



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"

Кафедра "Материаловедение и технологии металлов"

КОМПЛЕКС МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ "МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ"

для направления подготовки:

15.04.02 "Машины и оборудование металлургического производства"

Заочная магистратура

Ростов-на-Дону

2023

1. Цели и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины "Металлургические расчёты" является формирование у магистранта современных представлений в области высокотехнологичных процессов и производств чёрной металлургии, в частности, выполнения металлургических расчётов процессов электрометаллургии стали.

В задачи дисциплины входит изучение технологических и физико-химических расчётов современных, рациональных, нашедших широкое распространение в промышленности, прогрессивных технологий, оборудования и материалов, электросталеплавильного производства.

Фундаментальные теоретические положения рассматриваются на лекциях. Практические занятия, предполагающие закрепление основных положений теории, по своей структуре носят расчётно-исследовательский характер. Самостоятельная работа магистранта по изучению курса включает индивидуальную работу с литературой и конспектами лекций без непосредственного участия преподавателя, а также подготовку к практическим занятиям и консультации с преподавателем, предусмотренные учебным планом. Оценка итогового уровня знаний проводится путём сдачи экзамена по всему курсу.

2. Распределение объёма часов дисциплины по видам обучения

Лекционные занятия – 6 часов;

Практические занятия – 10 часов;

Контрольные работы – одна;

Форма контроля – экзамен.

3. Тематический план дисциплины

1. Термодинамика металлических расплавов.

Основы химической термодинамики. (Энергия Гиббса химической реакции. Направление и полнота химической реакции. Растворы, состав,

термодинамические функции. Идеальные разбавленные растворы. Реальные растворы. Законы Рауля и Генри.).

Активность (Активность и коэффициент активности для различных стандартных состояний. Особенности перехода от одного стандартного состояния к другому. Активность серы и углерода в расплавах железа. Активность кислорода в жидкой стали. Расчёт коэффициентов активности по уравнению Гиббса-Дюгема.).

2. Термодинамика металлургических шлаков.

Сталеплавильные шлаки (Технологические функции и характеристики шлаков. Молекулярная теория шлаков. Теория совершенных ионных растворов. Теория регулярных ионных растворов. Термодинамические функции шлака как фазы, имеющей коллективную электронную систему.).

Распределение элементов между металлом и шлаком (Анализ современных методов расчёта распределения элементов между металлом и шлаком. Алгоритм и примеры расчётов.).

3. Полный технологический расчёт плавки (ДСП – скрап- процесс).

Расчёт процесса плавки для периода от начала завалки до расплавления. Расчёт процесса плавки от расплавления до раскисления и легирования в ковше (Определение количества шлака и установление шлакового режима. Материальный баланс периодов плавки.).

Расчёт раскисления и легирования в ковше; основные технологические параметры плавки при внепечной обработке (Расчёт расхода ферросплавов. Баланс важнейших компонентов в плавке. Состав металла и шлака в отдельные периоды плавки и по завершению процесса.).

4. Список литературы

1. Шварцман Л.А. Начала физической химии для металлургов / Л. А. Шварцман, А.А. Жуховицкий. – М.: Металлургия, 1991.

2. Меркер Э.Э. Энерготехнологические особенности внепечной обработки жидкой стали: учеб. пособие для вузов / Э.Э. Меркер, Д.А. Харламов. - Старый Оскол: ТНТ, 2013.

3. Кем А.Ю. Metallургические технологии и безопасность процессов. Производство стали в дуговых сталеплавильных печах: теория, технология, расчёты: учеб. пособие / А.Ю.Кем. - Ростов н/Д.: Издательский центр ДГТУ, 2015. – 143 с.

4. Бигеев В.А. Основы металлургического производства / В. А. Бигеев, К. Н. Вдовин. - Лань, 2017.

5. Бигеев А.М. Основы математического описания и расчёты кислородно-конвертерных процессов / А.М. Бигеев, Ю.А. Колесников. – М.: Металлургия, 1970.

5. Практические занятия

Изучение теоретического курса сопровождается выполнением практических работ. Для каждой практической работы предлагаются методические указания, в которых указаны цель, методика проведения работы и правила оформления отчёта.

По всем выполненным работам магистрант должен представить отчёт, составленный по форме, определяемой методическим указанием. Защита отчётов проводится по мере выполнения работ. Каждый магистрант должен выполнить 6 практических работ на темы:

– Расчёт стандартной энергии Гиббса и константы равновесия химической реакции по справочным данным – 1 час.

– Расчёт распределения кислорода между металлом и шлаком с применением диаграмм активностей оксидов – 1 час.

– Расчёт распределения кремния между металлом и шлаком с применением диаграмм активности – 2 часа.

– Расчёт распределения марганца между металлом и шлаком с использованием теории совершенных ионных растворов (ТСИР) – 2 часа.

– Расчёт распределения элементов между металлом и шлаком с использованием теории регулярных ионных растворов (ТРИР) – 2 часа.

– Полный технологический расчёт плавки (ДСП – скрап-процесс).
Определение количества шлака и установление шлакового режима.
Материальный баланс периодов плавки – 2 часа.

6. Общие методические указания к выполнению контрольных заданий (работ)

По дисциплине "Металлургические расчёты" магистранты заочного обучения выполняют одно контрольное задание: по разделам "Термодинамика металлических расплавов", "Термодинамика металлургических шлаков", "Полный технологический расчёт плавки (ДСП – скрап - процесс)".

Контрольное задание составлено из 10 вариантов. Магистрант выполняет тот вариант задания, номер которого соответствует последней цифре его шифра. Если номер шифра оканчивается нулём, выполняется десятый вариант задания.

Контрольное задание выполняют в отдельной тетради объёмом 10-12 листов. Перед выполнением заданий следует полностью переписать их текст и практический вопрос (задачу). Задание следует выполнять в порядке ответов на поставленные вопросы. Ответы должны быть краткими и точными. Выполняя расчёты, вначале следует привести буквенное выражение с указанием смыслового значения входящих в него параметров, а затем сделать подстановку цифровых величин и выполнить расчёт с точностью до одного знака после запятой.

Графические работы рекомендуется выполнять карандашом с использованием чертёжных инструментов, соблюдая требования стандартов и ЕСКД. На страницах текста контрольных работ оставить поля для замечаний рецензента. Страницы и рисунки пронумеровать. В конце выполненного контрольного задания привести список использованной литературы.

После рецензирования работы изучить замечания рецензента и дать на них письменные ответы в конце тетради. Исправления в тексте после рецензии не

допускаются. Если работа не зачтена, то после ответа на замечания она посылается на повторное рецензирование.

Задание содержит три вопроса.

Первый вопрос контрольной работы относится к разделу 1 тематического плана дисциплины. Этот вопрос имеет обобщенный характер по одной из тем раздела. Чтобы ответить на него, следует изучить тему, используя рекомендованную литературу [1,4].

Второй вопрос относится к разделу 3 тематического плана. Для ответа на второй вопрос необходимо изучить материал, относящийся к расчёту распределения элементов между металлом и шлаком с использованием теории регулярных ионных растворов (ТРИР), изложенный в "Методических указаниях к выполнению второго вопроса контрольного задания".

Третий вопрос требует изучения тем по разделам 2 и 3 тематического плана дисциплины [1, 2, 3, 4].

7. Методические указания к выполнению второго вопроса контрольного задания

В регулярном ионном растворе энтропия находится как в совершенном ионном растворе (ТСИР), а энтальпия - как в регулярном. Например, выражение для химического потенциала компонента бинарного раствора FeO - MnO имеет вид:

$$\mu_{(\text{FeO})} = \mu_{(\text{FeO})}^0 + RT \ln x_{\text{Fe}} + x_{\text{Mn}}^2 \cdot Q_{\text{Mn-Fe}}. \quad (1)$$

Сравнивая выражение (1) с определением химического потенциала в виде:

$$\mu_{(\text{FeO})} = \mu_{(\text{FeO})}^0 + RT \ln a_{(\text{FeO})},$$

$$a_{(\text{FeO})} = x_{\text{Fe}} \cdot \gamma_{(\text{Fe})},$$

можно получить $RT \ln \gamma_{(\text{FeO})} = x_{\text{Mn}}^2 \cdot Q_{\text{Mn-Fe}}$,

где $Q_{\text{Mn-Fe}}$ - определяемый из опыта постоянный множитель;

x_{Fe} , x_{Mn} - ионные доли по Тёмкину (ТСИР).

В.А. Кожеуровым выражение (1) было обобщено для шлаков сложного состава. Полученные при этом выражения для коэффициентов активности $\gamma_{(Fe)}$ и $\gamma_{(Mn)}$ имеют вид:

$$\lg \gamma_{(Fe)} = \frac{1000}{T} \cdot [2,18 \cdot x_{Mn} \cdot x_{Si} + 5,90 \cdot (x_{Ca} + x_{Mg}) \cdot x_{Si} + 10,50 \cdot x_{Ca} \cdot x_p];$$

$$\lg \gamma_{(Mn)} = \lg \gamma_{(Fe)} - \left(\frac{2180}{T} \right) \cdot x_{Si};$$

$$\lg \gamma_{(P)} = \lg \gamma_{(Fe)} - \left(\frac{10500}{T} \right) \cdot x_{Ca}.$$

Примечание. ТРИР относится к числу наиболее совершенных методов оценки активностей компонентов шлаковых систем. Основная трудность применения теории заключается в отсутствии надежных данных об энергиях смешения для ряда практически важных шлаков в частности шлаков, содержащих Al_2O_3 и CaF_2 .

8. Варианты контрольного задания

Вариант состава шлака для выполнения задачи вопроса 2 контрольного задания принимается по сумме последних двух цифр зачётной книжки магистранта из раздела 9.

Вариант 1

1. Энергия Гиббса химической реакции.
2. Задача: Рассчитать равновесное распределение марганца, кислорода и фосфора между металлом и шлаком при 1873 К, используя ТРИР.
3. Теория совершенных ионных растворов. Теория регулярных ионных растворов.

Вариант 2

1. Направление и полнота химической реакции.

2. Задача: Рассчитать равновесное распределение марганца, кислорода и фосфора между металлом и шлаком при 1873 К, используя ТРИР.

3. Термодинамические функции шлака как фазы, имеющей коллективную электронную систему.

Вариант 3

1. Растворы, состав, термодинамические функции.

2. Задача: Рассчитать равновесное распределение марганца, кислорода и фосфора между металлом и шлаком при 1873 К, используя ТРИР.

3. Анализ современных методов расчёта распределения элементов между металлом и шлаком. Алгоритм и примеры расчётов.

Вариант 4

1. Идеальные разбавленные растворы. Реальные растворы. Законы Рауля и Генри.

2. Задача: Рассчитать равновесное распределение марганца, кислорода и фосфора между металлом и шлаком при 1873 К, используя ТРИР.

3. Расчёт процесса плавки для периода от начала завалки до расплавления. Расчёт процесса плавки от расплавления до раскисления и легирования в ковше.

Вариант 5

1. Активность и коэффициент активности для различных стандартных состояний.

2. Задача: Рассчитать равновесное распределение марганца, кислорода и фосфора между металлом и шлаком при 1873 К, используя ТРИР.

3. Определение количества шлака и установление шлакового режима.

Вариант 6

1. Особенности перехода от одного стандартного состояния к другому.

2. Задача: Рассчитать равновесное распределение марганца, кислорода и фосфора между металлом и шлаком при 1873 К, используя ТРИР.
3. Материальный баланс периодов плавки.

Вариант 7

1. Активность серы и углерода в расплавах железа.
2. Задача: Рассчитать равновесное распределение марганца, кислорода и фосфора между металлом и шлаком при 1873 К, используя ТРИР.
3. Расчёт раскисления и легирования в ковше.

Вариант 8

1. Активность кислорода в жидкой стали.
2. Задача: Рассчитать равновесное распределение марганца, кислорода и фосфора между металлом и шлаком при 1873 К, используя ТРИР.
3. Основные технологические параметры плавки при внепечной обработке. Расчёт расхода ферросплавов.

Вариант 9

1. Расчёт коэффициентов активности по уравнению Гиббса-Дюгема.
2. Задача: Рассчитать равновесное распределение марганца, кислорода и фосфора между металлом и шлаком при 1873 К, используя ТРИР.
3. Баланс важнейших компонентов в плавке.

Вариант 10

1. Технологические функции и характеристики шлаков. Молекулярная теория шлаков.
2. Задача: Рассчитать равновесное распределение марганца, кислорода и фосфора между металлом и шлаком при 1873 К, используя ТРИР.

3. Состав металла и шлака в отдельные периоды плавки и по завершению процесса.

9. Состав шлака для выполнения задачи вопроса 2 контрольного задания

1. Состав шлака, %: CaO 34,11; SiO₂ 31,34; FeO 8,41; Fe₂O₃ 2,26; MgO 13,97; P₂O₅ 1,57; MnO 8,34.

2. Состав шлака, %: CaO 32,11; SiO₂ 30,04; FeO 9,32; Fe₂O₃ 3,26; MgO 16,47; P₂O₅ 1,47; MnO 7,33.

3. Состав шлака, %: CaO 38,11; SiO₂ 34,44; FeO 5,41; Fe₂O₃ 1,56; MgO 12,97; P₂O₅ 1,40; MnO 6,11.

4. Состав шлака, %: CaO 33,11; SiO₂ 33,24; FeO 4,11; Fe₂O₃ 1,87; MgO 17,47; P₂O₅ 1,07; MnO 9,13.

5. Состав шлака, %: CaO 35,31; SiO₂ 32,34; FeO 6,91; Fe₂O₃ 1,76; MgO 15,77; P₂O₅ 1,77; MnO 6,14.

6. Состав шлака, %: CaO 37,74; SiO₂ 31,28; FeO 7,41; Fe₂O₃ 2,56; MgO 11,67; P₂O₅ 1,01; MnO 8,33.

7. Состав шлака, %: CaO 38,03; SiO₂ 29,97; FeO 5,83; Fe₂O₃ 1,75; MgO 17,54; P₂O₅ 1,62; MnO 5,26.

8. Состав шлака, %: CaO 31,84; SiO₂ 30,02; FeO 8,95; Fe₂O₃ 2,83; MgO 15,40; P₂O₅ 1,99; MnO 8,97.

9. Состав шлака, %: CaO 34,67; SiO₂ 31,35; FeO 7,71; Fe₂O₃ 1,12; MgO 16,61; P₂O₅ 1,21; MnO 7,33.

10. Состав шлака, %: CaO 38,57; SiO₂ 35,54; FeO 5,83; Fe₂O₃ 1,35; MgO 12,97; P₂O₅ 1,41; MnO 4,33.