



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 алюминия)»

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 | 8 |

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

1. Материальное обеспечение

1.1. Компьютерный класс

2. Общие сведения

1.2. Стандартный комплект Matlab, табличный процессор EXCEL

Если растворенный в жидком железе элемент **R** обладает более высоким химическим сродством к кислороду, чем железо, то возможно протекание реакции с образованием 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:



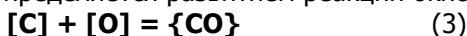
$$K_p = \frac{a_{[O]}}{a_{(FeO)}} \approx [O]$$

Чипман Д. 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:

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

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

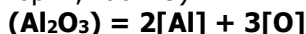
$$\lg [O] = (1/n) \lg K_R - (m/n) \cdot \lg [\%R] + (1/n) \cdot \lg a_{RmOn} - (m/n) \cdot \lg f_R - \lg f_O \quad (4, a)$$

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

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

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

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



$$\lg K_{Al}^{1/3} = \lg \frac{[\%O] \cdot [\%Al]^{2/3} \cdot f_O \cdot f_{Al}^{2/3}}{a_{Al_2O_3}^{1/3}} = - \frac{64900}{T} + 20,63 \quad (7)$$

Пример расчета

Рассчитать равновесную концентрацию кислорода [%O] в жидком железе, содержащем 0,015% Al, при температурах 1550, 1600, 1650°C. Считаем бинарный раствор Fe-Al идеальным; принимаем активность $a_{Al_2O_3} = 1$.

Решение.

1. Запишем выражение для константы равновесия:

$$\lg K_{Al} = - \frac{64900}{T} + 20,63$$

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

$$\begin{aligned} -1823K: \quad \lg K_{Al} &= - \frac{64900}{T} + 20,63 = - \\ (64900/1823) + 20,63 &= -14,97^* \end{aligned}$$

$$K_{Al} = 1,07 \cdot 10^{-15};$$

$$\begin{aligned} -1873: \quad \lg K_{Al} &= - \frac{64900}{T} + 20,63 = - \\ (64900/1873) + 20,63 &= -14,02^* \end{aligned}$$

$$K_{Al} = 9,54 \cdot 10^{-15};$$

$$\begin{aligned} -1923: \quad \lg K_{Al} &= - \frac{64900}{T} + 20,63 = - \\ (64900/1923) + 20,63 &= -13,12^* \end{aligned}$$

$$K_{Al} = 7,597 \cdot 10^{-14}.$$

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

$$[\%O] = K_{Al}^{1/3} \cdot a_{Al_2O_3}^{1/3} / [Al]^{2/3} \cdot f_O \cdot f_{Al}^{2/3}$$

Неизвестны значения коэффициентов активности f_O, f_{Al} .

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

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

$$\lg f_{Al}^{Al} = e_{Al}^{Al} [\%Al].$$

Из справочных данных (Е.А.Казачков, прил. 8) находим, что $e_O^{Al} = -3,9$.

$$\text{Отсюда } \lg f_O = e_O^{Al} [\%Al] = -3,9 \cdot 0,015 = -0,78^*;$$

$$f_o = 6,02$$

(! При работе с калькулятором не забывать завершать вычисление функцией $1/x$, поскольку работаем с отрицательными величинами!)

Из справочных данных (В.А. Григорян, ТОЭСП, табл. 6) находим,

$$\text{что } e_{Al}^{Al} = 0,045.$$

Отсюда $lg f_{Al} = e_{Al}^{Al} [\%Al] = 0,045 \cdot 0,015 = 0,000675$;

$$f_{Al} = 1,0015$$

5.Определим величины равновесных концентраций при заданной температуре:

$$\begin{aligned} -1823K: [\%O] &= K_{Al}^{1/3} \cdot a_{Al_2O_3}^{1/3} / [Al]^{2/3} \cdot f_o \cdot f_{Al}^{2/3} \\ &= (1,07 \cdot 10^{-15})^{1/3} \cdot 1/0,015^{2/3} \cdot 1,0015 \cdot 6,02 = (1,07 \cdot 10^{-15})/0,366 = 1,43 \cdot 10^{-5} \end{aligned}$$

$$-1873: [\%O] = (9,54 \cdot 10^{-15})^{1/3} \cdot 1/0,015^{2/3} \cdot 1,0015 \cdot 6,02 = 2,96 \cdot 10^{-5}$$

$$-1923: [\%O] = (7,597 \cdot 10^{-14})^{1/3} \cdot 1/0,015^{2/3} \cdot 1,0015 \cdot 6,02 = 5,92 \cdot 10^{-5}$$

Выводы

При заданной концентрации Al в стали с увеличением температуры величина равновесной концентрации кислорода в расплаве растёт.

Варианты заданий

| № вар. | Содержание Al в стали, % | Температура процесса, °C | | |
|--------|--------------------------|--------------------------|------|------|
| 1 | 0,025 | 1540 | 1600 | 1650 |
| 2 | 0,035 | 1550 | 1610 | 1640 |
| 3 | 0,040 | 1550 | 1620 | 1670 |
| 4 | 0,038 | 1530 | 1580 | 1620 |
| 5 | 0,030 | 1540 | 1590 | 1640 |
| 6 | 0,028 | 1550 | 1600 | 1650 |
| 7 | 0,038 | 1545 | 1595 | 1645 |
| 8 | 0,042 | 1540 | 1600 | 1650 |

Теория и технология производства стали

| | | | | |
|----|-------|------|------|------|
| 9 | 0,025 | 1550 | 1610 | 1640 |
| 10 | 0,040 | 1540 | 1620 | 1670 |
| 11 | 0,020 | 1530 | 1580 | 1620 |
| 12 | 0,035 | 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.

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.