

№ 2967



Национальный исследовательский
технологический университет

Г.В. Серов
Е.Н. Сидорова

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА

РАСЧЕТЫ И КОНТРОЛЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ

Практикум



УДК 669.04.997
С32

Рецензент
д-р техн. наук., проф. *А.В. Павлов*

- Серов Г.В.**
С32 Физические основы производства : расчеты и контроль металлургических процессов : практикум / Г.В. Серов, Е.Н. Сидорова. – М. : Изд. Дом НИТУ «МИСиС», 2018. – 64 с.
ISBN 978-5-906953-44-5

Приведены основы термодинамики металлических растворов, процессов взаимодействия жидких металлов с газами, элементами-раскислителями. Рассмотрен электрохимический способ контроля состояния высокотемпературных газовых атмосфер, металлических расплавов, технологических процессов производства стали и сплавов. Представлены примеры расчетов активности компонентов металлических растворов, растворимости газов в жидких сталях и сплавах, процессов раскисления и состояния высокотемпературных фаз по результатам электрохимических измерений.

Практикум предназначен для студентов, обучающихся в бакалавриате по направлениям подготовки 38.03.01 «Экономика», 38.03.02 «Менеджмент», 38.03.05 «Бизнес-информатика». Может быть полезен студентам, обучающимся в бакалавриате по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» и в магистратуре по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов».

УДК 669.04.997

ISBN 978-5-906953-44-5

© Г.В. Серов,
Е.Н. Сидорова, 2018
© НИТУ «МИСиС», 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	4
1. Металлические сплавы	5
1.1. Теоретическое введение	5
1.1.1. Парциальные мольные величины.....	5
1.1.2. Законы Рауля и Генри. Идеальные растворы	6
1.1.3. Термодинамическая активность	8
1.2. Параметры взаимодействия. Расчет коэффициента активности и активности компонента металлического сплава сложного состава	10
1.3. Примеры решения задач	13
2. Распределение кислорода между металлическим, оксидным сплавами и газовой фазой	16
2.1. Теоретическое введение	16
2.2. Пример решения задач	18
2.3. Задачи для самостоятельного решения	22
3. Раскисление металла	24
3.1. Теоретическое введение	24
3.2. Примеры решения задач	27
3.3. Задачи для самостоятельного решения	28
4. Водород и азот в железе и его сплавах.....	30
4.1. Теоретическое введение	30
4.2. Расчет растворимости водорода в жидкой стали	33
4.3. Пример решения задач	34
4.4. Задачи для самостоятельного решения	35
4.5. Расчет растворимости азота в легированных сплавах железа.....	36
4.6. Пример решения задачи	39
4.7. Задачи для самостоятельного решения	39
5. Электрохимический контроль кислорода в жидких металлах и газах.....	42
5.1. Теоретическое введение	42
5.2. Твердые электролиты	45
5.3. Электроды сравнения, расчет $p_{O_2(c)}$	47
5.4. Расчет активности кислорода в жидкой стали	49
5.5. Пример решения задачи	51
5.6. Задачи для самостоятельного решения	53
Библиографический список	55
Приложения	56

1. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ РАСПЛАВЫ

1.1. Теоретическое введение

Температура жидкой стали при выплавке в кислородном конвертере, электродуговой печи, внепечных способах обработки стали достигает 1650 °С и более. В жидком состоянии формируется необходимый состав и свойства конечного продукта. Внесением в жидкий металл расчетного количества добавок (легирование), управлением процессами взаимодействия жидкого металла с оксидным расплавом, газовой фазовой, огнеупорной футеровкой печи добиваются снижения в расплаве вредных примесей, получения металлического раствора требуемого состава.

Раствором в физической химии называют гомогенную систему, состоящую не менее, чем из двух компонентов.

Жидкая сталь – это многокомпонентный раствор, где растворителем является железо, а растворенными компонентами все легирующие и вредные примеси.

Состав металлического раствора в металлургии принято выражать в массовых процентах, в теории используют также мольные (атомные) доли. Связь между указанными единицами выражается формулой

$$N_i = \frac{n_i}{n_i + n_j + n_f + \dots} = \frac{c_i/M_i}{c_i/M_i + c_j/M_j + c_f/M_f + \dots}, \quad (1.1)$$

где N_i – мольная доля компонента i ;

n_i, n_j, n_f – числа молей компонентов i, j, f ;

c_i, c_j, c_f – содержание компонентов, % масс.;

M_i, M_j, M_f – атомные массы компонентов.

1.1.1. Парциальные мольные величины

Термодинамическое состояние компонента в растворе описывают посредством **парциальных мольных величин**, под которыми понимают производную от экстенсивных свойств (U, H, V, G, S, F), зависящих от количества вещества, по числу молей. Так, парциальным мольным объемом компонента i в растворе является величина, равная частной производной от общего объема раствора по числу молей ком-

понента i при постоянстве давления, температуры, чисел молей других компонентов раствора:

$$\bar{V}_i = \left(\frac{\partial V}{\partial n_i} \right)_{p, T, n_j (j \neq i)}, \quad (1.2)$$

где \bar{V}_i – парциальный мольный объем компонента i ;
 V – общий объем раствора.

Парциальные мольные величины характеризуют вклад компонента в экстенсивные свойства раствора. Они являются интенсивными характеристиками, зависят от состава раствора и не зависят от его количества.

Парциальная мольная энергия Гиббса называется **химическим потенциалом компонента** (μ_i):

$$\mu_i = \bar{G}_i = \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{p, T, n_j (j \neq i)}. \quad (1.3)$$

Величина μ_i характеризует стремление компонента i перейти из одной фазы с большей величиной μ_i в фазу с меньшей величиной μ_i .

Например, $\mu_{i(\text{раствор})} > \mu_{i(\text{пар})}$ означает стремление компонента перейти из раствора в газовую фазу и, наоборот, если $\mu_{i(\text{раствор})} < \mu_{i(\text{пар})}$.

В теории и практике металлургического производства часто встречаются разбавленные растворы компонентов в жидких металлах. Так, жидкая сталь является разбавленным раствором углерода, марганца, кремния, серы и других компонентов в жидком железе.

1.1.2. Законы Рауля и Генри. Идеальные растворы

Для описания свойств реальных растворов используют **законы Рауля и Генри** – модели идеальных растворов, в которых эти законы выполняются с абсолютной точностью.

Законы определяют зависимость давления пара компонента над раствором p_i от его концентрации в растворе.

По закону Рауля

$$p_i = p_i^0 \cdot N_i, \quad (1.4)$$

где p_i^0 – давление пара над чистым компонентом ($N_i = 1$);
 N_i – мольная доля компонента i в растворе.