

**Министерство образования и науки,  
молодежи и спорта Украины  
Донбасская государственная машиностроительная академия**

**ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА  
Ч. 1. ТЕОРИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ**

**Методические указания  
для самостоятельной подготовки к сдаче  
контрольной работы и экзамена по дисциплине**

**(для студентов специальности 6.05040201  
заочной формы обучения)**

*УТВЕРЖДЕНО*  
на заседании кафедры ТОЛП  
Протокол № 14 от 18.12.12 г.

Краматорск, 2012

## **УДК 669.02(07)**

Теория и технология металлургического производства. Часть 1. Теория металлургических процессов. Методические указания для самостоятельной подготовки к сдаче контрольной работы и экзамена для студентов специальности 6.05040201 заочной формы обучения / Сост. М.А. Турчанин. – Краматорск: ДГМА, 2012. – 30 с.

Методические указания предназначены для самостоятельной подготовки студентов специальности 6.05040201 заочной формы обучения к написанию контрольной работы и сдаче зачета по дисциплине «Теория и технология металлургического производства», Часть 1, «Теория металлургических процессов». Данное пособие содержит: структуру и примеры билетов к контрольной и экзаменационной работам, примеры ответов на билеты, перечень вопросов для подготовки к их выполнению, ссылки на методразработки, в которых были подробно освещены эти вопросы, критерии оценки ответов и др.

Составитель

**М.А. Турчанин, д.х.н., проф.**

Отв. за выпуск

**А.Н. Фесенко, к.т.н., доц.**

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 СТРУКТУРА БИЛЕТА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	6
2 ПРИМЕР БИЛЕТА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ .....	6
3 ПРИМЕР ОТВЕТА НА БИЛЕТ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ .....	7
4 ВОПРОСЫ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ.....	14
5 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ БИЛЕТА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ .....	16
6 СТРУКТУРА БИЛЕТА ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ РАБОТЫ .....	18
7 ПРИМЕР БИЛЕТА ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ РАБОТЫ .....	18
8 ПРИМЕР ОТВЕТА НА БИЛЕТ ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ РАБОТЫ .....	19
9 ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ .....	24
10 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА .....	26
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	29

## ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для самостоятельной подготовки студентов специальности 6.05040201 заочной формы обучения к написанию контрольной работы и сдаче экзамена по дисциплине «Теория и технология металлургического производства». Данное пособие содержит: структуру и примеры билетов к контрольной работе и экзамену, примеры ответов на билеты, перечень вопросов для подготовки к их выполнению, ссылки на методразработки, в которых были подробно освещены эти вопросы, критерии оценки ответов и др.

Цель изучения курса – уяснить физико-химический характер превращений, протекающих в металлургических системах и процессах.

Преподавание дисциплины базируется на знаниях, полученных в процессе усвоения курсов «Физика», «Химия», «Физическая химия» и др.

Задачи изучения курса состоят не только в углублении теоретической подготовки будущего специалиста по металлургии, но и в получении практических навыков, которые в последствии будут использованы при изучении второй части дисциплины – «Технология металлургического производства».

Рекомендуется следующий порядок самостоятельной проработки тем курса:

- ознакомиться с содержанием темы и методическими указаниями, чтобы представить объем и последовательность изложения материала;
- прочитать соответствующие разделы в основном учебнике;
- для расширения представлений о рассматриваемом вопросе обратиться к дополнительной литературе.

Приступая к изучению каждой новой темы курса, рекомендуется, прежде всего, ознакомиться с соответствующим разделом рекомендуемых методических указаний [1–3] и четко представить себе объем темы и последовательность разбираемых в ней вопросов. После изучения методических указаний можно переходить к предварительному ознакомлению с материалом по рекомендуемым учебникам [4, 5].

Когда этот первый этап работы выполнен, следует перейти к детальному изучению материала учебника. Читать учебник нужно вдумчиво, внимательно, не торопясь и не пропуская текста, стараясь понять каждую фразу. Если после тщательного изучения темы по учебнику с использованием методических указаний останутся неясные места, нужно обратиться за консультацией к преподавателю.

Чтобы легче запомнить и усвоить материал, рекомендуется составлять краткий конспект по каждому изученному разделу, так как конспект в сочетании с учебником помогает лучше подготовиться к контрольной работе и экзамену.

После изучения каждой темы нужно ответить устно на вопросы для самопроверки, помещенные в методических указаниях. Ответы на вопросы для самопроверки - важное средство самоконтроля. Они помогают закрепить в памяти материал курса.

Для лучшего закрепления теоретического материала рекомендуется решение задач. Задачи по основным темам курса и примеры их решения приведены в [2]. В [3] представлены многовариантные задачи и даны пояснения по их решению.

Контрольная работа и экзамен – заключительные этапы изучения курса. Залогом успешной их сдачи является систематическая работа над курсом и полное выполнение изложенных здесь требований.

## 1 СТРУКТУРА БИЛЕТА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

./п.	Структура билета	Количество во баллов
	Вопрос из темы 1.1 «Состав и свойства высокотемпературной газовой фазы»	50
	Вопрос из темы 1.2 «Образование и диссоциация химических соединений»	50
Оценка билета		100

## 2 ПРИМЕР БИЛЕТА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

### 1 ВОПРОС (50 баллов)

Окислительно-восстановительные свойства высокотемпературных газовых фаз.

### 2 ВОПРОС (50 баллов)

Общие закономерности окисления металлов.

### **3 ПРИМЕР ОТВЕТА НА БИЛЕТ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

#### **ВОПРОС 1 (50 баллов)**

Окислительно-восстановительные свойства высокотемпературных газовых фаз.

Для ответа на этот вопрос необходимо воспользоваться теоретическим материалом, который представлен в следующих работах:

1. **Турчанин, М. А.** Теория и технология металлургического производства. Ч.1. Теория металлургических процессов: Учеб. пособ. к практическим занятиям и изучению дисциплины / М.А. Турчанин. – Краматорск: ДГМА, 2008. – 80 с. – ISBN 978-966-379-278-3.
2. **Турчанин, М. А.** Методическое пособие к выполнению самостоятельной работы и изучению дисциплины “Теория и технология металлургического производства” для студентов специальности 7.090403. – Ч.1. Теория металлургического производства / М.А. Турчанин, А.Р. Абдулов. – Краматорск: ДГМА, 2006. – 48 с. – ISBN 966-379-088-1.
3. **Турчанин, М. А.** Методическое пособие для выполнения контрольных работ и изучения дисциплины “Теория и технология металлургического производства” для студентов специальности 7.090403 заочной формы обучения. Ч.1. Теория металлургического производства / М.А. Турчанин, Н.П. Калашник. – Краматорск: ДГМА, 2001. – 96 с.
4. **Рыжонков, Д. И.** Теория металлургических процессов: Учебник для вузов / Д.И.Рыжонков, П.П.Арсеньев, В.В.Яковлев, Л.А. Пронин, М.Г. Крашенинников, Н.Н. Дроздов. – М.: Металлургия, 1989. – 392 с.
5. **Борнацкий, И. И.** Теория металлургических процессов / И.И. Борнацкий. – Киев; Донецк: Выща школа, 1978. – 287 с.

*Ответ.*

Для оценки окислительных свойств газовой фазы используется величина кислородного потенциала газовой фазы. Значение кислородного потенциала

определяется парциальным давлением кислорода и температурой. Кислородный потенциал газовой фазы равен химическому потенциалу кислорода в данной фазе при использовании в качестве стандартного состояния с давлением кислорода  $P_{O_2} = 10^6 \text{ Па} = 1 \text{ атм.}$ :

$$\Pi_O = \mu_{O_2} - \mu_{O_2}^\circ = RT \ln P_{O_2},$$

где  $\mu_{O_2}$  – химический потенциал кислорода в газовой фазе;

$\mu_{O_2}^\circ$  – химический потенциал кислорода в стандартном состоянии;

$\Pi_O$  – кислородный потенциал газовой фазы.

При постоянной температуре значение кислородного потенциала газовой фазы тем выше, чем выше парциальное давление кислорода в ней, что позволяет использовать его в качестве меры окислительной способности газовой фазы. Чем выше значение кислородного потенциала, тем выше окислительная способность газовой смеси.

Парциальное давление молекулярного кислорода может быть рассчитано из общего давления смеси и состава смеси по уравнению

$$P_{O_2} = \frac{P_{\text{общ}}(C_{O_2})}{100},$$

отражающему суть закона Дальтона, где  $C_{O_2}$  – объемная процентная концентрация кислорода в газовой смеси.

Из выражения для  $\Pi_O$  следует, что кислородный потенциал газовой фазы зависит от температуры линейно. Для различных давлений кислорода в газовой фазе получается семейство прямых, берущих начало в точке, соответствующей значениям  $\Pi_O = 0 \text{ Дж/моль}$  и  $T = 0 \text{ К}$ . Для давлений кислорода в газовой фазе, меньших, чем  $10^5 \text{ Па}$ , кислородные потенциалы располагаются в области отрицательных значений.



В атмосферах металлургических агрегатов обычно присутствуют несколько газообразных веществ, способных реагировать с кислородом с образованием при этом нескольких продуктов. Такое сложное равновесие достигается лишь при одновременном достижении всех возможных в системе частных равновесий.

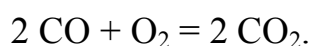
Для сложных газовых фаз в состоянии равновесия характерно условие общности равновесного парциального давления молекулярного кислорода и кислородного потенциала для частных равновесий, в которых участвует кислород. Следовательно, такая атмосфера будет иметь определенный кислородный потенциал, обусловленный любым из частных равновесий, включающих газообразный молекулярный кислород:

$$\begin{aligned} \Pi_{O(H_2-O_2-H_2O)} &= \Pi_{O(CO-O_2-CO_2)} = \\ &= \Pi_{O(SO_2-O_2-SO_3)} = \Pi_{O(\text{сложная атмосфера})} \end{aligned}$$

Кислородный потенциал данной газовой фазы  $CO-CO_2-H_2-H_2O-SO_2-SO_3-O_2$  может быть вычислен по данным любого из этих равновесий. Например, для газовой смеси  $CO-CO_2$  кислородный потенциал связан с температурой и составом зависимостью вида

$$\Pi_{O(CO/CO_2)} = \Delta G^\circ + 2RT \ln \left( \frac{P_{CO_2}}{P_{CO}} \right),$$

где  $\Delta G^\circ$  – стандартное изменение свободной энергии для реакции :



Аналогичный вид имеет выражение для кислородного потенциала смеси  $H_2-H_2O$ :

$$P_{O(H_2/H_2O)} = \Delta G^\circ + 2RT \ln \left( \frac{P_{H_2O}}{P_{H_2}} \right), \quad (1.15)$$

где  $\Delta G^\circ$  – стандартное изменение свободной энергии для реакции горения водорода.

## **ВОПРОС 2 (50 баллов)**

Общие закономерности окисления металлов.

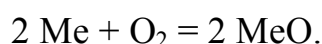
Для ответа на этот вопрос необходимо воспользоваться теоретическим материалом, который представлен в следующих работах:

1. **Турчанин, М. А.** Теория и технология металлургического производства. Ч.1. Теория металлургических процессов: Учеб. пособ. к практическим занятиям и изучению дисциплины / М.А. Турчанин. – Краматорск: ДГМА, 2008. – 80 с. – ISBN 978-966-379-278-3.
2. **Турчанин, М. А.** Методическое пособие к выполнению самостоятельной работы и изучению дисциплины “Теория и технология металлургического производства” для студентов специальности 7.090403. – Ч.1. Теория металлургического производства / М.А. Турчанин, А.Р. Абдулов. – Краматорск: ДГМА, 2006. – 48 с. – ISBN 966-379-088-1.
3. **Турчанин, М. А.** Методическое пособие для выполнения контрольных работ и изучения дисциплины “Теория и технология металлургического производства” для студентов специальности 7.090403 заочной формы обучения. Ч.1. Теория металлургического производства / М.А. Турчанин, Н.П. Калашник. – Краматорск: ДГМА, 2001. – 96 с.
4. **Рыжонков, Д. И.** Теория металлургических процессов: Учебник для вузов / Д.И.Рыжонков, П.П.Арсеньев, В.В.Яковлев, Л.А. Пронин, М.Г. Крашенинников, Н.Н. Дроздов. – М.: Металлургия, 1989. – 392 с.

5. **Борнацкий, И. И.** Теория металлургических процессов / И.И. Борнацкий. – Киев; Донецк: Выща школа, 1978. – 287 с.

*Ответ.*

Химическая прочность оксидов и их термодинамическая стабильность могут быть оценены по значению равновесного давления кислорода в системе металл – оксид металла для реакции образования оксида металла из металла и кислорода:



В случае, когда металл и оксид не образуют растворов, константа равновесия может быть представлена как

$$K_P = \frac{1}{P_{\text{O}_2}},$$

где  $P_{\text{O}_2}$  – равновесное давление кислорода над оксидом, называемое упругостью диссоциации оксида.

Эта величина может служить количественной характеристикой прочности данного оксида. Если фактическое давление кислорода в газовой фазе  $P'_{\text{O}_2}$  превышает равновесное давление кислорода  $P_{\text{O}_2}$ , создаются условия для окисления металла. Если давление  $P'_{\text{O}_2} < P_{\text{O}_2}$ , металл не окисляется, и может происходить диссоциация оксида.

Еще одной характеристикой термодинамических свойств оксида является величина его кислородного потенциала  $\Pi_{\text{O}(\text{MeO})}$ , равная кислородному потенциалу газовой фазы, находящейся в равновесии с оксидом и металлом:

$$P_{O(MeO)} = P_{O(Г.Ф.)} = RT \ln P_{O_2}.$$

В простейшем случае, когда металл и его оксид находятся в системе в виде чистых фаз, кислородный потенциал оксида металла может быть приравнен к стандартной энергии Гиббса его образования:

$$P_{O(MeO)} = \Delta G^\circ.$$

Последнее обстоятельство позволяет сравнить эти два параметра между собой и получить уравнение для расчета упругости диссоциации оксида через стандартную теплоту  $\Delta H^\circ$  и изменение стандартной энтропии  $\Delta S^\circ$  в ходе реакции образования оксида:

$$\ln P_{O_2} = \frac{\Delta H^\circ}{RT} - \frac{\Delta S^\circ}{R}.$$

Термодинамическое условие окисления металла газовой фазой определяются соотношением кислородных потенциалов газовой фазы и оксида металла:

$$P_{O(Г.Ф.)} > P_{O(MeO)}$$

Значение кислородного потенциала оксида важно при выборе так называемых защитных атмосфер, в которых можно нагревать металл, не подвергая его окислению.

В случае образования растворов в системе металл – оксид металла изменяются характеристики прочности оксида. При понижении активности оксида (понижение его концентрации в растворе) величина равновесного парциального давления кислорода уменьшается, т.е. термодинамическая

прочность оксида увеличивается. Растворение металла (понижение его активности в растворе) увеличивает значение  $P_{O_2}$ , т.е. приводит к понижению термодинамической прочности оксида.

#### 4 ВОПРОСЫ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

1. Окислительно-восстановительные свойства высокотемпературных газовых фаз.
2. Реакция горения монооксида углерода.
3. Реакция горения водорода.
4. Реакция водяного газа.
5. Механизм взаимодействия реагентов с окислителем в газовых смесях.
6. Механизм реакций горения монооксида углерода и водорода.
7. Диссоциация молекул на атомы и радикалы.
8. Физико-химические свойства углерода.
9. Реакции неполного и полного горения углерода.
10. Реакции взаимодействия углерода с водяным паром.
11. Реакция взаимодействия углерода с диоксидом углерода.
12. Кинетический и диффузионный режимы гетерогенной реакции.
13. Механизм взаимодействия углерода с газообразными окислителями.
14. Механизм и кинетика распада монооксида углерода.
15. Термодинамический анализ процессов образования и диссоциации соединений в гетерогенных системах.
16. Газообразная диссоциация.
17. Конденсатная диссоциация.
18. Влияние образования растворов на упругость диссоциации.
19. Термодинамические условия образования и роста новой фазы.
20. Образование и рост зародышей новой фазы.
21. Кинетические особенности процессов диссоциации.
22. Реакция разложения карбоната кальция.
23. Механизм реакции разложения карбоната кальция.
24. Общие закономерности окисления металлов.
25. Факторы, влияющие на термодинамическую стабильность оксидов.

26. Термодинамические закономерности образования и диссоциации оксидов железа.
27. Диаграмма состояния системы “железо-кислород”.
28. Изотермы упругости диссоциации оксидов железа.
29. Кинетические закономерности окисления металлов.
30. Диффузионные процессы в твердых телах.
31. Механизм окисления железа. Опыт Пфейля.
32. Структура окарины.

## 5 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ БИЛЕТА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

№ п./п.	Структура билета	Количество баллов
1	Вопрос из темы 1.1 «Состав и свойства высокотемпературной газовой фазы»	50
2	Вопрос из темы 1.2 «Образование и диссоциация химических соединений»	50
Оценка билета		100

- оценки «А» (90-100 баллов, «отлично») за билет заслуживает студент, который в полном объеме ответил на все вопросы билета, логично и последовательно их обосновал, сопровождая их необходимыми формулами, уравнениями химических реакций и т.д., а также продемонстрировал понимание связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса и с реальными процессами, имеющими место в металлургических системах;

- оценки «В» (81-89 баллов, «хорошо») за билет заслуживает студент, который правильно и в полном объеме с минимальными ошибками ответил на все вопросы билета, логично и последовательно их обосновал, сопровождая их необходимыми формулами, уравнениями химических реакций и т.д., а также продемонстрировал понимание связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса и с реальными процессами, имеющими место в металлургических системах;

- оценки «С» (75-80 баллов, «хорошо») за билет заслуживает студент, который в основном правильно и в достаточном для усвоения объеме ответил на все вопросы билета, дал им обоснование, сопровождал необходимыми формулами, уравнениями химических реакций и т.д., допустив при этом, незначительные ошибки, а также продемонстрировал понимание связи рассматриваемых вопросов



с основными положениями курса и с реальными процессами, имеющими место в металлургических системах;

- оценки «D» (65-74 балла, «удовлетворительно») за билет заслуживает студент, который в основном правильно и в достаточном объеме ответил на вопросы билета, но при этом не в полной мере и не всегда последовательно сопровождал необходимыми формулами, уравнениями химических реакций и т.д., а также не всегда демонстрировал понимание связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса;

- оценки «E» (55-64 балла, «удовлетворительно») за билет заслуживает студент, который в минимально допустимом объеме ответил на вопросы билета, но при этом не в полной мере и не всегда последовательно и логично аргументировал свои ответы;

- оценки «FX» (30-54 балла, «неудовлетворительно») за билет заслуживает студент, который при ответе на вопросы билета допустил ошибки и испытывал затруднения с обоснованием ответов, а также испытывал затруднения в понимании связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса и проблемами металлургического производства;

- оценки «F» (1-29 баллов, «неудовлетворительно») за билет заслуживает студент, который при ответе на вопросы билета допустил принципиальные ошибки и продемонстрировал непонимание связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса и проблемами металлургического производства.

## 6 СТРУКТУРА БИЛЕТА ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ РАБОТЫ

№ п/п	Структура экзаменационного билета	Количество баллов
1	Вопрос из темы 1.3 «Теоретические основы восстановительных процессов»	50
2	Вопрос из темы 1.4 «Строения и свойства металлургических расплавов» или Вопрос из темы 1.5 «Основы взаимодействия металлической, оксидной и газовой фаз»	50

## 7 ПРИМЕР БИЛЕТА ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ РАБОТЫ

### ВОПРОС 1 (50 баллов)

Термодинамические основы восстановления газообразным восстановителем.

### ВОПРОС 2 (50 баллов)

Распределение кислорода между металлом и шлаком.

## 8 ПРИМЕР ОТВЕТА НА БИЛЕТ ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ РАБОТЫ

### ВОПРОС 1 (50 баллов)

Термодинамические основы восстановления газообразным восстановителем.

Для ответа на этот вопрос необходимо воспользоваться теоретическим материалом, который представлен в следующих работах:

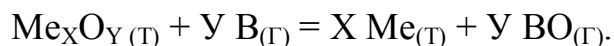
1. **Турчанин, М. А.** Теория и технология металлургического производства. Ч.1. Теория металлургических процессов: Учеб. пособ. к практическим занятиям и изучению дисциплины / М.А. Турчанин. – Краматорск: ДГМА, 2008. – 80 с. – ISBN 978-966-379-278-3.
2. **Турчанин, М. А.** Методическое пособие к выполнению самостоятельной работы и изучению дисциплины “Теория и технология металлургического производства” для студентов специальности 7.090403. – Ч.1. Теория металлургического производства / М.А. Турчанин, А.Р. Абдулов. – Краматорск: ДГМА, 2006. – 48 с. – ISBN 966-379-088-1.
3. **Турчанин, М. А.** Методическое пособие для выполнения контрольных работ и изучения дисциплины “Теория и технология металлургического производства” для студентов специальности 7.090403 заочной формы обучения. Ч.1. Теория металлургического производства / М.А. Турчанин, Н.П. Калашник. – Краматорск: ДГМА, 2001. – 96 с.
4. **Рыжонков, Д. И.** Теория металлургических процессов: Учебник для вузов / Д.И.Рыжонков, П.П.Арсеньев, В.В.Яковлев, Л.А. Пронин, М.Г. Крашенинников, Н.Н. Дроздов. – М.: Металлургия, 1989. – 392 с.
5. **Борнацкий, И. И.** Теория металлургических процессов / И.И. Борнацкий. – Киев; Донецк: Выща школа, 1978. – 287 с.

*Ответ*

Термодинамические условия восстановления оксидов газообразными восстановителями определяются соотношением кислородных потенциалов газовой фазы и оксида металла:

$$\Pi_{O(Г.Ф.)} < \Pi_{O(Ме_XO_Y)}.$$

За счет стремления к выравниванию потенциалов кислород переходит из оксидной фазы в газовую фазу. Реакция восстановления оксида металла может быть записана в общем виде следующим образом:



В случае если оксид и металл представляют собой чистые фазы, их активности могут быть приняты равными единице, и константа равновесия примет вид

$$K_{P(2.15)} = \frac{P_{BO}^Y}{P_B^Y}.$$

Кислородный потенциал  $\Pi_{O(Ме_XO_Y)}$  в этом случае можно оценить по выражению:

$$\Pi_{O(Ме_XO_Y)} = \Delta G^\circ,$$

где  $\Delta G^\circ$  – стандартная энергия Гиббса реакции образования оксида. В реальных процессах восстановления участвуют не чистые оксиды, а металлическая и оксидная фазы часто образуют растворы. Для таких систем необходимо пользоваться обобщенным уравнением для кислородного потенциала

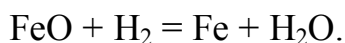
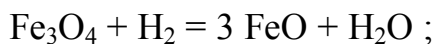
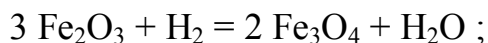
оксидов металлов, принимающим во внимание термодинамические активности компонентов  $a_i$  :

$$\Pi_{O(MeXO_Y)} = \Delta G_{MeXO_Y}^{\circ} + nRT \ln a_{MeXO_Y} - mRT \ln a_{Me},$$

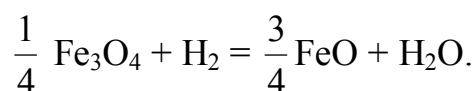
где стехиометрические коэффициенты  $m$  и  $n$  равны  $m = 2X/Y$  и  $n = 2/Y$ .

В качестве газообразных восстановителей наиболее широко используются водород и монооксид углерода. Кислородный потенциал газовых смесей  $H_2 - H_2O$  и  $CO - CO_2$  зависит от состава этих смесей, температуры.

Восстановление оксидов металлов, имеющих несколько степеней окисления, происходит последовательно. Например, восстановление оксидов железа водородом при температурах выше 843 К происходит в соответствии с реакциями:



При температурах ниже 843 К, когда вюстит становится термодинамически неустойчивым, восстановление  $Fe_3O_4$  происходит до железа:



## **ВОПРОС 2 (50 баллов)**

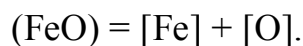
Распределение кислорода между металлом и шлаком.

Для ответа на этот вопрос необходимо воспользоваться теоретическим материалом, который представлен в следующих работах:

1. **Турчанин, М. А.** Теория и технология металлургического производства. Ч.1. Теория металлургических процессов: Учеб. пособ. к практическим занятиям и изучению дисциплины / М.А. Турчанин. – Краматорск: ДГМА, 2008. – 80 с. – ISBN 978-966-379-278-3.
2. **Турчанин, М. А.** Методическое пособие к выполнению самостоятельной работы и изучению дисциплины “Теория и технология металлургического производства” для студентов специальности 7.090403. – Ч.1. Теория металлургического производства / М.А. Турчанин, А.Р. Абдулов. – Краматорск: ДГМА, 2006. – 48 с. – ISBN 966-379-088-1.
3. **Турчанин, М. А.** Методическое пособие для выполнения контрольных работ и изучения дисциплины “Теория и технология металлургического производства” для студентов специальности 7.090403 заочной формы обучения. Ч.1. Теория металлургического производства / М.А. Турчанин, Н.П. Калашник. – Краматорск: ДГМА, 2001. – 96 с.
4. **Рыжонков, Д. И.** Теория металлургических процессов: Учебник для вузов / Д.И.Рыжонков, П.П.Арсеньев, В.В.Яковлев, Л.А. Пронин, М.Г. Крашенинников, Н.Н. Дроздов. – М.: Металлургия, 1989. – 392 с.
5. **Борнацкий, И. И.** Теория металлургических процессов / И.И. Борнацкий. – Киев; Донецк: Выща школа, 1978. – 287 с.

### *Ответ*

В современных металлургических процессах важную роль играют процессы окислительного рафинирования. Для их успешного протекания необходимо обеспечить необходимый уровень концентрации кислорода в металлической ванне. Процесс перехода кислорода из шлака в металл можно представить уравнением реакции



Рассматривая равновесие данной реакции, термодинамическую активность железа можно принять равной единице. В этом случае, коэффициент распределения кислорода между металлом и шлаком представляет собой отношение

$$L_{\text{O}} = -\frac{a_{[\text{O}]}}{a_{(\text{FeO})}},$$

где  $a_{[\text{O}]}$  – активность кислорода в металле;

$a_{(\text{FeO})}$  – активность FeO в шлаке.

Для разбавленных растворов кислорода в железе можно принять  $a_{[\text{O}]} = [\% \text{O}]$ .

Коэффициент распределения кислорода между металлом и шлаком, обладая свойствами константы равновесия, не зависит от концентрации веществ, а зависит только от температуры. В связи с этим, зависимость максимальной растворимости кислорода в чистом железе от температуры определяется уравнением вида:

$$\lg [\% \text{O}]_{\max} = -\frac{A}{T} + B,$$

где A и B – константы, приведенные в справочной литературе.

Исходя из приведенных выше выражений, находим:

$$[\% \text{O}] = a_{(\text{FeO})} [\% \text{O}]_{\max}.$$

Таким образом, при заданной температуре концентрация кислорода в металле, и, следовательно, окислительная способность металлической ванны тем выше, чем выше концентрация FeO в шлаке. В ходе реальных металлургических процессов для повышения концентрации FeO в шлак присаживают железную руду или агломерат.

## 9 ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ ПО КУРСУ ТТМП

1. Термодинамические основы восстановления газообразным восстановителем.
2. Восстановление оксидов железа монооксидом углерода.
3. Восстановление оксидов железа водородом.
4. Термодинамические основы восстановления в присутствии твердого углерода.
5. Температура начала восстановления. Графическая интерпретация способов определения температуры начала восстановления.
6. Восстановление оксидов железа в присутствии твердого углерода.
7. Процессы науглероживания железа.
8. Металлотермическое восстановление оксидов металлов.
9. Особенности восстановления оксидов металлов из растворов.
10. Изотермы давления газа-восстановителя при восстановлении оксидов железа.
11. Восстановление оксидов при переходе продукта восстановления в раствор
12. Восстановление оксидов, связанных в сложные соединения.
13. Кинетика восстановления оксидов газом-восстановителем.
14. Механизм восстановительных процессов.
15. Строение жидких металлов.
16. Вязкость, плотность, поверхностное натяжение, электрическое сопротивление жидких металлов.
17. Химический и минералогический состав шлаков.
18. Диаграммы состояния шлаковых систем.
19. Строение шлаков.
20. Плотность, поверхностные свойства, вязкость шлаковых расплавов.
21. Молекулярная теория шлаковых расплавов.
22. Ионная теория шлаковых расплавов.
23. Термодинамические основы окислительного рафинирования металлов.



24. Распределение кислорода между металлом и шлаком.
25. Растворимость кислорода в жидких металлах и сложных растворах.
26. Термодинамические основы реакции окисления углерода в кислородосодержащем железе.
27. Распределение кремния, марганца, фосфора и серы между расплавами железа и оксидными расплавами.
28. Межфазное распределение примесей при окислительном рафинировании.
29. Кинетические закономерности реакции обезуглероживания железа.
30. Раскисление стали.
31. Осаждающее раскисление.
32. Диффузионное раскисление.
33. Термодинамические и кинетические закономерности растворения азота и водорода в металлах и сплавах.
34. Дегазация металла.
35. Азот и водород в оксидных расплавах.

## 10 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА

№№ п / п	Структура билета	Количество баллов
1	Вопрос из темы 1.3 «Теоретические основы восстановительных процессов»	50
2	Вопрос из темы 1.4 «Строения и свойства металлургических расплавов» или Вопрос из темы 1.5 «Основы взаимодействия металлической, оксидной и газовой фаз»	50
Оценка билета		100

- оценки «А» (90-100 баллов, «отлично») за билет заслуживает студент, который в полном объеме ответил на все вопросы билета, логично и последовательно их обосновал, сопровождая их необходимыми формулами, уравнениями химических реакций и т.д., а также продемонстрировал понимание связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса и с реальными процессами, имеющими место в металлургических системах;

- оценки «В» (81-89 баллов, «хорошо») за билет заслуживает студент, который правильно и в полном объеме с минимальными ошибками ответил на все вопросы билета, логично и последовательно их обосновал, сопровождая их необходимыми формулами, уравнениями химических реакций и т.д., а также продемонстрировал понимание связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса и с реальными процессами, имеющими место в металлургических системах;

- оценки «С» (75-80 баллов, «хорошо») за билет заслуживает студент, который в основном правильно и в достаточном для усвоения объеме ответил на

все вопросы билета, дал им обоснование, сопровождал необходимыми формулами, уравнениями химических реакций и т.д., допустив при этом, незначительные ошибки, а также продемонстрировал понимание связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса и с реальными процессами, имеющими место в металлургических системах;

- оценки «D» (65-74 балла, «удовлетворительно») за билет заслуживает студент, который в основном правильно и в достаточном объеме ответил на вопросы билета, но при этом не в полной мере и не всегда последовательно сопровождал необходимыми формулами, уравнениями химических реакций и т.д., а также не всегда демонстрировал понимание связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса;

- оценки «E» (55-64 балла, «удовлетворительно») за билет заслуживает студент, который в минимально допустимом объеме ответил на вопросы билета, но при этом не в полной мере и не всегда последовательно и логично аргументировал свои ответы;

- оценки «FX» (30-54 балла, «неудовлетворительно») за билет заслуживает студент, который при ответе на вопросы билета допустил ошибки и испытывал затруднения с обоснованием ответов, а также испытывал затруднения в понимании связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса и проблемами металлургического производства;

- оценки «F» (1-29 баллов, «неудовлетворительно») за билет заслуживает студент, который при ответе на вопросы билета допустил принципиальные ошибки и продемонстрировал непонимание связи рассматриваемых вопросов с основными положениями курса и проблемами металлургического производства.

Оценка по экзамену для студентов заочного отделения состоит из двух частей:

1. Оценка контрольной работы (КР) ( весовой коэффициент – 0,50) – 0 ... 100 баллов.

2. Оценка экзамена (ПЧЭ) (весовой коэффициент – 0,50) – 0 ... 100 баллов.

Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$ОЦЕНКА(0...100) = 0,5 \times КР(0...100) + 0,5 \times ПЧЭ(0...100)$$

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Турчанин, М. А.** Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни „Теорія і технологія металургійного виробництва” для студентів спеціальності 7.090403. Ч.1. Теорія металургійного виробництва / М.А. Турчанин. – Краматорськ: ДДМА, 2006. – 60 с.

2 **Турчанин, М. А.** Теория и технология металлургического производства. Ч.1. Теория металлургических процессов: Учеб. пособ. к практическим занятиям и изучению дисциплины / М.А. Турчанин. – Краматорск: ДГМА, 2008. – 80 с. . – ISBN 978-966-379-278-3.

3 **Турчанин, М. А.** Методическое пособие к выполнению самостоятельной работы и изучению дисциплины “Теория и технология металлургического производства” для студентов специальности 7.090403. – Ч.1. Теория металлургического производства / М.А. Турчанин, А.Р. Абдулов. – Краматорск: ДГМА, 2006. – 48 с. – ISBN 966-379-088-1.

4 **Турчанин, М. А.** Методическое пособие для выполнения контрольных работ и изучения дисциплины “Теория и технология металлургического производства” для студентов специальности 7.090403 заочной формы обучения. Ч.1. Теория металлургического производства / М.А. Турчанин, Н.П. Калашник. – Краматорск: ДГМА, 2001. – 96 с.

5 **Турчанин, М. А.** Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Теория и технология металлургического производства" для студентов специальности 7.090403. – Ч.3.: Специальные способы плавки/ М.А. Турчанин. – Краматорск: ДГМА, 2004. – 32 с.

6 **Рыжонков, Д. И.** Теория металлургических процессов: Учебник для вузов / Д.И.Рыжонков, П.П.Арсеньев, В.В.Яковлев, Л.А. Пронин, М.Г. Крашенинников, Н.Н. Дроздов. – М.: Металлургия, 1989. – 392 с.

7 **Борнацкий, И. И.** Теория металлургических процессов / И.И. Борнацкий. – Киев; Донецк: Выща школа, 1978. – 287 с.

8 **Казачков, Е. А.** Расчеты по теории металлургических процессов: Учеб. пособие для вузов / Е.А. Казачков. – М.: Металлургия, 1988. – 288 с. – ISBN 5-220-00047-3.

9 **Шурхал, В. Я.** Фізико-хімія металургійних систем і процесів: Підручник / В.Я. Шурхал, В.К. Ларін, Д.Ф. Чернега та ін. – К.: Вища шк., 2000. – 407 с. – ISBN 5-11-004835-5.

### **Дополнительная литература**

10 **Сабирзянов, Т. Г.** Термодинамика металлургических реакций: Учеб. пособие / Т.Г. Сабирзянов. – К.: УМК ВО, 1990. – 56 с. – ISBN 5-7763-0282-X.

11 **Морачевский, А. Г.** Термодинамические расчеты в металлургии: Справочник / А.Г. Морачевский, И.Б. Сладков. – М.: Металлургия, 1985. – 137 с.

12 **Кубашевский, О.** Металлургическая термохимия: пер. с англ. / О. Кубашевский, С.Б. Олкокк – М.: Металлургия, 1982. – 390 с.

13 **Григорян, В.А.** Теоретические основы электросталеплавильных процессов / В.А. Григорян, Л.Н. Белянчиков, А.Я. Стомахин – М.: Металлургия, 1987.- 272 с.

14 **Рыжонков, Д. И.** Расчеты металлургических процессов на ЭВМ: Учеб. пособие для вузов / Д.И. Рыжонков, С.Н. Падерин, Г.В. Серов, Л.К. Жидкова. – М.: Металлургия, 1987. – 231 с.

15 **Островский, О.И.** Свойства металлических расплавов / О.И. Островский, В.А. Григорян, А.Ф. Вишкарёв -М.: Металлургия, 1988.- 304с. – ISBN 5-229-00042-2

16 **Киреев, И. И.** Курс физической химии / И. И. Киреев - М.: Высшая школа, 1975. - 832 с.

17 **Жуховицкий, А.А.** Физическая химия / А.А. Жуховицкий, Л.А. Шварцман. – М.: Металлургия, 1976. – 543 с.

18 **Филиппов, С.И.** Теория металлургических процессов / С.И. Филиппов. – М.: Металлургия, 1967. – 280 с.

**Министерство образования и науки,  
молодежи и спорта Украины  
Донбасская государственная машиностроительная академия**

**ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА  
Ч. 1. ТЕОРИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ**

**Методические указания  
для самостоятельной подготовки к сдаче  
контрольной работы и экзамена по дисциплине**

**(для студентов специальности 6.05040201  
заочной формы обучения)**

**Краматорск, 2012**