

Направление *Металлургия*

В.П. Жуков
С.И. Холод

ПИРОМЕТАЛЛУРГИЯ МЕДИ

29

Cu

1 63,546 3
18
8 $3d^{10}4s_1$
2

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

В.П. Жуков, С.И. Холод

ПИРОМЕТАЛЛУРГИЯ МЕДИ
теория, практика, прикладная статистика

*Рекомендовано учебно-методическим советом УрФУ
в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению
Металлургия и специальностям металлургического профиля*

Под общей редакцией проф., д-ра техн. наук В.П. Жукова

Екатеринбург
УрФУ
2015

УДК 669.34 (075.8)

ББК 34.33 я 73

Р 26

Рецензенты:

проф., д-р техн. наук Немчинова Н.В. кафедра металлургии цветных металлов Иркутский государственный технический университет;

проф., д-р техн. наук Сколов Г.В. главный специалист УГМК

Авторы: Жуков В.П., Холод С.И.

ПИРОМЕТАЛЛУРГИЯ МЕДИ. ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА, ПРИКЛАДНАЯ СТАТИСТИКА:
учебное пособие /В.П. Жуков, С.И. Холод. Екатеринбург: УрФУ. 2015, 853 с.

ISBN 978-5-8295-0411-3

Изложены физико-химические и технологические основы производства черновой и катодной меди. Дана характеристика традиционных процессов и показаны перспективы развития технологии. Пособие содержит примеры расчетов теоретического и прикладного характера. Особое внимание уделено проблемам сокращения расхода топливно-энергетических ресурсов, комплексности использования сырья и анализу технико-экономических показателей производства на основе методов математической статистики.

Книга предназначена для студентов металлургических специальностей, обучающихся по программам бакалавриата, магистратуры, может быть полезна для инженерно-технических работников промышленных предприятий и проектных организаций.

Библиогр.: Стр. 853, Рис. 244. Табл. 123. Прил. 2.

ISBN 978-5-8295-0411-3

УДК 669.34 (075.8)

ББК 34.33 я73

© УрФУ, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	3
ПРЕДИСЛОВИЕ	6
ВВЕДЕНИЕ	9
РАЗДЕЛ 1. МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНОВОЙ МЕДИ	18
Глава 1. Сырьевая база и шихтоподготовка	18
Глава 2. Физико-химические основы пирометаллургических процессов	64
2.1. Характеристика взаимодействий и фазовых превращений в расплавах сульфидных систем	64
2.2. Твердофазные взаимодействия в системе Me-S-O	85
2.2.1. Термодинамика реакций и механизм фазовых превращений	85
2.3. Кинетика и механизм твердофазного окисления сульфидов	99
2.4. Температура воспламенения сульфидов	111
2.5. Экспериментальные данные по кинетике твердофазного окисления сульфидов	114
2.6. Особенности термодинамики, механизма и кинетики взаимодействия в системе Cu-Me-S-O-SiO ₂ с участием жидких фаз	128
2.6.1. Термодинамика реакций	128
2.6.2. Кинетика и макромеханизм процессов штейно- и шлакообразования	143
2.6.3. Экспериментальные данные по кинетике жидкофазного окисления сульфидов.	147
2.7. Штейновые расплавы	180
2.7.1. Диаграммы состояния сульфидных систем	180
2.7.2. Физико-химические свойства расплавов	190
2.7.2.1. Сульфидные расплавы и штейны	196
2.7.3. Оксидные и шлаковые расплавы	210
Глава 3. Распределение цветных металлов в системе «черновая медь (штейн) – шлак – газ»	258
3.1. Равновесие в системе «черновая медь - шлак - газовая фаза»	259
3.2. Равновесие в системе «медный штейн (белый матт) - шлак - газ»	262
3.3. Разделение штейна (черновой меди) и шлака в процессе отстаивания жидких продуктов плавки	273
Глава 4. Практика производства черновой меди	279
4.1. Окислительный обжиг	279
4.2. Агломирующий обжиг	305
4.3. Медеплавильные процессы	314
4.3.1. Шахтная плавка (ШП)	314
4.3.2. Разновидности шахтной плавки и последовательность физико-химических превращений между компонентами шихты	319
4.3.3. Отражательная плавка (ОП)	330

4.3.3.1. Совершенствование технологии отражательной плавки	343
4.4. Плавка в электропечах	355
4.5. Автогенные процессы	363
4.6. Конвертирование медных штейнов	401
4.6.1. Общие положения	401
4.6.2 Современная практика конвертирования	412
4.7. Энергетика металлургических процессов производства меди	428
РАЗДЕЛ 2 ОГНЕВОЕ РАФИНИРОВАНИЕ ЧЕРНОВОЙ МЕДИ	436
Глава 1. Влияние примесей на эксплуатационные характеристики меди	436
Глава 2. Физико-химические основы огневого рафинирования	446
2.1. Термодинамика реакций окислительного рафинирования	446
2.2. Термодинамика раскисления и дегазации меди	465
2.3. Кинетика процессов огневого рафинирования	473
2.4. Кристаллизация меди	501
Глава 3. Современная практика анодной плавки	504
3.1. Характеристика сырья для огневого рафинирования	504
3.2. Топливо	506
3.3. Технологические материалы	506
3.4. Анодные печи и оборудование медерафинировочных цехов	508
3.5. Технология рафинирования	525
3.6. Тепловая работа печей	539
3.7. Контроль и автоматизация теплового режима рафинировочных печей	544
3.8. Техничко-экономические показатели	547
Глава 4. Пути совершенствования анодной плавки	555
4.1. Реагентное рафинирование	555
4.2. Использование водяного пара	557
4.3. Непрерывные процессы	559
4.4. Разливка анодов	565
Глава 5. Теоретические основы электрохимического растворение и осаждение меди	569
5.1. Термодинамика системы $Cu - H_2O$	569
5.2. Электродные процессы при электрохимическом растворении и осаждении меди	574
5.3. Поведение примесей на аноде и катоде	581
5.4. Образование шлама	599
5.5. Пассивация анода	605
5.6. Электрокристаллизация компактных и порошкообразных осадков меди	609
5.7. Структура катодных осадков	613
5.8. Роль адсорбции поверхностно-активных веществ при электроосаждении меди	617

5.9. Сцепление электролитического осадка с катодом	622
Глава 6. Практика электролитического рафинирования меди	626
6.1. Растворимые аноды	626
6.2. Стартерные катоды и матрицы	630
6.3. Состав электролита	643
6.4. Температура электролита	653
6.5. Электропроводность электролита	656
6.6. Циркуляция электролита	657
6.7. Плотность тока	663
6.8. Технологические процессы и оборудование	668
6.9. Конструкции электролизных ванн	682
6.10. Системы включения электродов	688
6.11. Состав электролита и его корректировка	692
6.12. Регенерация электролита	693
РАЗДЕЛ 3. МЕТОДЫ СТАТИСТИКИ И ТЕОРИИ	695
ВЕРОЯТНОСТЕЙ В ОЦЕНКЕ ТЕХНИКО - ЭКОНОМИЧЕСКИХ	
РЕШЕНИЙ	
Глава 1. Примеры решения металлургических задач с помощью	695
аппарата теории вероятностей и математической статистики	
Глава 2. Методология построения математической модели и	733
оценки статистической значимости оптимизационных задач	
Глава 3. Экономическое обоснование технических решений	746
3.1. Техничко-экономическое обоснование нового строительства	746
3.2. Техничко-экономическое обоснование реконструкции	757
действующего производства	
Приложения к разделу 2	787
Приложения к разделу 3	851
Общий библиографический список	853