температур:

$$\text{-1823K: } \lg K_{Mn} = - \frac{15200}{T} + 6,78 = -$$

$$(15200/1823) + 6,78 = -2,013^*$$

$$K_{Mn} = 0,0097;$$

$$\text{-1873: } \lg K_{Mn} = - \frac{15200}{T} + 6,78 = -$$

$$(15200/1873) + 6,78 = -1,793^*$$

$$K_{Mn} = 0,0161;$$

$$\text{-1923: } \lg K_{Mn} = - \frac{15200}{T} + 6,78 = -$$

$$(15200/1923) + 6,78 = -1,584^*$$

$$K_{Mn} = 0,0261.$$

3. Запишем выражение для определения концентрации кислорода в стали из (7):

$$[\%O] = K_{Mn} \cdot a_{MnO} / [\%Mn] f_O^{Mn} f_{Mn}^{Mn}$$

Неизвестны значения коэффициентов активности f_O^{Mn}, f_{Mn}^{Mn} .

4. Определим значения коэффициентов активности с учетом параметров взаимодействия первого порядка.

$$\lg f_O^{Mn} = e_O^{Mn} [Mn];$$

$$\lg f_{Mn}^{Mn} = e_{Mn}^{Mn} [Mn], \text{ поскольку } e_{Mn}^{Mn} = 0, \text{ то } f_{Mn}^{Mn} = 1$$

Из справочных данных (Е.А.Казачков, прил. 8) находим, что $e_O^{Mn} = -0,021$.

$$\text{Отсюда } \lg f_O^{Mn} = e_O^{Mn} [Mn] = -0,021 \cdot 0,7 = -0,0147;$$

$$f_O^{Mn} = 0,967$$

(! При работе с калькулятором не забывать завершать вы-

Теория и технология производства стали

числение функцией $1/x$, поскольку работаем с отрицательными величинами!)

5. Определим величины равновесных концентраций при заданной температуре:

$$\begin{aligned} -1823\text{K}: [\%O] &= K_{Mn} \cdot a_{MnO} / [\%Mn] f_O^{Mn} f_{Mn}^{Mn} = \\ &= (0,0097 \cdot 1) / (0,7 \cdot 0,967 \cdot 1) = 0,0143\% \\ -1873: [\%O] &= (0,0161 \cdot 1) / (0,7 \cdot 0,967 \cdot 1) = 0,0237\% \\ -1923: [\%O] &= (0,0261 \cdot 1) / (0,7 \cdot 0,967 \cdot 1) = 0,0385\% \end{aligned}$$

Выводы

При заданной концентрации Mn в стали с увеличением температуры величина равновесной концентрации кислорода в расплаве растет.

Варианты заданий

№ вар.	Содержание Mn в стали	Температура процесса, °C		
1	1,10	1540	1600	1650
2	0,85	1550	1610	1640
3	0,60	1550	1620	1670
4	0,90	1530	1580	1620
5	0,50	1540	1590	1640
6	0,48	1550	1600	1650
7	0,78	1545	1595	1645
8	0,65	1540	1600	1650
9	0,58	1550	1610	1640
10	0,80	1540	1620	1670
11	1,20	1530	1580	1620
12	0,75	1540	1590	1640

*- пример.

Литература

1. Казачков Е.А. Расчеты по теории металлургических процессов: Учебн. пособие для вузов. – М.: Металлургия, 1988. – 288 с.

2. Кудрин В. А. Теория и технология производства стали: учебник для вузов / В. А. Кудрин - М.: Мир, 2003. - 528 с.

Теория и технология производства стали

3. Григорян В.А. и др. Физико-химические расчеты сталеплавильных процессов: Учебн. пособие для вузов.- М.: Металлургия, 1989. - 288 с.

4. Лузгин В. П., Металлургия стали: Внепечная обработка стали: учебн. пособие /В. П. Лузгин, С. В. Казаков - М.: МИСиС, 2003. -47 с.

5. Раскисление и легирование стали: метод. указ. Сост.: Е. В. Протопопов, Г. И. Веревкин, К М. Шакиров - Новокузнецк: СибГИУ, 2001. -20 с.