

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Крюков Вадим Николаевич
Должность: Проректор по образовательной деятельности и молодежной политике
Дата подписания: 25.06.2026 10:51:37
Уникальный программный ключ:
1b0adb7fd710f6a0705d90c58682bd0c5f2f25b2

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Заплярный государственный университет им. Н. М. Федоровского»
ЗГУ

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине**

«Металлургия меди и никеля»

Факультет: ГТФ

Направление подготовки: 22.03.02 «Металлургия»

Направленность (профиль): «Прогрессивные методы получения цветных металлов»

Уровень образования: бакалавриат

Кафедра «Металлургии, машин и оборудования»
наименование кафедры

Разработчик ФОС:

Старший преподаватель

(должность, степень, ученое звание)

(подпись)

Рогова Л.И.

(ФИО)

Оценочные материалы по дисциплине рассмотрены и одобрены на заседании кафедры ММиО, протокол № 11 от 10.06.2026

И.о. заведующего кафедрой к.т.н., доцент Е.В. Лаговская

Фонд оценочных средств по дисциплине *Металлургия меди и никеля* разработан для текущей/ промежуточной аттестации разработан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 22.03.02 *Металлургия* на основе Рабочей программы дисциплины *Металлургия меди и никеля*, Положения о формировании Фонда оценочных средств по дисциплине (ФОС), Положения о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ЗГУ, Положения о государственной итоговой аттестации (ГИА) выпускников по образовательным программам высшего образования в ЗГУ им. Н.М. Федоровского.

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

Код компетенции: ПК-1 Содержание: Способен осуществлять и корректировать технологические процессы в металлургии. Индикаторы достижения:

- ПК-1.1. Применяет знания основных закономерностей протекания металлургических процессов для повышения эффективности производства цветных металлов.
- ПК-1.2. Использует основные принципы разработки технических решений и технологий в области металлургии.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать: принципиальные технологические схемы пирометаллургического и гидрометаллургического получения меди и никеля; классификацию процессов плавки сульфидного сырья; физику и химию автогенных процессов и конвертирования штейнов.

Уметь: рассчитывать материальные и тепловые балансы плавильных агрегатов; определять фазовый состав штейнов и шлаков; выбирать оптимальные режимы электролитического рафинирования.

Владеть: навыками анализа технологических схем переработки медно-никелевых концентратов; методами расчета десульфуризации и распределения компонентов между штейном и шлаком.

2. Паспорт фонда оценочных средств

Раздел 1. Принципиальные технологические схемы пирометаллургического получения меди и никеля. Раздел 2. Классификация процессов плавки сульфидного сырья. Автогенные процессы в фильтрующем слое и в факеле. Раздел 3. Автогенные процессы плавки в расплаве (Печь Ванюкова, процесс Мицубиси). Раздел 4. Конвертирование штейнов. Получение файнштейна. Раздел 5. Методы разделения меди и никеля. Раздел 6. Гидрометаллургия медно-никелевых материалов. Электролитическое рафинирование.

Промежуточная аттестация (Зачет).

- Оценочные средства: Решение тестовых заданий, защита расчетно-графической работы (кейса).

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания (Технологическая карта)

Форма промежуточной аттестации: Зачет. Пороговый (минимальный) уровень: 75 % от максимально возможной суммы баллов.

Шкала оценивания (процент от максимальной суммы баллов):

- 0 – 64 % – «неудовлетворительно».
- 65 – 74 % – «удовлетворительно» (пороговый уровень).
- 75 – 84 % – «хорошо» (средний уровень).
- 85 – 100 % – «отлично» (высокий уровень).

4. Типовые контрольные задания (Тестовые задания)

Ниже приведен очищенный Вариант 1. Расчетные задачи требуют использования калькулятора и справочных данных.

Вариант 1

1. Даны стандартные электродные потенциалы металлов: Co (-0,270 В), Zn (-0,763 В), Hg (+0,798 В), In (-0,343 В). Какой из перечисленных металлов нельзя использовать в качестве цементатора для вытеснения меди из раствора (потенциал $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu} = +0,34 \text{ В}$)? А) Co; Б) Zn; В) Hg; Г) In.
2. Молярная теплоемкость воздуха при постоянном давлении в интервале температур 100–400 °С составляет 31,36 Дж/(моль·К). Чему равняется его удельная теплоемкость? А) ~1,54 Дж/(г·К); Б) ~1,08 Дж/(г·К); В) ~2,03 Дж/(г·К); Г) ~0,45 Дж/(г·К).
3. Какому минералу соответствует формула NiFeS_2 ? А) Халькопирит; Б) Пентландит; В) Халькозин; Г) Кубанит.
4. Формула хизлевудита: А) NiFeS_2 ; Б) Ni_3S_2 ; В) FeS_2 ; Г) Fe_7S_8 .
5. Найти при температуре 25 °С среднюю удельную теплоемкость металлосодержащей шихты, имеющей следующий массовый состав и молярные теплоемкости (C_p):
 - NiFeS_2 : 6,62 % ($C_p = 86,2 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$)
 - Fe_7S_8 : 14,96 % ($C_p = 318,5 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$)
 - SiO_2 : 26,10 % ($C_p = 44,43 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$) (*Примечание: расчет ведется по правилу аддитивности с учетом молярных масс*). А) ~1,54 кДж/(кг·К); Б) ~0,45 кДж/(кг·К); В) ~2,03 кДж/(кг·К); Г) ~1,08 кДж/(кг·К).
6. Под десульфуризацией понимается: А) Извлечение серы в штейн; Б) Пылевынос; В) Извлечение серы в газовую фазу; Г) Содержание серы в штейне.
7. Для чего в медный электролит добавляют серную кислоту? А) Для уменьшения дендритообразования; Б) Для подавления питтингообразования; В) Для повышения электропроводности электролита; Г) Для снижения содержания примесей в катодном металле.
8. В какой печи производят плавку на штейн на Медном заводе ПАО «ГМК «Норильский никель»? А) В отражательной; Б) В рудно-термической; В) В печи взвешенной плавки; Г) В печи Ванюкова.
9. При конвертировании медно-никелевого штейна получают: А) Файнштейн; Б) Черновую медь; В) Анодную медь; Г) Отвальный шлак.
10. По какой технологии перерабатывают пирротиновый концентрат Талнахской обогатительной фабрики? А) Гравитационное обогащение; Б) Химическое

- обогащение; В) Флотационное обогащение; Г) Плавка на штейн.
11. Какая из приведенных реакций является реакцией сульфидирования цветных металлов? А) $\text{MeS} + \text{CaO} + \text{C} \leftrightarrow \text{Me} + \text{CaS} + \text{CO}_2$; Б) $\text{CuFeS}_2 = \text{Cu}_2\text{S} + 2\text{FeS} + \frac{1}{2}\text{S}_2$; В) $\text{Cu}_2\text{O} + \text{FeS} \leftrightarrow \text{Cu}_2\text{S} + \text{FeO}$; Г) $\text{Cu}_2\text{O} + \text{CO} = 2\text{Cu} + \text{CO}_2$.
 12. Какое из перечисленных свойств шлака улучшается с ростом в нем содержания SiO_2 ? А) Плотность; Б) Плавкость; В) Вязкость; Г) Межфазное натяжение.
 13. К агрегатам с факельной плавкой относится: А) Печь взвешенной плавки; Б) Обеднительная электропечь; В) Печь Ванюкова; Г) Рудно-термическая печь.
 14. В какой печи ведется плавка на штейн в восстановительной газовой атмосфере? А) Печь взвешенной плавки; Б) Отражательная; В) Печь Ванюкова; Г) Рудно-термическая.
 15. Какой из приведенных процессов НЕ относится к автогенным? А) Норанда; Б) Мицубиси; В) Отражательная плавка; Г) Конвертирование.
 16. С повышением десульфуризации: А) Уменьшается выход шлака; Б) Повышается содержание цветных металлов в штейне; В) Увеличивается масса штейна; Г) Повышается извлечение цветных металлов в штейне.
 17. Рассчитать массу медного никельсодержащего штейна при плавке шихты на штейн с содержанием $\text{Cu} - 50\%$, при извлечении в штейн $\text{Cu} - 97\%$ и содержания её в шихте 22,90 т. А) 44,42 т; Б) 51,45 т; В) 62,03 т; Г) 31,08 т.
 18. Рассчитать массу халькопирита, пентландита и пирротина в 100 кг руды, если известен её химический состав (%): $\text{Cu} - 19,85$; $\text{Ni} - 2,6$; $\text{Fe} - 35,5$; $\text{S} - 28,5$. Известно, что 25 % меди содержится в кубаните. А) $\sim 44,42$ кг CuFeS_2 ; $\sim 1,45$ кг NiFeS_2 ; $\sim 32,04$ кг Fe_7S_8 ; Б) $\sim 47,64$ кг CuFeS_2 ; $\sim 5,15$ кг NiFeS_2 ; $\sim 16,25$ кг Fe_7S_8 ; В) $\sim 40,41$ кг CuFeS_2 ; $\sim 5,47$ кг NiFeS_2 ; $\sim 22,03$ кг Fe_7S_8 ; Г) $\sim 50,44$ кг CuFeS_2 ; $\sim 2,41$ кг NiFeS_2 ; $\sim 22,02$ кг Fe_7S_8 .
 19. Определить, какое количество теплоты выделится при ошлаковании 50 кг сульфида железа FeS при 25 °С? Реакция: $2\text{FeS} + 3\text{O}_2 + \text{SiO}_2 = (\text{FeO})_2 \cdot \text{SiO}_2 + 2\text{SO}_2$ Теплоты образования ($\Delta H^\circ 298$, кДж/моль): $\text{FeS} = -100,42$; $\text{SiO}_2 = -910,94$; $\text{SO}_2 = -296,90$; $(\text{FeO})_2 \cdot \text{SiO}_2 = -1447,66$. А) 319 кДж; Б) 264 кДж; В) 264 МДж; Г) 319 МДж.
 20. Рассчитать физическую теплоту шихты при 25 °С, если масса шихты 113,02 кг, а удельная теплоемкость 0,82 кДж/(кг·К). А) ~ 2317 кДж; Б) ~ 2510 кДж; В) ~ 2240 кДж; Г) ~ 2430 МДж.

(Варианты 2-5, включающие расчеты теплоемкости магнетита, десульфуризации, состава оборотной пыли и тепловых эффектов восстановления/окисления, хранятся на кафедре).

5. Задания повышенного уровня сложности (Профильные кейсы)

Данные задания предназначены для оценки сформированности компетенций ПК-1 на высшем уровне, с учетом специфики предприятий ПАО «ГМК «Норильский никель».

Кейс 1. Технология плавки и управление составом шлака в печи Ванюкова

На Медном заводе в печи Ванюкова перерабатывается медно-никелевый концентрат. В ходе плавки операторы заметили, что вязкость шлака резко возросла, что привело к ухудшению разделения фаз «штейн-шлак» и повышению потерь цветных металлов (Cu , Ni) и платиноидов со шлаком. Экспресс-анализ показал высокое содержание магнетита (Fe_3O_4) в шлаке. Вопросы:

1. Какова физико-химическая природа образования магнетита в шлаке при плавке сульфидного сырья? Как на это влияет коэффициент расхода кислорода/воздуха и содержание кремнезема (SiO_2)?
2. Как наличие твердых кристаллов магнетита влияет на вязкость шлака и процесс седиментации капель штейна?
3. Какие технологические мероприятия (изменение состава флюсов, режима дутья, температуры) необходимо срочно предпринять для снижения содержания Fe_3O_4 и восстановления подвижности шлака?

Кейс 2. Конвертирование и разделение медно-никелевого штейна

После плавки в печи Ванюкова получен медно-никелевый штейн, который направляется на конвертирование. Однако, в отличие от чисто медного производства, целью является не получение черновой меди, а получение файнштейна (обогащенного сульфида) с последующим разделением меди и никеля. Вопросы:

1. Напишите основные химические реакции, протекающие при конвертировании медно-никелевого штейна (окисление сульфидов железа, ошлакование железа). Почему процесс конвертирования останавливают на стадии файнштейна, не допуская его «продувки» до черновой меди?
2. Файнштейн состоит преимущественно из Ni_3S_2 и Cu_2S . Какой физико-химический метод (термический или магнитный) используется на предприятиях Норильска для первичного разделения меди и никеля после медленного охлаждения файнштейна?
3. Какую роль играет магнитная сепарация в процессе разделения Cu-Ni сплава/штейна и почему она возможна только при строго контролируемом режиме охлаждения?

6. Ключи и критерии оценивания

Ответы к тестовым заданиям (Вариант 1): 1-В (Ртуть Hg имеет потенциал +0,798 В, что выше меди, поэтому она не может ее вытеснить); 2-Б ($31,36 / 28,97 \approx 1,08$); 3-Б; 4-Б; 5-Г (требуется расчет по молярным долям); 6-В; 7-В; 8-Г; 9-А; 10-Г; 11-В; 12-Б; 13-А; 14-Г; 15-В; 16-Г; 17-А ($M_{\text{штейна}} = (22,90 * 0,97) / 0,50 \approx 44,42$ т); 18-А; 19-В (Расчет по закону Гесса: $\Delta H = [(-1447,66) + 2 * (-296,90)] - [2 * (-100,42) + (-910,94)] = -2041,46 - (-1111,78) = -929,68$ кДж/моль реакции. На 50 кг FeS ($M=87,9$ г/моль, это ~ 568 моль) выделится ~ 264 МДж); 20-А ($Q = m * c * \Delta T$. Но так как $T=25^\circ\text{C}$, подразумевается расчет от 0°C : $113,02 * 0,82 * 25 \approx 2317$ кДж).

Критерии оценивания Кейсов (Максимум — 15 баллов за каждый):

Кейс 1 (Печь Ванюкова и шлак):

- 12-15 баллов: Студент верно указывает, что магнетит образуется при избытке кислорода в дутье и недостатке кремнезема (Fe_3O_4 не ошлаковывается). Отмечает, что кристаллы магнетита резко повышают вязкость, создают «губку», механически захватывающую штейн. Предлагает снизить окислительный потенциал (уменьшить O_2), увеличить подачу SiO_2 (кварцита) для связывания FeO в фаялит ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) и повысить температуру.
- 8-11 баллов: Понимает причину образования магнетита, но не может четко связать это с вязкостью и межфазным натяжением. Предлагает общие меры (нагреть печь).
- 0-7 баллов: Не понимает химию шлакообразования, путает основные и кислые

оксиды.

Кейс 2 (Конвертирование и разделение Cu-Ni):

- 12-15 баллов: Студент четко объясняет, что продувка до черновой меди невозможна, так как никель и платиноиды перейдут в оксиды/шлак и будут безвозвратно потеряны (файнштейн нужен для сохранения сульфидной формы). Верно называет метод магнитной сепарации (или флотации) после медленного охлаждения, объясняет, что при медленном охлаждении Cu_2S и Ni_3S_2 распадаются на отдельные фазы (или образуют магнитный никелевый сплав и немагнитную медь), что позволяет разделить их магнитами.
- 8-11 баллов: Знает, что нужно получить файнштейн, но путает методы разделения (предлагает гидрометаллургию или плавку, не упоминая магнитную сепарацию).
- 0-7 баллов: Не понимает разницы между медным и медно-никелевым конвертированием.