

Міністерство освіти і науки України  
Запорізька державна інженерна академія

---



**В.М. Печеннікова**  
**І.Ф. Червоний**

## **МЕТАЛУРГІЯ БЛАГОРОДНИХ МЕТАЛІВ**

**Методичні вказівки**  
**для проведення практичних занять**

*для студентів ЗДІА*  
*7.090402 “Металургія кольорових металів”*  
*денного та заочного відділення*

**Запоріжжя**  
**2007**

Міністерство освіти і науки України  
Запорізька державна інженерна академія

## **МЕТАЛУРГІЯ БЛАГОРОДНИХ МЕТАЛІВ**

**Методичні вказівки  
для проведення практичних занять**

*для студентів ЗДІА  
7.090402 “Металургія кольорових металів”  
денного та заочного відділення*

*Рекомендовано до видання  
на засіданні кафедри МКМ  
протокол № 18 від 24.04.2007 р.*

**Металургія благородних металів.** Методичні вказівки для проведення практичних занять для студентів ЗДІА спеціальності МКМ денного та заочного відділень / укладачі В.М. Печеннікова, І.Ф.Червоний. - Запоріжжя, 2007. - 46 с.

Укладачі: **В.М. Печеннікова – доцент**  
**І.Ф. Червоний – д.т.н., професор**

Відповідальний за випуск: **зав. кафедрою МКМ,**  
**д.т.н., професор Червоний І.Ф.**

## Зміст

|  |    |
|--|----|
| Вступ  | 4  |
| 1 Пробірний аналіз   | 5  |
| 1.1 Загальні відомості   | 5  |
| 1.2 Пробірні реактиви  | 6  |
| 1.3 Операції при пробірному аналізі  | 8  |
| 1.4 Тигельна плавка на золото і срібло   | 9  |
| 1.5 Продукти тигельної плавки  | 10 |
| 1.5.1 Свинцевий сплав  | 10 |
| 1.5.2 Шлак   | 10 |
| 1.5.3 Штейн  | 12 |
| 1.5.4 Шпейза   | 12 |
| 1.6 Реакції відновлення  | 12 |
| 1.7 Реакції окислення  | 12 |
| 1.8 Класифікація руд   | 13 |
| 1.9 Розрахунок шихти для тигельної плавки  | 14 |
| 1.9.1 Розрахунок шихти за відомим складом руди   | 16 |
| 1.9.2 Розрахунок шихти для плавки проб з селітрою  | 17 |
| 1.9.3 Розрахунок шихти для плавки проб з попереднім випаленням   | 18 |
| 1.9.4 Розрахунок раціонального складу обпаленого матеріалу   | 19 |
| 1.10 Шерберна плавка   | 21 |
| 1.10.1 Практика шерберування   | 23 |
| 1.11 Капелювання та розварювання   | 24 |
| 1.11.1 Порядок капелювання   | 24 |
| 1.11.2 Розділення золото-срібляних корольків   | 25 |
| 2 Складання і розрахунок шихт для виробництва сплавів<br>дорогоцінних металів  | 27 |
| 2.1 Основні положення  | 27 |
| 2.2 Методи розрахунку шихти  | 27 |
| 2.2.1 Розрахунок загальної кількості шихти для виробництва<br>гідного продукту   | 28 |
| 2.2.2 Розрахунок шихти за змістом компонентів  | 28 |
| 2.2.2.1 Метод розрахунку шихти з металів із застосуванням і без<br>застосування спеціального розкислювача  | 31 |
| 2.2.2.2 Метод розрахунку шихти з металів і сплавів металів і лігатур,<br>металів і сплавів разом з лігатурами і із застосуванням і без<br>застосування розкислювачів | 32 |
| 2.2.2.3 Метод розрахунку шихти із сплавів із застосуванням і без<br>застосування спеціального розкислювача   | 32 |
| 2.2.3 Розрахунок шихти за вмістом домішок  | 33 |
| 2.2.4 Рекомендовані склади шихти   | 35 |
| 2.3 Приклади розрахунку шихти  | 35 |
| Перелік літератури   | 45 |

## ВСТУП

Один з найважливіших напрямів науково-технічного прогресу на сучасному етапі - розробка у всіх галузях промисловості безвідходних ресурсосберегаючих і маловідхідних технологічних процесів, що забезпечують максимально повне та комплексне використання сировини, утилізацію відходів, що включають замкнуті цикли.

Науково-технічний прогрес в промисловості торкнувся плавильно-ливарного та інші, пов'язані з ним, виробництва благородних металів і сплавів, а також один з основних методів визначення благородних металів - пробірний аналіз.

Випробування благородних металів відноситься до найважливіших складових загального циклу виробництва з їхніх напівфабрикатів, заготовок, деталей, виробів. У основі випробування лежать комплекси різноманітних операцій, що не є однотипними по суті і методиці виконання та є нерівнозначними за питомою значущістю. Проте кожна з них по-своєму впливає на кінцевий результат випробування, визначає той або інший ступінь його досконалості та точності. Тому знання і правильне виконання кожної з таких операцій, плавильний розрахунок шихти та вибір технології її плавки є необхідною умовою випробування та виробництва благородних металів.

Справжні методичні вказівки включають загальні відомості про пробірний аналіз і приклади розрахунку шихти для одержання різних сплавів на основі благородних металів із залученням до виробництва первинної вторинної сировини, необхідні табличні дані для розрахунків.

Розрахунок полягає в загальному вигляді з трьох послідовних розрахунків; загальної необхідної кількості шахти в цілому для виробництва годного продукту, шихти за змістом компонентів і шихти за змістом домішок. Проводять такі розрахунки строго на номінальний щодо ГОСЬ вміст благородних і інших металів в сплавах (зміст: срібло в сплавах по ГОСТ 8190-67, золото в сплавах по ГОСТ 6835-70, платини, паладію, іридію, родію в сплавах по ГОСТ 8395-67).

Методичні вказівки складені на підставі літературних джерел [2-4] і призначені для закріплення на практичних заняттях теоретичного матеріалу за курсом "Комплексна переробка сировини благородних металів".

# 1 ПРОБІРНИЙ АНАЛІЗ

## 1.1 Загальні відомості

Пробірний аналіз - один з основних методів визначення благородних металів.

Благородні метали в цьому випадку визначають без попереднього відділення їх від інших компонентів, що входять до складу аналізованого матеріалу. Для витягання благородних металів користуються властивістю розплавленого металевого свинцю або міді добре розчиняти металеві золото та срібло й інші благородні метали з одержанням легкоплавких сплавів.

Для подальшого відділення золота та срібло від свинцю користуються іншою властивістю свинцю - здатністю швидко окислюватися киснем повітря при високих температурах. Цей процес називається капелюванням. Взагалі пробірний метод аналізу матеріалів на золото та срібло можна подати у вигляді наступної схеми:

- шихтування;
- плавка на свинцевий сплав;
- шерберування сплаву (при необхідності);
- капелювання;
- зважування суми благородних металів;
- розварювання королька;
- промивка, сушка, прожарення;
- зважування золотої корочки.

До складу золотовмісних руд входять наступні хімічні сполуки: кремнезем, вуглекислий кальцій, оксиди алюмінію та магнію, барит, різні оксиди важких і легких металів, а також сульфідні мінерали (пірит, халькопірит, свинцевий блиск, цинкова обманка та інші).

Як колектор для витягання благородних металів частіше за все використовують свинцеві сполуки, в тому числі оксид свинцю - глет ( $PbO$ ), рідше сурик ( $Pb_3O_4$ ), іноді плюмбіт ( $Na_2O \cdot PbO$ ), або оцтовокислий свинець  $[PbCH_3COO]_2$ , які в процесі плавки відновлюються до металевого свинцю.

Руда складається з двох частин: металовмісної (цінної частини) та порожньої породи. Мінерали порожньої породи розділяються відповідно їх хімічному складу на два класи: кислі та основні. Силікати відносяться до першого класу. Оксиди кальцію, магнію, заліза, марганцю, натрію, калію та інші відносяться до другого класу.

Аналізована руда може бути кислою або основною залежно від переважання в ній тієї або іншої групи оксидів порожньої породи, що створюють шлак.

## 1.2 Пробірні реактиви

Реактиви, що вживаються при пробірному аналізі, класифікуються таким чином.

- флюси або розчинювальні реактиви (кислі або основні).
- окислювачі - речовини, що легко віддають свій кисень іншій речовині.
- відновники - речовини, що сприяють відновленню металів з хімічних сполук;
- осаджувачі або десульфурізатори - речовини, що енергійно з'єднуються з сіркою і здатні виділяти її з деяких сполук з металами.
- колектори - збираючі або концентруючі речовини.
- реактиви, що оберігають пробу від доступу повітря.

**Флюси** є речовинами, здатними переводити тугоплавкі сполуки у форму шлаків з пониженням температури плавлення. До таких тугоплавких речовин належить кварц, оксиди алюмінію, магнію, цинку та інші.

Розрізняють кислі та основні флюси. До кислих флюсів відноситься кварц, подрібнене скло, бура; до основних - сода, поташ і глет.

Кварц  $\text{SiO}_2$  утворює з оксидами металів силікати - основу всіх шлаків. Застосовується при його недоліку в руді та служить для захисту тиглів, шерберів від сильно роз'їдаючої дії глету та інших оксидів, наприклад міді.

Подрібнене скло  $x \text{Na}_2\text{O} \cdot y \text{CaO} \cdot z \text{SiO}_2$  вживається в деяких випадках замість кварцу. Звичайна шибка є силікатом оксиду кальцію та оксиду натрію, що містить надлишок кремнезему.

Бура  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$  вживається у сирому, кальцинованому або в сплавленому вигляді. Сира бура (водна) сильно спучується при нагріванні внаслідок виділення води, що при аналізі може привести до втрат металів, тому при плавлі проб користуються прожареною (безводною) або подрібненою оплавленою бурою. Бура плавиться при низькій температурі ( $741^\circ \text{C}$ ) і сприяє утворенню легкоплавкого шлаку, повному розкладанню руди та переведенню її в шлак. Придатна бура для ошлакування оксидів цинку, магнію, кальцію, заліза, марганцю, алюмінію та застосовується для цієї мети замість кремнезему, що дає з вказаними лугами вельми в'язкі та тугоплавкі шлаки.

Сода  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  - сильний основний флюс, плавиться при температурі  $852^\circ \text{C}$ , Користуються безводною содою. Сода дає з кремнеземом і силікатами легкоплавкі шлаки. Окрім того, сода уживається як десульфурізатор при плавлі сульфідів і є флюсом для ошлакування вапняку внаслідок утворення легкоплавкого подвійного силікату оксиду кальцію та оксиду натрію.

Поташ  $\text{K}_2\text{CO}_3$  уживається як основний флюс, його дія аналогічно дії вуглекислого натрію.

Глет  $\text{PbO}$  - сильноосновний флюс, утворює легкоплавкі силікати, легко розчинювальні оксиди металів. Глет плавиться при температурі  $883^\circ \text{C}$  і має важливе значення в пробірному аналізі. Глет легко віддає кисень під час нагрівання з відновниками. Він діє як окислювач, а при наявності сірки служить також і десульфурізатором.

Сплави оксиду свинцю з содою добре розчинюють  $BaSO_4 \cdot Ca_3(PO_4)_2$ . Глет легко реагує з кремнеземом, тому при недоліку в шихті кремнезему він енергійно розчиняє стінки тигля, що містять кремнезем, і сприяє роз'їданню тигля.

Глет містить невелику кількість срібла (6-30 г), тому кожену наважку, що поступає на пробірний аналіз, слід добре перемішати, а потім випробувати на срібло.

**Окислювачами**, окрім кисню повітря, служать селітра  $KNO_3$ , глет, іноді сурик  $Pb_3O_4$ . Селітра  $KNO_3$  або  $NaNO_3$  є одночасно і основним флюсом.  $KNO_3$  при температурі вище  $338^\circ C$  у присутності речовин, які легко окислюються, розкладається, виділяючи кисень, що окисляє сульфіди та метали.

Окислювальна дія реактиву виражається кількістю металевого свинцю, що окислюється 1 г окислювача.

Окислювальна дія селітри дорівнює приблизно 4 г свинцю.

**Відновниками** називають реактиви, що віднімають від оксидів весь кисень або його частину та проводять повне чи часткове відновлення. Діючим початком в більшості відновників служить вуглець. Відновна здатність речовини виражається кількістю металевого свинцю, відновлюваного 1 г відновника.

Нижче приводиться відновна здатність головних відновлювачів, вживаних в пробірному аналізі:

|   |           |
|---|-----------|
| - деревне вугілля у виду порошку (C)        | 25...30   |
| - пшенична і іржава мука ( $C_6H_{10}O_5$ ) | 10...12   |
| - висівки                                   | 12        |
| - винний камінь ( $KHC_4H_4O_7 + C$ )       | 8...12    |
| - крохмаль або декстрин ( $C_6H_{10}O_5$ )  | 11,5...13 |
| - цукор ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ )            | 14,5      |
| - сірка (S)                                 | 13...19   |
| - залізні опилки                            | 4,6       |
| - папір 1/4 газети                          | 4         |

До відновників належать також сульфіди та деякі метали (залізо та інші). Відновна здатність мінералів приведена в габл.1.1.

Таблиця 1.1 - Відновна здатність мінералу, г

| Мінерал     | Формула   | Необхідно обчисленням:                |                                      | Встановлено експериментом |
|-------------|-----------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
|             |           | при окисленні до сірчастого ангідриду | при окисленні до сірчаного ангідриду |                           |
| Галеніт     | $PbS$     | 2,60                                  | 3,46                                 | 3,41                      |
| Халькозин   | $Cu_2S$   | 3,90                                  | 5,20                                 | -                         |
| Арсенопірит | $FeAsS$   | 5,70                                  | 6,69                                 | -                         |
| Стибніт     | $Sb_2S_3$ | 5,50                                  | 7,35                                 | 6,75                      |
| Халькопірит | $CuFeS_2$ | 6,20                                  | 8,44                                 | 7,85                      |
| Сфалерит    | $ZnS$     | 6,37                                  | 8,50                                 | 7,87                      |
| Піротин     | $Fe_7S_8$ | 7,35                                  | 9,90                                 | 10,0                      |
| Пірит       | $FeS_2$   | 8,60                                  | 12,07                                | 11,05                     |



**Осаджувачі** служать для розкладання сульфідів свинцю, срібла, сурми, вісмуту, олова та інших з виділенням відповідного металу. До них відносяться: залізо, що вживається у вигляді цвяхів або стрижнів; ціаністий калій і луѓи.

**Колектори** (або збирачі) служать для збирання благородних металів в один корольок. До них відносяться пробірний або зернистий свинець (температура плавлення 327° С), металеве срібло (температура плавлення 960° С) і металева мідь (температура плавлення 1083° С).

**Реактиви, що оберігають пробу від доступу повітря** (покришки). Найбільш застосовні, з них хлористий натрій NaCl (температура плавлення 803° С), при плавленні створює рідкий шар, плаваючий на шлаку, є покривом для шихти, що омиває в процесі плавки стінки тигля, та перешкоджає частинкам свинцю приставати до них; суміш сухої бури з содою.

### 1.3 Операції при пробірному аналізі

При пробірному аналізі мають місце наступні операції:

- накаливання або кальцинування;
- окислювальне випалення;
- відновлювальне нагрівання;
- плавлення.

Мета розжарювання - зміна фізичного стану речовини.

Розжарювання та швидке осадження кварцових руд проводять для полегшення дроблення, виділення з речовин деяких летючих компонентів (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>3</sub>), прожарення амальгами для видалення ртуті, випалення сплавів золота та срібла для підвищення ковкості сплаву і ряду інших операцій.

Призначення окислювального випалення - окислити та видалити з речовини частково або цілком сірку, миш'як, сурму. Окислювачем служить кисень повітря.

Більшість сульфідів в процесу випалення переходить у сульфати, які при підвищенні температури розкладаються на SO<sub>2</sub> і відповідний оксид металу. Температура розкладання сульфатів приведена в табл.1.2.

Таблиця 1.2 - Температура розкладання сульфатів

| Розкладений сульфат                             | Температура, °С     |                          | Продукт розкладання                              |
|---|---------------------|--------------------------|--|
|   | початок розкладання | інтенсивного розкладання |  |
| FeSO <sub>4</sub>                               | 167                 | 480                      | FeO и SO <sub>3</sub>                            |
| Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> | 492                 | 560                      | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> и SO <sub>3</sub> |
| CuSO <sub>4</sub>                               | 653                 | 670                      | 2CuO и SO <sub>3</sub>                           |
| 2CuO·SO <sub>3</sub>                            | 702                 | 736                      | CuO и SO <sub>3</sub>                            |
| PbSO <sub>4</sub>                               | 637                 | 705                      | 6Pb·5SO <sub>3</sub> и SO <sub>3</sub>           |
| 6PbO·5SO <sub>3</sub>                           | 952                 | 962                      | 2PbO·SO <sub>3</sub> и SO <sub>3</sub>           |
| ZnSO <sub>4</sub>                               | 702                 | 720                      | 3ZnO·2SO <sub>3</sub> и SO <sub>3</sub>          |
| 3ZnO·2SO <sub>3</sub>                           | 755                 | 767                      | ZnO и SO <sub>3</sub>                            |
| NiSO <sub>4</sub>                               | 702                 | 736                      | NiO и SO <sub>3</sub>                            |
| CoSO <sub>4</sub>                               | 720                 | 770                      | CoO и SO <sub>3</sub>                            |

Мета відновного нагрівання - відновлення деяких хімічних сполук.

Розрізняють декілька видів плавлення. Окислювальне плавлення служить для розділення металів на підставі їхньої різної спорідненості до кисню. Метали, що легше окислюються, переходять в оксиди, які легко шлакуються та виводяться з процесу.

Відновне плавлення застосовується для виділення металів з їхніх оксидів. Компоненти, що створюють породу, переходять до шлаку, наприклад відновна тигельна плавка проб з глетом і відновником.

Мета розчинюючого або шлакуючого плавлення - перевести в шлак домішки та порожню породу.

Відбивне плавлення засноване на властивості заліза розкладати металеві сульфіди з виділенням відповідного металу. Наприклад:



#### 1.4 Тигельна плавка на золото та срібло

Така плавка передбачає відновлювально-розчинююче плавлення наважок руди з глетом, відновником і флюсами в муфелі. Застосовується для визначення благородних металів в рудах та інших металургійних продуктах. Для плавки вибирають шихту, що створює легкоплавкий шлак.

В процесі плавки глет легко відновлюється при низькій температурі. Відновлений свинець залишається в шихті в зваженому та розсіяному стані і легко контактує з частинками благородних металів. Майже одночасно з відновленням глету починає плавитися бура.

У перший період плавки шлак є в'язким унаслідок присутності в шихті бури. У подальшій стадії при невеликому перегріві він стає рідким. Розплавлений свинець у вигляді «дощу» промиває рідку масу та розчиняє благородні метали, що містяться в ній. Свинцевий сплав збирається на дні тигля під шаром шлаку. Одночасно з глетом можуть відновлюватися й інші легко відновлювані оксиди металів (оксиди міді, сурми, миш'яку). Відновлені домішки та деякі сульфіди розчиняються в свинцевому сплаві, який стає твердим і крихким. Присутність домішок в сплаві утрудняє сполучення відновлених найдрібніших крапельок свинцю та приводить до втрат частинок їх в шлаку. При подальшому капелюванні сплаву, що містить домішки, підвищуються втрати благородних металів.

Для практично повного витягання золота та срібла кількість відновленого свинцю при плавці наважок до 30 г повинне бути не менше наважки руди, а при великих наважках - 30-40% величини наважки. Вважається, що 28 г свинцю можуть витягнути все золото і срібло з 50 г наважки.

## 1.5 Продукти тигельної плавки

В результаті тигельної плавки виходять два основні продукти: свинцевий сплав і шлак. В деяких випадках, окрім цього, утворюються штейн або шпейза.

Якщо вживають покришку з хлористого натрію або якщо в шихту вводять селітру, то на поверхні затверділого шлаку може опинитися третій продукт - шар солей лужних металів або сульфатів (при плавці сульфідних проб).

### 1.5.1 Свинцевий сплав

Свинцевий сплав повинен бути світлим, м'яким, ковким і легко відділятися від шлаку. Якщо свинцевий сплав твердий або крихкий або його виходило більше необхідної кількості (більше 30-35 г), то цей сплав слід скоротити шерберуванням. Твердість свинцевого сплаву вказує на присутність в ньому міді, миш'яку, сурми, олова, нікелю, кобальту, а крихкість - на присутність в ньому сірки, сурми, миш'яку, цинку, сульфідів заліза.

### 1.5.2 Шлак

Шлаки можна розглядати як сплав силікатів, боратів і вільних оксидів. Вони повинні бути однорідними, не містити частинок руди, що не розклалися, та включень свинцю.

Шлаки тигельної плавки повинні характеризуватися:

- відносно низькою температурою плавлення;
- найбільшою щільністю для хорошого відділення від свинцевого сплаву;
- достатньою в'язкістю в перший період плавки (в період відновлення глету) для утримання в зваженому стані крапель свинцю до моменту повного розкладання проби та звільнення частинок благородних металів від зв'язку з породою;
- рідким станом при невеликому перегріві, щоб свинець, що утворюється при плавці, міг легко спуститися униз і повністю зібратися на дні тигля;
- властивостями, що виключають можливість розчинення або утримування благородних металів;
- складом, що перешкоджає умовному роз'їданню стінок тигля;
- необхідною структурою, що дозволяє йому в холодному стані добре відділятися від свинцю.

Температура плавлення шлаків залежить від:

ступеня кислотності (К);

- природи основи: свинець, натрій і калій утворюють легкоплавкі силікати, марганець - важкоплавкі, кальцій, магній, алюміній - майже неплавкі при температурі самодувного горна;
- тонкості подрібнення та ретельності перемішування шихти;
- кількості введеної бури, що різко знижує температуру плавлення шлаку, особливо при лугових рудах.

Пробірні шлаки класифікуються за ступенем кислотності та співвідношенням мас головних компонентів.

Під ступенем кислотності розуміють відношення маси кисню в кислих оксидах до його сумарної маси в лугах, що входять до складу шлаку.

$$K = \frac{\text{кисень кремнезему та інших кислих оксидів}}{\text{сума кисню у всіх лугах}} \quad (1.2)$$

У пробірному аналізі розливають основні типи шлаків, наведені у табл.1.3.

Таблиця 1.3 - Класифікація шлаків за ступенем кислотності

| Назва шлаку (за ступенем кислотності) | K   | Формула шлаку, що містить кислоту у вигляді $\text{SiO}_2$ , основи у вигляді $\text{RO}$ n $\text{RO}$ m $\text{SiO}_2$ | Назва шлаку (за ступенем кислотності) | Формула шлаку, що складається з бури і оксидів металів |
|---------------------------------------|-----|--|---------------------------------------|--|
| Субсилікат                            | 0,5 | $4\text{RO} \cdot \text{SiO}_2$  | Суборат                               | $6\text{RO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$                |
| Моносилікат                           | 1,0 | $2\text{RO} \cdot \text{SiO}_2$  | Моноборат                             | $3\text{RO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$                |
| Сесквисилікат                         | 1,5 | $4\text{RO} \cdot \text{SiO}_2$  | Сескиборат                            | $2\text{RO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$                |
| Бісилікат                             | 2,0 | $\text{RO} \cdot \text{SiO}_2$   | Біборат                               | $3\text{RO} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$               |
| Трисилікат                            | 3,0 | $2\text{RO} \cdot 3\text{SiO}_2$   | Триборат                              | $\text{RO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$                 |

Шлаки класифікують за вмістом головних оксидів. Так, шлак типу 30  $\text{SiO}_2$  : 20  $\text{FeO}$  : 50  $\text{PbO}$  відповідає вмісту в ньому 30 %  $\text{SiO}_2$ , 20 %  $\text{FeO}$  і 50 %  $\text{PbO}$ . Для характеристики такого шлаку за ступенем кислотності можна користуватися наступним розрахунком:

$$x = \frac{30 \cdot 32}{60} = 16,0 \text{ г кисню у } \text{SiO}_2$$

У 20%  $\text{FeO}$  міститься кисню

$$x = \frac{20 \cdot 16}{72} = 4,4 \text{ г кисню у } \text{FeO}$$

У 50% міститься кисню

$$x = \frac{50 \cdot 16}{223} = 3,6 \text{ г кисню у } \text{PbO}$$

Отже

$$K = \frac{16,0}{4,4 + 3,6} = \frac{16,0}{8,0} = 2, \text{ тобто шлак відповідає бісилікату.}$$

### 1.5.3 Штейн

Штейн є сплавом сульфідів (типу  $\text{FeS}$ ,  $\text{Cu}_2\text{S}$ ), що утворюються в процесі плавки сульфідних руд при недоліку в шихті селітри у малій кількості глету.

Шар штейну розташовується безпосередньо над свинцевим сплавом. Він відрізняється великою крихкістю.

#### 1.5.4 Шпейза

Шпейза є сплавом арсенідів або антимонідів, що одержують у процесі плавки. В процесі плавки вони розташовується над свинцевим сплавом і міцно пристає до нього.

Штейн і шпейза розчиняють деяку кількість золота та срібла.

#### 1.6 Реакції відновлення

Реакції, що протікають при тигельній плавці можуть бути поділені на три групи: реакції відновлення глету до свинцю та надлишку відновника і реакції шлакування компонентів породи при взаємодії їх з основними або кислими флюсами.

Свинець з глету відновлюється відновниками як такими, що містяться в самій руді, так і що штучно вводяться у шихту. Дію вуглецю, що вводиться, можна представити наступними реакціями:



Перша реакція стає помітною при температурі 400-500° С і енергійно протікає при температурі 600-700° С, друга реакція починається при температурі 160-185° С і проходить активно при 400° С і вище. Відновники при плавці - сульфідні мінерали, що містяться в руді

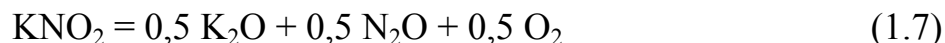
#### 1.7 Реакції окислення

Надлишок відновника в руді може привести до одержання великого виходу свинцевого сплаву. Окрім того, присутність сірки, миш'яку та інших домішок у руді може спричинити серйозні утруднення внаслідок утворення штейну, шпейзи, крихкого та твердого сплаву. Тому при плавці сульфідних руд і концентратів необхідно вводити до шихти певну кількість окислювача.

Сульфіди можуть бути окислені попереднім випаленням до плавки або за допомогою селітри, для чого застосовують калієву або натрієву селітру. Калієва селітра плавиться при 339° С а у присутності речовин, що поглинають кисень, розкладається з виділенням кисню й утворенням на першій стадії азотнокислого калію



При подальшій взаємодії нітрит калію розкладається за реакцією



За цими реакціями в перерахунку на 1 моль селітри (102 г) виділяється 1 моль кисню, що теоретично достатньо для окислення 2 г-атомів свинцю (414 г)



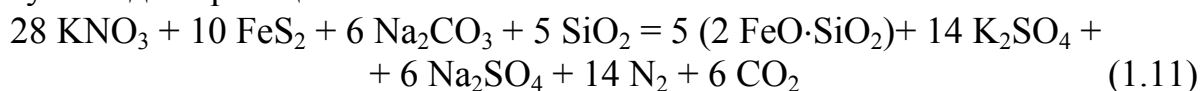
Хід реакцій окислення значною мірою залежить від складу вживаної шихти. Наприклад, у відсутності лужних карбонатів і за наявності кремнезему сірка окислюється селітрою тільки до діоксиду за наступною реакцією:



У більш основній шихті, що містить надлишок соди і глету, при малій кількості кремнезему (або його відсутності) сульфід окислюється з утворенням вищих оксидів, як це видно за реакцією



Оксид заліза погано розчиняється в шлаках, а в основних шлаках абсолютно не розчиняється. Утворення його небажано і тому при складанні шихти в неї вводять кремнезем в кількості, необхідному для шлакування заліза (з одержанням моносилікату). У такому разі окислювальна дія селітри може бути подана реакцією



## 1.8 Класифікація руд

Руди, концентрати та інші продукти, що поступають на пробірний аналіз, залежно від їх складу можна класифікувати таким чином.

I клас. Руди, що не містять сульфідів, арсенідів, антимонідів, телуридів або що містять невелику кількість їх, тобто руди, що не мають відновної або окислювальної здатності (кварцові, силікатні, основні, карбонатні, глинисті руди).

II клас. Сульфідні руди та інші продукти з малою кількістю домішок, що потребують застосування спеціальних методів плавки. До цього класу відносяться руди, що володіють відновною здатністю по відношенню до глету та що містять сірчисті, сурм'янисті, миш'яковисті сполуки та органічні речовини.

III клас. Окислені руди, що володіють окислювальною здатністю відносно свинцю. Вони містять вищі оксиди заліза та марганцю ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,

MnO<sub>2</sub>), які при тигельній плавці відновлюються до закисних сполук для переведення їх в легкоплавкі шлаки.

1У клас. Руди та продукти, що містять значну кількість домішок, які утрудняють плавку (мідні, телуристі, селенисті, миш'яковисті, сурм'янисті, руди та продукти із значним змістом хрому, заліза, нікелю, кобальту і ін.), і що гребуть спеціальної попередньої обробки.

### 1.9 Розрахунок шихти для тигельної плавки

Для розрахунку шихти тигельної плавки заздалегідь визначають клас руди, її категорію за кислотністю, необхідну кислотність шлаку, початкову масу аналізованої речовини. Для вибору величини початкових наважок можна використовувати дані табл.1.4.

Таблиця 1.4 - Оптимальні значення наважок для руд, г

| Очікуваний вміст золота, г/т | При рівномірному розподілі золота і дуже тонкому подрібненні проби (44-56 мкм) | При точніших визначеннях |
|------------------------------|--|--------------------------|
| Менше 0,5                    | 100  | 200                      |
| 1-5                          | 75   | 100                      |
| 5-10                         | 50   | 75                       |
| 10-25                        | 25   | 50                       |
| 25-50                        | 20   | 25                       |
| Вище 50                      | 10   | 20                       |

Потім встановлюють відновну або окислювальну здатність руди (за даними попередньої проби) і намічають бажаний вихід свинцевого сплаву (табл.1.5).

Таблиця 1.5 - Вихід свинцевого сплаву залежно від величини наважки і крупини золота

|     | Вихід свинцевого сплаву, г                 |   |
|-----|--|---|
|     | при крупному золоті і низькому вмісті його | при дисперсному золоті і вищому його вмісті |
| 25  | 20   | 25  |
| 50  | 25   | 30  |
| 100 | 30   | 35  |
| 200 | 40   | 50-60                                       |

Початкову пробу руди подрібнюють до тонкого стану та при цьому чим тонше, тим вище вміст золота в аналізованому матеріалі. Кількість SiO<sub>2</sub>, необхідне для ошлакування компонентів руди та флюсів, що додаються, за вибраним пилом шлаку встановлюється за допомогою таблиці еквівалентів (табл.1.6).

Таблиця 1.6 Таблиця еквівалентів для розрахунку шихти при тигельній плавці (кількість SiO<sub>2</sub>, необхідна для утворення шлаку певної кислотності)

| Компо-<br>ненти                 | Атом-<br>на<br>маса | Кількість SiO <sub>2</sub> на 1 кг компонента, г ( при типі та кислотності шлаку) |  |  |  |
|---------------------------------|---------------------|---|--|--|--|
|                                 |                     | Бисилікат<br>K = 2,0  | Сесквисилікат<br>14 RO·3 SiO <sub>2</sub><br>K = 1,5 | Моносилікаг<br>2RO·SiO <sub>2</sub><br>K = 1,0 | Субси-<br>лікат<br>4RO·SiO <sub>2</sub><br>K = 0,5 |
| PbO                             | 223                 | 0,27  | 0,202  | 0,135  | 0,067  |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | 106                 | 0,57  | 0,424  | 0,283  | 0,142  |
| K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 138                 | 0,43  | 0,325  | 0,22   | 0,110  |
| CaCO <sub>3</sub>               | 100                 | 0,60  | 0,450  | 0,300  | 0,150  |
| MgCO <sub>3</sub>               | 84                  | 0,71  | 0,535  | 0,357  | 0,178  |
| NaNO <sub>3</sub>               | 85                  | 0,35  | 0,264  | 0,176  | 0,088  |
| KNO <sub>3</sub>                | 101                 | 0,30  | 0,223  | 0,148  | 0,074  |
| CaO                             | 56                  | 1,07  | 0,806  | 0,536  | 0,268  |
| MgO                             | 40                  | 1,50  | 1,122  | 0,750  | 0,372  |
| BaO                             | 153                 | 0,39  | 0,294  | 0,196  | 0,098  |
| BaSO <sub>4</sub>               | 233                 | 0,26  | 0,193  | 0,129  | 0,064  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 102                 | 1,76  | 1,323  | 0,882  | 0,441  |
| FeO                             | 72                  | 0,83  | 0,624  | 0,416  | 0,208  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 160                 | 1,13  | 0,844  | 0,563  | 0,281  |
| SiO                             | 80                  | 0,75  | 0,562  | 0,375  | 0,187  |
| ZnO                             | 81                  | 0,74  | 0,556  | 0,370  | 0,185  |
| FeS <sub>2</sub>                | 120                 | 0,50  | 0,375  | 0,250  | 0,125  |
| ZnS                             | 97                  | 0,62  | 0,464  | 0,309  | 0,155  |
| PbS                             | 239                 | 0,25  | 0,188  | 0,125  | 0,063  |
| Cu <sub>2</sub> S               | 159                 | 0,33  | 0,282  | 0,188  | 0,094  |

Для ошлакування присутніх в руді основаній (CaO, MgO Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) в пробірному аналізі частіше всього використовують буру як кислий флюс, а частково застосовують подрібнене скло. В цьому випадку для шлаку з різним ступенем кислотності рекомендується користуватися еквівалентами для розрахунків добавок кислих флюсів (табл. 1.7).

Таблиця 1.7 - Коефіцієнти перерахунку кислих флюсів

| Кислі флюси  | Коефіцієнт перерахунку при кислотності шлаку, K |      |       |       |
|--|---|------|-------|-------|
|  | 2,0   | 1,5  | 1,0   | 0,5   |
| 1 г Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> еквівалентний SiO <sub>2</sub> | 0,60  | 0,67 | 0,743 | 0,817 |
| 1 г SiO <sub>2</sub> еквівалентний Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> | 1,67  | 1,5  | 1,345 | 1,32  |
| 1 г SiO <sub>2</sub> еквівалентний склу (приблизно)                              | 1,7   | 1,5  | 1,35  | 1,25  |



З необхідної загальної кількості SiO<sub>2</sub> віднімають вміст його в наважці. Бракуючу кількість SiO<sub>2</sub> повністю або частково замінюють бурою: при наважках масою 50 г - не більше 15-20 г, масою 100 г - не більше 25-35 г. Решту бракуючої кількості SiO<sub>2</sub> замінюють тонкоподрібненим віконним склом.

Кількість потрібного відновника (з урахуванням паперового кулька, в який засипають пробу) визначають залежно від відновної здатності проби.

При підборі шихти для плавки проб користуються приведеними нижче зразковими розрахунками.

### 1.9.1 Розрахунок шихти за відомим складом руди

Руда кисла, із слабковираженою відновною здатністю (пірит); вміст золота у руді - в межах 5...10 г/г з рівномірним розподілом. Для плавки приймають наважку масою 50 г, тип шлаку - бісилікатний (K = 2). Дані розрахунку попереднього складу шихти приведені в табл.1.8.

Таблиця 1.8 Розрахунок попереднього складу шихти

| Компоненти руди                | Склад, % | Кількість у наважці, г | Еквівалент SiO <sub>2</sub> при K = 2 | Необхідно SiO <sub>2</sub> |
|--------------------------------|----------|------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 81,0     | 40,5                   | -                                     | -                          |
| CaO                            | 2,6      | 1,30                   | 1,07                                  | 1,39                       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6,1      | 3,05                   | 1,76                                  | 5,37                       |
| FeO                            | 7,4      | 3,70                   | 0,83                                  | 3,07                       |
| FeS <sub>2</sub>               | 2,9      | 1,45                   | 0,50                                  | 0,73                       |
| Разом на наважку               | 100      | 50                     | -                                     | 10,56                      |

Кількість глету та соди на прийняту наважку руди приймається відповідно 100 і 120 % (50...60 г).

Для ошлакування соди і частини глету, що переводиться у шлак, для прийнятого ступеня кислотності шлаку буде потрібно кремнезему

$$(60 - 0,57) \cdot (20 - 0,27) = 39,6 \text{ г},$$

а з урахуванням шлакування компонентів руди всього буде потрібно кремнезему

$$39,6 + 10,56 = 50,16 \text{ г}.$$

Враховуючи, що в наважці є 40,5 SiO<sub>2</sub>, потрібно додати до шихти кремнезему

$$50,16 - 40,5 = 9,66 \text{ г}$$

або з урахуванням еквівалента бури (безводної)

$$9,66 \cdot 1,67 = 16,1 \text{ г}.$$

При відновній здатності 10 г і паперового кулька 3 г загальна відновна здатність складає

$$(24,5 - 10) + 3,0 = 17,5 \text{ г}.$$

Остаточний розрахунковий склад шихти, г

Наважка                    50

|          |      |
|----------|------|
| Сода     | 60   |
| Глет     | 50   |
| Бура     | 16,1 |
| Покришка | 175  |

### 1.9.2 Розрахунок шихти для плавки проб з селітрою

Приймаємо, що хімічний і мінералогічний склади руди відомі. У результаті попередніх плавок встановлені відновна здатність руди 3,06 і окислювальна здатність селітри - 4,12. Наважка руди для плавки приймається 50 г, ступінь кислотності шлаку  $K = 0,5$ . Дані розрахунку попереднього складу шихти приведено у табл. 1.9.

Руда відновить свинцю  
 $50 \cdot 3,06 = 153$  г.

Таблиця 1.9 Розрахунок попереднього складу шихти

| Компоненти              | Склад, % | Кількість у наважці, г | Еквівалент $\text{SiO}_2$ $K = 0,5$ | Необхідно $\text{SiO}_2$ |
|-------------------------|----------|------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| $\text{SiO}_2$          | 49,3     | 24,65                  |                                     |                          |
| $\text{CuFeS}_2$        | 4,24     | 2,12                   | 0,163                               | 0,346                    |
| $\text{FeS}_2$          | 18,2     | 9,10                   | 0,125                               | 1,138                    |
| $\text{FeO}$            | 6,84     | 3,42                   | 0,208                               | 0,741                    |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | 18,46    | 9,23                   | 0,441                               | 4,070                    |
| Інші                    | 2,95     | 1,48                   | 0,2                                 | 0,296                    |
| Разом на наважку        | 100      | 50,0                   | -                                   | 6,561                    |

Для одержання свинцевого сплаву масою 33 г слід окислити

$153 - 33 = 120$  г свинцю, а також 3 г свинцю, еквівалентного величині відновної здатності паперового кулька, що поступав в операцію.

З урахуванням цього буде потрібно селітри  
 $123 : 4,12 = 30$  г.

Кількість глету та соди на прийняту наважку руди 50 г береться відповідно 300 і 150 або 150 і 75 г. Для ошлакування лугу типу  $\text{K}_2\text{O}$ , селітри, що утворюється при розкладанні, частини глету, що переходить у шлак, і соди для прийнятого ступеня кислотності шлаку буде потрібно кремнезему

$$(117 \cdot 0,067) + (75 \cdot 0,142) + (30 \cdot 0,074) = 20,87 \text{ г.}$$

З урахуванням складу компонентів наважки (табл. 1.9) необхідно додатково кремнезему 6,56 г, а всього його потрібно

$$20,87 + 6,56 = 27,43 \text{ г.}$$

При вмісті останнього у наважці в кількості 24,65 г необхідно додати до шихти

$$27,43 - 24,65 = 2,78 \text{ г } \text{SiO}_2$$

або в перерахунку на еквівалент бури

$$2,78 \cdot 1,22 = 3,40 \text{ г.}$$

Остаточний розрахунковий склад шихти, г

|         |     |
|---------|-----|
| Наважка | 50  |
| Сода    | 75  |
| Глет    | 150 |
| Селітра | 30  |
| Бура    | 3,4 |

### 1.9.3 Розрахунок шихти для плавки проб з попереднім випаленням

Дана руда наступного хімічного складу %: 1,94 Cu; 29,32 Fe; 32,98 S; 0,56 Zn; 30,63 SiO<sub>2</sub>.

Рудні мінерали - пірит (FeS<sub>2</sub>), халькопірит (CuFeS<sub>2</sub>), сфалерит (ZnS).

Розрахунок оптимального складу руди

1. Знаходимо кількість халькопіриту

183,5 г CuFeS<sub>2</sub> містить 63,57 г Cu;

x г CuFeS<sub>2</sub> містить 1,94 г Cu;

x = 5,6 г CuFeS<sub>2</sub>.

2. Розраховуємо кількість заліза, пов'язаного з міддю у вигляді халькопіриту

63,57 г Cu - 55,84 Fe;

1,94 г Cu - x г Fe;

x = 1,7 Fe.

3. Знаходимо кількість сірки, пов'язаної з міддю у вигляді халькопіриту

63,57 г Cu - 64 г S;

1,94 г Cu - x г S;

x = 1,95 г S.

4. Знаходимо кількість сірки, пов'язаної з цинком у вигляді сфалериту

65,37 г Zn - 32 г S;

0,56 г Zn - x г S;

x = 0,27 г S.

Всього зв'язано сірки у формі халькопіриту та сфалериту

1,95 + 0,27 = 2,22 г.

Залишок сірки 32,9 - 2,22 = 30,68 г пов'язано із залізом у вигляді піриту

64 г S - 55,84 г Fe;

30,68 г S - x г Fe;

x = 26,77 г Fe.

Всього зв'язано заліза у формі халькопіриту та піриту

1,7 + 26,77 = 28,47 г.

Приймаємо, що залізо, що залишилося, в кількості

29,32 - 28,47 = 0,85 г знаходиться у вигляді FeO. З цим залізом пов'язано

кисню

56,7 г Fe - 16 г O

0,85 г Fe - x г O

x = 0,26 г O.

Результати розрахунків заносимо в табл. 1.10.

Таблиця 1.10 Раціональний склад шихти

| Сполука            | Вміст компонентів |       |       |    |                  |      |      | Разом |
|--------------------|-------------------|-------|-------|----|------------------|------|------|-------|
|                    | Cu                | Fe    | S     | Zn | SiO <sub>2</sub> | O    | Інші |       |
| CuFeS <sub>2</sub> | 1,94              | 1,70  | 1,95  | -  | -                | -    | -    | 5,60  |
| FeS <sub>2</sub>   | -                 | 26,77 | 30,68 | -  | -                | 0,26 | -    | 57,45 |
| FeO                | -                 | 0,85  | -     | -  | -                | -    | -    | 1,11  |
| SiO <sub>2</sub>   | -                 | -     | -     | -  | 30,63            | -    | -    | 30,63 |

Визначаємо теоретичну відновну здатність руди, г;

$$\text{CuFeS}_2 - 2,8 \cdot 7,85 = 21,98 \text{ г};$$

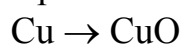
$$\text{FeS}_2 - 28,73 \cdot 11,05 = 288,65 \text{ г};$$

$$\text{ZnS} - 0,42 \cdot 7,87 = 3,27 \text{ г}.$$

де 2,8; 28,73; 0,42 - відповідно кількість CuFeS<sub>2</sub>, FeS<sub>2</sub>, ZnS в 50 г наважки руди; 7,85; 11,05; 7,87 - відновна здатність мінералів CuFeS<sub>2</sub>, FeS<sub>2</sub>, ZnS, г (табл.1.1) відповідно або відновна здатність руди буде дорівнювати  $314 / 50 = 6,3$  г, тобто руду необхідно заздалегідь обпалити.

#### 1.9.4 Розрахунок раціонального складу обпаленого матеріалу

При випаленні руди мідь, цинк, залізо переходять в оксиди.

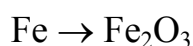


Знаходимо кількість

$$63,57 \text{ г Cu} - 79,6 \text{ г CuO};$$

$$0,97 \text{ г Cu} - x \text{ г CuO};$$

$$x = 1,21 \text{ г CuO}.$$

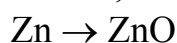


Знаходимо кількість Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

$$111,8 \text{ г Fe} - 159,8 \text{ г Fe}_2\text{O}_3;$$

$$14,66 \text{ г Fe} - x \text{ г Fe}_2\text{O}_3;$$

$$x = 20,95 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \text{ г}.$$



Знаходимо кількість ZnO

$$65,37 \text{ г Zn} - 81,4 \text{ г ZnO};$$

$$0,28 \text{ г Zn} - x \text{ ZnO};$$

$$x = 0,35 \text{ г ZnO}.$$

Всього після випалення наважки 50 г маса огарка буде дорівнювати

$$1,21 + 20,95 + 0,35 + 15,32 = 37,83 \text{ г}.$$

Визначаємо теоретичну окислювальну здатність руди за реакцією



$$20,95 - 1,30 = 27,25 \text{ г}$$

або на 1 г випаленої руди

$$27,25 / 37,83 = 0,72 \text{ г свинцю}.$$

Надалі для уточнення плавлять дві попередні проби: для визначення окислювальної здатності руди та відновної здатності відновника.

Шихту розраховують на бісилікатний шлак за наступною схемою.

Визначають кількість  $\text{SiO}_2$ , яка буде пов'язана з  $\text{CuO}$  в сполуку  $\text{CuO} \cdot \text{SiO}_2$ .

79,6 г  $\text{CuO}$  - 60 г  $\text{SiO}_2$ ;

1,21 г  $\text{CuO}$  - x  $\text{SiO}_2$  г

x = 0,91  $\text{SiO}_2$  г.

Визначають кількість  $\text{SiO}_2$ , що пов'язана з  $\text{ZnO}$  в сполуку  $\text{ZnO} \cdot \text{SiO}_2$

81,37  $\text{ZnO}$  г - 60  $\text{SiO}_2$  г;

0,35  $\text{ZnO}$  г - x  $\text{SiO}_2$  г ;

x = 0,26  $\text{SiO}_2$  г.

Визначають кількість  $\text{SiO}_2$ , що пов'язана з  $\text{PbO}$  в сполуку  $\text{PbO} \cdot \text{SiO}_2$ .

Кількість глету на наважку масою 50 г приймаємо за 100% (50 г). Для ошлакування глету, що переводиться в шлак, для вживаної кислотності шлаку буде потрібно кремнезему

$50 \cdot 0,27 = 13,5$   $\text{SiO}_2$  г.

де 0,27 - кількість  $\text{SiO}_2$  на 1 г  $\text{PbO}$  при кислотності шлаку, що дорівнює 2 (табл.1.6). В шихті є сода, зв'язана у ферит оксиду натрію  $3\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Находимо кількість соди, що пов'язана з 20,95 г  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  у ферит оксиду натрію

319,6 г  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - 318 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ;

20,95 г  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - x г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ;

x = 20 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

Кількість соди на прийнятій наважці приймаємо за 100 % (50 г), тоді залишок соди

$50 - 20 = 30$  г

пов'язують з  $\text{SiO}_2$

$30 - 0,57 \cdot 17,1$  г  $\text{SiO}_2$ ,

де 0,57 - кількість  $\text{SiO}_2$  на 1 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  при кислотності шлаку, що дорівнює 2 (табл.1.6). Разом буде потрібно

$\text{SiO}_2$  :  $(0,91 + 0,26 + 13,5) + 17,1 = 31,77$  г.

У руді є 15,32 г. Бракуючу кількість

$31,77 - 15,32 = 16,45$  г  $\text{SiO}_2$  замінують склом (еквівалент по  $\text{SiO}_2$  дорівнює 1,7) і бурою (еквівалент по  $\text{SiO}_2$  дорівнює 0,6) за співвідношенням  $16,45 / 1,7 = 3,8$  г скла и  $10 / 0,6 = 17$  г бури. Кількість відновника беруть за попередньою пробою (з урахуванням відновної здатності паперового кулька).

Кінцевий склад шихти, г

Руда 50 г (маса огарка)

Глет 80

Сода 50

Скло 3,8

Бура 17

## 1.10 Шерберна плавка

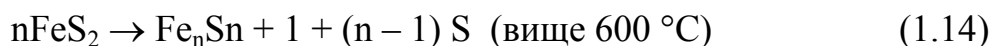
Шерберна плавка передбачає окислювально-розчинювальне плавлення наважки речовини з пробірним свинцем і бурою на шербері в муфельній печі.

При шерберуванні домішці окислюються та переходять в шлак, а благородні метали збираються металевим свинцем.

Окислювальна атмосфера створюється повітрям, що поступає в муфель. Окрім повітря, окислювачем також служить глет, що утворюється при плавці з розплавленого свинцю.

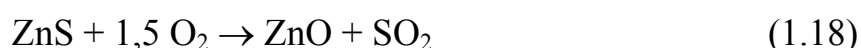
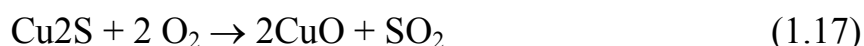
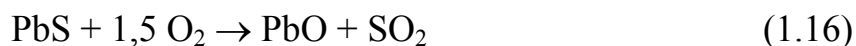
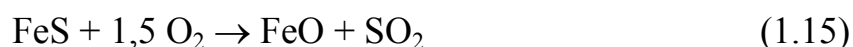
Шерберна плавка складається з наступних реакцій, що відбуваються при нагріванні наважки руди з флюсами.

1. *Розкладання сульфідних мінералів в результаті дисоціації й окислення*



Окрім цих реакцій при високій температурі розкладаються карбонати та деякі сульфати.

2. *Випалення сульфідів і окислення домішок.* Реакції випалення починаються з окислення свинцю, який окислюється до глету. Потім починаються реакції випалення сульфідів



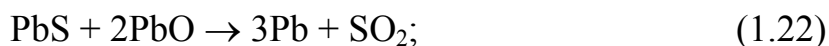
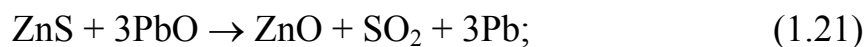
Стибніт ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ) обпалюють у дві стадії



Триоксид сурми - летюча сполука, що віддаляється при нагріванні, велика частина його встигає окислюватися до пентаоксиду, який переходить у шлак.

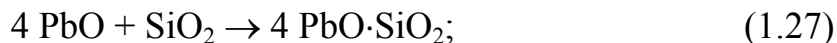
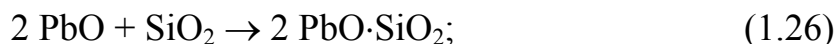
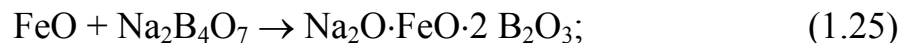
Аналогічно окислюється сульфід миш'яку.

Окислення глетом відбувається інтенсивніше, ніж киснем повітря

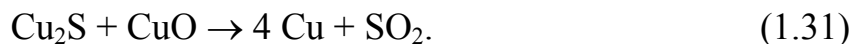
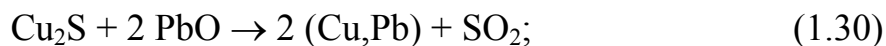




3. При шлакуванні йдуть наступні реакції



4. Внаслідок взаємодії сульфідів і оксидів метали відновлюються за наступними екзотермічними реакціями:



Ці реакції небажані, тому що мідь важко віддаляється при капелюванні із сплаву її з свинцем.

Розчинність оксидів в глеті - важлива особливість шерберування.

5. У роботі [3] наведені наступні дані щодо розчинності оксидів металів в глеті.

Для розчинення 1 частини потрібно 8 частин (за масою) глету  $\text{SiO}_2$  – 12;  $\text{MnO}$  – 10;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 10;  $\text{ZnO}$  – 8;  $\text{CuO}$  – 1,8;  $\text{Cu}_2\text{O}$  – 1,5;  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  розчиняється при будь-яких відносинах.

Головні флюси в шерберній плавці - плавлена бура та глет, що утворюється при окисленні свинцю. Кварц у вигляді скла додають в шихту в невеликій кількості (1...2 г) за відсутності кремнезему в аналізованому матеріалі. Додавання його необхідне для запобігання роз'їдання стінок шербера. Буру додають в кількості 1...5 г, пробірний свинець – 30...70 г залежно від складу продукту.

Маса наважки матеріалу при шерберній плавці коливається від 1 до 5 г.

### 1.10.1 Практика шерберування

Наважку речовини масою 1...2,5 г змішують на шербері з половинною кількістю необхідного пробірного свинцю, зверху покривають рештою кількості свинцю з бурою. Шербер ставлять у муфель, нагрітий до 700° С.

Для попередження втрат благородних металів в порах шербера його заздалегідь глазурують сумішшю соди та павленої бури.

У всьому процесі плавлення розрізняють три періоди.

Перший період - період розплавлення, його проводять при закритих дверцях муфеля. Цей період вважається закінченим, коли на гладкій поверхні розплавленої маси не помітно нерозплавлених частинок, і серед темного кільця шлаку оголюється ясне димляче металеве «око» свинцю.

Другий період характеризується реакціями окислення та шлакування. Процес ведеться при зниженій температурі та відкритих дверцях муфеля. Внаслідок окислення свинцю кількість шлаку збільшується, а димляче «око» поступово зменшується, поки абсолютно не затягнеться шлаком. Подальше окислення припиняється і на закритті «ока» другий період закінчується.

Не слід спочатку додавати до проби багато бури. В цьому випадку зважаючи на значну кількість шлаку, що утворюється бурою, передчасно закривається «око», припиняється доступ повітря, внаслідок чого руда може розкластися неповністю.

Третій період - період розрідження шлаку сягається шляхом закриття муфельних дверець і підвищення температури. Для розпалювання шлаку додають буру.

Після закінчення процесу шерберування вміст шербера виливають в металеву виливницю з конічними кублами.

Після охолодження шлак відбивають, свинцевий сплав проковують в кубик. Якщо сплав м'який і кувалий, і колір шербера вказує на присутність значної кількості міді, нікелю, кобальту, то його капелюють. Якщо сплав твердий (присутність міді та сурми) або крихкий (присутність сурми, миш'яку, сірки), то його повторно шерберують з додатковою кількістю свинцю (40...50 г) та бури.

Маса сплаву не повинна перевищувати 25...30 г.

Колір шлаків і глазурі на шербері дає уявлення про склад аналізованої речовини. Свинець за відсутності інших металів дає глазур від лимонно-жовтого до блідо-жовтого кольору. Значна кількість заліза дає темну, майже чорну глазур на шербері, що має різні відтінки: жовтувато-коричневий, темно-червоний. Кобальт офарблює глазур в синій колір. Світлий або темно-зелений колір глазурі вказує на присутність міді. Нікель по мірі збільшення змісту його в шлаку дає забарвлення від коричневого до чорного кольору. Марганець офарблює шлак в коричнево-чорний колір.

Втрати благородних металів при шерберовій плавці спричиняються:

- окисленням і шлакуванням;
- летючістю благородних металів;
- розбризуванням свинцю (внаслідок вологого шербера, присутності CO<sub>2</sub>, неповного перемішування речовини з свинцем, дуже високої температури на початку другого періоду і ін.).

## 1.11 Капелювання та розварювання

### 1.11.1 Порядок капелювання



В результаті тигельної або шерберної плавок виходить свинцевий сплав, практично повністю витягуються золото і срібло. Подальша обробка свинцевого сплаву полягає у відділенні благородних металів від свинцю. Цей процес називається капелюванням, який передбачає окислювальне плавлення свинцевого сплаву на капелі в муфельній печі при температурі 850...900° С.

В процесі капелювання свинець, окислюючись до оксиду свинцю, поглинається парами матеріалу капелі, а благородні метали у вигляді королька залишаються на капелі. Оксид свинцю енергійно окисляє неблагородні метали, що знаходяться в сплаві, у відповідні оксиди, розчинює їх і разом з ними поглинається купелем. Для здійснення процесу капелювання застосовують пористі судини - капель, виготовлений з магнезиту, цементу, кістяної золи або з їх солей, узятих в різних співвідношеннях. Поверхня капелі представляє собою мінеральну перегородку, проникну для розплавленого глету з розчиненими в ньому оксидами неблагородних металів і непроникну для свинцю та благородних металів. Перед початком капелювання капелі нагрівають протягом 20...30 мін для видалення з них вологи та органічних речовин. Коли температура капелі сягає 300° С, у неї обережно опускають свинцеві сплави, закривають дверці муфеля для підвищення температури та швидшого розплавлення свинцю.

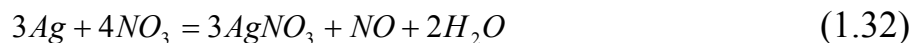
Розплавлений свинець спочатку покривається чорною плівкою (оксиди), що зникає через декілька хвилин і оголяє димлячу поверхню рідкого свинцю. Це - перший період капелювання, або відпаленого свинцю, після якого починається його швидке окислення, або власне капелювання.

Після оголення свинцю дверці муфеля відкривають для підвищення окислення свинцю та температуру муфеля знижують з метою зменшення втрат благородних металів. Невелика частина глету (близько 1,5 %) випаровується над поверхнею свинцю та при нормальній температурі муфеля стелиться посередині нього. Температуру знижують до тих пір, поки на передній внутрішній поверхні купелі не почнуть утворюватися кристали так званого пористого глету. При дуже низькій температурі капелювання останні утворюються навколо розплавленого свинцю у вигляді кільця, що поступово збільшується та покриває весь свинець, внаслідок чого капелювання припиняється. Така проба вважається втраченою. Якщо капелювання буде продовжено після додаткового розігрівання сплаву, одержані результати завжди будуть заниженими. Якщо замерзання сплаву спостерігається на початку капелювання, то його можна запобігти швидким підняттям температури муфеля. До кінця капелювання температура повинна бути підвищена до 900° С, тому що при зменшенні розмірів свинцевого сплаву скорочується кількість тепла свинцю, що виділяється в результаті окислення, що також необхідно для видалення останніх слідів свинцю з королька. У міру збагачення сплаву сріблом форма його стає сферичною. По поверхні свинцю стікають жирні плями глету, які всмоктуються стінками капелі. До кінця капелювання кількість свинцю зменшується, плями глету стають рідше і менше та, нарешті, зовсім зникають. На поверхні королька залишається тонка плівка

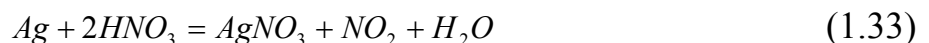
оксиду свинцю, та внаслідок неоднакової її товщини спостерігається інтерференція світла, в результаті якої створюється враження ніби корольок обертається та покривається барвами веселки, що змінюються. Ця гра кольору продовжується декілька секунд, після чого корольок повіває сильним блиском за рахунок виділення прихованої теплоти плавлення, потім темніє та твердне. На цьому капелювання закінчується. Капелі обережно виймають з муфеля і стежать потім, щоб не відбувалося зростання корольків, тому що під тонким шаром затверділого металу знаходиться рідкий метал, в якому розчинено значну кількість кисню. При швидкому охолодженні золото-срібного королька раптово виділяється кисень, що розриває поверхневу плівку королька та створює видимі нарости. При цьому досить часто спостерігається розбризкування рідкого металу. Повільне охолодження королька запобігає його зростанню або розбризкуванню. Для цього капелі висувають в передню частину муфеля, покривають перекинутим гарячим капелем і дають постояти декілька хвилин, після чого капелі поволі виймають з муфеля. Корольки повинні мати сферичну або напівсферичну форму.

#### 1.11.2 Розділення золото-срібляних корольків

Одержаний в результаті капелювання корольок є сплавом благородних металів, звичайно золота та срібла, в різних співвідношеннях з переважанням того або іншого металу. Розділення золота та срібла або розварювання королька проводять шляхом розчинення в кислотах, для чого звичайно користуються азотною кислотою. Розчинення срібла в розбавленій азотній кислоті відбувається за реакцією



У міцній азотній кислоті розчинення йде за реакцією



Для успішного проведення операції розварювання слід підготувати як корольок, так і кислоту.

Одержаний після капелювання корольок очищають від залишків капелі, та розплющують в пластинку для повнішого розчинення срібла. Для досягнення повного розділення золота та срібла необхідно, щоб відношення срібла до золота в сплаві було не менше ніж 3 : 1.

При меншому співвідношенні потрібна тривала обробка кислотою, при більшому - повинні бути прийняті мері обережності, щоб уникнути надмірного диспергування золота, що неминуче спричиняє за собою втрати деякої кількості малих невидимих частинок при декантації і що викликає утруднення при подальшому зважуванні корточки.

Присутність в сплаві 0,7...1,0 % неблагородних металів приводить до утворення пилоподібного золота.

Таким чином, при розділенні золота та срібла в кислоті необхідно забезпечити повне розчинення срібла, а також не допустити розчинення золота. Перше та друге сягається, перш за все, одержанням сплаву золота та срібла в необхідних співвідношеннях квантуванням.

Корольок квантують таким чином: його загортають з необхідною кількістю срібла в свинцеву фольгу масою 3...5 г, одержаний пакет опускають на задалегідь нагрітій капелі. Іноді, враховуючи недолік срібла в пробі, його додають безпосередньо до речовини під час шихтовки проб або до свинцевого сплаву при капелюванні. Іноді срібло вводять в шихту, додаючи певну кількість титруючого розчину азотнокислого срібла.

Розкутий корольок опускають у фарфоровий глазурований тигель з кислотою, задалегідь нагрітою до 80...85° С.

При розварюванні королька важливе значення має ступінь концентрації вживаної кислоти, що, в свою чергу, залежить від складу сплаву, що підлягає розчиненню. Встановлено, що чим більше срібла міститься в сплаві, тим менше повинна бути концентрація використаної кислоти та, навпаки, при малому вмісті срібла в сплаві слід брати кислоту підвищеної концентрації.

При розварюванні королька з високим відношенням срібла до золота найчастіше обмежуються одним прийомом розварювання розбавленою азотною кислотою (1 : 3) протягом 15...20 хвилин.

Попередній підігрів розчину азотної кислоти забезпечує одержання компактною золотою корточкою.

Нагрівання звичайно проводять до повного припинення виділення бульбашок оксиду азоту.

Розчин не слід доводити до кипіння, оскільки це може привести до сильної диспергації частинок золота.

Після закінчення розварювання королька розчин зливають в чисту фарфорову чашку, а корольок промивають тріади гарячою дистильованою водою. Потім корточку сушать і прожарюють до тих пір, поки метал не прийме жовтий колір чистого золота. Остигнутому корточку зважують.

Прожарення корточки приводить до коагуляції частинок золота, звільняє корточку від частинок і нальотів органічних речовин і дозволяє візуально спостерігати за чистотою одержуваної золотої корточки. Крім того, при прожаренні золото втрачає свою пористість і робиться щільнішим, що дозволяє сягати великої точності зважування корточки (в порах затримуються гази, присутність яких може показати результати зважування).

## **2 СКЛАДАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ШИХТ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СПЛАВІВ ДОРОГОЦІННИХ МЕТАЛІВ**

### **2.1 Основні положення**

Для складання та розрахунку шихт необхідно знати призначення шихти та вимоги, що пред'являються до годного кінцевого продукту або злитка, для яких складається шихта, за змістом основних компонентів і домішок; характеристику наявних шихтових матеріалів щодо їхнього вигляду, джерелу надходження, стану та готовності до плавки, маси та вмісту основних і легуючих компонентів, а також домішок; величину угару компонентів, що входять до шихти, і шихти у цілому при плавці і литві; масу годного кінцевого

продукту або злитка, для яких складається шихта та показник годного або коефіцієнти завантаження.

Найбільш цінні складові шихти - свіжі метали та лігатури, тому їх кількість в шихті обмежується мінімумом, необхідним для одержання сплаву хорошої якості.

Кількість зворотних продуктів переробки металів і сплавів, що входять в шихту, визначають виходячи з показників виходу годного продукту та витрати металів на його виготовлення з урахуванням частоти постачання виробництва початковою сировиною.

Домішки в металах і сплавах при повторних послідовних перепплавках накопичуються тим інтенсивніше, чим нижче вміст домішок в початкових металах і чим менше додається свіжих металів, а також, чим вище вміст домішок в металах, що додаються.

Для запобігання накопичення домішок в металах (сплавах) при повторних перепплавках потрібна добавка афінованих дорогоцінних та інших свіжих металів вищих марок за розрахунком і практично: у першому випадку менше 30 % для металів і сплавів відповідального призначення, 20 % для металів і сплавів загального призначення і менше 10 % для металів і сплавів іншого призначення і срібних припоїв (окрім ПСр72М, ПСр50М, ПСр71М280Р, ПСр55М, ПСр25М і СРМ-99), у другому – менше ніж 40 % для металів і сплавів загального призначення (для відповідального призначення зворотні продукти металів і сплавів монтирувально-опилочно-паяльних переділів застосовувати не слід) і менше 25 % для металів і сплавів іншого призначення і срібних припоїв.

## 2.2 Методи розрахунку шихти

У виробництві злитків дорогоцінних металів і сплавів зустрічаються наступні варіанти складання та розрахунку шихти:

- шихти тільки з металів (свіжих, свіжих і зворотних або тільки зворотних);
- шихти з металів і сплавів, металів і лігатур, а також металів і сплавів разом з лігатурами;
- шихти тільки із злитків або тільки із сплавів і лігатур.

Розрахунок шихти включає в загальному вигляді три послідовні розрахунки:

- загальної необхідної кількості шихти в цілому для виробництва годного продукту,
- шихти за вмістом компонентів
- і шихти за вмістом домішок.

### 2.2.1 Розрахунок загальної кількості шихти для виробництва годного продукту

Загальну необхідну кількість шихти розраховують для всіх видів шихт і сплавів за формулою:

$$\text{Ш} = \Gamma_{\text{о.ф.}} \cdot \text{З}_{\text{м.ф.}}^{\text{к.г.}} = \frac{100 \cdot \Gamma_{\text{о.ф.}}}{\Gamma_{\text{м.ф.}}^{\text{п.з.}}}, \quad (2.1)$$

де  $\Gamma_{\text{о.ф.}}$  - кількість годного продукту останньої фази виробництва;

$\text{З}_{\text{м.ф.}}^{\text{к.г.}}$  - коефіцієнт завантаження до годного продукту в цілому щодо циклу обробки всіх фаз виробництва, частки одиниць;

$\Gamma_{\text{м.ф.}}^{\text{п.з.}}$  - показник виходу годного продукту в цілому щодо циклу обробки всіх фаз виробництва %.

### 2.2.2 Розрахунок шихти за змістом компонентів

У даному розділі приводяться прямі методи розрахунку різних варіантів шихт як за змістом основних і легуючих компонентів, так і домішок, що дають можливість розрахунків за єдиними формулами і безпосередньо на будь-яку задану або потрібну кількість шихти з урахуванням поправок на нерівномірність угару вхідних в неї компонентів і складових і на угар шихти в цілому.

Шихти за змістом основних і легуючих компонентів розраховують за наступними формулами.

1. Кількість потрібного компоненту, що вводиться в шихту у вигляді металу (свіжого, свіжого і зворотного або тільки зворотного) з урахуванням поправки на його угар при плавці і литві, г або кг:

$$X_{\text{м}} = X - X_{\text{л1}} - X_{\text{л2}} - \dots - X_{\text{лn}} - X_{\text{р}} = \frac{\text{Ш} \cdot C_{\text{x}}}{100} \cdot \left(1 + \frac{Y_{\text{x}} - Y_{\text{ш}}}{100}\right) - \frac{Л_1 \cdot C_{\text{x1}}}{100} \cdot \left(1 + \frac{Y_{\text{x1}} - Y_{\text{л1}}}{100}\right) - \frac{Л_2 \cdot C_{\text{x2}}}{100} \cdot \left(1 + \frac{Y_{\text{x2}} - Y_{\text{л2}}}{100}\right) - \dots - \frac{Л_n \cdot C_{\text{xn}}}{100} \cdot \left(1 + \frac{Y_{\text{xn}} - Y_{\text{лn}}}{100}\right) - \frac{P \cdot C_{\text{x0}}}{100}, \quad (2.2)$$

Загальна кількість потрібного компоненту, що входить до складу годного продукту, яку вводять в шихту у всіх видах (у вигляді металу, з розкислювачем, лігатурами і сплавами) з урахуванням поправок на його угар при плавці і литві, г або кг:

$$X = \frac{\text{Ш} \cdot C_{\text{x}}}{100} \cdot \left(1 + \frac{Y_{\text{x}} - Y_{\text{ш}}}{100}\right) \quad (2.3)$$

3. Кількість потрібного компоненту, що вводиться в шихту із сплавами і лігатурами 1, 2, ..., n (другий, третій тощо. включно до останнього члена правої часта формули (2.2) з урахуванням поправки на їх угар при плавці та литві, г або кг:

$$X_{Л_{1,2,\dots,n}} = \frac{Л_{1,2,\dots,n} \cdot C_{x_{1,2,\dots,n}}}{100} \cdot \left( 1 + \frac{Y_{x_{1,2,\dots,n}} - Y_{Л_{1,2,\dots,n}}}{100} \right) \quad (2.4)$$

$$X_p = \frac{p \cdot C_{x_p}}{100} \quad (2.5)$$

4. Необхідна кількість сплавів і лігатур 1, 2 ...,n, з якими вводять у шихту потрібний компонент, г або кг:

$$Л_{1,2,\dots,n} = \frac{100 \cdot X_{Л_{1,2,\dots,n}}}{C_{x_{1,2,\dots,n}} \cdot \left( 1 + \frac{Y_{x_{1,2,\dots,n}} - Y_{Л_{1,2,\dots,n}}}{100} \right)}, \quad (2.6)$$

де Ш - загальна необхідна кількість шихти з урахуванням її угару при плавці і литві для виробництва годного продукту заданого складу та маси, г або кг;

p - кількість розкислювача, що вводиться в шихту для виробництва годного продукту заданого складу та маси, г або кг;

C<sub>x</sub> - номінальний вміст потрібного компонента в сплаві, для якого складається шихта (приймають за ГОСТами або технічними умовами (ТУ) на даний сплав) %;

C<sub>x<sub>1</sub></sub>, C<sub>x<sub>2</sub></sub>, C<sub>x<sub>n</sub></sub> - фактичний вміст потрібного компонента в сплавах і лігатурах 1, 2 ..., n, з якими він вводиться в шихту %;

C<sub>x<sub>p</sub></sub> - фактичний вміст потрібного компонента в розкислювачі, з яким він вводиться в шихту, %;

Y<sub>x</sub> - угар при плавці та литві потрібного компонента в цілому в сплаві, з якого складається шихта, %, підраховують за формулою:

$$Y_t = K_t \cdot A_{t_{\text{общ}}} \cdot \tau \quad (2.7)$$

де Y<sub>t</sub> - угар металу при плавці та литві при даній температурі нагріву % завантаження в шихту;

A<sub>t<sub>общ</sub></sub> - загальний коефіцієнт, що враховує сумарне відношення спорідненості металу до кисню (Q<sub>обр</sub>, ккал/г-атом кисню), до щільності металу при даній температурі нагріву металу при плавці (t<sub>н</sub> = t<sub>р</sub> + t<sub>пер</sub> °C) до температури його кипіння (t<sub>к</sub> ° C); підраховують його на підставі табл.2.1за формулою:

$$A_{t_{\text{общ}}} = \sum A_{t_1} + A_{t_2} = \sum \frac{Q_{\text{обп}}}{\gamma_t} + \frac{t_{\text{н}}}{t_k}, \quad (2.8)$$

де  $\tau$  - тривалість плавки, год.;

$K_t$  - коефіцієнт, що враховує ступінь перегріву металів вище температури їхнього розплавлення (значення  $K_t$  дане в табл.2.2);

$Y_{x_1}, Y_{x_2}, Y_{x_n}$  - угар потрібного компонента при плавці та литві в сплавах і лігатурах 1, 2..., n, з якими він вводиться в шихту (розраховують або беруть аналогічно  $Y_x$ ) %;

$Y_{\text{ш}}$  - загальний угар шихти при плавці та литві (%) підраховують з урахуванням угару компонентів сплаву, для якого складається шихта, й угару, що вводиться в шихту із розкислювачем за формулою:

$$Y_{\text{ш}} = \frac{Y_a \cdot C_a + Y_b \cdot C_b + \dots + Y_n \cdot C_n + C_p \cdot C_{\text{р.е.}}}{100}, \quad (2.9)$$

де  $Y_a, Y_b, \dots, Y_n$  - угар при плавці та литві компонентів сплаву, для якого складаються шихти (розраховують або беруть аналогічно  $Y_t$ )

$C_a, C_b, \dots, C_n$  - номінальний вміст компонентів в сплаві, для якого складається шихта (приймають у відповідності з ГОСТом або ТУ на даний сплав), %;

$C_p$  - задана кількість розкислювача, що входить в загальну потрібну кількість шихти для виробництва годного продукту заданого складу і маси % маси шихти;

$C_{\text{р.е.}}$  - фактичний вміст розкислюючого елемента в розкислювачі %;

$Y_{л_1}, Y_{л_2}, \dots, Y_{л_n}$  - угар сплавів і лігатур 1, 2, ... n при плавці і литві, з якими вводять в шихту потрібний компонент (%), підраховують за формулою

$$Y_{\text{л}} = \frac{Y_{a_1} \cdot C_{a_1} + Y_{b_1} \cdot C_{b_1} + \dots + Y_{n_1} \cdot C_{n_1}}{100}, \quad (2.10)$$

де  $Y_{\text{л}}$  - угар сплаву або лігатури при плавці та литві, з якими або з якою вводиться в шихту потрібний компонент, %;

$Y_{a_1}, Y_{b_1}, \dots, Y_{n_1}$  - угар компонентів в сплаві або лігатурі, що вводиться або що вводиться в шихту при плавці на литві (розраховують або беруть аналогічно  $Y_x$ ), %;

$C_{a_1}, C_{b_1}, \dots, C_{n_1}$  - фактичний вміст компонентів в сплаві або лігатурі, що вводиться або що вводиться в шихту.

### 2.2.2.1 Метод розрахунку шихти з металів із застосуванням і без застосування спеціального розкислювача

1. Визначають загальну кількість кожного компоненту, що вводиться в шихту та входить до складу годного продукту, для якого складається шихта, за формулою (2.3).

Таблиця 2.2 - Значення коефіцієнта  $K_t$  залежно від температури нагріву металів  $t_{пер}$

| $t_{пер}$ , град | $K_t$   | $t_{пер}$ , град | $K_t$   | $t_{пер}$ , град | $K_t$   | $t_{пер}$ , град | $K_t$    |
|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|----------|
| 0                | 0,00473 | 110              | 0,01580 | 210              | 0,02686 | 310              | 0,04884  |
| 10               | 0,00684 | 120              | 0,01686 | 220              | 0,02826 | 320              | 0,05212  |
| 20               | 0,00781 | 130              | 0,01786 | 230              | 0,00299 | 330              | 0,005572 |
| 30               | 0,00884 | 140              | 0,01886 | 240              | 0,03191 | 340              | 0,06078  |
| 40               | 0,00984 | 150              | 0,01980 | 250 -            | 0,03379 | 350              | 0,06778  |
| 50               | 0,01080 | 160              | 0,02090 | 260              | 0,03599 | 360              | 0,06998  |
| 60               | 0,01156 | 170              | 0,02206 | 270              | 0,03819 | 370              | 0,07598  |
| 70               | 0,01245 | 180              | 0,02330 | 280              | 0,0403  | 380              | 0,08251  |
| 80               | 0,01330 | 190              | 0,02435 | 290              | 0,04279 | 390              | 0,09118  |
| 90               | 0,01410 | 200              | 0,02550 | 300              | 0,04610 | 400              | 0,01030  |
| 100              | 0,01500 | -                | -       | -                | -       | -                | -        |

2. Визначають, виходячи із заданого змісту розкислювача (% маси шихти і його фізичного складу), кількість останнього, необхідне для розкислювання шихти, кількість розкислюючого елементу, що входить в розкислювач, і кількість кожного компоненту, що вводиться в шихту з розкислювачем.

3. Визначають кількість кожного компоненту, що вводиться в шихту у вигляді металів, за формулою (2.2). При цьому другий, третій та інші члени формули (2.2) включно до останнього члена дорівнюють нулю, оскільки компоненти вводять в шихту тільки у вигляді металів і з розкислювачем.

4. По закінченні розрахунку шихти за компонентами складають її баланс. Відсутність розбіжностей в балансі шихти вказує на правильність її розрахунку за компонентами.

### 2.2.2.2 Метод розрахунку шихти з металів і сплавів металів і лігатур, металів і сплавів разом з лігатурами і із застосуванням і без застосування розкислювачів

1. Визначають загальну кількість кожного компоненту в шихті, з урахуванням поправки на їх угар при плавці та литві за формулою (2.3).

2. Визначають кількість розкислювача, необхідного для розкислювання шихти, кількість розкислюючого елементу, що входить у розкислювач, і кількість кожного компоненту, що вводиться в шихту з розкислювачем.

3. Визначають за формулою (2.6) кількість кожної лігатури та кожного сплаву, з якими повинні бути введені в шихту компоненти (що не є для її



складання у вигляді металів, а також такі, які в шихту слід вводити тільки у вигляді лігатур).

4. Визначають за формулою (2.2) необхідну кількість компонентів, що вводяться в шихту у вигляді металів. Цим визначенням одночасно перевіряють правильність вибору для шихтовки даних шихтових матеріалів за співвідношенням в них основних і легуючих компонентів і можливість складання з них шихти заданого складу та маси, оскільки є можливим невдалий вибір шихтових матеріалів.

Для усунення цього необхідно, змінюючи відповідно розрахунок за іншими компонентами шихти, замінити один з шихтових сплавів, що містять даний компонент, іншим аналогічним сплавом з меншим його вмістом за розрахунком, або скоротити введення в шихту шихтового сплаву, що містить даний компонент в невеликій кількості, відповідно внівши корективи в розрахунок за іншими компонентами шихти. При цьому може виникнути необхідність вводити в шихту який-небудь компонент у вигляді металу та сплаву, тоді як в першому випадку намічалось вводити його в шихту тільки у вигляді сплаву.

5. За формулою (2.4) визначають частину кількості кожного компоненту, що вводиться в шихту з лігатурами та сплавами.

6. По закінченні розрахунку складають баланс шихти за її складовими та компонентами. Відсутність розбіжностей в балансі вказує на правильність виконаного розрахунку.

### 2.2.2.3 Метод розрахунку шихти із сплавів із застосуванням і без застосування спеціального розкислювача

1. Визначають загальну кількість кожного компоненту в шихті з урахуванням поправки на їх угар при плавці та литві за формулою (2.3).

2. Визначають, виходячи із заданого вмісту розкислювача (% маси шихти і його фактичного складу), кількість розкислювача, необхідне для розкислювання шихти, кількість розкислюючого елемента, що входить в розкислювач, і кількість кожного з компонентів, що вводяться в шихту з розкислювачем.

3. Визначають, виходячи з формули (2.2), необхідну кількість відходів, спочатку першого, а потім другого сплавів. Оскільки кількості відходів обох сплавів є невідомими, для їх визначення повинні бути складені два рівняння. Для цього вибирають які-небудь два компоненти, що входять до складу відходів початкових сплавів і кінцевого сплаву.

4. Визначають за формулою (2.4) кількість кожного компоненту, що вводиться в шихту з відходами сплавів.

По закінченні розрахунку шихти за компонентами складають її баланс.

### 2.2.3 Розрахунок шихти за вмістом домішок

Шихту на вміст домішок розраховують для всіх видів шихт за однією з наступних формул:

$$P_p = \frac{Ш_1 \cdot П_1 + Ш_2 \cdot П_2 + \dots + Ш_n \cdot П_n}{Ш \cdot \left(1 - \frac{Y_{ш}}{100}\right)} < P_d, \quad (2.11)$$

або

$$P_p = \frac{П_1 \cdot C_1 + П_2 \cdot C_2 + \dots + П_n \cdot C_n}{100 - Y_{ш}} < P_d \quad (2.12)$$

де  $P_p$  - загальний розрахунковий вміст домішки, що визначають, або всіх домішок в годному продукті, для якого призначається дана шихта, %;

$P_d$  - загальне допустиме за ГОСТом або ТУ вміст домішки, що визначають, або всіх домішок в годному продукті, для якого призначається дана шихта, %;

$Ш_1, Ш_2, Ш_n$  - розрахункова необхідна кількість першої, другої, n-ї складових шихти (беруть з балансу шихти за компонентами), г або кг;

$П_1, П_2, П_n$  - фактичний вміст домішки, що визначають, або всіх домішок, відповідно в першій, другій, n-й складовій шихти, %;

$C_1, C_2, C_n$  - розрахунковий вміст в шихті відповідно першої, другої, n-ї складових (беруть з балансу шихти за компонентами), %;

$Y_{ш}$  - загальний угар при плавці та литві шихти (визначають за формулою (2.7), %).

Таблиця 2.3 Оптимальні склади шихт драгоцінних металів і сплавів за вмістом складових

| Призначення шихти                                | Рекомендуємі склади, % ** |       |      | Призначення шихти * | Рекомендуєміє составы, % ** |       |      |
|--|---------------------------|-------|------|---------------------|-----------------------------|-------|------|
|  | а                         | б     | в    |                     | а                           | б     | в    |
| Платина, метали платинової підгрупи та їх сплави |                           |       |      |                     |                             |       |      |
| 1  | 100                       | -     | -    | 3                   | 45-50                       | 10-15 | Зал. |
| 2  | 50-60                     | -     | Зал. | 4                   | 20-25                       |       | Зал. |
| 3  | 25-30                     | -     | Зал. | 4                   | 30-35                       |       | Зал. |
| 3  | 35-40                     | -     | Зал. | 4                   | 30-35                       | 15-20 | Зал. |
| 3  | 35-40                     | 10-15 | Зал. | 4                   | 40-45                       | 15-20 | Зал. |
| Золото, срібло та їх сплави                      |                           |       |      |                     |                             |       |      |
| 1  | 70-100                    | -     | Зал. | 3                   | 40-50                       | 10-15 | Зал. |
| 2  | 40-50                     | -     | Зал. | 4                   | 15-20                       | -     | Зал. |
| 3  | 20-25                     | -     | Зал. | 4                   | 20-25                       | -     | Зал. |
| 3  | 30-35                     | -     | Зал. | 4                   | 20-25                       | 20-25 | Зал. |
| 3  | 30-35                     | 10-15 | Зал. | 4                   | 30-35                       | 20-25 | Зал. |
| Припої срібляні                                  |                           |       |      |                     |                             |       |      |
| 5  | 20-25                     | -     | Зал. | 6.                  | 15-20                       | -     | Зал. |
| 5  | 30-35                     | -     | Зал. | 6                   | 20-25                       | -     | Зал. |
| 5  | 30-35                     | 10-15 | Зал. | 6                   | 20-25                       | 20-25 | Зал. |
| 5  | 40-45                     | 10-15 | Зал. | 6                   | 35-40                       | 20-25 | Зал. |

\*Призначення шихти: 1 - для виробництва напівфабрикатів і виробів з особими властивостями (вміст домішок до 0,15%); 2 - для виробництва сусальних металів, фольги, зубопротезних дисків, термопар, каталізаторних сіток і інших напівфабрикатів і виробів спеціального призначення (вміст домішок 0,2-0,25 %); 3 - для виробництва напівфабрикатів і виробів загального призначення (вміст домішок 0,3-0,4 %); 4 - для виробництва напівфабрикатів і виробів іншого призначення (вміст домішок 0,5 та більше); 5 - для виробництва припоїв ПСр72М, ПСр50М, ПСр71М28Ф, ПСр55М, ПСр35М, СрМ-99; 6 - для виробництва інших припоїв.

\*\*Складові шихти: а - свіжі метали та лігатури; б - возвратні продукти переробки металів і сплавів виробництва монтировочно-опилочно-паяльних переділів; в - то же ливарно-прокатно-волочильно-штамповочних переділів

## 2.2.4 Рекомендовані склади шихти

З урахуванням основних положень щодо складання та розрахунку шихти для практичного застосування рекомендуються наступні оптимальні склади шихти дорогоцінних металів і їх сплавів за змістом складових (табл.2.3), а за граничним вмістом домішок залежно від їх раціонального складу.

## 2.3 Приклади розрахунку шихти

Приклад 1. Визначити втрати на угар срібла та міді при приготуванні з них сплаву марки СрМ875, що містить 87,5 % срібло і 12,5 % мідь, якщо температура нагріву (плавки) складає 1150° С. Вибираємо з табл.2.1 і 2.2 початкові дані для розрахунку в табл.2.4.

Таблиця 2.4 - Дані для розрахунку

| Показник  | Срібло           | Мідь             |
|---|------------------|------------------|
| Температура розплавлення $t_p$ , °С                     | 960              | 1083             |
| Перегрів понад температури розплавлення, $t_{пер}$ , °С | 1150 - 960 = 190 | 1150 - 1083 = 67 |
| Коефіцієнт $K_t$ , при $\tau = 0,75$ г                  | 0,01827          | 0,00934          |
| Щільність $\gamma_t$ , при 1150 °С, г/см <sup>3</sup>   | 9,1              | 8,23             |
| Спорідненість до кисню $Q_{ок}$ , ккал/1 г-атом кисню   | 6,5              | 40,4             |
| Температура кипіння, $t_k$ , °С                         | 2000             | 2360             |

Підставляючи у формулу (2.7) вибрані дані, одержують

$$Y_{ср} = 0,0182 + \left( \frac{6,5}{9,1} + \frac{1150}{2000} \right) = 0,01827 \cdot (0,715 + 0,576) = 0,0236 \%$$

$$Y_m = 0,00934 \cdot \left( \frac{40,4}{8,23} + \frac{1150}{2360} \right) = 0,00934 \cdot (4,91 + 0,488) = 0,0503 \%$$

Загальні втрати сплаву складають:

$$Y_{заг} = (0,0236 \cdot 87,5 + 0,0503 \cdot 12,5) : 100 = 0,027 \%$$

Якщо розрахунок скласти для температури плавки 1180° С, що дещо завищено для даного сплаву, то загальний розрахунковий угар сплаву при плавці та литві складе 0,0316 %, що узгоджується з нормативними статистичними втратами 0,0338 %.

Приклад 2. (Шихта складається з металів із застосуванням спеціального розкислювача). Визначити потрібну кількість срібла і міді, що вводиться в шихту у вигляді металів марок Ср999,9 і МО, необхідна кількість розкислювача

- мідь фосфористої марки МФ1, що містить 10 % фосфору і 90 % міді (включаючи домішки), а також кількість фосфору і міді, що вводиться в шихту з розкислювачем, для складання 160 кг шихти при виробництві годного продукту з срібно-мідного сплаву марки СрМ875, що містить 87,5 % срібла та 12,5 % міді (включаючи домішки), якщо в шихту повинно бути введено розкислювача 0,1 % її ваги; угар при плавці та литві складає: срібло і мідь - 0,05 %, фосфору 100 %, шихти в цілому 0,06 % (розраховані за формулою (2.10))

$$Y_{\text{ш}} = \frac{0,05 \cdot 87,5 + 0,05 \cdot 12,5 + 0,1 \cdot 10,0}{100} = 0,06 \%$$

1. Визначаємо загальну необхідну кількість компонентів, що входять до складу годного продукту.

Срібло:

$$X_{\text{ср}} = \frac{160000 \cdot 12,5}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,05 - 0,06}{100}\right) = 1600 \cdot 87,5 \cdot 0,9999 = 139986 \text{ г};$$

Мідь:

$$X_{\text{м}} = \frac{160000 \cdot 12,5}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,05 - 0,06}{100}\right) = 1600 \cdot 12,5 \cdot 0,9999 = 19998 \text{ г};$$

2. Визначаємо необхідну кількість розкислювача для розкислювання шихти і кількість фосфору і міді, що вводиться в шихту з розкислювачем:

$$X_{\text{ш}} = \frac{160000 \cdot 0,1}{100} = 160 \text{ г}$$

3. Визначаємо необхідну кількість міді, що вводиться до шихти у вигляді металу марки МО

$$X_{\text{м мо}} = 19998 - 144 = 19854 \text{ г}.$$

Дані розрахунку зводяться в баланс шихти (табл.2.5).

Таблиця 2.5 Баланс шихти сплаву СрМ875

| Складові шихти           | Вміст в шихті її складових |        |        |       |      |    | Необхідна кількість, г |
|--------------------------|----------------------------|--------|--------|-------|------|----|------------------------|
|                          | Ag                         |        | Cu     |       | P    |    |                        |
|                          | %                          | г      | %      | г     | %    | г  |                        |
| Срібло марки Ср999,9     | 199,99                     | 139986 | -      | -     | -    | -  | 139986                 |
| Мідь марки МО            | -                          | -      | 199,99 | 19854 | -    | -  | 19854                  |
| Мідь фосфориста марки МФ | -                          | -      | 99,0   | 144   | 10,0 | 16 | 160                    |
| Разом шихти              | 87,491                     | 139986 | 12,499 | 19998 | 0,01 | 15 | 160000                 |

Приклад 3. (Шихта складається з металів, сплавів, лігатур і з розкислювачем, що одночасно служить компонентом годного продукту). Визначити потрібну кількість срібла, міді, цинку, кадмію, марганцю та нікелю і шихтових матеріалів, в яких знаходяться ці компоненти, для складання 160 кг шихти срібного припою марки ПСр44 (44,0 % Ag, 27,0 % Cu, 16,0 % Zn, 8,0 % Cd, 3,0 % Mn і 2,0 % Ni, включаючи домішки, якщо для складання шихти є: відходи срібного припою марки ПСр45 (45,0 % Ag, 30 % Cu і 25 % Zn), мідно-марганцева лігатура марки ЛММц-27 (27,0 % Mn і 73,0 % Cu), мідно-нікелева лігатура марки ЛМН-20 (20,0 % Mn і 80,0 % Cu), срібло афіноване марки Ср999,9, мідь катодна марки МО, кадмій в литих кулькових анодах марки КДО і цинк в чушках марки ЦО, а угар при плавці і литві складає: срібла, міді, нікелю і мідно-нікелевої лігатури - 0,05; марганцю - 0,1; цинку - 0,4; кадмію - 0,5; срібного припою марки ПСр45 у відходах - 0,138; мідно-марганцевої лігатури - 0,064 і шихти в цілому 0,144 %. Угар шихти в цілому розраховуємо за формулою (2.7), а угар срібного припою марки ПСр45 у відходах, мідно-марганцевої і мідно-нікелевої лігатур за формулою (2.6).

1. Визначаємо загальну необхідну кількість компонентів в шихті:

- нікель

$$X_{\text{Н}} = \frac{160000 \cdot 2,0}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,05 - 0,144}{100}\right) = 1600 \cdot 2,0 \cdot 0,99906 = 3197 \text{ г};$$

- марганець

$$X_{\text{мц}} = \frac{160000 \cdot 3,0}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,1 - 0,144}{100}\right) = 1600 \cdot 3,0 \cdot 0,99956 = 4798 \text{ г}$$

- кадмій

$$X_{\text{лм-мц-20}} = \frac{100 \cdot 4798}{27 \cdot \left(1 + \frac{0,01 - 0,064}{100}\right)} = \frac{479800}{27 \cdot 1,00036} = 17764 \text{ г}$$

- цинк

$$X_{\text{ц}} = \frac{160000 \cdot 16,0}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,4 - 0,144}{100}\right) = 1600 \cdot 16,0 \cdot 1,00256 = 25666 \text{ г}$$

- мідь

$$X_{\text{м}} = \frac{160000 \cdot 27,0}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,05 - 0,144}{100}\right) = 1600 \cdot 27,0 \cdot 0,99906 = 43159 \text{ г}$$

- срібло

$$X_{\text{ср}} = \frac{160000 \cdot 44,0}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,05 - 0,144}{100}\right) \cdot 1600 \cdot 44,0 \cdot 0,99906 = 70334 \text{ г.}$$

2. Враховуючи, що нікель і марганець додають в шихту тільки у вигляді лігатур, і припускаючи, що цинк вводиться в шихту також тільки у вигляді відходів срібного припою, кількість лігатури визначають за формулою (2.8).

Мідно-нікелева лігатура:

$$X_{\text{л-мн-20}} = \frac{100 \cdot 3197}{20} = 15985 \text{ г}$$

Мідно-марганцева лігатура

$$X_{\text{лм-мц-20}} = \frac{100 \cdot 4798}{27 \cdot \left(1 + \frac{0,01 - 0,064}{100}\right)} = \frac{479800}{27 \cdot 1,00036} = 17764 \text{ г}$$

Відходи срібного припою

$$X_{\text{ПСр45}} = \frac{100 \cdot 25666}{25 \cdot \left(1 + \frac{0,4 - 0,138}{100}\right)} = \frac{2566 \cdot 600}{25,0 \cdot 1,00262} = 102396 \text{ г}$$

3. Виконують перевірочний розрахунок відповідності вибраного співвідношення вибраним умовам одержання шихти заданого складу, для чого за формулою (2.8) визначають необхідну кількість срібла та міді, що вводиться в шихту у вигляді свіжих металів Ср999,9 і МО.

Срібло

$$X_{\text{Ср999,9}} = \frac{160000 \cdot 44,0}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,05 - 0,138}{100}\right) = 70400 \cdot 0,99906 - 46078,2 \cdot 0,99912 =$$

$$= 70334 - 46038 = 24296 \text{ г},$$

тобто щодо срібла шихта складена правильно.

Мідь

$$X_{\text{МО}} = \frac{160000 \cdot 27,0}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,05 - 0,144}{100}\right) - \frac{15985 \cdot 80}{100} - \frac{17764 \cdot 73}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,05 + 0,064}{100}\right) -$$

$$- \frac{102396 \cdot 30}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,05 - 0,138}{100}\right) = 43200 \cdot 0,99906 - 12788 - 12967 \cdot 0,99986 -$$

$$- 30718,8 \cdot 0,99912 = 43159 - 12788 - 12799 - 30622 = -13287 \text{ г},$$

тобто щодо міді шихта складена невірно.

4. Для виправлення виявленої невідповідності скорочують на знайдену плюсову різницю кількість міді, що вводиться в шихту з відходами срібного припою марки ПСр45, виконують відповідні перерахунки щодо необхідної кількості відходів срібного припою марки ПСр45 і що потрапляють з ним в шихту цинку і срібла, а також перерахунки щодо срібла, що вводиться в шихту у вигляді металу Ср999,9, і цинку, який після коректування (скорочення) кількості відходів срібного припою марки ПСр45 також слід додавати в шихту в бракуючої кількості у вигляді металу ЦО.

Скоректована кількість міді, що вводиться в шихту з срібним припоєм марки ПСр45

$$Cu_{\text{кор}} = 30692 - 13287 = 17405 \text{ г.}$$

Скоректувати необхідну кількість відходів срібного припою марки ПСр45 (визначають, як і раніше, за формулою (4), але з урахуванням відомої кількості в ньому міді, а не цинку, вміст якого в ньому поки невідомо):

$$= \frac{100 \cdot 17405}{\left(1 + \frac{0,05 - 0,138}{100}\right)} = \frac{1740500}{30,0 \cdot 0,99912} = 58068 \text{ г.}$$

Скоректована кількість цинку, що додається в шихту з відходами срібного припою марки ПСр45 (за формулою (2.2))

$$= \frac{58068 \cdot 45,0}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,05 - 0,138}{100}\right) = 26130,6 \cdot 0,99912 = 26108 \text{ г}$$

$$\frac{58068 \cdot 25,0}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,4 - 0,138}{100}\right) = 14517 \cdot 1,00262 = 14555 \text{ г,}$$

тобто зменшилося на  $25666 - 14555 = 11111$  г, які необхідно в даному випадку ввести у вигляді свіжого металу, оскільки в інших складових шихти цинк не міститься.

Скоректована кількість срібла, що вводиться в шихту з відходами срібного припою марки ПСр45 (те ж, за формулою (2.2)).

Скоректована кількість срібла, що вводиться в шихту у вигляді металу Ср999,9 (за формулою (2.8)):

$$X_{\text{Ср999,9}}^{\text{скор}} = 703334 - 26108 = 44226 \text{ г.}$$

5. Визначаємо за формулою (2.4) кількість міді, що додається в шихту, відповідно з мідно-нікелевою лігатурою марки ЛМН-20 і мідно-марганцевою лігатурою марки ЛММц-27.

Мідь (з мідно-нікелевою лігатурою):

$$X_{\text{М,ЛМН-20}} - \frac{15985 \cdot 80}{100} = 12788 \text{ г.}$$

Мідь (з мідно-марганцевою лігатурою):

$$X_{\text{МЛММН-27}} = \frac{17764 \cdot 73}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,05 - 0,064}{100}\right) = 12967 \cdot 0,99986 = 12966 \text{ г.}$$

Дані розрахунку зводять в баланс шихти (табл.2.6).

Приклад 4. (Шихта складається з металу та сплаву із застосуванням спеціального розкислювача і пониженням проби сплаву). Визначити необхідну кількість срібла, міді та шихтових матеріалів, в яких знаходяться ці компоненти, для складання 160 кг шихти срібно-мідного сплаву марки СрМ875 (87,5 % Ag і 12,5 % Cu, включаючи домішки), якщо для складання шихти є відходи срібно-мідного сплаву марки СрМ925 (92,5 % Ag і 7,5 % Cu), мідь катодна марки МО і фосфориста (для розкислювання) марки МФ1, а угар при плавці і литві складає: міді, срібла і відходів срібно-мідного сплаву 925-ї проби 0,05 %, фосфору - 100 і шихти в цілому 0,06 % (підраховано за формулою (2.5)). Кількість розкислювача беруть 0,1 % або щодо фосфору 0,01 % маси шихти.



Таблиця.2.6 Баланс шихти ПСр44

| Составляющие шихты                | Вміст у шихті |       |        |        |       |       |       |       |       |      |       |      | Необхідна кількість |
|-----------------------------------|---------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|---------------------|
|                                   | Ag            |       | Cu     |        | Zn    |       | Cd    |       | Mn    |      | Ni    |      |                     |
|                                   | %             | г     | %      | г      | %     | г     | %     | г     | %     | г    | %     | г    |                     |
| Мідно-нікелева лігатура ЛМН-20    | -             | -     | 80,0   | 12788  | -     | -     | -     | -     | -     | -    | 20,0  | 3197 | 15985               |
| Мідно-марганцева лігатура ЛММц-27 | -             | -     | 73,0   | 12996  | -     | -     | -     | -     | 27,0  | 4798 | -     | -    | 17764               |
| Видходи срібляного припою ПСр45   | 45,0          | 26108 | 30     | 18405  | 25    | 14555 | -     | -     | -     | -    | -     | -    | 58068               |
| Срібло афіноване Ср999,9          | 199,99        | 44226 | -      | -      | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -     | -    | 44226               |
| Цинк в гумнах ЦО                  | -             | -     | -      | -      | 99,99 | 11111 | -     | -     | -     | -    | -     | -    | 11111               |
| Кадмій в шарикових анодах         | -             | -     | -      | -      | -     | -     | 99,95 | 12864 | -     | -    | -     | -    | 12864               |
| Разом шихти                       | 43,958        | 70334 | 20,974 | 431,59 | 16,04 | 25666 | 8,029 | 12864 | 2,999 | 4798 | 1,998 | 3197 | 160000              |

1. Визначаємо загальну необхідну кількість компонентів, що входять до складу годного продукту.

Срібло

$$X_{\text{СрМ875}} = \frac{160000 \cdot 87,5}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,05 - 0,06}{100}\right) = 1600 \cdot 87,5 \cdot 0,9999 = 139986 \text{ г.}$$

Мідь

$$X_{\text{М}} = X_{\text{Ммм}} + X_{\text{Мср925}} + X_{\text{Ммм1}} = \frac{160000 \cdot 125}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,05 - 0,6}{100}\right) = 1600 \cdot 12,5 \cdot 0,9999 = 19998 \text{ г.}$$

2. Визначаємо необхідну кількість розкислювача - міді фосфористої

$$X_{\text{р}} = \frac{160000 \cdot 0,1}{100} = 160 \text{ г.}$$

3. Визначаємо кількість фосфору, що вводиться в шихту з розкислювачем:

$$X_{\text{ФМФ1}} = \frac{160 \cdot 10}{100} = 16 \text{ г.}$$

4. Визначаємо кількість міді, що вводиться в шихту з розкислювачем:

$$X_{\text{Ммф1}} = \frac{160 \cdot 90}{100} = 144 \text{ г.}$$

5. Визначаємо необхідну кількість відходів срібно-мідного сплаву СрМ925 щодо кількості необхідного срібла:

$$X_{\text{СрМ925}} = \frac{100 \cdot 139986}{92,5} = 151336 \text{ г.}$$

6. Перевіряємо відповідність вибраного співвідношення складових шихти умовам одержання шихти заданого складу; за формулою (2.8) визначаємо необхідну кількість міді, що вводиться в шихту у вигляді металу марки М0:

$$X_{\text{М0}} = \frac{160000 \cdot 12,5}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,05 - 0,06}{100}\right) - \frac{151336 \cdot 7,5}{100} - \frac{160 \cdot 90}{100} = 11350 - 144 = 8504 \text{ г.}$$

7. Визначаємо необхідну кількість міді, що вводиться в шихту з відходами срібно-мідного сплаву СрМ925:

$$X_{\text{МСрМ925}} = \frac{151336 \cdot 7,5}{100} = 11350 \text{ г.}$$

Дані для розрахунку зводимо до балансу шихти (табл.2.7)

| Складові відходи                     | Вміст в шихті і її складових |        |       |       |    |    | Потрібна кількість, г |
|--------------------------------------|------------------------------|--------|-------|-------|----|----|-----------------------|
|                                      | Ag                           |        | Cu    |       | P  |    |                       |
|                                      | %                            | г      | %     | г     | %  | г  |                       |
| Відходи срібно-мідного сплаву СрМ925 | 92,5                         | 139986 | 7,5   | 11350 | -  | -  | 151336                |
| Мідь катодна М0                      | -                            | -      | 99,95 | 8504  | -  | -  | 8504                  |
| Мідь фосфориста МФ1                  | -                            | -      | 90    | 144   | 10 | 16 | 160                   |

Разом 87,491 139986 12,499 19998 0,01 16 160000

Приклад 5. (Шихта складена з металу та сплаву із застосуванням спеціального розкислювача і підвищенням проби сплаву). Визначити необхідну кількість срібла, міді та шихтових матеріалів, в яких знаходяться ці компоненти, для складання 160 кг шихти срібно-мідного сплаву марки СрМ925 (92,5 % Ag і 7,5 % Cu, включаючи домішки), якщо для складання шихти є відходи срібно-мідного сплаву марки СрМ875 (87,5 % Ag і 12,5 % Cu), срібло афіноване марки Ср99,9 і мідь фосфориста марки МФ1, а угар при плавці та литві складає: міді, срібла і відходів срібно-мідного сплаву 875-й проби 0,05; фосфору 100 і шихти в цілому 0,06 % (підрховано за формулою (2.5)). Кількість розкислювача беруть 0,1 % або по фосфору 0,01 % маси шихти.

1. Визначаємо загальну необхідну кількість компонентів в шихті.

Мідь:

$$X_M = \frac{160000 \cdot 7,5}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,05 - 0,06}{100}\right) = 1600 \cdot 7,5 \cdot 0,9999 = 11999 \text{ г};$$

Срібло:

$$X_{Cr} = \frac{160000 \cdot 92,5}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,05 - 0,06}{100}\right) = 1600 \cdot 92,5 \cdot 0,9999 = 147985 \text{ г}.$$

2. Визначаємо необхідну кількість розкислювача - міді фосфористої:

$$X_P = \frac{160000 \cdot 0,1}{100} = 160 \text{ г}.$$

3. Визначаємо кількість фосфору, що вводиться в шихту з розкислювачем:

$$X_{Фмф1} = \frac{160 \cdot 10}{100} = 16 \text{ г}$$

4. Визначаємо кількість міді, що вводиться в шихту з розкислювачем:

$$X_{МСрМ875} = \frac{160 \cdot 90}{100} = 144 \text{ г}.$$

5. Визначаємо кількість міді, що вводиться в шихту з відходами срібно-мідного сплаву СрМ875:

$$X_{Мм875} = 11999 - 144 = 11855 \text{ г}.$$

6. Необхідну кількість відходів срібно-мідного сплаву СрМ875 визначають щодо міді:

$$X_{CrCr999,9} = \frac{11855 \cdot 100}{12,5} = 94840 \text{ г}.$$

7. Відповідність вибраного співвідношення складових шихти умовам одержання шихти заданого складу перевіряють за формулою (2.8) шляхом визначення необхідної кількості срібла, що вводиться в шихту у вигляді металу марки Ср999,9.

$$X_{CrCr999,9} = \frac{160000 \cdot 92,5}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,05 - 0,06}{100}\right) - \frac{94840 - 87,5}{100} = 147985 - 82985 = 65000 \text{ г}.$$

8. Необхідна кількість срібла, що вводиться в шихту з відходами срібно-

мідного сплаву СrМ875, складає:

$$X_{CrCrM875} = \frac{94840 \cdot 87,5}{100} = 82985 \text{ г.}$$

Дані розрахунку зводять до балансу шихти (табл.2.8).

Таблиця 2.8. Баланс шихти сплаву СrМ925

| Складові відходів      | Вміст в шихті і її складових |        |        |       |       |      | Потрібна кількість, г |        |
|------------------------|------------------------------|--------|--------|-------|-------|------|-----------------------|--------|
|                        | Ag                           |        | Cu     |       | P     |      |                       |        |
|                        | %                            | г      | %      | г     | %     | г    |                       |        |
| Відходи мідного СrМ875 | срібряно-сплаву              | 87,5   | 82985  | 12,5  | 11855 | -    | -                     | 94840  |
| Срібло Сr999,9         | афіноване                    | 99,9   | 65000  | -     | -     | -    | -                     | 65000  |
| Мідь МФ1               | фосфориста                   | -      | -      | 90    | 144   | 10   | 16                    | 160    |
| Разом                  |                              | 92,491 | 147985 | 7,499 | 11999 | 0,01 | 16                    | 160000 |

Приклад 6. (Шихта складається без застосування розкислювача, а первинні метали вводяться в неї для освітлення в певній кількості).

Визначити необхідну кількість золота, срібла і шихтових матеріалів, в яких знаходяться ці компоненти, для складання 160 кг золото-срібряного сплаву марки ЗлСr750 (75 % Au і 25 % Ag, включаючи домішки), якщо для складання шихти є відходи того ж сплаву: золото афіноване марки Зл999,9 і срібло афіноване марки Сr999,9, а угар при плавці та литві складає: золота, срібла, відходів золото-срібляного сплаву ЗлСr750 і шихти в цілому 0,05 %, причому в шихту повинно бути введено 30 % свіжих металів для осадження.

1. Визначаємо необхідну кількість компонентів в шихті.

Золото:

$$X_{zl} = \frac{160000 \cdot 75,0}{100} = 120000 \text{ г.}$$

Срібло:

$$X_{Cr} = \frac{160000 \cdot 25,0}{100} = 40000 \text{ г.}$$

2. Визначаємо необхідну кількість афінованого золота для складання шихти:

$$X_{zl999,9} = \frac{120000 \cdot 30}{100} = 36000 \text{ г.}$$

3. Визначаємо необхідну кількість афінованого срібла для складання шихти:

$$X_{Cr999,9} = \frac{40000 \cdot 30}{100} = 12000 \text{ г.}$$

4. Визначаємо необхідну кількість відходів сплаву ЗлСr750 для складання

шихти:

$$X_{\text{ЗлСр750}} = \frac{160000 \cdot 70}{100} = 112000 \text{ г.}$$

5. Кількість золота, що вводиться в шихту з відходами сплаву ЗлСр750, складає:

$$X_{\text{ЗлСр750}} = \frac{112000 \cdot 75}{100} = 84000 \text{ г.}$$

6. Кількість срібла, що вводиться в шихту з відходами сплаву ЗлСр750, складає:

$$X_{\text{СрЗрЗл750}} = \frac{112000 \cdot 25}{100} = 28000 \text{ г.}$$

Дані розрахунку зводимо в баланс шихти (табл.2.9).

Таблиця 2.9 Баланс шихти сплаву ЗлСр750

| Складові відходів          |               | Вміст у шихті |        |       |       | Необхідна кількість, г |
|----------------------------|---------------|---------------|--------|-------|-------|------------------------|
|                            |               | Au            |        | Ag    |       |                        |
|                            |               | %             | г      | %     | г     |                        |
| Відходи срібряного ЗлСр750 | золото-сплава | 75,0          | 84000  | 25,0  | 28000 | 112000                 |
| Золото афіноване Зл999,9   |               | 99,99         | 336000 | -     | -     | 36000                  |
| Срібло Ср999,9             | афіноване     | -             | -      | 99,99 | 12000 | 12000                  |
| Разом                      |               | 75,0          | 120000 | 25,0  | 40000 | 160000                 |

Приклад 7. (Шихта складається із сплавів із застосуванням спеціального розкислювача). Визначити необхідну кількість срібла, міді та шихтових матеріалів, в яких знаходяться ця компоненти, для складання 160 кг шихти срібно-мідного сплаву марки СрМ900 (92,5 % Ag і 7,5 % Cu, включаючи домішки), якщо для складання шихти є відходи срібно-мідного сплаву марки СрМ925 (92,5 % Ag і 7,5 % Cu), відходи срібно-мідного сплаву марки СрМ875 (87,5 % Ag і 7,5 % Cu) і мідь фосфориста марки МФ1, а угар при плавці та литві складає: міді, срібла, відходів срібно-мідного сплаву 925-й проби і відходів срібно-мідного сплаву 875-й проби 0,5 %, фосфору - 100 і шихти в цілому 0,06 % (підраховано за формулою (2.5)). Розкислювача беруть 0,1 % або по фосфору 0,01 % маси шихти.

1. Визначаємо необхідну кількість компонентів в шихті.

Мідь:

$$X_{\text{М}} = \frac{160000 \cdot 100}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,05 - 0,06}{100}\right) = 1600 \cdot 10 \cdot 1600 \cdot 10 \cdot 0,9999 = 15998 \text{ г}$$

Срібло:

$$X_{\text{Cr}} = \frac{160000 \cdot 90}{100} \cdot \left(1 + \frac{0,05 - 0,06}{100}\right) = 160000 \cdot 90,0 \cdot 0,9999 = 143986 \text{ г.}$$

2. Необхідна кількість розкислювача - міді фосфористої

$$X_{\text{р}} = \frac{160000 \cdot 0,1}{100} = 160 \text{ г.}$$

3. Кількість фосфору, що вводиться в шихту з розкислювачем, складає:

$$X_{\text{Фмф1}} = \frac{160 \cdot 10}{100} = 16 \text{ г.}$$

4. Кількість міді, що вводиться в шихту з розкислювачем, складає:

$$X_{\text{Ммф1}} = \frac{160 \cdot 90}{100} = 144 \text{ г.}$$

5. Необхідну кількість відходів сплавів CrM925 а CrM875 визначаємо методом складання і рішення двох рівнянь (перше за сріблом, а друге - за міддю):

$$X_{\text{CrM875}} = \frac{143986 - \text{CrM925} \cdot 0,925}{0,875}, \text{ г.};$$

$$X_{\text{CrM925}} = \frac{15998 - 3\text{CrM875} \cdot 0,125 - 144}{0,075}, \text{ г.}$$

Підставляючи значення першого рівняння в друге та виконуючи перетворення, знаходимо необхідну кількість відходів сплаву Cr925 в шихті

$$X_{\text{CrM925}} = \frac{7 \cdot 15854 - 143 \cdot 986}{7 \cdot 0,075 - 0,925} = \frac{330080}{4} = 82520 \text{ г.}$$

Підставляючи чисельне значення  $X_{\text{CrM925}}$  в перше рівняння, знаходимо необхідну кількість відходів сплаву CrM875 в шихті:

$$X_{\text{CrM875}} = \frac{143986 - 82520 \cdot 0,925}{0,875} = 77320 \text{ г.}$$

6. Кількість срібла, що вводиться в шихту із сплавом CrM925, складає:

$$X_{\text{CrM925}} = \frac{82520 \cdot 92,5}{100} = 76331 \text{ г.}$$

7. Кількість срібла, що вводиться в шихту із сплавом CrM875, складає:

$$X_{\text{CrM875}} = \frac{77320 \cdot 87,5}{100} = 67655 \text{ г.}$$

8. Кількість міді, що вводиться в шихту із сплавом CrM925, складає:

$$X_{\text{M CrM925}} = \frac{82520 \cdot 7,5}{100} = 6189 \text{ г.}$$

9. Кількість міді, що вводиться в шихту із сплавом CrM875, складає:

$$X_{\text{M CrM875}} = \frac{77320 \cdot 12,5}{100} = 9665 \text{ г.}$$

Дані розрахунку зводимо до балансу шихти (табл.2.10).

Таблиця 2.10 Баланс шихти сплаву СрМ900

| Складові відходів                             | Вміст у шихті та її складові |        |       |       |      |    | Потрібна<br>кількість, г |
|---|------------------------------|--------|-------|-------|------|----|--------------------------|
|   | Ag                           |        | Cu    |       | P    |    |                          |
|   | %                            | г      | %     | г     | %    | г  |                          |
| Відходи срібляно-<br>мідного сплаву<br>СрМ925 | 92,5                         | 139986 | -     | -     | -    | -  | -                        |
| Відходи срібляного<br>сплаву СрМ875           | 92,5                         | 76331  | 7,5   | 6189  | -    | -  | 82520                    |
| Мідь фосфориста<br>МФ1                        | 87,5                         | 67655  | 12,5  | 9665  | -    | -  | 77320                    |
| Разом   | 89,991                       | 143986 | 9,000 | 15998 | 0,01 | 16 | 160000                   |

### Список літератури:

1. Масленицкий И.Н., Чугуев Л.В. Металлургия благородных металлов. - М.: Металлургия, 1972. - 367 с.
2. Адоховский А.П., Карболин В.М. Анализ благородных металлов.-М.: Металлургия, 1959. -400 с.
3. Барышников И.Ф. Пробоотбирание и анализ благородных металлов.-М.: Металлургия, 1967, - 400 с.
4. Андронов В.П. Плавно-литейное производство драгоценных металлов и сплавов. –М.: Металлургия, 1974 - 320 с.