

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ
им. А.А. БАЙКОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
МЕТАЛЛУРГИЯ НИКЕЛЯ И КОБАЛЬТА

Направление подготовки: **22.06.01 Технологии материалов**

Направленность подготовки:
Металлургия черных, цветных и редких металлов

Одобрено на заседании
Ученого совета ИМЕТ РАН
_____ 2017 г.
Протокол № _____

Москва 2017 год

Курс «Металлургия никеля и кобальта» направлен на углубленное изучение металлургии никеля и кобальта, в т.ч.

- изучение технологии производства никеля и кобальта;
- изучение комплексной переработки сырья для металлургического производства;
- изучение аппаратных особенностей оформления металлургических процессов;
- усовершенствование практических навыков металлургических расчетов;
- приобретение навыков проведения лабораторных, технологических и научных экспериментов по определенной методике; анализ исходных, конечных продуктов и результатов исследования.

Вопросы для подготовки к собеседованиям по темам курса

Темы 1-2: «Историческая справка. Физические и химические свойства. Применение никеля и кобальта», «Распространенность в природе. Сырьевые источники никеля и кобальта.»

Вопросы к собеседованию 1:

- 1) Области применения никеля и кобальта.
- 2) Основные физико-химические свойства никеля и кобальта.
- 3) Какие существуют основные типы сырьевых источников никеля и кобальта?
- 4) В виде каких минералов присутствуют никель и кобальт в рудном сырье?

Темы 3-4: «Месторождения и технологии переработки сульфидных руд», «Месторождения окисленных никелевых руд. Природные типы окисленных никелевых руд»

Вопросы к собеседованию 2:

- 1) Какие аппараты используются для дробления и измельчения шихты.
- 2) Основные химические реакции, протекающие при окислительном обжиге сульфидных руд.
- 3) Какие типы печей применяются при окислительном обжиге сульфидных никелевых концентратов.
- 4) Что является продуктом окисления сульфидной шихты.
- 5) Что такое степень десульфуризации.
- 6) Типы месторождений окисленных никелевых руд.
- 7) Основные операции технологической схемы обогащения окисленных никелевых руд.

Тема 5: «Технологии переработки магнезиальных силикатных руд никелевых руд»

Вопросы к собеседованию 3:

- 1) Основные закономерности шахтной восстановительно сульфидирующей плавки на штейн окисленных никелевых руд. Химизм процесса.
- 2) Устройство и принцип работы шахтной печи для плавки окисленных никелевых руд. Особенности конвертирования никелевых штейнов, основные реакции, продукты.

Темы 6: «Технологии гидрометаллургического извлечения никеля и кобальта из железистых латеритных никелевых руд»

Вопросы к собеседованию 4:

- 1) Основные закономерности при автоклавном сернокислотном выщелачивании железистых никелевых руд.
- 2) Основные закономерности при аммиачно-карбонатном выщелачивании восстановленных окисленных никелевых руд.

Методика решения задач

Расчетная задача 1

(Расчет рационального состава руд и концентратов)

Вариант 1. Рассчитать рациональный состав медного концентрата.

Исходные данные:

1. Химический состав, %: Cu 13,5; Pb 0,5; Zn 1,5; Fe 35,0; S 40,0; SiO₂ 4,5; CaO 1,0; MgO 0,5; прочих 3,5.
2. Минеральный состав: CuFeS₂, PbS, ZnS, FeS₂. Остальные компоненты концентрата являются оксидами.

Расчет:

Определяем количество сульфидных минералов на 100 кг концентрата.

$$\begin{aligned} \text{CuFeS}_2: \text{Cu} &= 13,5 \text{ кг}; \text{Fe} = \frac{13,5 \cdot 56}{64} = 11,8 \text{ кг}; \text{S} = 13,5 \text{ кг}. \\ \text{PbS}: \text{Pb} &= 0,5 \text{ кг}; \text{S} = \frac{0,5 \cdot 32}{207} = 0,077 \text{ кг}. \\ \text{ZnS}: \text{Zn} &= 1,5 \text{ кг}; \text{S} = \frac{1,5 \cdot 32}{65} = 0,74 \text{ кг}. \end{aligned}$$

Количество серы, которое будет связано в пирит:

$$\begin{aligned} \text{S}_2 &= 40 - 13,5 - 0,077 - 0,74 = 25,683 \text{ кг}. \\ \text{Fe} &= \frac{56 \cdot 25,683}{64} = 22,47 \text{ кг}. \end{aligned}$$

Остальное количество железа будет связано в магнетит Fe₃O₄:

$$\begin{aligned} \text{Fe} &= 23,2 - 22,47 = 0,73 \text{ кг}. \\ \text{O}_2 &= \frac{0,73 \cdot 64}{168} = 0,28 \text{ кг}. \end{aligned}$$

Кроме того, в концентрате присутствуют оксидные минералы CaCO₃ и MgCO₃. Количество CO₂ в этих минералах равно:

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ в } \text{CaCO}_3 &= \frac{1,0 \cdot 44}{56} = 0,785 \text{ кг}. \\ \text{CO}_2 \text{ в } \text{MgCO}_3 &= \frac{0,5 \cdot 84}{40} = 1,05 \text{ кг}. \end{aligned}$$

Результаты расчетов сводятся в таблицу рационального состава медного концентрата:

Наимен.	Cu	Pb	Zn	Fe	S	O ₂	SiO ₂	CaO	MgO	CO ₂	Проч.	Итого
CuFeS ₂	13,5			11,8	13,5							38,8
PbS		0,5			0,077							0,577
ZnS			1,5		0,74							2,24
FeS ₂				22,47	25,68							48,153
Fe ₃ O ₄				0,73		0,28						1,01
SiO ₂							4,5					4,5
CaCO ₃								1,0		0,785		1,785
MgCO ₃									0,5	0,55		1,05
Проч.											1,885	1,885
Итого												

Вариант 2. Рассчитать рациональный состав медного концентрата.

Исходные данные:

1. Химический состав: % Cu 35,0; Fe 22,3; S 32,6; SiO₂ 4,5; CaO 2,1; MgO 0,5; прочие 3,0.
2. Минеральный состав: халькопирит (CuFeS₂), ковеллин (CuS), пирит FeS₂, оксиды и карбонаты (пустая порода).
3. Количественное соотношение между халькопиритом и ковеллином равно 3÷1.

Решение:

Допустим в 4 кг – 3 кг CuFeS₂ и 1 кг CuS.

$$x_{Cu \text{ в } CuFeS_2} = \frac{3 \cdot 63,5}{183,3} = 1,04 \text{ кг } Cu$$

$$x_{Cu \text{ в } CuS} = \frac{1 \cdot 63,5}{95,5} = 0,66 \text{ кг } Cu$$

В 4 кг смеси этих двух минералов в отношении 3÷1 будет присутствовать:

$$Cu = 1,04 + 0,66 = 1,7 \text{ кг.}$$

Тогда от общего содержания в исходном концентрате Cu будет распределяться между CuFeS₂ и CuS следующим образом:

$$Cu_{CuFeS_2} = \frac{1,04 \cdot 100}{1,7} = 61,2\% \approx 60\%$$

$$Cu_{CuS} = \frac{0,66 \cdot 100}{1,7} = 38,8\% \approx 40\%$$

$$x_{Cu \text{ в } CuFeS_2} = 35 \cdot 0,6 = 21 \text{ кг } Cu$$

$$x_{Cu \text{ в } CuS} = 35 \cdot 0,4 = 14 \text{ кг } Cu$$

На основании расчетов, получаем рациональный состав медного концентрата:

	Компоненты							
	Cu	Fe	S	SiO ₂	CaO	MgO	Прочие	Всего
CuFeS ₂	21	18,42	21,1					60,52
CuS	14		7,06					21,06
FeS ₂		3,88	4,45					8,33
SiO ₂				4,5				4,5
CaCO ₃					2,1		1,65	3,75
MgCO ₃						0,5	0,55	1,05
Прочие							0,8	0,8
Всего	35	22,3	32,61	4,5	2,1	0,5	3	100,01

Расчетная задача 2:

(Расчет энергии активации и порядка реакции процесса выщелачивания никелевых руд с последующим определением лимитирующих стадий)

Вариант 1.

Исходные данные:

При выщелачивании Ni-вой руды в условиях атмосферного давления и переменного механического перемешивания получены следующие результаты констант скорости выщелачивания (k_i):

n, об/мин	120	140	180	200
k ₁ , t=30°C	1,11	1,55	2,2	2,7
k ₂ , t=80°C	2,1	2,38	4,22	5,17

Определить лимитирующую стадию процесса выщелачивания и рассчитать энергию активации.

Решение:

Согласно уравнению Аррениуса $k_i(T) = A \cdot e^{-E/RT_i}$, для начальных скоростей выщелачивания можно записать следующие зависимости:

$$\begin{aligned} 1,11 &= A \cdot e^{-E/RT_1} \\ 2,1 &= A \cdot e^{-E/RT_2} \end{aligned}$$

Тогда изменение скорости выщелачивания при увеличении температуры процесса можно вычислить:

$$\begin{aligned} 1,11 / 2,1 &= e^{-E/R \cdot (1/303 - 1/353)} \\ \lg 0,528 &= -E / 4,575 \cdot 0,000467 \\ E_a &= 2717,24 \text{ кал/моль} = 2,72 \text{ ккал/моль.} \end{aligned}$$

Как видно из таблицы, скорость выщелачивания зависит от скорости перемешивания. Следовательно, для процесса выщелачивания лимитирующей стадией является внешняя диффузия, что также подтверждается рассчитанным значением $E_a = 2,72$ ккал/моль.

Вариант 2.

Исходные данные:

В процессе выщелачивания Ni-вой руды растворами H_2SO_4 (при концентрации реагента C_1 и $1,5C_1$) в условиях переменного механического перемешивания при $t = 70^\circ C$ получены следующие результаты скорости выщелачивания (k_i):

n, об/мин	50	100	150	220	260
j_1, C_1	0,5	1	2,0	3	3
$j_2, 1,5C_1$	0,75	1,5	3,0	6,75	6,75

Определить лимитирующую стадию процесса выщелачивания и рассчитать порядок реакции.

Решение:

Как видно из таблицы, при значениях n до 220 об/мин скорость выщелачивания зависит от скорости перемешивания, следовательно, в этих условиях процесс лимитируется внешней диффузией. При последующем увеличении оборотов мешалки значение скорости не изменяется, следовательно, процесс переходит в кинетическую область.

Далее рассчитаем порядок реакции для процессов выщелачивания, проведенных при числе оборотов мешалки до 220 об/мин и больше.

До 220 об/мин:

$$\begin{aligned} j_1 &= k (C_1)^n = 1 \\ j_2 &= k (1,5C_1)^n = 1,5 \\ j_1 / j_2 &= 1/1,5 = (1/1,5)^n \\ n &= 1 \end{aligned}$$

Больше 220 об/мин:

$$\begin{aligned} j_1 &= k (C_1)^n = 3 \\ j_2 &= k (1,5C_1)^n = 6,75 \\ j_1 / j_2 &= 3/6,75 = (1/1,5)^n \\ n &= 2 \end{aligned}$$

Рассчитанные значения порядков реакции $n = 1$ и $n = 2$ подтверждают сделанные выводы о лимитирующих стадиях.

Самостоятельная работа по дисциплине «Металлургия никеля и кобальта»

Самостоятельная работа аспирантов проводится в форме изучения отдельных теоретических вопросов по предлагаемой литературе. Во время самостоятельной подготовки обучающиеся обеспечиваются доступом к сети Интернет, к не менее, чем одной электронной библиотеке, и доступом к электронным научным базам. Основные виды самостоятельной работы: в читальном зале библиотеки с доступом к ресурсам Интернет, в домашних условиях с доступом к ресурсам Интернет.

Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации – экзамену

Экзамен проводится в устной форме, где обучающемуся задается 2 вопроса из следующего перечня:

1. Классификация рудного сырья для получения никеля и кобальта. Роль вторичного сырья в металлургии никеля. Вспомогательные материалы в металлургии никеля.
2. Подготовка руд и концентратов к металлургической переработке. Складирование, шихтоподготовка, сушка, окускование. Их назначение и используемое оборудование.
3. Окисленные никелевые руды, их характеристика. Мировые запасы и месторождения окисленных никелевых руд.
4. Переработка окисленных никелевых руд. Мировые заводы, перерабатывающие окисленные никелевые руды.
5. Обогащение окисленных никелевых руд. Сегрегационный обжиг.
6. Пирометаллургические способы переработки окисленных никелевых руд.
7. Плавка окисленных никелевых руд на ферроникель. Состав сырья и особенности процесса. Продукты плавки и их дальнейшая переработка.
8. Восстановительно-сульфидирующая плавка окисленных никелевых руд с получением штейна. Конструкция шахтной печи для плавки ОНР и особенности процесса плавки.
9. Основные химические реакции, протекающие при восстановительно-сульфидирующей плавке окисленных никелевых руд. Роль пирита и гипса при плавке.
10. Состав газовой фазы восстановительно-сульфидирующей шахтной плавки окисленных никелевых руд. Факторы, оказывающие влияние на расход кокса. Интенсификация процесса плавки.
11. Получение ферроникеля из штейна. Особенности технологического процесса.
12. Кричный процесс. Производство крицы ферроникеля во вращающихся печах из окисленных никелевых руд.
13. Технологические проблемы кричного производства.
14. Конструкция вращающихся печей. Тепловой режим вращающейся печи. Процессы, протекающие в различных зонах печи.
15. Схема технологического процесса производства крицы ферроникеля.
16. Причины образования шлаковых и металлических настывлей во вращающейся печи и меры их предотвращения.
17. Гидрометаллургические способы переработки окисленных никелевых руд. Современное состояние.
18. Автоклавное серноокислотное выщелачивание. Закономерности процесса. Влияние

состава руд на технологические показатели процесса.

19. Технологические схемы заводов и проблемы автоклавного сернокислотного выщелачивания окисленных никелевых руд.
20. Технология аммиачно-карбонатного выщелачивания восстановленных окисленных никелевых руд.
21. Особенности восстановительного обжига окисленных никелевых руд для аммиачно-карбонатного выщелачивания. Основные закономерности восстановительного обжига.
22. Закономерности процесса аммиачно-карбонатного выщелачивания восстановленных окисленных никелевых руд. Влияние различных факторов на показатели извлечения никеля и кобальта в раствор при выщелачивании.
23. Технологические схемы заводов, работающих по технологии аммиачно-карбонатного выщелачивания.
24. Другие гидрометаллургические способы переработки окисленных никелевых руд. Атмосферное сернокислотное выщелачивание. Кучное выщелачивание.
25. Принципиальная технологическая схема переработки сульфидных медно-никелевых руд. Назначение операций технологии. Продукты технологической схемы.
26. Структура пирометаллургических процессов. Кинетические факторы, влияющие на производительность металлургического оборудования.
27. Роль окислительного обжига сульфидных руд. Химические реакции, протекающие при обжиге. Оборудование, применяемое для обжига медно-никелевых концентратов. Показатели процесса.
28. Конструкция отражательной печи. Показатели процесса отражательной плавки сырых и обожженных концентратов.
29. Конструкция электропечи. Показатели работы электрических печей.
30. Шахтная плавка сульфидных медно-никелевых концентратов. Виды шахтной плавки. Отличие в конструкциях печей. Показатели процессов шахтной плавки.
31. Плавка в жидкой ванне. Особенности конструкции печи. Роль русских ученых в создании высокоэффективного процесса плавки. Характерные особенности работы печи Ванюкова.

Литература для подготовки по дисциплине

1. Резник И.Д., Ермаков Г.П., Шнеерсон Я.М. Никель. М.: Наука и технологии. 2000. В 3-х томах.
2. Вольдман Г.М., Зеликман А.Н. Теория гидрометаллургических процессов. М.: Металлургия. 1989. 420 с.
3. Диомидовский Д.А., Оницин Б.П., Линев В.Д. Металлургия ферроникеля. М.: Металлургия. 1983. 184 с.
4. Смирнов В.И., Цейдлер А.А., Худяков И.Ф., Тихонова А.И. Металлургия меди, никеля и кобальта. М.: Металлургия. 1964. 463 с.
5. Гасик М.И., Лякишев Н.П., Емлин Б.И. Теория и технология производства ферросплавов. М.: Металлургия. 1988. 784 с.
6. Борбат В.Ф., Лещ И.Ю. Новые процессы в металлургии никеля и кобальта. М.: Металлургия. 1976. 360 с.

Дополнительная литература

7. Тарасов А. В. Общая металлургия / А. В.Тарасов, Н. И. Уткин. М.: Металлургия. 1997. 592 с.
8. Набойченко С. С. Автоклавная гидрометаллургия цветных металлов / С.С. Набойченко, Л.П. Ни, Я.М. Шнеерсон [и др.] Екатеринбург: ГОУ УГТУ-УПИ. 2002. 940 с.
9. Кляйн С. Э. Цветная металлургия. Окружающая среда. Экономика: учебник для вузов / С. Э. Кляйн, С. В. Карелов, И. В. Деев. Екатеринбург УГТУ. 2000. 372 с.
10. Ванюков А. В. Комплексная переработка медного и никелевого сырья / А. В. Ванюков, Н. И. Уткин. Челябинск: Металлургия. 1988. 432 с.
11. Гальндбек А. А. Расчеты пирометаллургических процессов и аппаратов цветной металлургии / А. А. Гальндбек, Л. М. Шалыгин, Ю. Б. Шмонин. Челябинск: Металлургия. 1990. 448 с.
12. Гудима Н. В. Краткий справочник по металлургии цветных металлов / Н. В. Гудима, Я. П. Шейн. – М.: Металлургия. 1975. 535 с.
13. Басов А. И. Механическое оборудование обогатительных фабрик и заводов тяжелых цветных металлов / А. И. Басов. – 2-е изд. – М.: Металлургия. 1974. 528 с.

Электронные образовательные ресурсы:

<http://elibrary.ru/defaultx.asp> – научная электронная библиотека

<http://www.crct.polymtl.ca/fact> – программный комплекс для термодинамических расчетов (бесплатная программа).

Методические материалы разработал
к.т.н.

К.Г. Анисонян