

Міністерство освіти і науки України
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«Металургія кольорових металів»

для здобувачів вищої освіти
першого (бакалаврського) рівня
зі спеціальності 136 – Металургія,
за освітньо-професійною програмою
«Металургія чорних металів»

Кам'янське

2019

Розповсюдження і тиражування без офіційного дозволу Дніпровського державного технічного університету **заборонено.**

Конспект лекцій з дисципліни «Металургія кольорових металів» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 136 – Металургія за освітньо-професійною програмою «Металургія чорних металів». Укл.: Кащеєв М.А. - Кам'янське. ДДТУ. 2019. – 48 с.

Укладач: доцент, к.т.н.. Кащеєв М.А.

Відповідальний за випуск: доцент, к.т.н. Полетаєв В.П.

Рецензент: доцент, к.т.зв. Губарєв І.В.

Затверджено на засіданні кафедри Металургії чорних металів

Протокол № 16 від 02.09.2019р.

Коротка анотація видання. У конспекті розглянуті питання теорії і технології виробництва кольорових металів, який застосовується в чорні металургії.

Металургією називають науку і область техніки, що займається одержанням металів із руд і інших видів металовмісної сировини. Металургійне виробництво — одне з найдавніших; воно виникло на ранніх ступенях розвитку людського суспільства.

У старовину були відомі вісім металів: золото, срібло, мідь, олово, свинець, залізо, ртуть і сурма. До кінця XVIII в. їх число збільшилося до 20, а до кінця XIX ст. — до 50. У цей час проводиться і споживається близько 80 металів.

Потреба в металах рік у рік росте. Вони використовуються абсолютно у всіх галузях народного господарства.

Бурхливий ріст в останні роки виробництва й споживання різних синтетичних матеріалів, у багатьох випадках, що замінюють метал, сприяє лише більш раціональному використанню металевих матеріалів з обліком їх специфічних фізико-механічних, електричних, хімічних і інших властивостей.

Поширеність металів у земній корі різна — від декількох відсотків до мільйонних часток.

У найбільших кількостях з металів у цей час виробляється залізо. Його випуск майже в 20 разів перевищує випуск найпоширенішого з кольорових металів - алюмінію.

Металургія, як галузь промисловості, належить до категорії складних виробництв. При здійсненні металургійних процесів матеріали, що переробляються, перетерплюють численні фізико-хімічні перетворення (розкладання нестійких з'єднань, хімічні взаємодії, плавлення, розчинення, сублимація і ін.). Без знання основних законів фізики й хімії неможливо грамотно управляти металургійним процесом і вдосконалювати металургійне виробництво. Із цієї причини металургія, як галузь промисловості і як наука, тісно пов'язана з фізикою, хімією і особливо з фізичною хімією. Остання є науковою основою теоретичної й практичної металургії.

У міру розвитку сучасної науки і техніки росте попит на метали високої чистоти, що мають особливі властивості. Так, надчистий алюміній має підви-

щину корозійну стійкість, більш високу пластичність, електро- і теплопровідністю й поруч інших коштовних властивостей. Германій здобуває властивості напівпровідника тільки при вмісті в ньому одного атома домішки на мільйон і більше атомів самого германія. Особливі вимоги до металів високої чистоти пред'являються при дослідженні атомного ядра, в атомній енергетиці і радіоелектроніці.

1. Метали і їх класифікація.

Зі 107 відомих у цей час елементів періодичної системи Д. І. Менделєєва близько 80 мають більш-менш яскраво виражені металеві властивості. Загальними ознаками металевого стану є: металевий блиск і непрозорість, висока електро- і теплопровідність, висока пластичність (ковкість), кристалічна структура, сірий колір з відтінками від світло-сірого до темно-сірого (виключення становлять тільки два метали - червона мідь і жовте золото).

Характерною рисою для металевого стану, як ми вже відзначали вище, є їхня кристалічна структура. Більшість металів кристалізується в трьох типах кристалічних ґрат: кубічної об'ємно - центрованої, кубічної гранецентрованої і гекса - і тональної щільної.

Цим типам ґрат властиві компактність і висока щільність упакування.

Важливу роль у виробництві і споживанні металів відіграє їх хімічна активність, яку можна охарактеризувати положенням металів в електрохімічному ряді напруг.

У ряді напруг кожний більш електронегативний - метал здатний витіснити із з'єднань електропозитивні метали. Метали з негативними електродними потенціалами відрізняються більшою хімічною активністю і легше схильні до окислення, чим більш електропозитивні. Навпаки, у міру збільшення електродного потенціалу стійкість металу зростає.

Більшість металів добре сплавляються один з одним у будь-яких співвідношеннях, утворюючи двокомпонентні й багатоконпонентні сплави.

Металевий компонент, що вводиться в основний метал у невеликих кількостях, називається легуючим.

Можливості взаємної сплавки металів дозволяють у винятково широких межах міняти фізико-механічні й фізико-хімічні властивості металевих матеріалів у заданому напрямку.

Практично необмежені можливості створення сплавів різних складів дозволяють надавати їм легкоплавкість або тугоплавкість, підвищену механічну міцність і твердість або, навпаки, пластичність, високу корозійну стійкість і жаростійкість, високу магнітну сприйнятливність і багато інші, специфічні або поліпшені якості, невластиві чистим металам.

У сучасних умовах використовують промислову класифікацію металів, яка відображає історично, структуру, що склалась, металургійної промисловості і, як наслідок цього, структуру підготовки інженерно-технічних кадрів у вузах і технікумах нашої країни.

Згідно із промисловою класифікацією всі метали діляться на дві групи: чорні й кольорові.

До чорних металів відносять залізо і його сплави, марганець, і хром, виробництво яких тісно пов'язане з металургією чавуну й сталі. Всі інші метали належать до кольорових. Назва «кольорові метали» досить умовна, гак як фактично тільки золото й мідь мають яскраво виражене фарбування. Усі інші метали, включаючи чорні, мають сірий колір з різними відтінками від ясно-сірого до темно-сірого.

Кольорові метали умовно діляться на п'ять груп:

1. Основні важкі метали: мідь, нікель, свинець, цинк і олово. Своєю назва вони отримали через більші масштаби виробництва й споживання, великого («важкого») питомої ваги в народному господарстві.

2. Малі важкі метали: вісмут, миш'як, сурма, кадмій, ртуть і кобальт. Вони є природними супутниками основних важких металів. Звичайно їх одержують попутно, але роблять у значно менших кількостях.

3. Легкі метали: алюміній, магній, титан, натрій, калій, барій, кальцій,

стронцій. Метали цієї групи мають найнижчу серед інших металів щільність (питому масу).

4. Благородні метали: золото, срібло, платина й платиноїди (палладій, родій, рулювань, осмій і іридій). Ці метали мають високу стійкість до впливу навколишнього середовища й агресивних середовищ.

5. Рідкі метали. По промисловій класифікації рідкі метали розділяються на наступні підгрупи: підгрупи:

- а) тугоплавкі метали: вольфрам, молібден, тантал, ніобій, цирконій і ванадій;
- б) легкі рідкі метали: літій, берилій, рубідій і цезій;
- в) розсіювані метали: галій, індій, талій, германій, гафній, реній, селенів і телур;
- г) рідкісноземельні метали: скандій, иттрий, лантан і лантаноїди;
- д) радіоактивні метали: радій, уран, торій, актиній і трансуранові елементи.

2. Руди кольорових металів

У металургійній промисловості використовують майже всі види корисних копалин. Основною сировиною для одержання металів є руди, але застосовуються також горючі корисні копалини, вогнетривкі й флюсові матеріали.

Рудою називається гірська порода, що містить у своєму складі метал або метали в таких кількостях, які при сучасному рівні розвитку збагачувальної й металургійної техніки можуть бути економічно вигідно витягнуті в товарну продукцію,

До гірських порід відносять усі природні утвори, що становлять родовища тої або іншої корисної копалини.

Руда складається з мінералів природних хімічних сполук. Мінерали підрозділяють на рудні (коштовні) і порожню породу. До порожньої породи відносять мінерали, що не містять вийнятих елементів.. Найчастіше породотвірними мінералами є кварц, карбонати, силікати й алюмосилікати,

Поняття «порожня порода» досить умовне. У міру розвитку металургійної технології, спрямованої на створення безвідхідних металургійних процесів, вже створені передумови для повного використання компонентів порожньої породи при отриманні ряду будівельних матеріалів (цементу, шлаковатних виробів, ситалів, жужільної брушатки і т.п.).

Склад руди звичайно визначають хімічним аналізом. Однак для практичних цілей знання хімічного складу часто буває недостатнім. Потрібно знати ще вид присутніх у сировину мінералів (мінералогічний состав) і розподіл між мінералами всіх компонентів сировини, що переробляється (фазовий состав). Знання мінералогічного й фазового складу дозволяє передбачити поведінку всіх компонентів даної сировини при металургійній переробці, вибрати найбільш раціональну технологію й найбільше правильно виконати металургійні розрахунки в цілому.

Залежно від виду присутніх металомістких мінералів руди кольорових металів діляться на наступні групи:

1. сульфідні, у яких метали перебувають у формі сірчистих з'єднань. Прикладом таких руд можуть служити мідні, міднонікелеві й свинцево-цинкові руди;

2. окислені, у яких метали присутні у формі різних кисеньвмістких з'єднань (оксидів, карбонатів, гідроксидів і т.п.;. До цієї групи належать алюмінієві, окислені нікелеві, олов'яні руди, руди ряду рідких металів;

3. змішані, у яких метали можуть перебувати як у сульфідній, так і в окисненій формі (мідні руди);

4. самородні, що містять метали у вільному стані. У самородному стані в природі зустрічаються золото, срібло, мідь і платина.

По числу присутніх металів руди класифікуються на монометалічні й поліметалеві (комплексні). Більшість руд кольорових металів є поліметалевими і містять мінімум два коштовні компоненти. Найбільш складними по складу є

мідні, мідно-нікелеві і свинцево-мідно-цинкові руди. Вони містять до 10-15 коштовних металів.

Руди кольорових металів, як правило, дуже бідні й містять усього кілька відсотків, а часто й частки відсотка основного металу. Концентрація коштовних елементів - супутників звичайно в багато разів менше. Однак багато супутніх елементів по цінності значно перевершуючи основні компоненти руди. Зразкова вартісна оцінка двох видів руд наведена в табл. 1.

Таблиця 1. - Ціннісна структура мідної і окисненої нікелевої руди

Компонент руди	Вміст ‰	Цінність, %	Компонент руди	Вміст, %	Цінність, %
<i>Мідна руда</i>			<i>Окислена нікелева руда</i>		
Мідь	2.5	26	Нікель	1	37.1
Цинк	2.5	15.6	Кобальт	0.1	1.1
Сірка	40	41.7	Залізо	35	51.9
Золото	2*10*	10.4			
Срібло	30.10.2004	6.3			

При переробці складних по складу руд необхідно домагатися повного комплексного використання всіх її коштовних складових, тобто безвідхідної технології.

Рентабельний мінімум, тобто мінімальний зміст основного металу, яке визначає можливість і доцільність металургійної переробки даної руди, постійно знижується. Так, якщо наприкінці XIX в. до категорії мідних руд відносили гірські породи зі змістом міді не менш 1,5 %, то зараз ця величина знизилася до 0,4-0,5 %.

Зниженню рентабельного мінімуму сприяють розвиток і вдосконалювання збагачувальної й металургійної техніки.

Руди, як і інші корисні копалини, утворюють у землі природні скупчення, які називаються родовищами. Зміст пінних елементів у родовищах значно вище їх середнього вмісту в земній корі. Найпоширенішим металом у природі є алюміній.

Найбільше рідко зустрічаються в природі полоній і актиній, кларк який близький до 10^{15} .

З наведених вище даних видно, що на частку перших дев'яти елементів доводиться 98,4 % загального складу земної кори, а на частку інших усього 1,6 %.

Запаси кольорових металів у доступних для людини ділянках земної кори неухильно зменшуються. Однак їх природні ресурси можуть бути значно розширені. Невичерпні запаси кольорових металів мають моря й океани. Морська й океанічна вода містить до 3,5 % розчинених солей. У найбільших концентраціях в ній присутні натрій, магній, калій і стронцій. У морській воді присутня також мідь, алюміній, нікель, золото, срібло, рідкі й неухильні елементи. І хоча їх концентрація мізерно мала, запаси їх невичерпні і людина може і повинна навчитися їх видобувати. Дно морів і океанів устеляють поклади металвмістких конкрецій — мінеральних утворів округлої форми, що виникли навколо стороннього тіла в результаті концентрації мінеральних речовин з водяних розчинів. Внаслідок безперервного утвору й росту конкрецій запаси металів у них невичерпні.

3 Вторинна сировина

Крім рудних джерел, для одержання багатьох кольорових металів (алюмінію, міді, цинку, свинцю, шляхетних і ряду інших металів) використовують вторинну сировину. До вторинної сировини відносять відходи металообробної промисловості, браковані й ті, що відслужили свій строк металеві деталі й виробу, різний металевий лом, побутовий утиль і т.д.

Питома вага вторинної сировини рік у рік росте.

Залучення вторинної сировини в цикл металургійного виробництва має величезне народногосподарське значення, тому, що дозволяє ощадливіше ви-

трачати природні рудні ресурси, одержувати метали більш простими й дешевими металургійними прийомами, додатково збільшувати випуск металевої продукції.

Успішне використання вторинної сировини в кольоровій металургії залежить від рівня організації його збору, сортування, зберігання й підготовки до металургійного переділу.

У перспективі вторинна сировина повинна стати основним джерелом одержання деяких кольорових металів, а за рахунок переробки рудної сировини буде покриватися лише дефіцит балансу між споживанням і виробництвом даного металу.

4 Металургійне паливо

Багато металургійних процесів здійснюються при високих температурах і пов'язані з витратами теплової енергії. Необхідні температури досягаються спалюванням палива або за рахунок використання електроенергії.

Основні різновиди палива мають органічне походження. До складу палива входять вуглець, водень, сірка, кисень і азот, що присутній у вигляді різних з'єднань і складають горючу масу.

У металургії прагнуть використовувати тільки високоякісне паливо з високою теплотворною здатністю й низьким вмістом золи. Цим вимогам найбільшою мірою задовольняють природний газ, мазут, кокс і висококалорійне кам'яне вугілля.

Природний газ. Природний газ є самим зручним видом палива. Його легко транспортувати й підводити до місць споживання за допомогою трубопроводів. Перед спалюванням газ не вимагає ніякої підготовки.

Природний газ містить 85-98 % метану й інших вуглеводнів. Основними домішками природного газу є сірководень і конденсат (рідкі вуглеводи).

Рідке паливо. Основним видом рідкого палива, що використовується у кольоровій металургії, є мазут - залишок від перегонки нафти. Нафта і мазут це суміш різних вуглеводнів.

Мазут є кошовною сировиною для одержання мастил і гудрону. Тому застосування його у виробництві кольорових металів у цей час обмежене й скорочується рік у рік.

Спалювання мазуту здійснюють за допомогою спеціальних форсунок, у яких його пульверизують стисненим повітрям. Для кращого розпилення (зниження в'язкості) мазут перед подачею у форсунки підігрівають до 80°C.

Кам'яне вугілля є продуктом природної мінералізації рослинних залишків. Залежно від ступеня мінералізації кам'яні вугілля відрізняються вмістом вільного вуглецю, вуглеводнів, золи й бітумів (смолоподібних речовин). У кольоровій металургії, як правило, використовують тільки високоякісні вугілля з малим вмістом золи (<15 %) і високим вмістом летучих компонентів — вуглеводнів (бажано >25%). Кам'яне вугілля спалюють переважно у вигляді вугільного пилу. Для цього вугілля дроблять і подрібнюють до крупності <70 мкм, а потім сушать. Спалювання пилевугілля проводять у спеціальних пальниках, розпорошуючи його стисненим повітрям.

Кокс. Деякі металургійні печі, наприклад шахтні, вимагають кускового міцного й пористого палива. Цим вимогам задовольняє тільки металургійний кокс.

Кокс належить до штучних видів палива. Його одержують шляхом сухої перегонки спеціальних сортів (коксівних) кам'яних вугілля при 900 -1000°C у герметично закритих камерах - коксових батареях. При коксуванні відбувається термічне розкладання кам'яного вугілля з відгоном у вигляді газів і пари летучих компонентів.

ЗБАГАЧЕННЯ РУД КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

1. Загальні відомості

Більшість руд кольорових металів, як уже було показано вище, являють собою порівняно бідні поліметалеві породи. Тільки незначна частина руд, що видобуваються, придатна для безпосередньої переробки на металургійних заводах. Руди звичайно збагачують, тобто штучно підвищують вміст металів у сировині, що надходить на металургійну переробку, а в ряді випадків попередньо розділяють коштовні метали. Збагачення руд дозволяє підвищити вміст металу в десятки й сотні раз у порівнянні з добутими рудами.

У кольоровій металургії роль збагачувальних процесів особливо велика. Від змісту металу в сировині, що переробляється, залежить продуктивність металургійного підприємства, трудові витрати, витрата палива, електроенергії й допоміжних матеріалів, втрати металів, що видобуваються, і собівартість готової продукції.

Підвищення вмісту металу в сировину в результаті його збагачення досягається шляхом видалення більшої частини порожньої породи. Однак, якщо руда містить у достатніх кількостях кілька металів, завдання збагачення розширюються.

Поряд з відділенням порожньої породи в цьому випадку вирішується завдання виділення кожного металу в окремий продукт, придатний для самостійної металургійної переробки. Такий метод збагачення називається селективним збагаченням.

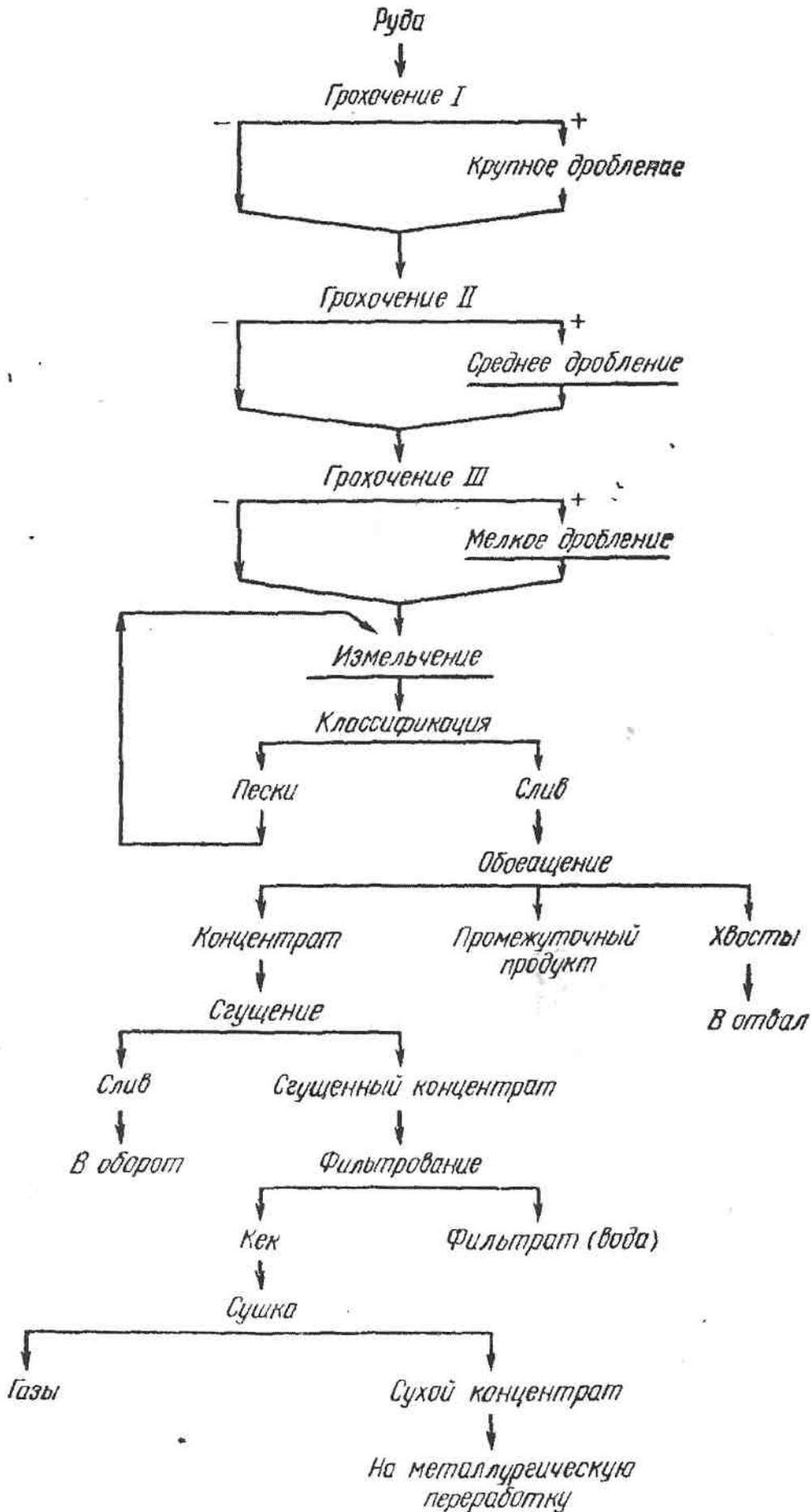
Збагачення руд, як самостійна галузь гірничо - металургійного виробництва, здійснюється методами механічної обробки, не пов'язаної з хімічними, перетвореннями мінералів; хімічний склад мінералів при цьому залишається незмінним. Змінюються лише кількісні співвідношення між змістами коштовних мінералів і порожньої породи у вихідній сировині й продуктах збагачення.

Численні способи механічного збагачення засновані на використанні відмінності у фізичних властивостях мінералів: щільності, крупності, форми, кольору й блиску, змочуваності, магнітної сприйнятливості й ін.

Перед збагаченням руду, як правило, приводять у такий стан, при якому мінерали, що втримуються в ній, будуть як можна повніше звільнено від зростків один з одним. Це досягається при дрібненні й здрібнюванні руди й сортуванням здрібненого матеріалу по крупності просіванням або класифікацією. У свою чергу отриманий концентрат необхідно підготувати до металургійної переробки шляхом його зневоднювання (мал. 1). На мал. 1 знаками «+» і «-» позначені велика й дрібна фракція продукту здрібнювання.

Таким чином, процес збагачення складається з підготовки руди до збагачення, власне збагачення й підготовки концентрату до металургійної переробки.

Більшість технологічних операцій збагачувальної технології проводять у водному середовищі. Механічна суміш твердих матеріалів з рідиною називається пульпою. Основною характеристикою пульп є відношення рідкого до твердого по масі (ж:т). Так, при відношенні ж:т= 3: 1 у рудній пульпі маса (обсяг) води в ній у три рази більше маси твердого матеріалу.



2 Продукти й показники збагачення

Кінцевими продуктами збагачення є концентрати й відходи.

Концентратом називають продукт збагачення з підвищеним вмістом металу, що видобувається..

Одним із простих і зроблених методів гравітаційного збагачення є збагачення у важких середовищах (суспензних), що дозволяє розділяти мінерали навіть із різницею в щільності до 0,1. Сутність цього методу полягає в наступному. Якщо суміш двох мінералів помістити в середовище із щільністю, проміжною між щільностями цих мінералів, то суміш розділиться: легкий мінерал спливе, а важкий потоне.

Магнітне збагачення (сепарація) засноване на відмінності магнітної сприйнятливості поділених мінералів. Воно проводиться в сильному магнітному полі, створюваному постійними магнітами зі спеціальних сплавів (частіше) або електромагнітами. При посуванні руди в магнітному полі сепаратора одні частки намагнічуються, притягуються до полюсів магніту і потім виносяться з робочого простору, а інші немагнітні частки віддаляються живильним транспортером.

Електростатичний метод збагачення заснований на дії електричного поля на заряджені частки. Заряджаються частки завдяки електризації в електричному нулі або на зарядженому електроді, тертям і іншими засобами.

При зіткненні частинок збагачуваного матеріалу із зарядженим металевим електродом електростатичного сепаратора всі частки отримують одноіменний заряд. Частки з великою провідністю, що одержують більший заряд, відштовхуються від електрода, а погані провідники струму (діелектрики) майже не заряджаються і не змінюють шляхи руху в сепараторі.

ПРИНЦИПИ і МЕТОДИ МЕТАЛЛУРГІЇ

1 Завдання металургійного виробництва

Основним кінцевим завданням металургійного виробництва є одержання металів із сировини, що переробляється, у вільному металевому стані або у вигляді хімічної сполуки.

Для одержання металів досить високої чистоти зі складної поліметалевої сировини з високим ступенем комплексності його використання недостатньо застосувати один металургійний процес або один металургійний агрегат. Це завдання може бути реалізоване в практичних умовах лише застосуванням декількох послідовно проведених процесів, що забезпечують поступовий поділ компонентів сировини, що переробляється.

Для всіх підприємств кольорової металургії характерні багатоступінчасті технологічні схеми.

2 Класифікація металургійних процесів

Усі використані при виробництві кольорових металів процеси підрозділяються на дві групи: пірометалургійні й гідрометалургійні.

Пірометалургійні процеси проводяться при високих температурах найчастіше з повним і рідше із частковим розплавлюванням матеріалів, гідрометалургійні процеси — у водних середовищах при температурах максимально до 300° С.

Виділені іноді в окрему групу електрометалургійні процеси можуть бути як піро-, так і гідрометалургійними. Відмінною рисою цих процесів є використання електроенергії в якості руйнуючої енергетичної сили для їхнього протікання.

Пірометалургійні процеси

Пірометалургійні процеси по характеру поведінки компонентів, що брали участь в процесі компонентів і їх кінцевому результаті можна поділити на три групи: випал, плавка і дистиляція.

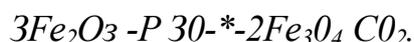
Випал - металургійний процес, що проводиться при високих температурах (500 -1200°C) з метою зміни хімічного складу сировини, що переробляється. Випалювальні процеси, за винятком випалу зі спіканням, є твердофазними.

У кольоровій металургії застосовують наступні види випалу:

1. Кальцинований випал (прокалку) проводять з метою розкладання (дисоціації) нагріванням нестійких хімічних сполук - гідроксидів, карбонатів і ін.

2. Окисний випал застосовують для підготовчої обробки сульфідних руд і концентратів з метою повного або часткового перекаладу сульфідів в оксиди.

3. Відновлений випал проводять для відновлення вищих оксидів деяких металів до нижчих, наприклад:



4. Випал, що хлорує і фторидує проводять з метою перекаладу оксидів або сульфідів у водорозчинні або летучі хлориди (фториди).

Плавка - пірометалургійний процес, проведений при температурах випадків, що забезпечують у більшості, повне розплавлення матеріалу, що переробляється. Розрізняють два різновиди плавки — рудні і рафінувальні.

По характеру хімічних реакцій, що протікають, *рудні плавки* поділяються на наступні види:

1. Відбудовна плавка. Її проводять з метою одержання металу за рахунок відновлення його оксидних з'єднань вуглецевими відновлювачами й перетворення порожньої породи в шлаки (сплав оксидів).

2. Плавка на штейн. Її застосовують із метою вилучення металу в напівпродукт, називаний штейном (сплав сульфідів). Другим продуктом плавки є шлак, що концентрує в собі оксидні компоненти.

Цей вид плавки може проводитися в нейтральній, відновлювальній або окислювальній атмосфері. В останньому випадку плавку часто називають концентраційною, тому що плавка в окислювальних умовах дозволяє одержувати штейни з більшою концентрацією (вмістом) вилученого металу.

Плавку на штейн широко використовують при виробництві міді й нікелю.

До окислювальної плавки належить також процес конвертування штейнів.

1. Електроліз розплавлених солей ведуть при впливі постійного струму на розплавлене середовище, що складається з оксидів або хлоридів.

2. Металотермічна плавка. Її застосовують для одержання металів, що важко відновлюються, схильних у випадку застосування вуглецевих відновників, до утворенню карбідів (Me_xX_c), що надають їм крихкість.

3. Реакційна плавка. Заснована на одержанні металу за рахунок взаємодії його оксиду й сульфїду:



Прикладом реакційної плавки є процеси одержання металевого свинцю або міді.

Рафінувальні плавки проводять з метою очищення отриманих металів від домішок. В основі їх лежить відмінність у фізико-хімічних властивостях основного металу і металів-домішок. Існують наступні різновиди рафінувальних плавок:

1. Окислювальне (вогневе) рафінування. Засноване на відмінності в спорідненості до кисню основного металу й домішки. Оксиди домішок, що утворюються при цьому, спливають на поверхню рафінованого металу, утворюючи шлак.

2. Ліквацийне рафінування. В основі цього процесу лежить принцип утворення і розподілу по щільності (ліквация) двох фаз, одна з яких є рафінувальним металом. Домішка при цьому повинна концентруватися в іншій, нерозчинній в основному металі фазі.

3. Сульфидуюче рафінування використовують для очищення металів від домішок, що володіють підвищеною спорідненістю до сірки.

4. Хлорне рафінування. Засноване на відмінності спорідненості до хлору металу й домішок. Утворені хлориди домішки, що утворювалися хлориди, будуть спливати на поверхню металу або випаровується..

Дистиляція процес випаровування речовини при температурі ненабагато вище точки його кипіння, що дає можливість розділити компоненти оброблюваного матеріалу залежно від їхньої летючості. Дистиляційні процеси використовують у металургії цинку та при одержанні ряду легких і рідких металів.

Гідрометалургійні процеси

Гідрометалургійні процеси проводяться при низьких температурах на межі розподілу найчастіше твердої і рідкої фаз. Будь-який гідрометалургійний процес складається із трьох основних стадій: вилуговування, очищення розчинів від домішок і осадження металу з розчину.

Вилуговування - процес перекладу металів, що витягуються, у розчин (розчинення) при впливі розчинника на матеріал, що переробляється (руду, концентрат, напівпродукти металургійного виробництва і т.інш.) часто у присутності газового реагенту - кисню, водню і інш.

У результаті вилуговування одержують два продукти: розчин витягуємого металу, забруднений домішками, і нерозчинний залишок, що складається в основному з порожньої породи.

У якості розчинників використовують воду, розчини кислот, лугів або солей.

Очищення розчинів від домішок проводять з метою запобігання їх влучення в метал, що вилучають, при її наступному його осадженні у вигляді хімічної сполуки або вільному стані.

Осадження металів з очищених розчинів від вилуговування може бути проведене електролізом водяних розчинів, цементацією або відновленням газоподібними відновниками під тиском.

У гідрометалургії кольорових металів, особливо при виробництві рідких і благородних металів, усе більше поширення набувають сорбційні (іонооб-

мінні) і екстракційні процеси. Застосування цих процесів спрямоване на розв'язання наступних завдань:

- 1) переклад кошовного металу з розчину після вилуговування в інший розчин, більш зручний по сольовому складу для наступної переробки;
- 2) концентрування металів з розведених розчинів і пульп;
- 3) селективний розподіл металів і очищення розчинів від домішок;
- 4) вилуговування, сумісне із сорбцією.

Іонообмінні процеси засновані на здатності деяких твердих речовин при контакті з розчинами поглинати іони з розчину в обмін на іони того ж знака, що входить до складу іоніту.

У якості іонітів найчастіше використовують тверді синтетичні високомолекулярні речовини, що володіють високою обмінною ємністю (іонообмінною здатністю), хімічною стійкістю й механічною міцністю.

3. Вимоги до сучасного металургійного процесу і його структура.

Сучасні металургійні процеси одержання кольорових металів і, тим більше, процеси найближчого майбутнього повинні задовольняти щонайменше наступним основним вимогам:

- 1) висока питома продуктивність застосовуваних апаратів;
- 2) висока продуктивність праці (випуск продукції на одного працівника 15 кількісному або вартісному вираженні);
- 3) високий ступінь добування всіх кошовних складових;
- 4) високий ступінь комплексності використання сировини;
- 5) мінімальні енергетичні витрати за рахунок використання зовнішніх джерел теплової енергії або електрики;
- 6) максимальне використання вторинних енергоресурсів;
- 7) забезпечення можливості комплексної механізації й автоматизації всіх операцій;
- 8) використання простий, дешевої, довговічної й зручної в роботі, пуску, налагодженні й ремонті апаратури;

9) забезпечення можливості створення безперервних, потокових, повністю автоматизованих технологічних ліній одержання металів;

10) забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці й охорони навколишньої природи.

Завдяки своєму характеру фізико-хімічні перетворення й взаємодії в пірометалургії представляють три групи явищ.

1) Перетворення, пов'язані тільки з дією високих температур. До них належать нагрівання, сушіння, термічна дисоціація, плавлення та ін.

2) Перетворення, пов'язані з дією газової фази на тверді й рідкі речовини. Характер таких перетворень залежить від дії газового середовища. В окисній атмосфері, що містить кисень або інші окислювачі, відбуваються реакції окислення сульфідів, металів, реакції горіння вуглецю і т.інш. Якщо середовище буде мати відновлювальний характер, тобто коли в газовій фазі багато оксиду вуглецю або водню, будуть протікати реакції відновлення оксидів металів, сульфатів, оксиду сірки (SO_2) і т.п. Нейтральна атмосфера, коли в газовій фазі не втримується помітних кількостей окиснювачів або відновлювачів, не буде виявляти істотного впливу на матеріали, що переробляються.

3) Хімічні взаємодії між присутніми в матеріалах, що переробляються, компонентами.

Зупинимося лише на загальній характеристиці елементарних стадій найбільш складного по своїй структурі процесу металургійної плавки рудної сировини. Цей вид плавки включає наступні елементарні стадії:

1) нагрівання і сушіння, матеріалів, що переробляються;

2) термічну дисоціацію нестійких хімічних сполук;

3) окиснення сульфідів або відновлення оксидів (залежно від характеру плавки);

4) розплавлення легкоплавких компонентів з утвором первинних розплавів;

5) розчинення більш тугоплавких складових у первинних розплавах з утвором штейну або чорнового металу й шлаку;

- б) розподіл цінних компонентів між продуктами плавки;
- 7) розподіл рідких продуктів плавки.

4. Продукти й напівпродукти металургійного виробництва

1. Загальні відомості

Кольорова металургія є комплексною галуззю промислового виробництва. Асортименти товарної продукції підприємств кольорової металургії дуже широкий і різноманітний.

Продукцією окремих підприємств кольорової металургії можуть бути:

- 1) кольорові метали й сплави у вигляді злитків, катодів, прокату і т.д.;
- 2) хімічна продукція: сірчана кислота, елементарна сірка, мідний і нікелевий купорос, кальцинована сода, поташ, різні хімічні реактиви (солі, оксиди, гідроксиди і т.інш.);
- 3) мінеральні добрива: суперфосфат, амофос і інш.;
- 4) будівельні матеріали: цемент, мінераловатні й асбошиферні вироби, щебені, гранульований шлак, жужільна брущатка і т.д.;
- 5) теплова й електрична енергія;
- б) кисень і аргон.

2. Метали

Метали є основним видом продукції металургійного виробництва. У кольоровій металургії залежно від застосовуваної технології й складу металів, що виходять, розрізняють чорнові й рафіновані метали. Товарною продукцією, що надходить до споживача для подальшого використання по прямому призначенню, як правило, є рафіновані метали.

Чорновими металами називають метали, забруднені домішками. У число домішок входять шкідливі і цінні елементи супутники основного металу. Шкідливі домішки погіршують характерні для даного металу властивості.

Сортамент рафінованих кольорових металів великий. Дості встановлюють випуск до 6 - 10 і більш марок кожного конкретного металу.

У невеликій кількості деякі підприємства кольорової металургії випускають метали підвищеної (особливою) чистоти. Випуск і якість надчистих металів регламентуються технічними умовами, укладеними між постачальником і замовником.

3. Штейни

Штейном називається сплав сульфідів важких кольорових металів (міді), нікелю, свинцю, цинку та інш.) із сульфідом заліза, у якому розчинені домішки Штейни є проміжними металовмісткими продуктами, отримання яких характерно для пірометалургії міді, нікелю й частково свинцю.

У практиці кольорової металургії отримують мідні, мідно - нікелеві, нікелеві й поліметалеві штейни (табл. 2). Вони утворюються в рідкому стані й практично не змішуються з рідкими шлаками, що дозволяє відокремлювати їхній друг від друга шляхом відстоювання. Для успішного розподілу штейнів і шлаків необхідно, щоб різниця їх щільностей була не менш 1. Чим вона більше, тем швидше йде відновлення. Так, якщо шлак має щільність близько 3000 кг/м^3 , то щільність штейну повинна бути більш 4000 кг/м^3 .

Табл. 2 Склад заводських штейнів, %

Вив штейну	Си	N1	PЬ	Zп	Fe	S
Мідний	10-60	До 0.5	До 1	1-6	30-50	23-26
Міднонікелевий	5-10	5-13	-	-	40-60	24-27
1 (нікелевий	0.1-0.3	12-20	-	-	55-60	15-22
11одимсгалличеек	10-30	-	-	5-10	-	13-22

Металургійні шлаки

Шлаки є другим обов'язковим продуктом більшості металургійних плавок. Вони утворюються за рахунок ошлакування порожньої породи й флюсів і полягають в основному з оксидів. Крім шлакоутворювальних компонентів, реальні заводські шлаки обов'язково містять деяку кількість металів, що вилучаються.

Вихід шлаків при плавленні руд або концентратів кольорових металів звичайно великий і становить 60 -120 % від маси рудної фракції шихти.

Роль шлаків у рудних плавках дуже велика. Вони є тим середовищем, у якому протікають основні фізико-хімічні взаємодії й реакції одержання металомісткого продукту й шлаків кінцевого складу, а також відбувається поділ рідких продуктів плавки.

Окускування дрібних матеріалів

Окускування дрібних матеріалів обкотуванням (грануляцією), брикетуванням і агломерацією. *Обкотуванням* (грануляцією) називається операція укрупнення дрібних фракцій руд, концентратів і порошоків, при якій матеріал скачується в кулясті майже геометрично правильні міцні окотиші (гранули), що зберігають свою форму й розміри при подальшій переробці.

Технологічна схема обкотування включає наступні три операції: підготовку матеріалів до обкотування, властиво обкотування і зміцнення сирих гранул.

Перша операція передбачає здрібнювання вихідних матеріалів (якщо буде потреба), підготовку їх по гранулометричному складу , зволоження або підсушування і ретельне перемішування компонентів шихти.

Вирішальний вплив на результати обкотування виявляє вологість вихідної шихти. Оптимальна вологість при обкотуванні коливається в межах 6-12 %. Для отримання більш міцних обкотишів іноді в шихту вводять сполучні добавки.

Обкотування здійснюють у барабанних або чашевих (тарільчастих) грануляторах.

Міцність сирих обкотишів після грануляції звичайно невелика.. Однак вона може бути збільшена зменшенням вмісту в них вологи, яку видаляють звичайно штучним сушінням при температурах вище 100°C. У ряді випадків для зміцнення окатишів застосовують прожарювання (випалу) при температурі до 1000°C і вище

Брикетуванням називається процес окусковування шляхом пресування пухких і пилоподібних матеріалів у шматки правильної і одноманітної форми брикети.

Міцність, що надається брикетам, обумовлюється або дією сил молекулярного зчеплення в результаті зближення окремих часток при пресуванні, або дією зв'язувальних речовин, що забезпечують необхідне зчеплення часток.

У якості неорганічних сполучень використовують вапно, глину, хлорид кальцію і інш. До органічних речовин належать пек, гудрон, смоли, вугілля, сульфатний луг і т.п.

Перед пресуванням вихідні матеріали піддають підготовчим операціям: підсушуванню або зволоженню, здрібнюванню, гранулометрической класифікації, перемішуванню зі зв'язувальними речовинами і т.д.

Сірі брикети можуть бути безпосередньо спрямовані в металургійний переділ. Однак частіше їх додатково зміцнюють сушінням, випалом або пропарюванням.

Для брикетування рудної сировини в кольоровій металургії найбільше поширення одержали валкові й штемпельні преси.

Агломерацією називається процес спікання дрібної руди або концентрів у міцний, грудковий і пористий матеріал (агломерат).

Спікання відбувається за рахунок часткового розплавлення легкоплавких компонентів шихти, які, змочуючи шматки більш тугоплавкої породи, при наступному охолодженні їх зварюють. Тепло для нагрівання й оплавлення ши-

хти при агломерації окислених руд одержують за рахунок спалювання дрібно-го коксу (коксіка), що вводиться в шихту.

Горіння палива відбувається за рахунок кисню дуття, яке просмоктується або продувається через шар шихти, що знаходиться колосникових решітках шихті.

Вольфрам і його застосування.

Вольфрам є тугоплавким металом ($T_m = 3395+15^\circ\text{C}$), уступаючи по цьому параметру тільки вуглецю. Метал відрізняється дуже високою точкою кипіння ($>5500^\circ\text{C}$) і досить малою швидкістю випару навіть при температурі 2000°C .

По зовнішньому вигляду компактний вольфрам схожий на сталь. Він є найбільш міцним при високих температурах. Механічній обробці (куванню, прокатці й волочінню) вольфрам піддається тільки при нагріванні.

У звичайних умовах вольфрам досить стійкий метал, але при нагріванні на повітрі до $400-500^\circ\text{C}$ окислюється з утворенням WO_3 , здатної з основними оксидами утворювати вольфрамати $MeWO_4$.

У цей час вольфрам знаходить широке й різноманітне застосування в чистому вигляді.

У чистому вигляді вольфрам у вигляді дроту, стрічки й різних деталей застосовують в електротехнічній і радіоелектронній промисловості, де використовують низьку пружність його пари при високих робочих температурах ($2200-2500^\circ\text{C}$). Його застосовують для виготовлення ниток накалювання в електролампах, катодів, підігрівників і контактів у радіоелектронних приладах, рентгенівських і газорозрядних трубках.

Вольфрамові дріт, трубки й прутки використовують для виготовлення елементів опору в нагрівальних печах, що працюють в атмосфері водню, нейтрального газу або у вакуумі при температурах до 3000°C .

Ще ширше вольфрам застосовують у вигляді сплавів і в першу чергу при виробництві спеціальних сталей. На їх виготовлення витрачається до 50 % вольфрамових концентратів.

Найбільш важливими вольфрамвмісткими сталями є швидкорізальні (8-20% W , інструментальні (1 - 6% W і 0,4 - 2 % C_2), магнітні (5 - 9% W і 30 - 40% Co). Тверді сплави на основі карбїду вольфраму WC мають високу твердість, зносостійкість і тугоплавкість. На основі карбїду створені найбільш продуктивні інструментальні сплави (85 - 95 % WC і 5 - 10 % Co).

Особливе значення тверді сплави на основі карбїду вольфраму придбали при виготовленні ріжучих і бурових інструментів і фільтер для волочіння дроту. Знаходять застосування також литі карбїди вольфраму.

Сировина для одержання вольфраму й методи його переробки

Відомо близько 15 мінералів вольфраму, що представляють, собою солі вольфрамової кислоти. З них тільки два — вольфрамїт (Fe, Mn) WO_4 і шеєліт $CaWO_4$ мають промислове значення. Вольфрамїт є ізоморфною сумішшю вольфраматів заліза й марганцю змінного складу. Найбільш багаті вольфрамові руди містять звичайно 0,2 - 2 % W . В рудах вольфраму часто супроводжують молібденїт MoS_2 , каситерит SnO_2 , пірит, халькопірит і інші мінерали. Найбільше часто вольфрамїт зустрічається разом з каситеритом.

Вольфрамові руди обов'язково збагачують. Для збагачення вольфрамових руд застосовують гравітацію й флотацію, магнітну й електростатичну сепарацію.

Відділення слабомагнітного вольфрамїту від немагнітного каситериту успішно проводиться електромагнітною сепарацією. Основним методом збагачення шеєлітових руд є флотація.

При збагаченні вольфрамових руд одержують концентрати з вмістом 55-65 % WO_3 .

Усі використовувані в промисловості способи переробки вольфрамових концентратів включають наступні основні технологічні стадії:

- 1) розкриття (розкладання) концентратів;
- 2) вилуговування сплаву або спека;
- 3) очищення розчинів вольфрамату натрію від домішок;
- 4) одержання технічної вольфрамової кислоти;
- 5) очищення технічної вольфрамової кислоти;
- 6) одержання вольфрамового ангідриду (триокису вольфраму).

Розкладання вольфрамовмісних концентратів

Найпоширеніше розкладання спіканням або оплавленні із содою. засноване на реакціях утвору водорозчинних вольфраматів натрію.

Розкладання вольфрамитових концентратів проводять при 800-1000° С.

Спик або сплав, що містить вольфрамат натрію, вилуговують гарячою водою (70-90°С) з метою перекаду в розчин $\text{Na}_2 \cdot \text{WO}_4$. Вилуговування проводять у чанах, що обігриваються, з механічним перемішуванням. Розчини відокремлюють фільтруванням.

Переробка розчинів вольфрамату натрію на вольфрамовий ангідрид

Кінцевою метою переробки розчинів вольфрамату натрію є одержання вольфрамового ангідриду WO_3 із сумарним вмістом домішок не більш 0,05-0,1%, придатного для виробництва металевого вольфраму або його карбиду.

Одержання WO_3 необхідної чистоти звичайно здійснюється по складній багатостадійній технології, що включає наступні процеси:

- 1) очищення розчинів вольфрамату натрію від домішок;
- 2) осадження вольфрамату кальцію (штучного шееліту);

- 3) розкладання $CaWO_4$ кислотами з одержанням технічної вольфрамової кислоти;
- 4) розчинення вольфрамової кислоти в аміачній воді;
- 5) виділення з розчину паровольфрамату амонію;
- 6) одержання WO_3 прожарюванням паровольфрамату амонію або вольфрамової кислоти.

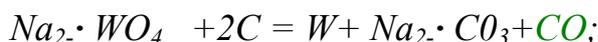
Продукт прожарювання повинен містити не менш 99,90 - 99,95 % WO_3 , склад якого регламентується технічними умовами.

Виробництво вольфрамового порошку

Одержання компактного вольфраму плавкою внаслідок високої температури його плавлення представляло значні технічні труднощі й стало можливим тільки завдяки освоєнню сучасних методів вакуумної плавки (дугової, електронно-променевої, плазмової та інш.). Дотепер вольфрам в основному одержують із його з'єднань у вигляді порошку, який потім перетворюють у компактний метал методом порошкової металургії.

Порошкоподібний вольфрам можна одержати відновленням його з'єднань, головним чином WO_3 , різними відновниками. Найбільше поширення в промисловій практиці одержав метод відновлення WO_3 воднем. Відновлення вуглецем приводить до насичення WO_3 карбідами, що надає металу крихкість і погіршує оброблюваність заготовок.

Для одержання порошків вольфраму, використовуваних при легуванні стали або для виробництва вуглецевих технічних сплавів, можна використовувати пряме відновлення вольфраматів кальцієм й натрієм:



Для отримання великих заготовок вольфраму і його сплавів масою до 3000 кг знайшли промислове застосування плавка в електричних, дугових печах з електродом, що витрачається і електронно-променева плавка.

Злитки вольфраму, отримані дуговою плавкою, мають крупнокристалічну структуру й підвищену крихкість, що обумовлене виділенням на міжкристалічних границях домішок у вигляді оксидів, карбідів, нітридів.

Електронно-променева плавка заснована на розплавленні металу пучком електронів, що випускаються катодом, що й володіють високою кінетичною енергією.

Більші злитки можна одержувати поступово, опускаючи дно кристалізатора.

Перспективною для отримання плавленого вольфраму вважають плавку в плазмових печах в аргонній або аргонно - водневому плазмовому струменю.

Молібден і його застосування.

Молібден ставиться до тугоплавких металів. Він плавиться при 2620°C і кипить приблизно при 4800°C .

Молібден ставиться до тугоплавких металів. Він плавиться при 2620°C і кипить приблизно при 4800°C .

Електропровідність молібдену нижче, чим у міді, але вище, чим у заліза. По механічній міцності він трохи поступає вольфраму, але легше піддається обробці тиском.

Молібдену властива висока корозійна стійкість

Молібден має широке й різноманітне застосування. Близько 80 % загального його випуску використовується в чорній металургії для виробництва легированих сталей.

Молібден суттєво поліпшує властивості сталей. Присадка молібдену значно підвищує їх прожарювання. Невеликі добавки молібдену (0,15 - 0,8 %) у конструкційні сталі настільки підвищують їхню міцність, в'язкість і корозійну стійкість, що вони використовуються при виготовленні самих відповідальних деталей і виробів.

Сталі, леговані молібденом, застосовують для виготовлення різального інструменту, штампів, а багато хто з них належать до нержавіючих.

Молібден вводять в сталі звичайно у вигляді феромолібдену (50-70 % *Mo*) або молібдату кальцію (*CaMoO₄*).

Для підвищення твердості молібден вводять у сплави кобальту і хрому (стеліти), які застосовують для наплавлення кромки деталей зі звичайної сталі, що працюють на зношування (стирання).

Молібден входив до складу ряду жаростійких і кислототривких сплавів на основі нікелю, кобальту й хрому.

У чистому вигляді молібден застосовують у вигляді стрічки або дроту, у якості нагрівальних елементів електропечей, що працюють в атмосфері водню при температурах до 1600 °С. Молібденова жерсть і дріт широко використовуються в радіоелектронній промисловості й рентгенотехніці для виготовлення різних деталей електронних ламп, рентгенівських трубок і інш. вакуумних приладів.

Найбільші виливки молібдену почали використовувати для виготовлення лопаток турбін і відповідальних деталей реактивних двигунів і ракет.

Молібден, що відрізняється високою міцністю і малим захватом теплових нейтронів, може служити конструкційним матеріалом в енергетичних і ядерних реакторах.

Сировина для отримання молібдену та способи його переробки

Молібден мало розповсюджений в природі: його кларк дорівнює $3 \cdot 10^{-4}$. Для молібдену характерна висока розповсюдженість в земній корі.

Першочергова промислова значимість із числа відомих молібденвмістких мінералів (близько 20) має молібденіт (молібденовий блиск) MoS_2 , що відноситься до числа мінералів первинного походження. Із руд, що містять молібден, отримують близько 99% молібдену.

Основним джерелом отримання молібдену є мідно молібденові руди., в яких молібденіт асоціює із сульфідами міді і заліза. Частіше в таких рудах вміст міді віще, чим молібдену, але іноді його більше, чим міді. Вміст молібдену в рудах звичайно складає соті і навіть тисячні і дуже рідко десяті долі відсотку.

Тому такі руди обов'язково підлягають флотаційному збагачуванню.

Молібденіт належить до числа легко флотаційних мінералів. Це дозволяє на практиці з дуже бідної молібденою сировини отримувати концентрати з вмістом 90-95% MoS_2 при вилученні мінералу до 90%.

Металургійну переробку молібденітових концентратів можливо вести із отриманням феромолібдену для чорної металургії або хімічних з'єднань різної чистоти – триокису молібдену MoO_3 , паромолібдену амонію $(NH_4)_2 MoO_4 \cdot 7H_2O$ - $4H_2O$, молібдатів натрію і кальцію ($Na_2 MoO_4$ і $CaMoO_4$), що використовуються у виробництві легованих сталей і чавунів, компактного молібдену або у хімічній промисловості.

Обов'язковою складовою частиною загальноприйнятих технологічних схем переробки молібденових концентратів є їх окислювальний випал з метою переведення молібдену із сульфідної форми в оксидну. (MoO_3),

Основним засобом переробки огарку на феромолібден є метало термічна плавка з використанням в якості відновника MoO_3 кремнію або алюмінію.

Технологія отримання компактного ковкого молібдену із обпалювальних концентратів складається із наступних операцій:

- 1) отримання чистого триокису молібдену;
- 2) отримання молібденового порошку відновлюванням MoO_3 воднем або вуглецем.;
- 3) Переведення молібдену в компактний стан плавкою або методами порошкової металургії.

Виробництво кольорових металів

Виробництво міді

Мідь один з найважливіших металів. По електропровідності вона небагато (усього 5%) уступає лише сріблу і є головним провідниковим матеріалом в електро- і радіотехніці, що споживають 40...50% усієї міді (а за рік роблять 3...5 млн.т міді). Майже у всіх областях машинобудування використовуються мідні сплави латуні й бронзи. Мідь як легуючий елемент входить до складу багатьох алюмінієвих і інших сплавів. Загальні запаси міді в рудах становлять близько 100 млн.т.

Мідь зустрічається в природі головним чином у вигляді сірчастих з'єднань CuS , Cu_2S у складі сульфідних руд. Усі мідні руди є бідними й звичайно містять 1...2%, іноді менше 1% міді.

Приблизно 90% первинної міді одержують пірометалургійним способом.

Пірометалургійний спосіб включає збагачення, її випал, плавку на напівпродукт штейн, виплавку зі штейну чорної міді, її рафінування.

Бідні мідні руди піддають збагаченню для одержання концентрату, що містить 10...35% міді. При збагаченні комплексних руд можливе добування з них інших коштовних елементів.

Найбільш широко для збагачення мідних руд застосовується метод флотації. Флотація заснована на різному змочуванні водою металовмісних часток порожньої породи тонкоподрібненої руди (0,05...0,5мм).

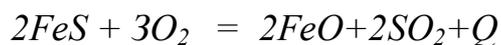
Частки порожньої породи у ванні флотаційної машини змочуються й осідають на дно. Металовмісні частки утворюють на поверхні ванни шар піни. З піни фільтрують частки руди, сушать їх і одержують концентрат.

Випал рудного концентрату на штейн (продукт попередньої плавки концентрату) звичайно роблять у вертикальних багатоподових циліндричних печах. При випалі одержують досить багатий міддю штейн. Необхідна температу-

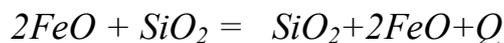
ра (850°C) забезпечується в результаті горіння сірки (CuS , Cu_2S , і інш.). Сірчистий газ, що утворюється, направляється для виробництва сірчаної кислоти.

Чорнову мідь виплавляють шляхом продувки розплавленого штейну повітрям у горизонтальних циліндричних конвертерах з основною футеровкою (магnezії) з масою плавки до 100 т. Процес виплавки чорної міді зі штейну ділиться на два періоди.

У першому періоді відбувається окиснення FeS киснем повітряного дуття по реакції:

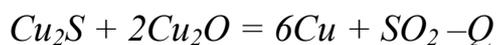


FeO , що утворився, ошлаковується кремнеземом SiO_2 флюсу:



У міру необхідності шлаки зливають, доливають нові порції штейну й продовжують продувку. До кінця продувки залізо видаляють майже повністю. Штейн полягає в основному із Cu_2S і містить до 80% міді.

У другому періоді створюються сприятливі умови для протікання реакцій



що приводить до відновлення міді.

В результаті плавки в конвертері отримують чорнову мідь. Вона містить 1,5-2,0% домішок (заліза, нікелю, свинцю та інш.) і не може бути використана для технічних потреб.

Рафінування міді - її очищення від домішок проводять вогневим і електrolітичним способом. При електrolізі на катоді (тонкі аркуші з електrolітичної міді) виділяється й розчиняється в міді водень, що викликає охрупчування металу. Надалі катодну мідь переплавляють у плавильних печах і розливають у злитки. Електrolітична мідь має чистоту 99,95%.

Внаслідок недостатньої міцності технічно чисту мідь застосовують рідко в якості конструкційного матеріалу. Широке поширення в промисловості мають сплави міді з іншими елементами латуні й бронзи.

Латунями називаються мідні сплави, у яких основним легуючим елементом є цинк. Практичне значення мають сплави, що містять приблизно до 42...43% Zn.

Для підвищення механічних властивостей і хімічної стійкості латуней у них часто вводять легуючі елементи: алюміній, нікель, марганець, кремній і т.інш.

Латуні маркують буквою *Л* і числом, що вказує вміст міді. \ Наприклад, Л80 - латунь, що містить 80% *Cu* і 20% *Zn*.

Сплави міді з оловом, алюмінієм, кремнієм і іншими елементами, серед яких цинк не є основною домішкою, називають бронзами.

Бронзи мають гарні ливарні властивості, їх усадка при литті в три рази менше, чим у сталевих виливків. Деякі бронзи мають досить високу пластичність і добре обробляються тиском і різанням. Бронзи широко використовують як антифрикційні сплави.

Маркують їхніми буквами *Бр*, далі впливають букви і цифри, що показують зміст легуючих елементів, а зміст міді визначається по різниці від 100%. Наприклад, у бронзі марки БрОЦС8-4-3 містить 8% *Sn*, 4% *Zn*, 3% і решта мідь.

Виробництво нікелю

Нікель є одним з давно відомих важких металів.

Нікель в'язкий метал із сильним блиском. Плавиться при температурі 1455°C. Як і залізо, нікель можна кувати, прокочувати й витягати в дріт. Нікель стійкий до корозії у воді й навіть у морський, у лугах, розчинах солей і багатьох органічних кислотах. Нікель можна легувати різними металами.

Половина виробництва нікелю йде на легування сталей. Нікель підвищує в'язкість і міцність низьколегованих сталей і корозійну стійкість і жароміцність високолегованих сталей.

Нікель входить (разом з іншими легуючими елементами) до складу найбільш якісних конструкційних сталей, більшості марок корозійностійких і жароміцних сталей. В техніці широко застосовують сплави на нікелевій основі: магнітні, високого омичного опору і інш. Для виробництва легованих сталей і нікелевих сплавів витрачається близько 80% нікелю. Нікель застосовують також для антикорозійних покриттів, як каталізатор і т.п.

Додаючи інші елементи, можна значно поліпшити оброблюваність і експлуатаційні властивості міднонікелевих сплавів. Наприклад, сплави з 30...50% нікелю широко застосовуються в електричних резисторах. Жароміцні й корозійно-стійкі сплави, що містять більш 50% нікелю, відомі під загальною назвою «монель-метал».

Добавка хрому надає нікелю стійкість в агресивному окисному середовищі. Ніхроми, тобто сплави нікель-хром і нікель-хром-залізо, добре зарекомендували себе як матеріали для нагрівальних елементів.

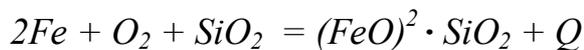
Із чистого нікелю й нікелевих сплавів виготовлені внутрішні деталі електронних ламп.

Нікель один з найпоширеніших матеріалів для антикорозійних і декоративних покриттів.

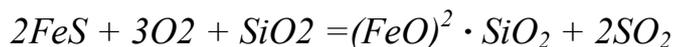
Сировина для виробництва нікелю - окислені нікелеві або сульфідні міднонікелеві руди. В окислених рудах нікель перебуває у вигляді силікатів $n NiO SiO_2 m MgO SiO_2 H_2O$. ; в цих рудах міститься 1...7% нікелю. В сульфідних рудах нікель перебуває у вигляді NiS ; у цих рудах 0.3...5,5% Ni до 2,5% Cu , часто втримується кобальт, а також платина, іридій і інші елементи платинової групи. При виробництві нікелю використовують окиснені руди. Перед плавкою їх подрібнюють, сушать і потім окускуюють шляхом брикетування на пресах або агломерацій та стрічкових машинах. Потім плавлять на штейн.

Шихта складається з агломерату або брикетів руди, коксу вапняку $CaCO_3$ і інших металів. Продуктом плавки є штейн (або роштейн) сплав сульфідів нікелю і заліза (NiS_2 і FeS), що містять 12...30% Ni , 45...60% Fe , 17...23% S , невелика кількість міді й кобальту. Плавку на фінштейн проводять шляхом продув-

ки розплавленого штейну повітрям у конвертерах, по пристрою аналогічних конвертерам для одержання чорної міді. Плавка ділиться на два періоди. У перший період відбувається окиснення й видалення металевого заліза. Окиснення заліза й ошлакування заліза відбувається по реакції:

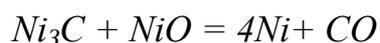


У другий період продувки інтенсивно окисляється сульфід заліза по реакції.



Для відновлення нікелю проводять плавку в дугових електричних печах (аналогічних сталеплавильним) місткість 3,5...10т. Відновлювачем є деревне вугілля або нафтовий кокс, чисті по сірці.

У процесі плавки утворюється й розчиняється в рідкому нікелі карбід Ni_3C .



Для видалення сірки в піч завантажують вапняк. Чорновий нікель містить 99,2...99,6 % ($Ni + Cu$); 0,2...0,8% Fe ; 0,04...0,4 % Cu .

Електричне рафінування нікелю проводять у бетонних ваннах, футерувальних керамічною плиткою. Аноди - литі пластини із чорного нікелю (маса 250...360 кг), катоди тонкі аркуші з рафінованого чистового нікелю. У ванні встановлюють 30...35 катодів і 31...36 анодів. Електроліт водяний розчин сульфату нікелю $NiSO_4$ при електролізі на катоді може виділятися не тільки нікель, але й мідь, кобальт, залізо.

4.3 Виробництво алюмінію

По розмірах виробництва (почате з кінця ХХ ст.) алюміній у цей час посідає перше місце серед усіх кольорових металів. Він має високу електро- і теплопровідність (поступаючи тільки сріблу і міді) і застосовується як провідниковий матеріал і для деталей теплотехнічних пристроїв. Алюмінієві деформовані сплави (дюралюміній й інш.) - найважливіші конструкційні матеріали в авіа- і інших областях техніки; алюмінієві ливарні сплави (силуміни і інш.) ши-

роко застосовують у машинобудуванні. Внаслідок високої корозійної стійкості алюмінієві сплави використовують у хімічній і харчовій промисловості для побутових виробів.

Алюміній являє собою блискучий сріблясто-білий метал із щільністю $2,7 \text{ т/см}^3$ і точкою плавлення $660 \text{ }^\circ\text{C}$.

Широке застосування алюмінію і його сплавів визначається сьома його відмінними властивостями:

1. Легкий, маса алюмінієвої деталі становить лише третину маси сталевій деталі таких же розмірів.
2. Стійкий до корозії на повітрі, а також у середовищі багатьох газів і рідин.
3. Має високу відбивну здатність і завдяки своєму блиску має декоративний вигляд.
4. Алюмінієві сплави по міцності не уступають звичайним конструкційним сталям.
5. Відрізняється відносно високою пружністю й не стає тендітним при низьких температурах.
6. Добре піддається обробці різанням і тиском - його можна розкотити у фольгу товщиною $0,01 \text{ мм}$ і менше.
7. Проводить електричний струм і тепло краще, чим усі інші звичайні метали (за винятком міді).

Алюміній широко застосовується в будівництві й архітектурі. У більшості промислово розвинених країн на це витрачається 20% запасів алюмінію. Авіація, залізничний і автомобільний транспорт споживають 25 %, а електротехніка близько 15%.

Виробництво алюмінію полягає в наступному:

Вихідною сировиною служить боксит. Боксит наполовину або більше складається з окису алюмінію (глинозему), пов'язаної з водою. На глиноземному заводі з бокситу спочатку хімічним шляхом виділяють домішки, а потім у більших печах для випалу видаляють воду. Обпалений (кальцинований) глинозем у

вигляді сухого білого порошку (майже чистому окису алюмінію AL_2O_3 ,) надходить у подальшу переробку на алюмінієвий завод. Тут його разом із кріолітом ($Na_3 AL Fe_6$) нагрівають до $900...1000^\circ C$ і розплавлену суміш піддають електролізу. У результаті електролізу виділяється металевий алюміній.

Розплавлений алюміній поступово накопичується на дні ванни й періодично віддаляється за допомогою сифонів і вакуумних ковшів.

Для одержання 1т алюмінію витрачається близько 2т глинозему, до 0,6 т вугільних анодів, близько 0,1 т кріоліту й 16 500... 18 500 кВт електроенергії.

Отриманий електролізом первинний алюміній містить домішки (залізо, кремній, частки глинозему й т.п.), що погіршують, його властивості і тому підлягає рафінуванню.

Рафінування хлором полягає в продувці розплавленого алюмінію при $700...750^\circ C$ газоподібним хлором протягом 10...15 хв. Утворений при цьому хлористий алюміній $AlCl_3$ перебуває в пароподібному стані. Виділяючись із металу, він забезпечує його очищення від розчинених газів і домішок. Після рафінування хлором і відстоювання одержують алюміній чистотою до 99,5 %.

Електролітичне рафінування застосовують для одержання алюмінію більш високої чистоти.

Його здійснюють в електролітичній ванні, поли якої є анодом. Вугільні катода розташовуються у верхній частині установки. Рафінований алюміній сплавляють із міддю. Після розплавлення в нижній частині ванни утворюється шар рідкого сплаву (анод) із щільністю $3...3,5 \text{ г/см}^3$. поверх нього перебуває шар розплавленого електроліту, що складається з $BaCl_2$ і інш. солей, щільністю $2,7 \text{ г/см}^3$.

Розливання алюмінію в чушки (невеликі злитки) масою 5...15 кг проводиться на різних машинах з нескінченним ланцюгом чавунних виливниць. Злитки для прокатки й інш. видів обробки тиском одержують методом напівбезперервного розливання.

Напівбезперервне розливання алюмінію й алюмінієвих сплавів по своїй сутності аналогічна безперервному розливанню стали.

В порівнянні зі сталлю чистий алюміній не дуже міцний, але міцність його зростає при легуванні іншими елементами. Її можна ще більш підвищити шляхом холодного деформування. За це завдання узявся в 1906 р. берлінський металург Альфред Вільм. Він досліджував алюмінієвий сплав, який пізніше став відомий в усьому світі як дюралюмін. Це сплав алюмінію з 4,5 % міді, 0,5...1,0 % магнію й 0,5 % марганцю.

Найважливішими елементами для легування алюмінію є кремній, мідь, магній, цинк і марганець. Для легування використовують також залізо, титан, хром і рідше. - свинець, бор, кадмій, вісмут, цирконій.

Сплави алюмінію з кремнієм найпоширеніші. Вони називаються силумінами. Більшість силумінів є доевтектичними сплавами (4...13% Si). Силуміни маркують буквою АЛ і порядковою цифрою : АЛ2, АЛ3, АЛ 13 і т.інш.

Для деяких цілей застосовуються спеціальні алюмінієві сплави. Наприклад, поршні двигунів внутрішнього згорання, що рухаються в циліндрах з високими швидкостями й прискореннями, повинні мати як можна меншу масу і тому їх слід робити з легкого матеріалу з високою міцністю. Алюміній використовують для розкислення стали.

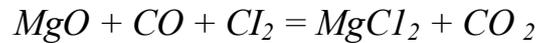
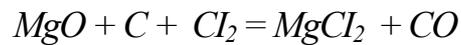
4.4 Виробництво магнію

Промислове виробництво магнію, відкритого в 1828 г., почалося близько 70 років тому. Магній застосовується у виробництві титану, використовується для одержання високоміцного чавуну, входить до складу багатьох алюмінієвих сплавів. Сплави на магнієвій основі використовуються як конструкційні матеріали з високою питомою міцністю й твердістю (стійкістю). В нашій країні виробництво магнію почалося в 1931... 1935 рр.

Магній, що займає серед металів шосте місце по поширенню, входить до складу дуже багатьох мінералів. У якості сировини для одержання магнію використовують карналіт, магнезит і доломіт.

Магній отримують двома способами: електролітичним і термічним, гарячою водою, виділяючи з розчину $NaCl$ і інші домішки. Магнезит обпалюють

при 800..900 °С, одержуючи MgO , а потім піддають хлоруванню в присутності вуглецю при 800...900 °С у електричних печах опору для утвору хлористого магнію по реакціям.



Розплавлений хлористий магній у ковшах направляють на електроліз.

Електроліз $MgCl_2$ для отримання магнію проводять у діафрагменних електролізерах із шамотної футеровкою, у верхній частині яких перебувають діафрагми-перегородки катодний простору, що розділяють анодне й.

У якості електроліту застосовують складний розплав солей, що містить 3...15% $MgCl_2$, а також $CaCl_2$, KCl і інш, що необхідно для зниження температури. Робоча напруга у ванні 5...7 В, анодна щільність струму 0,4...0,6 А/см², температура електроліту 700...750 °С.

При електролізі магній виділяється на поверхні катодних пластин у вигляді дрібних крапельок, потім вони укрупнюються й спливають. У міру нагромадження над електролітом, розплавлений магній періодично видаляють за допомогою сифона й вакуумного ковша.

Отриманий електролізом магній, що містить значну кількість домішок (Fe , Na , K , $MgCl$ і інш.), піддають рафінуванню. Найбільше широко застосовують рафінування переплавленням із флюсами, до складу яких входять $MgCl_2$, CaI , і інші компоненти.

Після розплавлювання в тигельній печі опору метал перегрівують до 720...750°С и інтенсивно перемішують із флюсом, розчиняючи в ньому неметалічні домішки.

Подальше рафінування металу здійснюють його відстоюванням під час повільного охолодження до 670...690°С.

Більш досконалим є рафінування сублімацією. У сталевих ретортах при температурі 600°С і залишковому тиску близько 9,9 Па магній випаровується (t_{kun} - 516 °С) і потім виділяється в зоні конденсації. Цим способом одержують магній чистотою 99,99%.

Магній одержують також термічними методами шляхом відновлення кремнієм, вуглецем доломіту або магнезиту. Більш простим є силікотермічний метод.

По одному з варіантів процес проводять у сталевих ретортах у вакуумі 9,9 Па при 1100... 1200 °С. у якості шихти використовують обпалений доломіт, феросиліцій і плавиковий шпат. Магній відновлюється кремнієм (феросиліцієм) по реакції



Пари магнію направляють у водоохолоджувальний конденсатор, де відбувається виділення великих кристалів магнію.

Чистий магній не використовують у якості конструкційного матеріалу, тому що його міцні властивості невисокі.

Магній утворює сплави з багатьма металами. Дві найважливіші групи з них становлять сплави магній-алюміній-цинк і магній-церій з малими добавками торію або цирконію.

Добавка цирконію в магній і його сплави сприяють утвору більш дрібного зерна, що значно поліпшує механічні властивості сплавів. Церій і торій підвищують жароміцність і гарячу твердість сплавів.

Деякі магнієві сплави мають таку структуру, що здатні, подібно алюмінієвим сплавам, до зміцнення в процесі старіння.

Магній використовують для десульфурзації чавуну й сталі.

4.5 Виробництво титану

В 1795 г. німецький хімік М. Клапрот, вивчаючи мінерал рутил, виділив з нього невідомий метал, який охрестив титаном. Щільність титану становить 4,5 г/см³. температура плавлення його залежить від ступеня чистоти металу (1660... 1680 °С). Наявність домішок сильно впливає на механічні властивості титану.

Титан по поширенню в природі посідає четверте місце серед металів і входить до складу більш ніж 70 мінералів. До основних промислових титановмістким мінералам відносять рутил (більше 90% TiO_2) і ільменіт $TiO_2 \cdot FeO$ (60%

TiO_2). Ільменіт входить до складу титаномагнетитів - його суміші з магнітним залізняком; вони містять до 20% TiO_2 . До перспективних руд ставляться сфен $CaO \cdot SiO_2 \cdot TsO_2$ (32-42%) і перовскит $CaO \cdot TiO_2$ (60% TiO_2).

Виробництво титану є технічно складним процесом. Найбільш широке поширення одержав магнієтермічний спосіб, здійснюваний за наступною схемою: титанова руда - збагачення — плавка на титановий шлак → отримання чотирьоххлористого титану - відновлення титану магнієм.

Титаномагнетити й інші бідні руди збагачують електромагнітним і іншим способами, одержуючи концентрат, що містить до 50% TiO_2 і близько 35% Fe_2O_3 і FeO .

Плавку на титановий шлак проводять в електродуговій печі. Шихтою служать пресовані брикети, що полягають із мілкоподрібненого концентрату, антрациту або вугілля й сполучного (сульфітний целок). У результаті плавки одержують багатий титановий шлак, що містить до 80% TiO_2 . Побічним продуктом є чавун, що містить до 0,5% Ti . Здрібнений шлак піддають магнітній сепарації (для видалення залізовмісних часток), змішують із дрібним нафтовим коксом і сполучним і спресовують у брикети. Після випалу при 700...800°C брикети направляють на хлорування.

Одержують чотирьох хлористий титан $TiCl_4$ у герметизованих електричних печах. При хлоруванні утворюється чотирьоххлористий титан по реакції

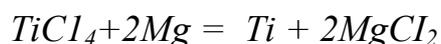


Пари чотирьоххлористого титану перебувають у паро-газовій суміші, що містить $SiCl_4$ і інші хлориди; CO , Cl_2 і інші гази.

Її очищують від твердих часток і прохолоджують у конденсаторах, в результаті чого одержують рідкий чотирьоххлористий титан. Для більш повного очищення від твердих часток конденсат відстоюють і фільтрують. Рідкий чотирьоххлористий титан направляють на відновлення.

Відновлення титану магнієм з $TiCl_4$ проводять у герметичних реакторах (ретортах) з нержавіючої сталі, установлених в електричних печах опору. Після

установки в піч із реторти відкачують повітря й заповнюють її очищеним аргоном; після нагрівання до температури 700°C заливають розплавлений магній і починають подачу рідкого $TiCl_4$. Титан відновлюється магнієм по реакції



Ця реакція супроводжується виділенням великої кількості тепла й у реакторі підтримується необхідна температура 800...900°C без додаткового нагрівання шляхом регулювання швидкості подачі $TiCl_4$. Частки відновленого титану спікаються в пористу масу (титанова губка), насичену магнієм і хлористим магнієм, періодично видаляють через патрубков на дні реактора. Рафінування титанової губки проводять методом вакуумної дистиляції. Кришку реторти, що остудилась, знімають і замість неї установлюють водоохолоджувальний конденсатор, потім реторту знову встановлюють у піч.

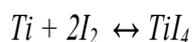
Титанові злитки одержують переплавленням титанової губки у вакуумних електричних дугових печах. Наявність вакууму охороняє метал від окиснення й сприяє його очищенню від поглинених газів і домішок.

Для забезпечення високої якості злитків, плавку повторюють два рази. При другій плавці електродом, що витрачається, служить злиток, отриманий при першій плавці.

Натрієтермічний спосіб одержання титану відрізняється від магнієтермічного тим, що титан із $TiCl_4$ відновлюють металевим натрієм. Цей процес проводять при відносно невисокій температурі, і титан меншою мірою забруднюється домішками.

Кальцієгідридний спосіб заснований на тому, що при взаємодії TiO_2 з гідридом кальцію CaH_2 утворюється гідрид титану TiH_2 , з якого потім виділяється металевий титан. Недолік цього способу в тому, що одержуваний титан сильно забруднюється.

Йодидний спосіб застосовують для одержання невеликих кількостей титану дуже високої чистоти, до 99,99 %. Він заснований на реакції



Яка при 100...200°C йде зліва направо (утворення TiI_4), при 1300... 1400°C у зворотному напрямку (розкладання TiI_4).

Титан має низьку теплопровідність. Стійкий проти корозії в азотній кислоті, у вологому хлорі, в морській воді і багатьох інших агресивних середовищах. Нерідко випереджують по корозійній стійкості хромонікелеві нержавіючі сталі.

Титан використовують в металургії у якості легуючого елементу. Майже 90% титану, що виплавляється у світі, потребує авіація, космічна та ракетна техніка.

4.6 Основні технології отримання ферованадію

Ванадій почали використовувати для легування конструкційних, швидко-ріжучих і інших сталей.

Для легування використовують ферованадій сплав на залізній основі з 35...45 % V. Ферованадій має більш низьку температуру плавлення, чим ванадій (1735°C), вартість легування нижче, чим при використанні чистого ванадію.

Основний сирий матеріал - залізні руди, що містять 0,3...0,5 % V у вигляді V_2O_3 . Підготовка руди до плавки полягає в її збагаченні; залізо-ванадієвий концентрат окускуюють (агломерація, окатиші). З агломерату виплавляють чавун, що містить 0,4...0,6 % V, і продувають його в конвертері; залізобуглецевий сплав переробляють у сталь. Ванадій переходить у шлаки у вигляді $FeO \cdot V_2O_5$.

Конвертерний шлак (7...10% V) з добавкою соди Na_2CO_3 піддають окислювальному випалу в трубчастих обертових печах для утвору водорозчинного ванадію натрію $Na_2O \cdot V_2O_5$. Спик вилуговують водою і потім розчином сірчаної кислоти: розчин фільтрують і виділяють осад. Просушений осад плавлять у полум'яній печі, одержуючи технічну п'ятиокис ванадію (80...95 % V_2O_5).

Ферованадій виплавляють в електродуговій печі; шихта складається з V_2O_5 (30%), вапна (50%), феросиліцію (75%), алюмінію й інших матеріалів. Виплавлений ферованадій містить 35...45 % V. шлаки з 10...15 % V_2O_5 використовують як шихтовий матеріал при плавці. Добування ванадію з руди становить 60...65 %.

Навчальне видання

Конспект лекцій з дисципліни «Металургія кольорових металів» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 136 – Металургія за освітньо-професійною програмою «Металургія чорних металів».

Укладач: М.А.Кашцев, доцент, к.т.н.

Підписано до друку _____ 2018 р.

Формат А4 ___ Обсяг _____ ін.арк.

Тираж ___ екз. Замовлення _____

51918, м. Кам'янське,

вул. Дншробудівська,2