

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ,
ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ ՍՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ԱՎԱԳՅԱՆ Հասմիկ Վարդանի

**ՄԵԽԱՆԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ԱԿՏԻՎԱՑՄԱՄԲ ՊՂՆՁԻ ՕՔՍԻԴԱՑԱԾ
ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՍՈՒԼՖԻԴԱՑՄԱՆ ԵՎ ԽՏԱՆՅՈՒԹԻ ՍՏԱՑՄԱՆ
ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ**

Ե.16.02 - «Մետալուրգիա» մասնագիտությամբ տեխնիկական
գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման
ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2025

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И СПОРТА
РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ

АВАГЯН Асмик Вардановна

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СУЛЬФИДИРОВАНИЯ ОКИСЛЕННЫХ
МЕДНЫХ МИНЕРАЛОВ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИЕЙ И
ПОЛУЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАТА**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.16.02 – “Металлургия”

ЕРЕВАН 2025

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի (ՀԱՊՀ) գիտական խորհրդի կողմից:

Գիտական ղեկավար՝ տեխ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր,

ՀՀ գիտության վաստակավոր գործիչ Սուրեն Գևորգի Աղբալյան Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

տեխ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր

Հենրիկ Ռուբենի Դրմեյան

տեխ. գիտ. թեկնածու

Նարինե Ռաշիդի Մանուկյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԳԱԱ Մ.Գ. Մանվելյանի անվան ընդհանուր և անօրգանական քիմիայի ինստիտուտ (ք. Երևան)

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2025թ. հունիսի 27-ին, ժամը 15⁰⁰-ին Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում գործող ՀՀ ԲԿԳԿ-ի «Մետալուրգիա և նյութագիտություն» մասնագիտական խորհրդի (թվանիշ՝ 031) «Մետալուրգիա» ենթախորհրդի (թվանիշ՝ Ե.16.02) նիստում:

Հասցեն՝ 0009, ք. Երևան, Տերյան փ., 105:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ-ի գրադարանում:

Սեղմագիրը առաքված է 2025 թ. մայիսի 21-ին:

031 մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար, տ.գ.դ., պրոֆեսոր

Ա.Ս. Հովհաննիսյան

Тема диссертации утверждена ученым советом Национального политехнического университета Армении (НПУА).

Научный руководитель: докт. техн. наук, профессор,

заслуженный деятель науки РА

Сурен Геворкович Агбальян

Официальные оппоненты: докт. техн. наук, профессор Генрих Рубенович Дрмеян
канд. техн. наук Нарине Рапидовна Манукян

Ведущая организация: Институт общей и неорганической химии им. М.Г. Манвеляна НАН РА (г. Ереван)

Защита диссертации состоится "27" июня 2025г. в 15⁰⁰ч на заседании подсовета "Металлургии" (шифр 05.16.02) Специализированного совета "Металлургия и материаловедение" (шифр 031) КВОН РА, действующего при Национальном политехническом университете Армении, по адресу: 0009, г. Ереван, ул. Теряна, 105. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.

Автореферат разослан "21" мая 2025г.

Ученый секретарь Специализированного совета, д.т.н., профессор

А.М. Оганесян

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

Աշխատանքի արդիականությունը և հրատապությունը: Պղնձային հումքի համալիր վերամշակումը Հայաստանի Հանրապետության արդյունաբերության զարգացման կարևոր ուղղություններից է: Այն հնարավորություն կտա ավելի արդյունավետ օգտագործել հումքը, պահպանել բնապահպանական նորմերը, լավարկել արտադրական գործընթացները և ստանալ միջազգային ստանդարտներին բավարարող արտադրանք: Սակայն ՀՀ պղնձի հանքանյութերի զգալի մասը պարունակում է խառը և օքսիդացած միներալներ, որոնք չեն հարստացվում: Հետևապես՝ հանքավայրերի հանքահումքային պաշարների զգալի մասը հարստացման չենթարկվելու պատճառով չի օգտագործվում և անցնում է թափոնային պոչեր: ՀՀ թափոնային պահեստարաններում արդեն կուտակվել են ~400 մլն տոննա թափոնակույտային պոչանքներ՝ պղնձի մոտավորապես 0,12% միջին պարունակությամբ, իսկ Թեղուտի հանքավայրում օքսիդացած ապարների և խառը հանքային միներալների գոտին կազմում է մոտավորապես 250 հեկտար մակերեսով և 70 մ խորությամբ զանգված, հարուստ հանքայնացմամբ, որի վերամշակման խնդիրն առաջնային է: Նշված քանակությունն անընդհատ ավելանում է և շրջակա միջավայրի պաշտպանության տեսանկյունից կարելի է համարել աղետ:

Պղնձի դժվար հարստացվող, օքսիդացած և խառը հանքաքարերի վերամշակման մեթոդների ուսումնասիրությունը ներկայումս գումավոր մետալուրգիայի գիտատեխնիկական կարևոր հիմնախնդիրներից է, քանի որ ավանդական մեթոդների կիրառումը պահանջվող տեխնոլոգիական և տնտեսական բավարար ցուցանիշներ չի ապահովում: Ուստի անհրաժեշտ է մշակել նոր տեխնոլոգիական մեթոդներ և սխեմաներ՝ օքսիդացած և խառը հանքանյութերի հարստացման համար, որը խիստ արդիական խնդիր է:

Նշված խնդիրը լուծելու համար մետալուրգիական գործընթացներում արդեն կատարվում են աշխատանքներ, համաձայն որոնց խտանյութերի մշակումը կատարվում է մեխանաքիմիական և մետաղաջերմային վերականգնման եղանակների զուգակցմամբ: Այս դեպքում տեղի են ունենում օքսիդավերականգնման գործընթացների ինտեսիվացում և սկզբունքային նոր մոդիֆիկացիաներով նյութերի ստացում: Մեխանիկական ակտիվացումը մեծացնում է նյութի մանրացման աստիճանը, մակերևութային էներգիան և առաջացնում բյուրեղային ցանցի աղավաղումներ: Պինդ նյութերի ռեակցիոն կարողությունները մեծանում են, որն էլ նպաստում է քիմիական ռեակցիայի արագության մեծացմանը: Հեռանկարային են համարվում այն գործընթացները, որոնք նպատակաուղղված են պղնձի օքսիդային ձևի փոխակերպմանը հեշտ ֆլուտացվող սուլֆիդների: Միներալների մակերևութային սուլֆիդացնող առկա եղանակները չեն ապահովում անհրաժեշտ արդյունավետություն, քանի որ սուլֆիդային թաղանթներն առաջանում են թույլ թթվային միջավայրում,

անկայուն են և հեշտությամբ քայքայվում են ֆլուտացման ընթացքում: Դա է պատճառը, որ հիմնախնդրի արդյունավետ լուծումը հանքաքարի արժեքավոր բաղադրիչների միներալաբանական բաղադրության փոփոխումն է՝ կիրառելով հանքաքարի մանրացման գործընթացը:

Հետազոտության նպատակը և խնդիրները: Առենախոսության հիմնական նպատակն է մշակել մեխանաքիմիական ակտիվացմամբ պղնձի օքսիդացած հանքանյութերի սուլֆիդացման և խտանյութի ստացման ժամանակակից տեխնոլոգիա, բացահայտել հիմնական օրինաչափությունները և ստացված սուլֆիդների ֆլուտացման գործընթացի մեխանիզմն ու կինետիկան:

Նշված նպատակին հասնելու համար աշխատանքում առաջադրվել և լուծում են հետևյալ խնդիրները՝

- ✓ մեխանաքիմիական ակտիվացմամբ պինդ նյութերի ռեակցիոն ունակությունների մեծացման գործընթացի վերլուծությունը, կառուցվածքագոյացման սկզբունքների բացահայտումը և հետազոտման խնդրի դրվածքը,

- ✓ պղնձի օքսիդացած միներալների սուլֆիդացման գործընթացի թերմոդինամիկական և կինետիկական հիմնավորումը,

- ✓ Թեղուտի պղնձի օքսիդային հանքանյութերի ռեակցիոն ունակությունների մեծացման հիմնավորումը մեխանաքիմիական մշակմամբ,

- ✓ պղնձի օքսիդային միներալների սուլֆիդացման գործընթացի մեխանիզմի և կինետիկայի բացահայտումը,

- ✓ Թեղուտի պղնձի օքսիդացած հանքանյութերից ստացված սուլֆիդային խտանյութերի ֆլուտացման գործընթացի մեխանիզմի և կինետիկայի բացահայտումը,

- ✓ մեխանաքիմիական ակտիվացմամբ պղնձի օքսիդացած հանքանյութերի սուլֆիդացման և խտանյութի ստացման տեխնոլոգիայի մշակումը և տեխնիկատնտեսագիտական հիմնավորումը:

Պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթներն են.

1. Օքսիդացած պղնձային հանքանյութերի սուլֆիդացման մեթոդները, կառուցվածքագոյացման սկզբունքները և հետազոտման խնդրի դրվածքը:

2. Պղնձի օքսիդացած միներալների սուլֆիդացման գործընթացի թերմոդինամիկական, մեխանիզմը և կինետիկան:

3. Թեղուտի պղնձի օքսիդացած հանքանյութերի մանրացման ընթացքում պղնձի սուլֆիդի ստացման գործընթացի տեսական և փորձագիտական հիմնավորումը:

4. Թեղուտի պղնձի օքսիդային հանքանյութերից ստացված սուլֆիդային խտանյութերի ֆլուտացման գործընթացի մեխանիզմը և կինետիկան:

5. Թեղուտի հանքավայրի պղնձի օքսիդացած հանքանյութերի սուլֆիդացման և խտանյութի ստացման տեխնոլոգիան:

Աշխատանքի գիտական նորույթը: Մշակվել է գնդադաշտներում պղնձի օքսիդացած հանքանյութերի՝ ազուրիտի, մալախիտի, կուպրիտի և տե-նորիտի՝ սիլիցիումի սուլֆիդով (SiS_2), նատրիումի թիոկոմպլեքսով ($\text{Na}_2[\text{SiS}_3]$) և ծծմբով (S) սուլֆիդացման և դրանցից պղնձի խտանյութի ստացման տեխնո-լոգիա: Համալիր հետազոտությունների արդյունքում բացահատվել է, որ նյութի մեխանաքիմիական քայքայումն իր բնույթով յուրահատուկ է և տարբեր-վում է ջերմային ու այլ տիպի քայքայումներից: Ցույց է տրվել, որ հնարավոր է պարզեցնել սուլֆիդացման գործընթացի տեխնոլոգիական պայմանները՝ ի հաշիվ սուլֆիդացման ու մանրացման գործընթացների համատեղման:

Բացահայտվել են մեխանաքիմիական ակտիվացմամբ պղնձի օքսի-դային հանքանյութերի նատրիումի թիոկոմպլեքսով, սիլիցիումի սուլֆիդով և ծծմբով սուլֆիդացման և ստացված սուլֆիդների ֆլոտացման մեխանիզմն ու կինետիկան, ինչպես նաև այդ գործընթացների տեսական ու տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները: Որոշվել են մանրացման գործընթացում պղնձի օքսիդացած միներալների մակերևութային սուլֆիդացման օպտիմալ պայման-ները, որոնց դեպքում ապահովվում է 63% սուլֆիդացման աստիճան՝ 70ր գործընթացի տևողության, 343 Կ ջերմաստիճանի և 100% սուլֆիդարարի ծախսի դեպքում՝ ըստ օքսիդացած պղնձի զանգվածի:

Աշխատանքի կիրառական նշանակությունը: Մշակվել է Թեղուտի հանքավայրի պղնձի օքսիդացած հանքանյութերի մանրացման ընթացքում մեխանաքիմիական և մետաղաջերմային ակտիվացմամբ սուլֆիդացման և խտանյութի ստացման ժամանակակից տեխնոլոգիա, որը հնարավորություն է տալիս վերամշակելու պղնձի օքսիդացած հանքանյութերը՝ ապահովելով պղնձի ~82% կորզման աստիճան:

Ատենախոսության տեսական, տեղեկատվական և մեթոդական հիմ-քերը: Ատենախոսության թեմայի համար հիմք են ծառայել հայրենական և արտասահմանյան դասական և ժամանակակից աշխատությունները: Հետա-զոտության համար տեղեկատվական հիմք են հանդիսացել հրապարակված պաշտոնական տեղեկատուները և տեղեկագրերը, ինչպես նաև տեխնիկական պարբերականները, պատենտները, ԳՈՍՏ-երը և այլն:

Հետազոտությունների ընթացքում կիրառվել են գրաֆիկական, մետա-ղագրական, ռենտգենակառուցվածքային, համակարգչային մոդելավորման, համեմատական վերլուծությունների և այլ մեթոդներ:

Աշխատանքի արդյունքների փորձարկումը և հրապարակումները: Ատենախոսության հիմնադրույթները և գործնական առաջարկությունները զե-կուցվել ու քննարկվել են Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսա-րանի 2017...2024թթ. տարեկան գիտաժողովներում: Ատենախոսության արդ-յունքները հրապարակվել են տասներկու գիտական աշխատանքներում: Առանց համահեղինակների հոդվածների թիվը չորսն է:

Ատենախոսության կառուցվածքը և ծավալը: Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, չորս գլուխներից, ընդհանուր եզրակացությունից և 147 անուն օգտագործված գրականության ցանկից: Այն շարադրված է 146 համակարգչային տպագիր էջի վրա, ներառում է 56 նկար և 21 աղյուսակ:

ԱՏԵՆԱՆՈՍՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ներածությունում հիմնավորված է թեմայի արդիականությունը, շարադրված են նպատակն ու պաշտպանության ներկայացվող դրույթները, հետազոտության օբյեկտն ու առարկան, ինչպես նաև աշխատանքի կիրառական նշանակությունը:

Առաջին գլխում կատարվել են պղնձի դժվար հարստացվող, օքսիդացած և խառը հանքաքարերի վերամշակման մեթոդների վերաբերյալ հայրենական և արտասահմանյան գրականության վերլուծություններ: Պարզվել է, որ մետալուրգիական գործընթացներում արդեն մշակվում է նոր ուղղություն, համաձայն որի՝ այդպիսի հանքաքարերի մշակումը առաջարկվում է կատարել մեխանաքիմիական և մետաղաճերմային վերականգնման եղանակների զուգակցմամբ: Ցույց է տրվել, որ անհրաժեշտ է մշակել նոր տեխնոլոգիական մեթոդներ և սխեմաներ՝ օքսիդացած ու խառը հանքանյութերի հարստացման համար, ինչը խիստ արդիական խնդիր է:

Ուսումնասիրվել են օքսիդավերականգնման գործընթացները, երբ պինդ նյութերի կապի բնույթում և քիմիական կազմում տեղի են ունենում քանակական և որակական փոփոխություններ, որոնց արդյունքում ստացվում են սկզբունքային նոր մոդիֆիկացիաներով նյութեր: Շատ մանր վիճակում նյութերը ենթարկվում են սկզբունքային նոր փոփոխությունների: Վերջինս պայմանավորված է խտացված վիճակի ֆիզիկական առանձնահատկություններով, տարրերի յուրահատուկ կազմով, կապերի ձևով, ֆիզիկական հատկությունների փոփոխմամբ և այլն: Ուսումնասիրվել է պինդ նյութերի մանրացման և ակտիվացման գործընթացների փոխադարձ կապը, ինչպես նաև՝ մեխանաքիմիական եղանակով պինդ նյութերի դիսպերս մանրացման սարքավորումները: Ցույց է տրվել, որ մանրացման համար առավել նպատակահարմար է օգտագործել կենտրոնախույս գնդային աղացներ, որոնցում պտտման արագությունը կարելի է շատ մեծացնել և մանրացման գործընթացը դարձնել խիստ արդյունավետ՝ ապահովելով մանրացման ավելի բարձր աստիճան:

Երկրորդ գլխում ընտրվել և հիմնավորվել են հետազոտությունների համար անհրաժեշտ ելանյութերը, այդ թվում՝ պղնձի միներալները, ինչպիսիք են՝ մալախիտը ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2[\text{CO}_3]$), ազուրիտը ($\text{Cu}_3(\text{OH})_2[\text{CO}_3]_2$), խրիզոկոլան ($\text{Cu}(\text{OH})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$), փիրոլը ($\text{CuAl}_6(\text{OH})_8[\text{PO}_4]_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), տենորիտը (CuO), կուպրիտը (Cu_2O), ինչպես նաև որպես սուլֆիդարարներ՝ սիլիցիումի սուլֆիդը (SiS_2), նատրիումի սուլֆիդը ($\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), նատրիումի թիոկոմպլեքսը ($\text{Na}_2[\text{SiS}_3]$) և ծծումբը (S):

Ուսումնասիրվել են Թեղուտի պղինձ-մոլիբդենային հանքավայրի միներալային կազմը և պղնձի օքսիդացված գոտու միներալներն ու դրանց բնութագրերը: Կատարվել է չափիչ-հսկիչ սարքավորումների ընտրում և հիմնավորում: Պղնձի օքսիդներից սուլֆիդների ստացման համար օգտագործվել են LE-101 և A091-02 մակնիշների լաբորատոր գնդաղացներ, Mettler Toledo մակնիշի pH/mV-մետր, որն օգտագործվել է ջրածնի իոնների ակտիվությունը չափելու համար, Polam P-112 մակնիշի մանրադիտակ, OHAUS Pro AV264C մակնիշի լաբորատոր անալիտիկ կշեռք, M5C-10 մակնիշի մանրադիտակ, VARIAN AA240FS մակնիշի ատոմա-աբսորբման սպեկտրաչափ, լաբորատոր թրթռաղաց, AP-2L մակնիշի ավտոմատ մաղ, URD 63 մակնիշի ռենտգեն դեֆրակտաչափ և KФK-3-<3OM3> մակնիշի ֆոտոէլեկտրակալորիչափ:

Կատարվել են գնդաղացներում հանքաքարերի մեխանիկական մանրացման գործընթացի ուսումնասիրություն և առանձնահատկությունների բացահայտում: Յույց է տրվել, որ գնդաղացներում հանքաքարերի մանրացման ժամանակ կարևոր ցուցանիշներ են գնդաղացի պտտման արագությունը, գնդերի օպտիմալ զանգվածը և տրամագիծը, հանքանյութի նախնական չափերը և ծավալը, ինչպես նաև գնդերի կառուցվածքը և հատկությունները: Հիմնավորվել է, որ գնդաղացներում մանրացման արդյունավետության բարձրացման համար, հատկապես գունավոր մետաղների հանքաքարերի մանրացման դեպքում, գործընթացը պետք է կատարել հեղուկ միջավայրում՝ փոշեցրումը կանխելու և շրջակա միջավայրի պահպանության նպատակով: Բացի նշվածից, մանրացման ընթացքում հեղուկը, թափանցելով հանքաքարի միկրոճեղքերը, ստեղծում է մեծ մագնսության ճնշում, որը նպաստում է մանրացման գործընթացին: Մշակվել է հետազոտման մեթոդիկան՝ հիմնված մետաղագիտական, քիմիական, ռենտգենաֆազային, սպեկտրիին, ատոմա-աբսորբման, ջերմածանրաչափական և այլ վերլուծական մեթոդների վրա:

Երրորդ գլխում մշակվել են Թեղուտի պղնձի օքսիդացած միներալների մակերևութային խոր սուլֆիդացման գործընթացների տեսական և տեխնոլոգիական հիմունքները՝ ազուրիտի, մալախիտի, կուպրիտի և տենորիտի աղացման գործընթացում սիլիցիումի սուլֆիդով, նատրիումի թիոկոմպլեքսով և ծծմբով մշակման վերաբերյալ: Սուլֆիդացումը կատարվել է տաքացման պայմաններում, իսկ օքսիդացած հանքանյութերի միներալների մանրացման և սուլֆիդացման փորձերը կատարվել են A091-02 մակնիշի լաբորատոր գնդաղացի բազայի վրա հատուկ մշակված սարքավորման միջոցով: Աղ. 1-ում բերված են օքսիդացած պղնձային հանքաքարի մաղային բնութագրերը:

Թերմոդինամիկական հաշվարկներով հիմնավորվել են Թեղուտի պղնձի օքսիդացած միներալների մակերևութային խոր սուլֆիդացման տեխնոլոգիական գործընթացները, որը կատարվել է սիլիցիումի սուլֆիդով (SiS_2), նատրիումի սուլֆիդով ($\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$), նատրիումի թիոկոմպլեքսով ($\text{Na}_2[\text{SiS}_3]$),

ծծմբով (S)՝ ազուրիտի, մալախիտի, կուպրիտի և տենորիտի աղացման ու մանրացման գործընթացներում:

Աղյուսակ 1

Օքսիդացած պղնձային հանքաքարի մաղային բնութագիրը

Խոշորության դասը	Պարունակությունը, %	
	Մինչև մանրացումը	Մանրացումից և սուլֆիդացումից հետո
-3+2,5	0,22	-
-2,5+1,5	5,4	-
-5+0,63	30,62	-
-0,63+0,315	25,08	0,02
-0,315+0,2	5,12	0,04
-0,2+0,16	2,7	0,5
-0,16+0,1	4,65	6,72
-0,1+0,074	2,18	10,52
-0,047+0,044	3,38	19,54
-0,044	20,65	62,66
Ընդհանուր	100	100

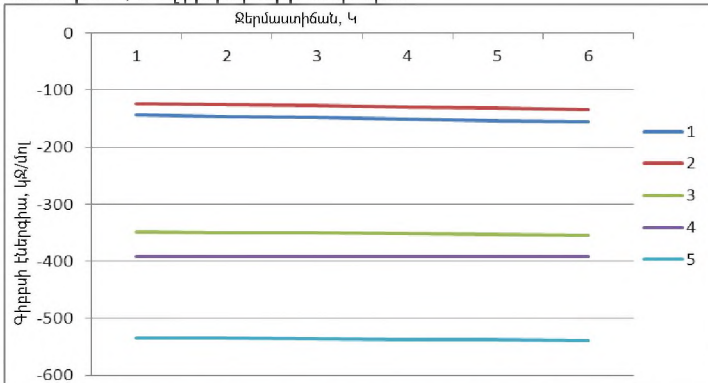
Ստորև բերված են մանրացման փուլում Թեղուտի հանքավայրի օքսիդացած գոտու պղնձի միներալներից տենորիտի (CuO), կուպրիտի (Cu_2O), ազուրիտի ($\text{Cu}_3(\text{OH})_2[\text{CO}_3]_2$) և մալախիտի ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2[\text{CO}_3]$) փոխազդեցությունների հիմնական ռեակցիաները ծծմբի հետ:

1. $2\text{CuO} + 2\text{S} = \text{Cu}_2\text{S} + \text{SO}_2$,
2. $2\text{CuO} + 3\text{S} = 2\text{CuS} + \text{SO}_2$,
3. $2\text{Cu}_2\text{O} + 7\text{S} + \text{H}_2\text{O} = 6\text{CuS} + \text{H}_2\text{SO}_4$,
4. $\text{Cu}_2(\text{OH})_2[\text{CO}_3] + 2\text{S} + \text{H}_2\text{O} = \text{Cu}_2\text{S} + \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_3$,
5. $\frac{2}{3}\text{Cu}_3(\text{OH})_2[\text{CO}_3]_2 + 3\text{S} + \frac{2}{3}\text{H}_2\text{O} = 2\text{CuS} + \text{SO}_2 + \frac{4}{3}\text{H}_2\text{CO}_3$:

Նկ. 1-ում ցույց է տրված Գիբբսի էներգիայի կախվածությունը ջերմաստիճանից, համաձայն որի՝ փոխազդեցությունն ընթանում է Գիբբսի էներգիայի մեծ բացասական արժեքով, ինչն էլ անհրաժեշտ է պղնձի սուլֆիդների ստացման համար:

Վերլուծելով օքսիդացած միներալների՝ սիլիցիումի սուլֆիդով, նատրիումի թիոկոմպլեքսով և ծծմբով սուլֆիդացման գործընթացի արդյունքները և ստացված կախվածությունները՝ պարզվել է, որ օքսիդացած միներալների սուլֆիդացման գործընթացի վրա ազդում են սուլֆիդացման տևողությունը, ջերմաստիճանը, սուլֆիդարարի ծախսը, ինչպես նաև հանքանյութերի մանրության աստիճանը: Ցույց է տրված, որ գործընթացի տևողության և սուլֆիդարարի ծախսի ավելացումը բարձրացնում է օքսիդացած միներալների՝ ազուրիտի,

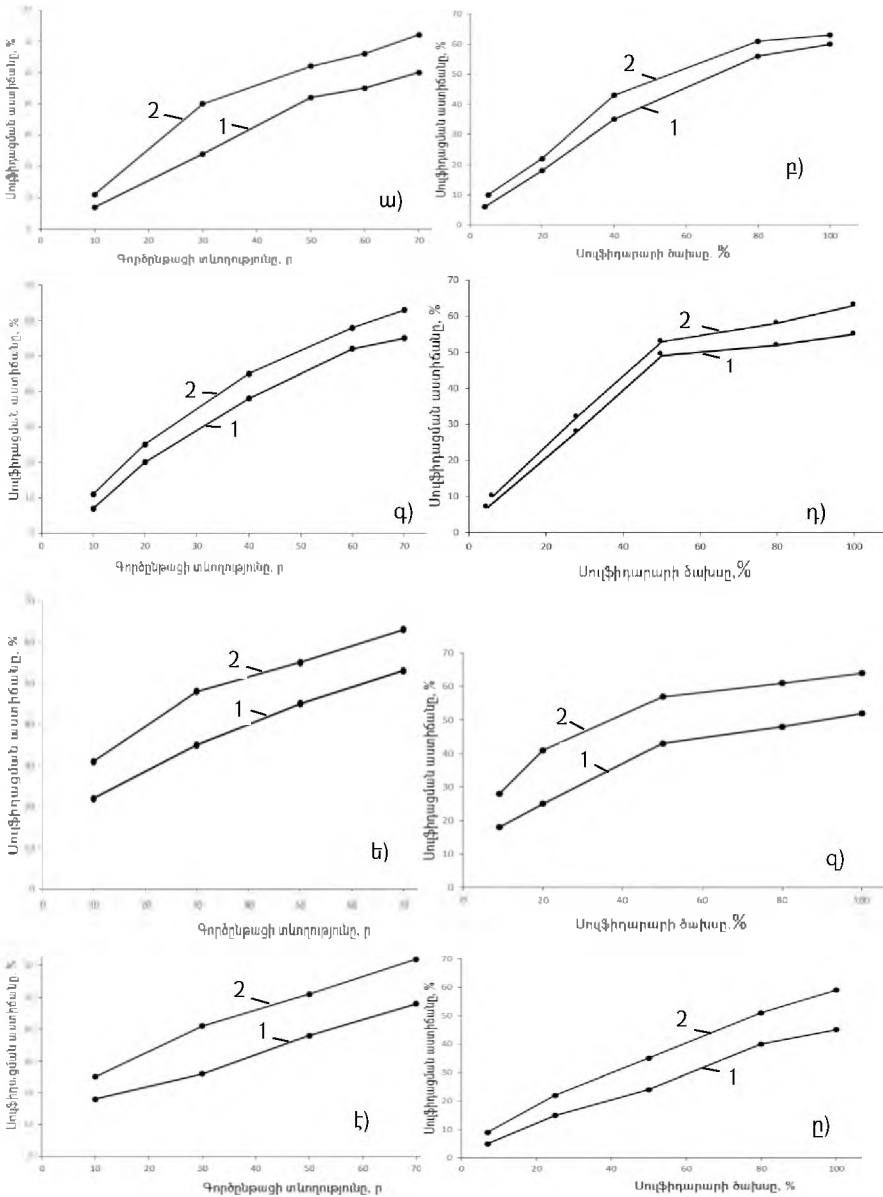
կուպրիտի, տենորիտի և մալախիտի սուլֆիդացման աստիճանը, որն ուղիղ համեմատական է սուլֆիդարարի ծախսին:



Նկ. 1. Որպես սուլֆիդարար ծծմբի օգտագործման դեպքում Գիքսի էներգիայի կախվածությունը ջերմաստիճանից՝ ռեակցիա – 1, ռեակցիա – 2, ռեակցիա – 3, ռեակցիա – 4, ռեակցիա – 5

Հետազոտությունների արդյունքները ցույց են տալիս (Նկ. 2), որ ինչպես տենորիտ միներալի, այնպես էլ կուպրիտի, ազուրիտի և մալախիտի դեպքում սուլֆիդացման աստիճանը, կախված ծծումբ սուլֆիդարարի ծախսից և գործընթացի տևողությունից, ավելի մեծ է, քան սիլիցիումի սուլֆիդ և նատրիումի թիոկոնալեքս սուլֆիդարարների դեպքում: Ուստի հետագա հետազոտությունների համար որպես սուլֆիդարար ընտրվել է ծծումբը:

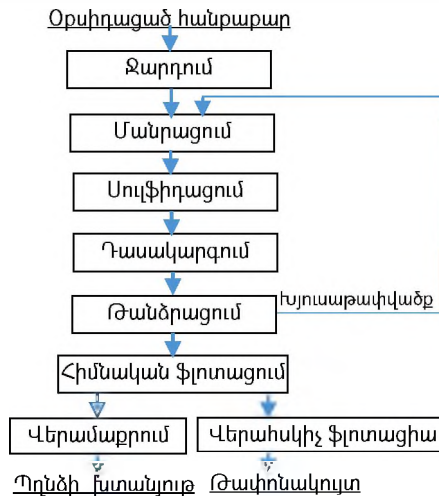
Բացահայտվել է, որ մեխանիկական ակտիվացման գործընթացը հնարավորություն է տալիս՝ բարձրացնելու պինդ մարմինների ռեակցիոն ունակությունը՝ ի հաշիվ բյուրեղային կառուցվածքում արատների առաջացման և դիֆուզիայի գործընթացի արագացման: Ցույց է տրվել, որ պղնձի օքսիդացած միներալների սուլֆիդացումը սիլիցիումի սուլֆիդով և նատրիումի թիոկոնալեքսով դանդաղում է միներալների մակերևույթին սուլֆիդային թաղանթների առաջացման պատճառով: Այդ գործընթացում նկատվում է ներքին դիֆուզիայի աճ, քանի որ գործընթացը լիմիտավորվում է սիլիցիումի սուլֆիդի, նատրիումի թիոկոնալեքսի կամ ծծմբի դիֆուզիայով առաջացած Cu_2S սուլֆիդի թաղանթի միջով: Մեխանիկական ակտիվացման կիրառումը մանրացման գործընթացում, երբ գոյանում են օքսիդացած միներալների թարմ մակերևույթներ՝ սուլֆիդի շերտի հեռացման հետևանքով, հնարավորություն է տալիս՝ ներքին դիֆուզիայի ռեժիմից անցնելու կինետիկական ռեժիմի: Դրա հետևանքով գործընթացի արագությունը մեծանում է, և ավելանում է սուլֆիդացված պղնձի մասնաբաժինը: Այսպիսով, սուլֆիդացման ռեակցիայի արագությունը որոշվում է մակերևույթների առաջացման արագությամբ:



Նկ. 2. Պղնձի օքսիդացած միներալների՝ ձմերուկ սուլֆիդացման գործընթացի կախվածությունը գործընթացի տևողությունից (ա, գ, ե, է) և սուլֆիդարարի ծախսից (բ, դ, գ, ը), ա, բ – կուպրիտ, գ, դ – ազուրիտ, ե, զ – մալախիտ, է, ը – տենորիտ, (1–298Կ, 2–358Կ)

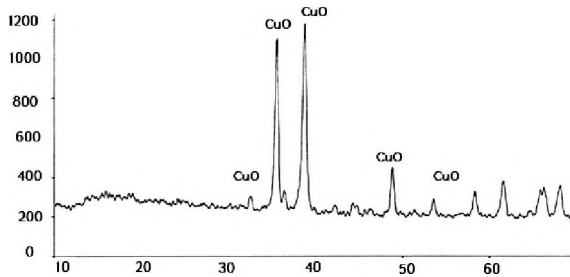
Սուլֆիդացման գործընթացը տիպիկ պինդ ֆազային ռեակցիա է, որը սկսվում է միներալների հատիկների մանրացումով: Տրված ֆիզիկաքիմիական հատկություններով օժտված հանքանյութերի ստացման մեթոդը՝ օքսիդացած միներալների մակերևույթի խորը սուլֆիդացմամբ, հիմնված է հանքանյութերի քյուրեդային կառուցվածքի փոփոխման վրա: Հանքանյութի վրա մեխանիկական էներգիայի ազդեցությունը՝ նրա տեխնոլոգիական հատկության ուղղորդված փոփոխման նպատակով, հիմնված է արատագոյացման ու կառուցվածքաքիմիական փոխակերպումների գործընթացի վրա: Պղնձային միներալների հարստացման դեպքում մակերևույթների ակտիվացման ավելի ընդունելի տեսակներ են հանդիսանում ավելացվող ռեագենտների համակցությամբ մեխանաակտիվացման գործընթացները:

Նկ. 3-ում ցույց է տրված Թեղուտի օքսիդացած և խառը պղնձային հանքաքարերի վերամշակման պարզեցված տեխնոլոգիական սխեման, որտեղ հիմնական գործողությունները մնացել են բազային, այսինքն՝ չեն փոխվել:



Նկ. 3. Պղնձի օքսիդացած հանքաքարերի վերամշակման սխեման

Թեղուտի հանքավայրի տենորիտի ռենտգենագիրը՝ նախքան սուլֆիդացումը, ներկայացված է նկ. 4-ում, համաձայն որի՝ գերակշիռ մասը տենորիտն է, իսկ աղ. 2-ում և նկ. 5-ում ներկայացված են ռենտգենագրերի վերծանումը և ռենտգենագրերը՝ ծծմբով սուլֆիդացումից հետո: Ինչպես երևում է նկարից, առաջանում են պղնձի սուլֆիդներ, որը հաստատվում է սուլֆիդացումից հետո տենորիտի պիկերի ինտենսիվության նվազմամբ, և հայտնվում են սուլֆիդների պիկերը՝ Cu_2S և CuS :



Նկ. 4. Տենորիտի
ոենտգենագիրը՝
նախքան
սուլֆիդացումը

Աղյուսակ 2

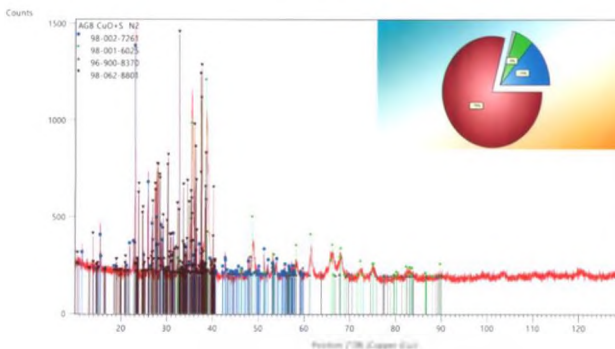
Ծծմբով սուլֆիդացումից հետո տենորիտի ոենտգենագրի վերծանումը

Տեսքը	Կոդը	Միացության անվանումը	Քիմիական բանաձևը
Կապույտ	98 002 7261	Ծծումբ	S ₈
Կանաչ	98 001 6025	Տենորիտ	CuO
Բաց կապույտ	96 900 8370	Կովելին	Cu ₂ S
Կարմիր	98 062 8801	Խալկոզին	Cu ₂ S

Date: 8/28/2018 Time: 12:55:19 PM

File: AGS CuO-5_N2

User: User



Նկ. 5. Տենորիտի
ոենտգենագիրը
ծծմբով սուլֆիդա-
ցումից հետո

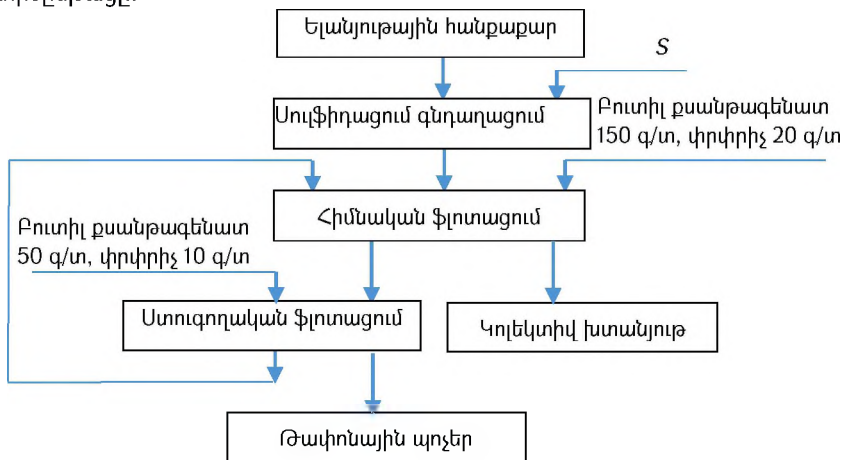
Ցույց է տրված, որ ծծմբով տենորիտի սուլֆիդացումն ընթանում է կինետիկական ռեժիմին համապատասխան: Հետազոտությունների արդյունքում պարզվել է, որ օպտիմալ պայմաններում տարբեր միներալների դեպքում պահանջվող սուլֆիդային իոնների կոնցենտրացիան տարբեր է, և միներալներն ունեն սուլֆիդացման տարբեր արագություններ: Պղնձի կայուն սուլֆիդներն առաջանում են $pH \leq 7$ միջակայքում, այսինքն՝ թթվային միջավայրում:

Ծծմբով պղնձի օքսիդացած միներալների սուլֆիդացումն ընթանում է ավելի ակտիվ, որի արդյունքում այն ընտրվել է որպես սուլֆիդարար: Բացահայտվել են ծծմբով օքսիդացած միներալների սուլֆիդացման ռեակցիաների

մեխանիզմը և կինետիկան: Որոշվել են սուլֆիդարարի ծախսի, ժամանակի և ջերմաստիճանի ազդեցությունները պղնձի օքսիդացած միներալների սուլֆիդացման աստիճանի վրա, ինչպես նաև մանրացման գործընթացում պղնձի օքսիդացած միներալների մակերևութային սուլֆիդացման այն օպտիմալ պայմանները, որոնց դեպքում ապահովվում է 70% սուլֆիդացման աստիճան. գործընթացի տևողությունը՝ 70ր, ջերմաստիճանը՝ 343Կ, սուլֆիդարարի ծախսը՝ 100%՝ ըստ օքսիդացած պղնձի զանգվածի:

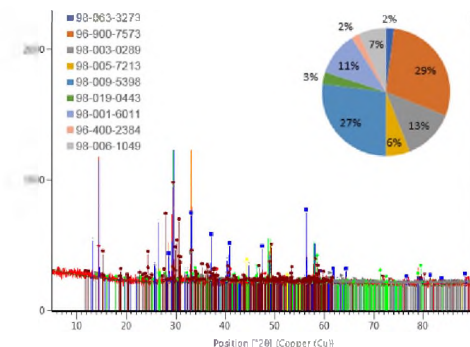
Բացահայտվել են պղնձի օքսիդացած միներալների նատրիումի թիոկոմպլեքսով սուլֆիդացման ռեակցիաների կինետիկան և մեխանիզմը: Որոշվել են աղացման գործընթացում պղնձի օքսիդացած միներալների սուլֆիդացման և ֆլոտացման օպտիմալ պայմանները, որոնց դեպքում ապահովվում է ~ 63% սուլֆիդացման աստիճան:

Չորրորդ գլխում կատարվել է Թեղուտի պղնձի օքսիդային հանքանյութերից ստացված սուլֆիդային խտանյութերի ֆլոտացման ռեագենտների ընտրություն: Կիրառվել են ավանդական ռեագենտներ՝ բուֆիլային քսանթազենատ և փրփրագոյացուիչ (T-80): Ֆլոտացման գործընթացն իրականացվել է մեխանիկական 237ՓՄ տիպի ֆլոտամեքենայում: Օքսիդացած և խառը պղնձային հանքաքարերի վերամշակման սխեման բերված է նկ. 6-ում: Այն պարզեցված է, քանի որ բոլոր մնացած տեխնոլոգիական գործողությունները նույնն են, ինչ որ բազայինը, այսինքն՝ չեն փոխվում: Տեխնոլոգիական սխեման առավելագույնս հարմարեցված է գործող հանքահարստացման ձեռնարկությունների տեխնոլոգիաներին, ավելացվել է միայն աղացում սուլֆիդացման գործընթացը:

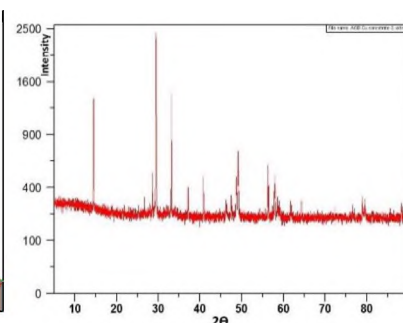


Նկ. 6. Պղնձի օքսիդացած հանքանյութերից պղնձի սուլֆիդների ստացման տեխնոլոգիական սխեման

Փորձանմուշների ռենտգենագրական հետազոտություններ՝ իրականացվել են Empyrean (CuK α) Panalytical ընկերության Empyrean (CuK α) դիֆրակտաչափի վրա: Որոշվել է նմուշների որակական և քանակական ֆազային բաղադրությունը (նկ. 7, աղ. 3), ցույց է տրվել նաև միներալների և անօրգանական միացությունների նմուշների դիֆրակտագրերը (նկ. 8):



Նկ. 7. Նմուշների քանակական և որակական բաղադրությունը



Նկ. 8. Միներալների և անօրգանական միացությունների նմուշների դիֆրակտագիրը

Աղյուսակ 3

Նմուշների քանակական և որակական ֆազային բաղադրությունը

Միացության կոդը	Միացության անվանումը	Քիմիական բանաձևը	Նմուշների տոկոսային պարունակությունը, %
98-063-3273	Երկաթի սուլֆիդ (պիրիտ)	FeS ₂	2
96-900-7573	Խալկոպիրիտ	Cu ₄ Fe ₄ S ₈	29
98-003-0289	Խալկոպիրիտ	CuFeS ₂	13
98-005-7213	Պղնձի սուլֆիդ	Cu ₁₈ S	6
98-009-5398	Պղնձի սուլֆիդ (Կովելին)	Cu ₂ S	27
98-019-0443	Պղնձի մոլիբդատ	CuMoO ₄	3
98-001-6011	Ճնիխտ	Cu ₇ S ₄	11
96-400-2384	Երկաթի օքսիդ	Fe ₁₆ O ₂₄	2
98-006-1049	Պղինձի և մոլիբդենի օքսիդ (հեքսակուպեր, պենտամոլիբդեն)	Cu ₆ Mo ₅ O ₁₈	7

Մշակվել է օքսիդացած պղնձային հանքանյութերի վերամշակման տեխնոլոգիա, որը կատարվում է աղացում սուլֆիդացմամբ և հետագա

ֆլոտացմամբ: Առաջարկվող տեխնոլոգիական գործընթացը հնարավորություն է տալիս՝ վերամշակելու պղնձային օքսիդացած հանքանյութերը և համարվում է հեռանկարային:

Հաշվի առնելով փորձարարական հետազոտությունների տվյալները՝ կատարվել է նաև պղնձի օքսիդացած հանքանյութերի մանրացման փուլում սուլֆիդացման տնտեսական արդյունավետության նախնական գնահատում:

Կատարած համալիր հետազոտությունների արդյունքում մշակվել է օքսիդացած պղնձային հանքանյութերի մեխանաքիմիական ակտիվացմամբ սուլֆիդացման և ստացված սուլֆիդային միացությունների ֆլոտացման տեխնոլոգիա: Առաջարկվող տեխնոլոգիական գործընթացը հնարավորություն է տալիս՝ վերամշակելու պղնձային օքսիդացած հանքանյութերը և համարվում է հեռանկարային: Ընտրվել և հիմնավորվել են անհրաժեշտ տեխնոլոգիական սարքավորումները, ինչպես նաև կատարվել է մշակված տեխնոլոգիայի տեխնիկատնտեսագիտական հիմնավորում: Շահույթը կազմել է 502019,0 հազար դրամ, իսկ կապիտալ ներդրումների հետգնման ժամկետը՝ 1,525 տարի:

ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐ ԵՎ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

1. Հայրենական և արտասահմանյան գրականության վերլուծության արդյունքում պարզվել է, որ ժամանակակից մետալուրգիական գործընթացներում մշակվում է նոր ուղղություն, որի համաձայն՝ խտանյութերի մշակումը կատարվում է մեխանաքիմիական և մետաղաթերմային վերականգնման եղանակների զուգակցմամբ: Այս դեպքում տեղի են ունենում օքսիդավերականգնման գործընթացների ինտեսիվացում և սկզբունքային նոր մոդիֆիկացիաներով նյութերի ստացում: Ցույց է տրված, որ մեխանիկական ակտիվացումը մեծացնում է նյութի մանրացման աստիճանը, մակերևութային էներգիան և առաջացնում է բյուրեղային ցանցի աղավաղումներ: Արդյունքում մեծանում են պինդ նյութերի ռեակցիոն ունակությունները, որն էլ նպաստում է քիմիական ռեակցիայի արագության մեծացմանը: Ընդ որում, հեռանկարային են համարվում այն գործընթացները, որոնց նպատակն է պղնձի օքսիդային ձևի փոխակերպումը հեշտ ֆլոտացվող սուլֆիդների: Միներալների մակերևույթները սուլֆիդացնող առկա եղանակները չեն ապահովում անհրաժեշտ արդյունավետություն, որովհետև սուլֆիդային թաղանթներն առաջանում են թույլ թթվային միջավայրերում, անկայուն են և հեշտությամբ քայքայվում են ֆլոտացման ընթացքում, որը կատարվում է թույլ հիմնային միջավայրերում: Դա է պատճառը, որ հիմնախնդրի արդյունավետ լուծում է համարվում հանքաքարի արժեքավոր բաղադրիչների միներալաքանական բաղադրության փոփոխումը՝ կիրառելով հանքաքարի մանրացման գործընթացը: Ցույց է տրվել, որ հետերոգեն ռեակցիաների խթանումը հնարավորություն կտա՝ պինդֆազ փոխարկումների ճանապարհով իրականացնելու սինթեզի

ռեակցիաներ: Ցանկացած մեխանիկական ազդեցություն պինդ մարմնի վրա ունակ է փոխելու նրա վիճակը, այսինքն՝ շեղելու այն հավասարակշռությունից, որը կազդի նրա ռեակցիոն ունակությունների վրա:

2. Պղնձի օքսիդացած հանքանյութերի հարստացման և ստացված խտանյութից պղնձի առավելագույն կորզման գոյություն ունեցող մեթոդների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ խնդրի ամենահեռանկարային լուծումը գնդադացում օքսիդացած հանքանյութերի սուլֆիդացման գործընթացն է: Սակայն պղնձի օքսիդացած հանքանյութերի խոր սուլֆիդացման հայտնի մեթոդներն առայժմ չեն ապահովում բարձր ցուցանիշներ. կամ տնտեսապես շահավետ չեն, կամ առաջացնում են բնապահպանական որոշակի խնդիրներ: Ցույց է տրվել, որ օքսիդացած հանքանյութի վերամշակման հիմնախնդրի լուծման կարևոր ուղղություն է հանքաքարի մանրացման փուլում արժեքավոր բաղադրիչների բյուրեղաքիմիական վիճակի փոփոխությունը՝ սուլֆիդացման ու մեխանասկոտիվացման համակցման ճանապարհով: Այդ նպատակով ուսումնասիրվել են Թեղուտի պղինձնուլիթդենային հանքավայրի միներալային կազմը և պղնձի օքսիդացած գոտու միներալներն ու դրանց բնութագրերը՝ ինչպիսիք են՝ մալախիտը, ազուրիտը, տենորիտը, կուպրիտը, խրիզոկոլան և փիրուզը:

3. Որպես սուլֆիդարար ընտրվել են սիլիցիումի սուլֆիդը, նատրիումի թիոկոնալեքսը և ծծումբը: Ուսումնասիրվել են դրանց բնութագրերը: Կատարվել են չափիչ-հսկիչ սարքավորումների ընտրում, հիմնավորում, գնդադացներում հանքաքարերի մեխանիկական մանրացման գործընթացի ուսումնասիրություն և առանձնահատկությունների բացահայտում: Ցույց է տրվել, որ գնդադացներում հանքաքարերի մանրացման ժամանակ կարևոր ցուցանիշներն են գնդադացի պտտման արագությունը, գնդերի օպտիմալ զանգվածը և տրամագիծը, հանքանյութի նախնական չափերը և ծավալը, ինչպես նաև գնդերի կառուցվածքը և հատկությունները: Մշակվել են հետազոտման նպատակը և մեթոդիկան, որը հիմնված է մետաղագիտական, քիմիական, ռենտգենաֆազային, սպեկտրային, ատոմնա-աբսորբման, ջերմաձանրաչափական և այլ վերլուծական մեթոդների վրա:

4. Համալիր փորձագիտական հետազոտության արդյունքում մշակվել են պղնձի օքսիդացած միներալների մակերևութային խոր սուլֆիդացման և ֆլուտացման գործընթացների տեսական և տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները՝ ազուրիտի, մալախիտի, կուպրիտի և տենորիտի աղացման գործընթացում սիլիցիումի սուլֆիդով (SiS_2), նատրիումի թիոկոնալեքսով ($\text{Na}_2[\text{SiS}_3]$) և ծծմբով (S) մշակման վերաբերյալ:

5. Թերմոդինամիկական հաշվարկներով հիմնավորվել է Թեղուտի պղնձի օքսիդացած միներալների մակերևութային խոր սուլֆիդացման տեխնոլոգիական գործընթացը, որը կատարվել է ծծմբի (S), սիլիցիումի սուլֆիդի (SiS_2) և նատրիումի թիոկոնալեքսի ($\text{Na}_2[\text{SiS}_3]$) առկայությամբ ազուրիտի,

մալախիտի, կուպրիտի և տենորիտի աղացման ու մանրացման գործընթացներում: Ցույց է տրվել, որ փոխազդեցությունն ընթանում է Գիբբսի էներգիայի մեծ բացասական արժեքով, որը և անհրաժեշտ է պղնձի սուլֆիդների ստացման համար:

6. Որոշվել են մանրացման գործընթացում պղնձի օքսիդացած միներալների մակերևութային սուլֆիդացման օպտիմալ պայմանները, որոնց դեպքում ապահովվում է 70% սուլֆիդացման աստիճան. գործընթացի տևողությունը՝ 70ր, ջերմաստիճանը՝ 343Կ, սուլֆիդարարի ծախսը 100%՝ ըստ օքսիդացած պղնձի զանգվածի:

7. Բացահայտվել են պղնձի օքսիդացած միներալների՝ նատրիումի թիոկոմպլեքսով, սիլիցիումի սուլֆիդով և ծծմբով սուլֆիդացման ռեակցիաների կինետիկան և մեխանիզմը: Որոշվել են աղացման գործընթացում պղնձի օքսիդացած միներալների սուլֆիդացման և ֆլուտացման օպտիմալ պայմանները, որոնք ապահովում են ~ 63% սուլֆիդացման աստիճան:

8. Հետազոտությունների արդյունքում պարզվել է, որ օպտիմալ պայմաններում տարբեր միներալների համար պահանջվող սուլֆիդային իոնների կոնցենտրացիան տարբեր է, և միներալներն ունեն տարբեր սուլֆիդացման արագություն: Պղնձի կայուն սուլֆիդներն առաջանում են $pH \leq 7$ միջակայքում, այսինքն՝ թթվային միջավայրում:

9. Հետազոտվել են սիլիցիումի սուլֆիդով (SiS_2), նատրիումի թիոկոմպլեքսով ($Na_2[SiS_3]$) և ծծմբով (S) պղնձի սուլֆիդացված օքսիդային հանքանյութերի, ինչպիսիք են՝ ազուրիտը, մալախիտը, կուպրիտը և տենորիտը, ֆլուտացման գործընթացները: Արդյունքում որոշվել է ֆլուտացման համար անհրաժեշտ ռեագենտների ծախսը՝ որպես ակտիվ սուլֆիդարար ընտրելով ծծումբը (S):

10. Կատարած համալիր հետազոտությունների արդյունքում մշակվել են օքսիդացած պղնձային հանքանյութերի մեխանաքիմիական ակտիվացմամբ սուլֆիդացման և ստացված սուլֆիդային միացությունների ֆլուտացման տեխնոլոգիաներ: Առաջարկվող տեխնոլոգիական գործընթացը հնարավորություն է տալիս՝ վերամշակելու պղնձային օքսիդացած հանքանյութերը, և համարվում է հեռանկարային: Ընտրվել և հիմնավորվել է անհրաժեշտ տեխնոլոգիական սարքավորումները:

11. Կատարվել է պղնձի օքսիդացած հանքանյութերի սուլֆիդացման և հետագա ֆլուտացման տեխնոլոգիայով սուլֆիդային խտանյութերի ստացման տեխնոլոգիայի տեխնիկատնտեսագիտական հիմնավորում: Շահույթը կազմել է 502019,0 հազար դրամ, իսկ կապիտալ ներդրումների հետզնման ժամկետը՝ 1,525 տարի:

Ատենախոսության հիմնական դրույթները հրատարակված են հետևյալ գիտական աշխատանքներում.

1. Այվազյան Ա.Ա., Աղամյան Տ.Ս., Ավագյան Հ.Վ. Հանքանյութերի մանրացման գործընթացում ընթացող ֆիզիկաքիմիական գործընթացների մեխանիզմը և կինետիկան // Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի Լրաբեր.- Գիտական հոդվածների ժողովածու: Մաս 2.- Երևան Ճարտարագետ, 2017, էջ 839-848:

2. Агбалиян С.Г., Овсепян А.О., Авагян А.В., Габриелян А.А. Термодинамическое обоснование процесса сульфидирования окисленных медных минералов Техутского рудника // Вестник НПУА: Metallurgy, materials science, underground use.- Ереван, 2018.- № 1. – С. 9-17.

3. Авагян А.В. Термодинамическое обоснование процесса сульфидирования окисленных медных минералов серой // Вестник НПУА: Metallurgy, materials science, underground use.- Ереван, 2018.- № 2. – С. 34-4.

4. Ավագյան Հ.Վ., Զաքարյան Հ.Ա., Սուլֆիդացման եղանակով պղնձի օքսիդացած հանքանյութերի վերամշակման մեթոդների վերլուծությունը // Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի Լրաբեր.- Գիտական հոդվածների ժողովածու: Մաս 2.- Երևան: Ճարտարագետ, 2018.- էջ 515-525:

5. Աղբալյան Ս.Գ., Հովսեփյան Ա.Հ., Ավագյան Հ.Վ., Ավագյան Թ.Ռ., Դեմիրչյան Տ.Ա. Պղնձի օքսիդացած հանքանյութերի վերամշակումը սուլֆիդացման մեթոդների կիրառմամբ // ՀՀԱԱ.- 2019.- Հ.16, N 2.- էջ 196-206:

6. Авагян А.В. Исследование процесса сульфидизации медных окисленных минералов // Вестник НПУА: Metallurgy, materials science, underground use.- Ереван, 2020.- № 1. – С. 9-19.

7. Авагян А.В. Исследование и технологическая разработка процесса сульфидизации окисленных минералов меди техутского месторождения // Вестник НПУА: Metallurgy, materials science, underground use.- Ереван, 2022.- № 2. – С. 22-30.

8. Աղբալյան Ս.Գ., Վանդունց Տ., Ավագյան Հ.Վ. Հայաստանի պղնձի օքսիդացած հանքանյութերի սուլֆիդացման գործընթացի հետազոտումը և տեխնոլոգիայի մշակումը // «Սյունիքը կրթության և մշակույթի օջախ» ԳՊՀ հիմնադրման 55-ամյակին նվիրված գիտաժողովի նյութերի ժողովածու: Մաս 2, Երևան, ՎՄՎ-Պրինտ.- 2023.- էջ 405-416:

9. Ավագյան Հ.Վ. Մեխանաքիմիական ակտիվացմամբ պղնձի օքսիդացված հանքանյութի սուլֆիդացման գործընթացի հետազոտումը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. ՏԳ սերիա.- Երևան, 2023.- Հատ. 76, N 3.- էջ 286-297:

10. Агбалиян С.Г., Аракелова Э.Р., Авагян А.В., Агамян Т.С., Григорян С.Л. Исследование процесса флотации сульфидного концентрата Техутских окисленных медных руд // Вестник НПУА: Metallurgy, materials science, underground use.- Ереван, 2023.- № 2. – С. 9-18.

11. **Агбалян С.Г., Авагян А.В., Агамян Т.С.** Разработка технологии сульфидирования окисленных медных минералов механохимической активацией и получения концентрата // Вестник НПУА: Металлургия, материаловедение, недрпользование.- Ереван, 2024.- № 1. – С. 9-24.

12. **Աղբալյան Ս.Գ., Ավագյան Հ.Վ., Աղամյան Տ.Ս.** Պղնձի օքսիդացած հանքանյութերը և դրանցից պղնձի կորզման առանձնահատկությունները սուլֆիդացման մեթոդների կիրառմամբ // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. ՏԳ սերիա.- Երևան, 2024.- Հատ. 76, N 4:

Авагян Асмик Вардановна

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СУЛЬФИДИРОВАНИЯ ОКИСЛЕННЫХ МЕДНЫХ МИНЕРАЛОВ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИЕЙ И ПОЛУЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАТА

РЕЗЮМЕ

Значительная часть медных руд Республики Армения содержит смешанные и окисленные минералы, которые из-за неподвержения обогащению не используются и направляются в хвосты обогащения. В хвостохранилищах Республики Армения уже накоплено ~400 млн тонн хвостов обогащения со средним содержанием меди около 0,12%, при этом зона окисленных пород и смешанных рудных минералов Техутского месторождения представляет собой массив площадью около 250 га и глубиной 70 м, богатый минерализацией, исходя из чего проблема его переработки является приоритетной.

Для решения данной проблемы проводятся работы в металлургических процессах, согласно которым планируется осуществлять обработку концентратов путем комбинирования механохимического метода с методом металлотермического восстановления, при котором имеют место интенсификация окислительно-восстановительных процессов и получение материалов с принципиально новыми модификациями. Механическая активация повышает степень измельчения материалов, поверхностную энергию и вызывает искажения кристаллической решетки. Повышается реакционная способность твердых веществ, что способствует увеличению скорости химических реакций. Перспективными считаются процессы, которые имеют целью переводить оксидный вид меди в легко флотируемые сульфиды. Существующие методы сульфидирования поверхностей минералов не обеспечивают необходимой эффективности, поскольку сульфидные пленки образуются в слабо окисленной среде, нестабильны и легко разрушаются при флотации. В этом заключается причина, согласно которой эффективным решением проблемы является изменение минерального состава ценных компонентов руды путем применения процесса измельчения руды.

Показано, что важным направлением решения проблемы переработки окисленных минералов является изменение кристаллохимического состояния ценных компонентов на стадии измельчения руды путем комбинирования процессов сульфидирования и механоактивации.

В результате комплексного экспериментального исследования выявлены теоретические и технологические особенности процесса поверхностного глубокого сульфидирования окисленных медных минералов и флотации касательно обработки азурита, малахита, куприта и тенорита сульфидом кремния (SiS_2), тиокомплексом натрия ($\text{Na}_2[\text{SiS}_3]$) и серой (S) в процессе измельчения. Термодинамическими расчетами обоснован технологический процесс поверхностного глубокого сульфидирования окисленных медных минералов Техута, который был осуществлен при измельчении азурита, малахита, куприта и тенорита в присутствии серы (S), сульфида кремния (SiS_2) и тиокомплекса натрия ($\text{Na}_2[\text{SiS}_3]$). Показано, что

взаимодействие протекает с большим отрицательным значением энергии Гиббса, что и необходимо для получения сульфидов меди.

Определены оптимальные условия поверхностного сульфидирования окисленных медных минералов в процессе измельчения, при которых обеспечиваются: степень сульфидирования – 70%, продолжительность процесса – 70 мин, температура – 343 К, расходы сульфитатора – 100% в расчете на массу окисленной меди. Выявлены кинетика и механизм реакций сульфидирования окисленных минералов меди тиокомплексом натрия, сульфидом кремния и серой. Определены оптимальные условия сульфидирования и флотации окисленных медных минералов в процессе измельчения, обеспечивающие степень сульфидирования ~63%. В результате исследований установлено, что в оптимальных условиях концентрация сульфидных ионов, необходимая при разных минералах, различна, а минералы имеют разные скорости сульфидирования. Стабильные сульфиды меди образуются в диапазоне $\text{pH} \leq 7$, т.е. в кислой среде. Были исследованы процессы флотации сульфидированных окисдных минералов меди, таких как азурит, малахит, куприт и тенорит сульфидом кремния (SiS_2), тиокомплексом натрия ($\text{Na}_2[\text{SiS}_3]$) и серой (S). В результате определены расходы реагентов, необходимых для флотации, при выборе серы (S) в качестве активного сульфитатора.

В результате проведения комплексного исследования разработаны технологии сульфидирования окисленных медных минералов механохимической активацией и флотации полученных сульфидных соединений.

Предлагаемый технологический процесс позволяет перерабатывать окисленные медные минералы и считается перспективным.

По теме диссертации издано 12 статей, 4 из которых без соавторов.

DEVELOPING A TECHNOLOGY FOR SULFIDIZING OXIDIZED COPPER MINERALS BY MECHANOCHEMICAL ACTIVATION AND OBTAINING A CONCENTRATE

SUMMARY

A significant part of copper ores in Republic of Armenia contains mixed and oxidized minerals, which are not used due to not being enriched and are sent to enrichment tailings. Tailings storage facilities in Republic of Armenia have already accumulated 400 million tons of enrichment tailings with an average copper content of about 0.12%, and the zone of oxidized rocks, and mixed ore minerals of the Teghut deposit is a massif with an area of about 250 hectares and a depth of 70 m, rich in mineralization, whose processing problem is a priority.

To solve this problem, work is being carried out in metallurgical processes, according to which it is planned to perform processing of concentrates by combining the mechanochemical method with metallothermic reduction, which intensifies the oxidation-reduction processes and produces materials with fundamentally new modifications. Mechanical activation increases the degree of grinding of materials, surface energy and causes distortions of the crystal lattice. The reaction ability of solid materials increases, which contributes to an increase in the speed of chemical reactions. Processes, which are aimed to convert the oxide form of copper into easily flatable sulphides, are considered to be perspective. The existing methods of mineral surfaces sulfidation do not provide the necessary efficiency, since sulfide pellicles are formed in a weakly oxidized environment, they are unstable and are easily destroyed during flotation. That is the reason, according to which, an effective solution to the problem is to change the mineral composition of valuable ore components using the ore grinding process.

It is shown that an important direction for solving the problem of oxidized mineral processing is changing the crystal-chemical state of valuable components at the stage of ore grinding by combining the processes of sulfiding and mechanical activation.

As a result of a comprehensive experimental study, theoretical and technological features of the process of surface deep sulfidation of oxidized copper minerals and flotation have been revealed regarding the processing of azurite, malachite, cuprite and tenorite with silicon sulfide (SiS_2), sodium thiocomplex ($\text{Na}_2[\text{SiS}_3]$) and sulfur (S) during grinding. Thermodynamic calculations have substantiated the technological process of surface deep sulfidation of oxidized copper minerals of Teghut, which was carried out during grinding of azurite, malachite, cuprite and tenorite in the presence of sulfur (S), silicon sulfide (SiS_2) and sodium thiocomplex ($\text{Na}_2[\text{SiS}_3]$). It is shown that the interaction occurs with a large negative value of the Gypsum energy, which is necessary for obtaining copper sulfides.

The optimal conditions for surface sulfidation of oxidized copper minerals during grinding have been determined, which provide the following: the sulfidation degree - 70%, the process duration - 70 min, the temperature - 343 K, the sulfitizer expenses - 100% based on the mass of oxidized copper. The kinetics and mechanism of oxidized copper mineral sulfidation reactions with sodium thiocomplex, silicon sulfide and sulfur have

been revealed. The optimal conditions for oxidized copper mineral sulfidation and flotation have been determined during grinding, which provide the sulfidation degree of 63%. The studies have shown that under optimal conditions the concentration of sulfide ions, required in case of different minerals, is different, and the minerals have different sulfidation speed. Stable copper sulfides are formed in the pH range ≤ 7 , i.e. in an acidic environment. The flotation processes of sulphided copper oxide minerals such as azurite, malachite, cuprite and tenorite with silicon sulphide (SiS_2), sodium thiocomplex ($\text{Na}_2[\text{SiS}_3]$) and sulphur (S) were investigated. As a result, the expenses of required reagents for flotation were determined in case of selecting sulphur (S) as an active sulphitizer.

As a result of comprehensive studies, technologies for sulfiding oxidized copper minerals by mechanochemical activation and flotation of the resulting sulfide compounds have been developed.

The proposed technological process allows recycling of the oxidized copper minerals and is considered to be prospective.

12 scientific papers were published on the topic of the dissertation.

4 of the published scientific papers are without co-authors.

