

## Лекция № 4:



## **Переработка сульфидных медно-никелевых и окисленных никелевых руд**





## Сульфидные руды никеля

- Основными источниками получения никеля служат **сульфидные и окисленные руды**
- В сульфидных рудах никель представлен минералом **пентландитом** – изоморфная смесь сульфидов железа и никеля (Ni, Fe)S
- Никелю в этих рудах сопутствуют Cu, Co, металлы платиновой группы – Pt, Os, Ir, Rh, Ru, Pd
- Содержание Ni – 0,3-5,5%, Cu до 2,5%.
- Руды обогащают флотацией







## Окисленные никелевые руды

- В окисленных никелевых рудах (ОНР) Ni представлен в виде изоморфной смеси силикатов никеля и магния.
- Пустая порода – окислы железа, алюмосиликаты, кварц.
- ОНР – пористые, рыхлые, гигроскопичные,
- Способы обогащения не разработаны
- Содержание Ni 1-3%, Co – до 0,15%.

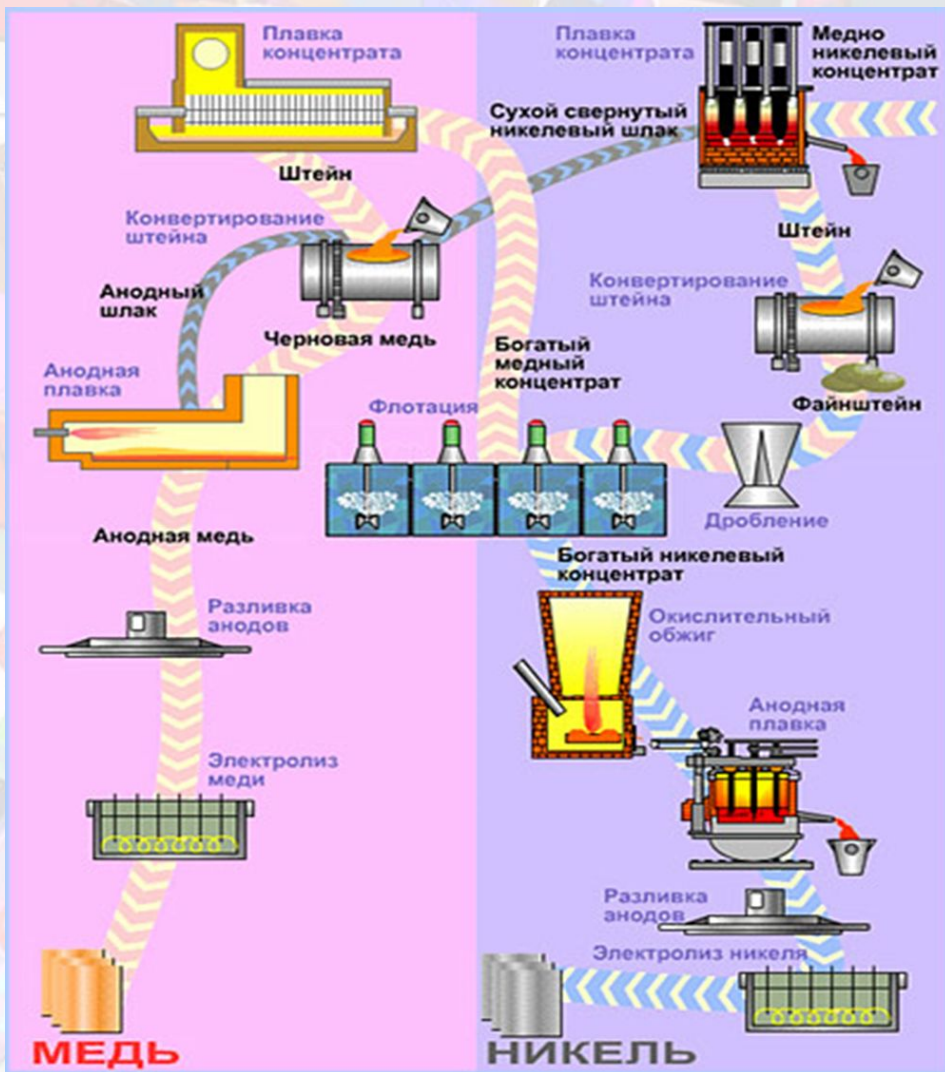




## Переработка сульфидных медно-никелевых руд

- Никель из сульфидных медно-никелевых руд получают по технологии, сходной с технологией пирометаллургического производства меди из медных сульфидных руд.
- При этом после получения медно-никелевого штейна производят его разделение для раздельного извлечения никеля и меди
- Технология включает стадии:
  - Подготовка руды (дробление, измельчение)
  - Флотационное обогащение
  - Плавка концентрата на штейн
  - Конвертирование штейна с получением медно-никелевого **файнштейна**
  - Разделение файнштейна на медный и никелевый концентраты

# Краткая технологическая схема получения никеля из сульфидных медно-никелевых руд

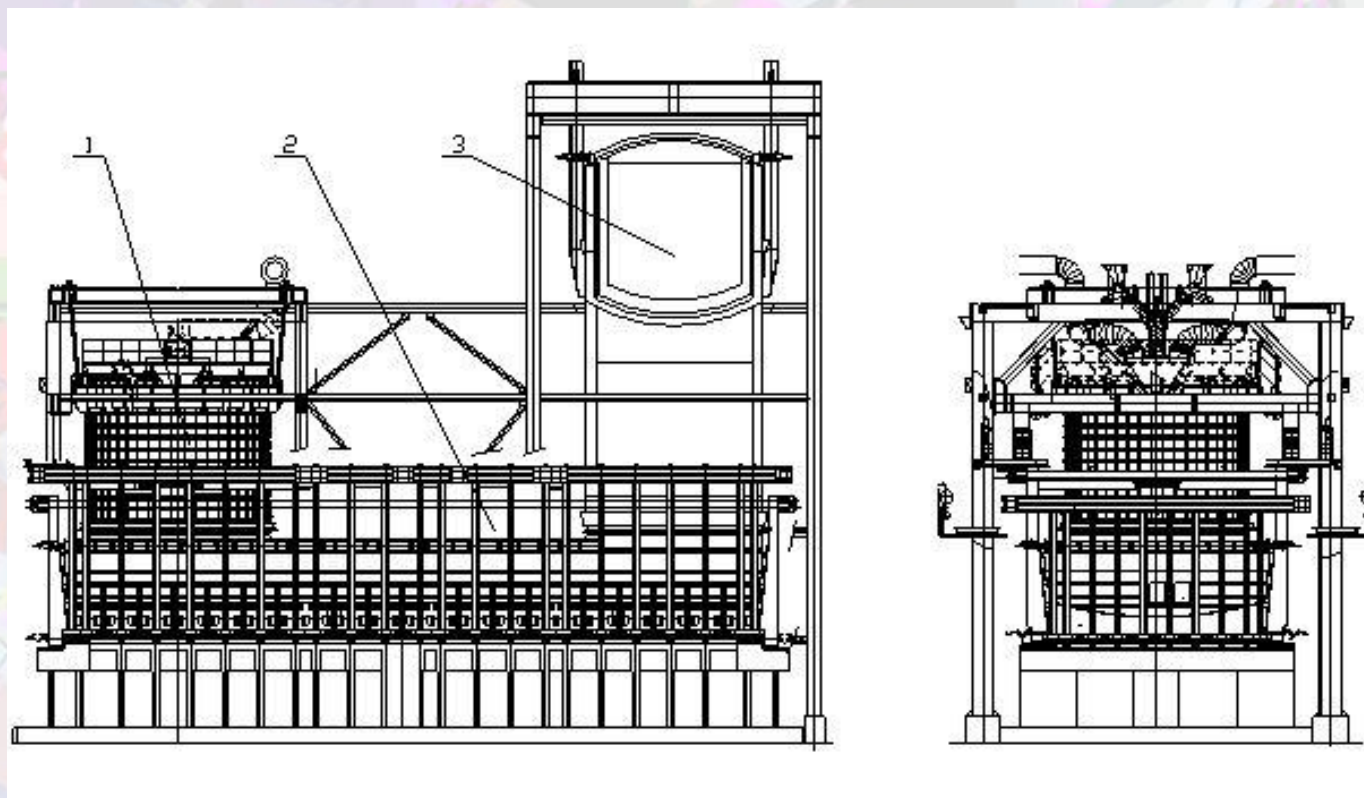


- 1) Плавка на штейн
- 2) Конвертирование
- 3) Охлаждение и флотационное разделение файнштейна на медный и никелевый концентрат
- 4) Окислительный обжиг никелевого концентрата
- 5) Твердофазное предварительное восстановление никелевого огарка
- 6) Электроплавка на анодный металл
- 7) Электролиз с получением катодного никеля



# Плавка на штейн во взвешенном состоянии

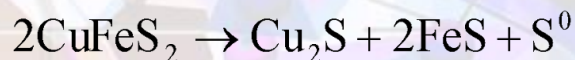
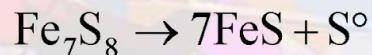
- ПВП (Печь взвешенной плавки) является головным агрегатом в цепи переработки сульфидных медно-никелевых концентратов
- Состоит из трех самостоятельных агрегатов: реакционной шахты (1), отстойника (2) и аптейка (3)
- ПВП –автогенный агрегат, содержание кислорода в дутье достигает 70%



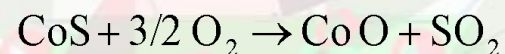
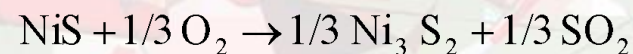
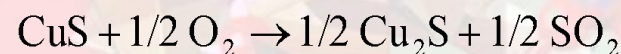
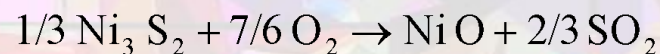
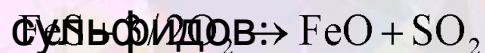
**Схема печи взвешенной плавки**

# Химические процессы, протекающие в ПВП

Диссоциация высших сульфидов цветных металлов и железа:

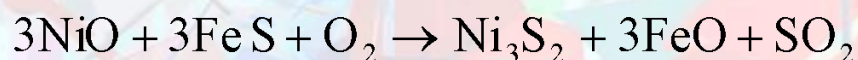
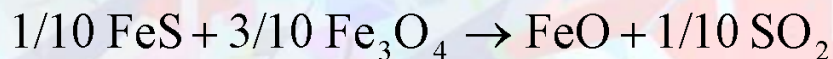
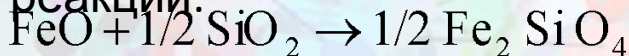


Реакции окисления



Обменные

реакции:







# КОНВЕРТИРОВАНИЕ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ШТЕЙНА

- Цели конвертирования:
  - вывод железа штейна в конвертерный шлак
  - удаление части серы в конвертерные газы
  - перевод кобальта в кобальтовую массу
- Производится процесс в горизонтальных конверторах при подаче в них воздушного дутья через фурменный пояс
- В результате конвертирования получают **файнштейн** – сплав на основе сульфидов меди и никеля, содержащий 3,0-3,5% Fe
- Конвертирование идет в несколько периодов, на каждом из которых решается одна из указанных выше задач
- Конвертерный шлак содержит(% масс):  
65% FeO; 15-25% SiO<sub>2</sub>; 2-5% (Cu+Ni)
- Файнштейн разливается в специальные изложницы для медленного охлаждения, необходимого для образования крупных обособленных зерен сульфидов меди и никеля





## ПЕРЕРАБОТКА МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ФАЙНШТЕЙНА

- 1) Медленное охлаждение слитков файнштейна
- 2) Дробление и измельчение файнштейна
- 3) Флотационное разделение на медный и никелевый концентраты
- 4) Окислительный обжиг никелевого концентрата
- 5) Твердофазное предварительное восстановление никелевого огарка
- 6) Электроплавка на анодный металл
- 7) Электролитическое рафинирование с получением катодного никеля



## Розлив и охлаждение файнштейна



- Файнштейн после получения в конверторах ковшами транспортируется в остывочный пролет
- Отливается в специальные изложницы (объемом 7 м<sup>3</sup>)
- Охлаждается в них в естественных условиях в течении нескольких суток (от 72 до 120 часов, обычно 4 суток)
- Цель: получить сформировавшиеся отдельные зерна (кристаллы) сульфида меди и сульфида никеля



# Розлив медно-никелевого фінштейна в изложниці



## Флотационное разделение фанштейна

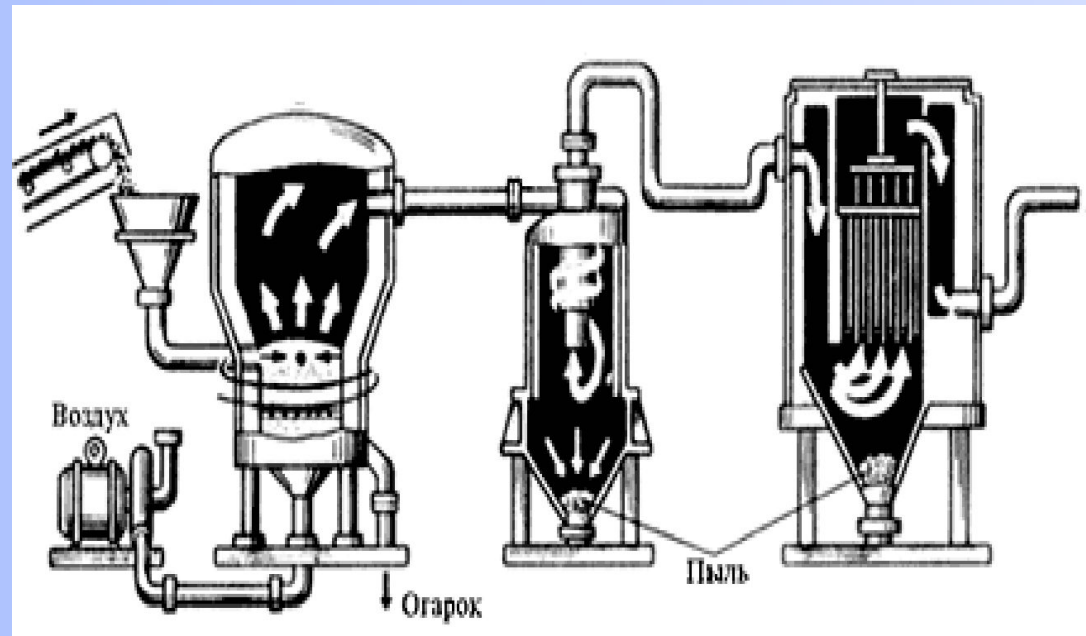
- Крупное дробление – щековые дробилки
- Среднее дробление – конусные дробилки
- Измельчение (мокрое) в шаровых мельницах
- Пульпа измельченного фанштейна поступает на **флотацию**
- Медный концентрат (1,5-2,0 т/м<sup>3</sup>)  
Cu 67-69%, Ni 4,2-4,8%
- Никелевый концентрат (1,1-1,25 т/м<sup>3</sup>)  
Cu 4,3-5,3%, Ni 63-66%





## Окислительный обжиг никелевого концентрата

- Осуществляется в печах кипящего слоя при подаче в них воздуха или дутья обогащенного кислородом
- Цель процесса полный перевод никеля из сульфида в оксид
- Продуктом обжига является никелевый огарок (NiO) и серосодержащие газы
- Температура обжига составляет 1100-1200°C
- Процессы происходят в твердом виде (без расплавления компонентов шихты)
- Огарок в горячем виде подается на предварительное восстановление



## Предварительное восстановление огарка

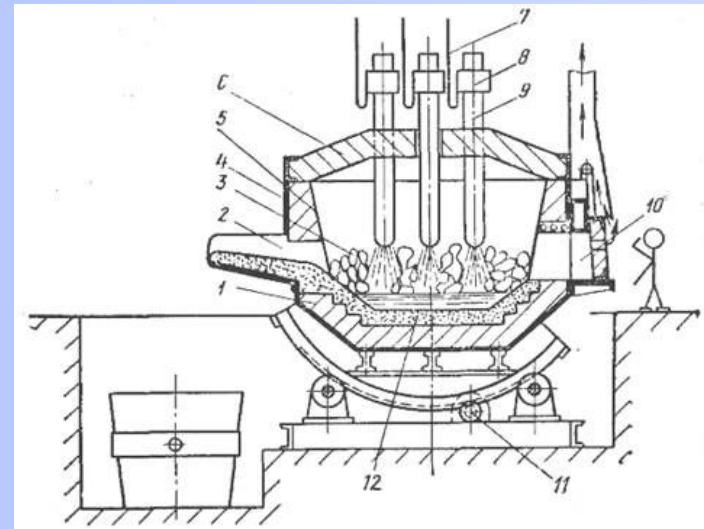
- Осуществляется в трубчатых вращающихся печах, отапливаемых мазутом или природным газом
- В горячий огарок, поступающий из печей КС, подается твердый восстановитель (например, уголь)
- Цель: произвести восстановление оксида никеля в твердой фазе
- Продукт: никелевый порошок со степенью металлизации 95-98%
- Принцип работы – прямоток
- Длина печи 20-25 метров
- Температура 1000-1150°C
- Время пребывания материала в печи 2-3 часа
- Расход угля 15-20% от массы огарка
- Порошок резко охлаждается в бутаре печи водой (до 200-250°C)





## Анодная Никелевая Электроплавка

- Цели процесса:
  - окончательное восстановление никеля до металлического состояния в расплаве
  - получение плотных и прочных никелевых анодов
- Производится в **дуговых электропечах** постоянного или переменного тока
- Кроме анодного металла продуктом является шлак, в который переходят:
  - зола восстановителя
  - футеровка печи
  - оксиды железа (частично)
- Основные затраты на:
  - электроэнергию
  - угольные электроды
  - твердый восстановитель





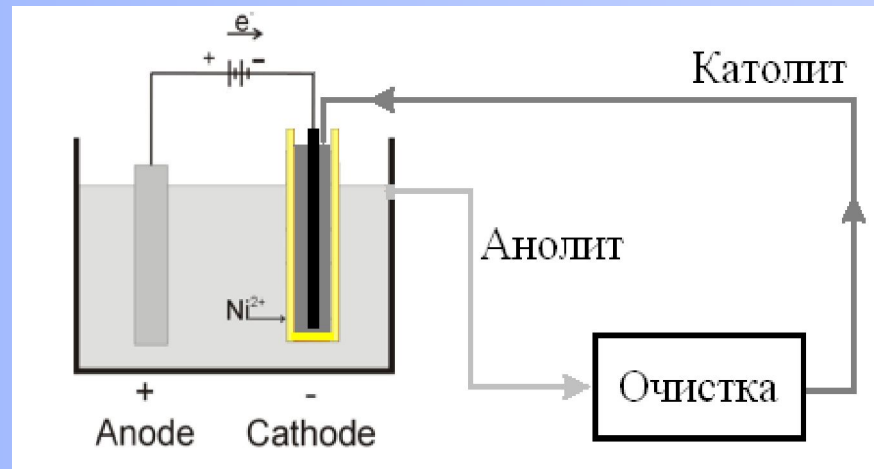
## Разливка анодного никеля

- После проведения технологических операций (науглероживание ванны, доводка металла, снятие шлака) готовый металл разливается в изложницы для получения анодов
- Розлив ведется либо непосредственно из печи (Норильск), либо через специальный индукционный миксер (Мончегорск)
- Розлив в отличие от медного не автоматизированный
- Никелевый анод имеет форму плиты с закладными ушками (подвесками)
- Масса анодов около 350 кг





## Электролиз с растворимым анодом

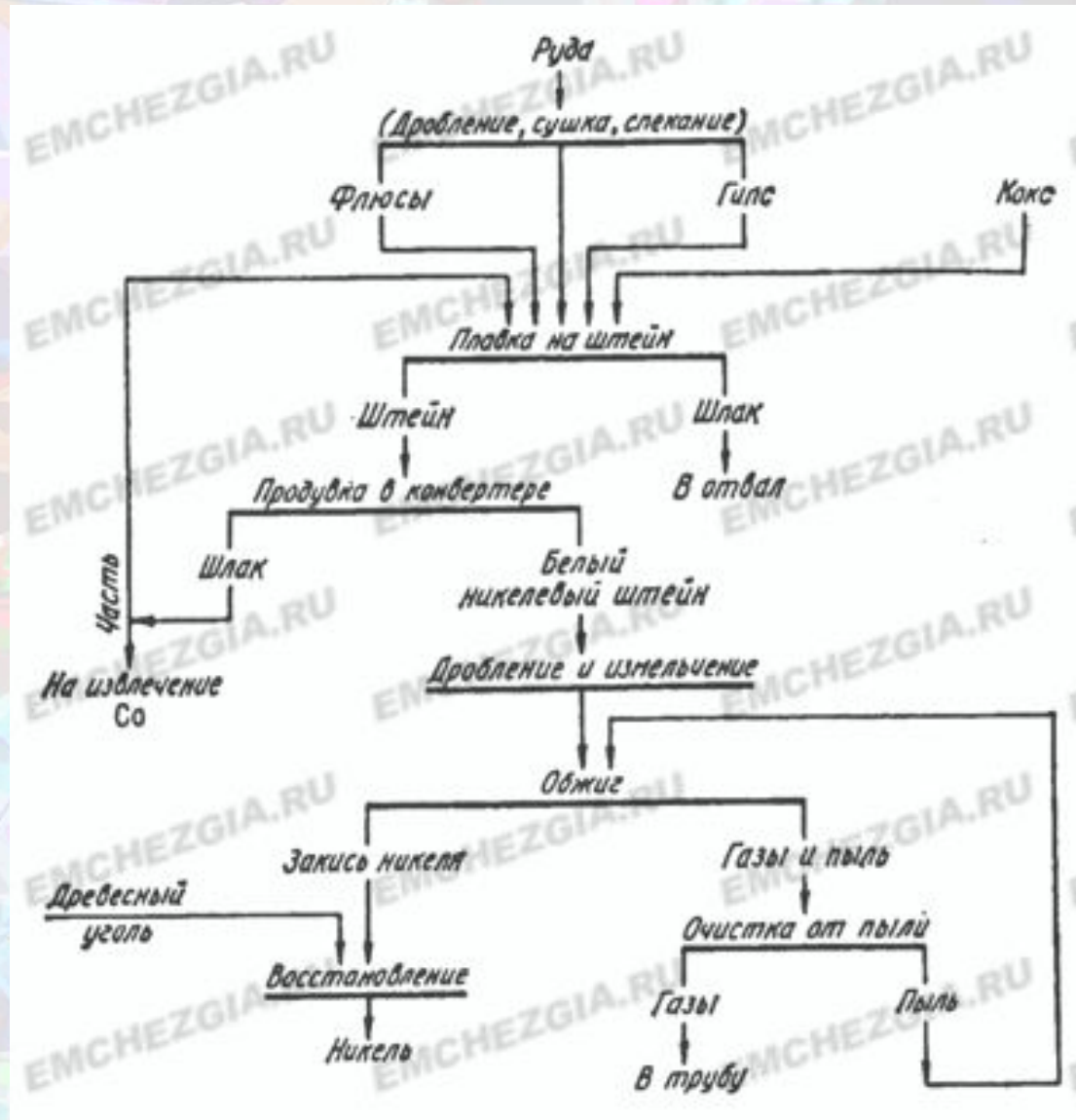


- Цель процесса получение более чистого по сравнению с анодным металлом никеля (электрорафинирование)
- С анода в раствор переходят катионы Ni, Cu, Fe, Co
- Анолит непрерывно забирается из электролизной ванны, очищается от примесей гидрометаллургическими методами
- Католит подается в прикатодное пространство (диафрагму)
- Важно поддерживать циркуляцию электролита!

**Перерыв 5 минут**



# Технологическая схема переработки окисленных никелевых руд







# Способы переработки ОНР

## ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ

- 1. Процесс Карона**  
Аммиачное атмосферное выщелачивание после предварительного восстановления
- 2. Автоклавное выщелачивание**  
Сернокислотное выщелачивание в специальном оборудовании, работающем под давлением выше атмосферного

## ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ

- 1. Плавка на штейн**  
Никель из окисленной формы переводится в сульфидную и далее перерабатывается по классической технологической схеме, характерной для сульфидных руд и концентратов
- 2. Получение ферроникеля**  
Никель из оксида восстанавливается непосредственно до металлического состояния – сплава с железом, который и называется ферроникель



## Плавка на штейн

- Основная трудность извлечения никеля из ОНР связана с отделением от железа;
- Способ переработки на штейн основан на различии сродства железа и никеля к кислороду и сере;
- Никель путем сульфидирования переводится в штейн, представляющий собой сплав  $\text{Ni}_3\text{S}_2$  и  $\text{FeS}$ , основная масса железа удаляется со шлаком;
- Сульфидизатор (источник серы) – пирит или гипс, вводится специально;
- Плавку проводят в шахтных печах, руду с сульфидизатором предварительно брикетируют;
- Сущность процесса может быть представлена реакциями:
$$3\text{FeS} + 3\text{NiO} = 3\text{FeO} + \text{Ni}_3\text{S}_2 + 1/2 \text{S}_2$$
$$2\text{FeO} + \text{SiO}_2 = 2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$$
- Никелевый штейн с содержанием Ni до 30% подвергают дальнейшей переработке для получения Ni металлического

## Переработка ОНР на ферроникель

- Крупнейшей областью потребления никеля является производство нержавеющей стали
- **Ферроникель** - сплав никеля с железом в различной пропорции. Производится в виде чушек, гранул, дроби, конусов и т.д. Содержание никеля может колебаться от 10 до 40%
- В производстве стали может быть использован ферроникель, себестоимость производства которого, ниже чем чистого металла



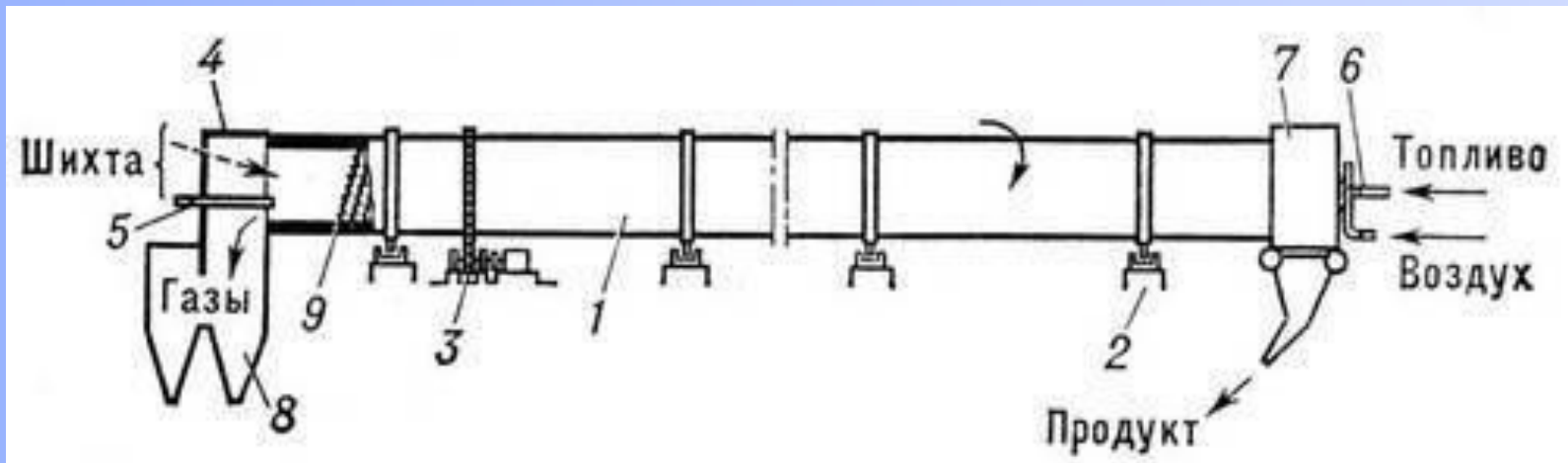




Технологическая схема переработки ОНР

## Обжиг в трубчатых печах

- Длина трубчатой печи 50-100 м.
- Трубчатую печь можно условно разделить на зоны:
  1. Зона предварительного нагрева (300-600°С), здесь происходит обезвоживание шихты.
  2. Зона прокаливания (до 900°С), здесь происходит удаление связанной воды, разложение карбонатов.
  3. Зона предварительного восстановления (до 1100°С), здесь частично восстанавливаются высшие оксиды железа до низших оксидов, до металлического Fe, оксиды Ni до металлического Ni.





## Обжиг в трубчатых печах





## Электроплавка на ферроникель

- Выплавку чернового сплава ведут обычно в прямоугольных или круглых руднотермических электропечах с самоспекающимися электродами
- Температуры продуктов плавки:
  - Шлака 1450-1600°C
  - Ферроникеля 1300-1350°C
  - Газов 300-400°C.

Состав чернового ферроникеля:

5-15% Ni, 80-90% Fe

Содержание Ni в шлаках до 0,1%Ni



**Видео о металлургии**

  
**<http://www.quickwiki.com/ru/Пирометаллургия>**  
**(на английском)**

**Кольская ГМК: от руды до металла (на русском)**



**До встречи на экзамене!**

