

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

**ԶԱՔԱՐՅԱՆ ԷՂԳԱՐ ԳԱԳԻԿԻ**

**ԹԵՂՈՒՏԻ ՄՈԼԻԲԴԵՆԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԻՑ  
ԲԱՐՁՐՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ ԻՆՔՆԱՏԱՐԱԾՎՈՂ ՍԻՆԹԵԶԻ ԵՂԱՆԱԿՈՎ  
ՖԵՐՈՄՈԼԻԲԴԵՆԻ ՍՏԱՅՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ**

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

**ՍԵՂՄԱԳԻՐ**

**ԵՐԵՎԱՆ 2022**

---

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

**ЗАКАРЯН Эдгар Гагикович**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОМОЛИБДЕНА ИЗ  
МОЛИБДЕНОВОГО КОНЦЕНТРАТА ТЕХУТА ПУТЕМ  
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГО СИНТЕЗА**

**АВТОРЕФЕРАТ**

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

**ЕРЕВАН 2022**

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

տ.գ.դ., պրոֆեսոր Վ.Հ. Մարտիրոսյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

տեխ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Հասմիկ Սամսոնի Պետրոսյան  
տեխ. գիտ թեկնածու, դոցենտ Տիմեյա Սամվելի Աղամյան

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

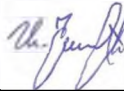
Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2022թ. դեկտեմբերի 23-ին, ժամը 15<sup>00</sup>-ին Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում գործող ՀՀ ԲՈԿ-ի «Մետալուրգիա և նյութագիտություն» մասնագիտական խորհրդի (թվանիշ՝ 031) «Մետալուրգիա» ենթախորհրդի (թվանիշ՝ Ե.16.02) նիստում:

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

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ-ի գրադարանում:

Սեղմագիրը առաքված է 2022 թ. նոյեմբերի 08-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:

д.т.н., профессор В.А. Мартиросян

Официальные оппоненты: докт. техн. наук, проф. Асмик Самсоновна Петросян  
канд. техн. наук, доцент Тимея Самвеловна Агамян

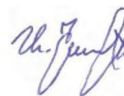
Ведущая организация: Институт общей и неорганической химии им. М.Г. Манвеляна НАН РА (г. Ереван)

Защита диссертации состоится "23" декабря 2022г. в 15<sup>00</sup>ч на заседании под совета "Металлургии" (шифр 05.16.02) Специализированного совета "Металлургия и материаловедение" (шифр 031) ВАК РА, действующего при Национального политехнического университета Армении, по адресу: 0009, г. Ереван, ул. Теряна, 105.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.

Автореферат разослан "08" ноября 2022г.

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



А.М. Оганесян

## ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՀԱՄԱՌՈՏ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

**Ատենախոսության թեմայի արդիականությունը:** Հայաստանի Հանրապետության տնտեսության զարգացման ծրագրերում կարևոր տեղ է հատկացվում բարձր ամրությամբ, մաշակայունությամբ, կոռոզիակայունությամբ և պահանջվող այլ հատկություններով օժտված նոր համաձուլվածքների ստեղծմանն ու տեխնոլոգիաների մշակմանը: Այդպիսի հատկություններով օժտված են ֆերոհամաձուլվածքները, այդ թվում՝ ֆերոմոլիբդենով լեգիրված հատուկ պողպատներն ու համաձուլվածքները: Վերջին տարիներին փոխվել է պահանջը մոլիբդենի և հատկապես դրա համաձուլվածքների նկատմամբ, ինչը պայմանավորված է նորագույն տեխնիկայում մոլիբդենով լեգիրված համաձուլվածքների դերի մեծացմամբ: Մաքուր մոլիբդենը ստանում են մոլիբդենի եռօքսիդից, որի համար լավագույն հումք է հանդիսանում մոլիբդենիտը:

Հայաստանի Հանրապետությունը հարուստ է մոլիբդենի պաշարներով: Քաջարանի, Ագարակի և Թեղուտի հանքահարստացուցիչ ֆաբրիկաներում ստացված մոլիբդենային խտանյութերի հիմքի վրա հանրապետությունում գործում են «Մաքուր երկաթի գործարան» ԲԲԸ և Արմավիրի «Ֆերոհամաձուլվածքների գործարան փրոդաքշն» ՍՊԸ, որտեղ խտանյութի նախնական թրծման և սիլիկաջերմային վերականգնման եղանակով արտադրում են ֆերոմոլիբդեն: Սակայն ֆերոմոլիբդենի ստացման ներկայիս տեխնոլոգիան ունի թերություններ: Հատկապես լուծված չէ  $SO_2$ -ի կորզման հարցը թրծման գործընթացում, որը բնապահպանական խնդիրներ է ստեղծում շրջակա միջավայրի համար: Լուծված չէ նաև ստացված ֆերոմոլիբդենի բաղադրության և կառուցվածքի հոմոգենության հարցը, որն ազդում է պատրաստի արտադրանքի շուկայական գնի վրա: Այսպիսով, ֆերոմոլիբդենի ստացման տեխնոլոգիայի վերարտադրումը ՀՀ Թեղուտի հանքահարստացուցիչ ֆաբրիկայի մոլիբդենային խտանյութերի համար կապված է որոշակի խնդիրների հաղթահարման հետ: Այս տեսակետից մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում սուլֆիդային հանքանյութերի մշակումը մետաղաջերմային վերականգնման եղանակով, որի զուգակցումը նախնական մեխանաքիմիական ակտիվացման հետ կնպաստի հետագա օքսիդավերականգնման գործընթացների ինտենսիվացմանը և սկզբունքորեն նոր մոդիֆիկացված արգասիքների ստացմանը: Նախնական մեխանաքիմիական ակտիվացումը կնպաստի խտանյութում առկա մոլիբդենիտ միներալի քիմիական ակտիվության մեծացմանը և հետագա մետաղաջերմային վերականգնման գործընթացի անհամեմատ ցածր ջերմաստիճաններում ընթանալուն, որն էլ իր հերթին կնպաստի ստացված ֆերոմոլիբդենի կառուցվածքի լավացմանը: Ելնելով վերոհիշյալից՝ մոլիբդեն պարունակող սուլֆիդային խտանյութերից ֆերոմոլիբդենի ստացման ժամանակակից տեխնոլոգիայի

մշակումը խիստ արդիական է և բխում է հանրապետության տնտեսության արդի պահանջներից:

**Ատենախոսական աշխատանքի նպատակը** մեխանաքիմիական ակտիվացման եղանակով Թեղուտի մոլիբդենային խտանյութերի ռեակցիոն հատկությունների մեծացումն է՝ որպես հիմք մետալուրգիական հետագա գործընթացների ինտենսիվացման համար, և նախապես ակտիվացրած խտանյութից ալյումինաջերմային վերականգնման եղանակով մոդիֆիկացված ֆերոմոլիբդենի ստացման տեխնոլոգիայի մշակումն ու տեխնիկատնտեսական հիմնավորումը:

**Նշված նպատակին հասնելու համար ատենախոսությունում առաջադրվել և լուծվել են հետևյալ խնդիրները՝**

1. Թեղուտի մոլիբդենային խտանյութի վարքի ուսումնասիրում մեխանիկական և ջերմային մշակման գործընթացում՝ իրականացնելով մեխանաքիմիան որպես այդ խտանյութերի թրծման փուլին փոխարինող գործընթաց,

2. նախապես մեխանաակտիվացված բովախառնուրդի ալյումինաջերմային վերականգնման եղանակով ֆերոմոլիբդենի ստացման գործընթացի տեսական և թերմոդինամիկական հիմնավորում,

3. նախապես մեխանաակտիվացված բովախառնուրդի ալյումինաջերմային վերականգնման գործընթացի հիմնական բաղադրամասերի քանակական ընտրում և հիմնավորում,

4. ալյումինաջերմային գործընթացի ջերմային բնութագրերի՝ տեսակարար ջերմության և վերականգնման առավելագույն ջերմաստիճանի բացահայտում,

5. ստացված համաձուլվածքի ֆազային կառուցվածքի հետազոտում՝ մետաղագրական, քիմիական և ռենտգենաֆազային վերլուծության եղանակներով,

7. ալյումինաջերմային վերականգնման մեխանիզմի հետազոտում՝ ջերմաստիճանային պրոֆիլների վերլուծության մեթոդով,

8. բարձրորակ և մոդիֆիկացված ֆերոմոլիբդենի ստացման ոչ ավանդական տեխնոլոգիայի մշակում՝ նախապես մեխանաակտիվացված տեղական մոլիբդենային խտանյութի ուղղակի, անվառարան ալյումինաջերմային վերականգնման եղանակով, շրջանցելով անցանկալի ծծմբի օքսիդների առաջացումը:

**Պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթներն են.**

1. Թեղուտի մոլիբդենային խտանյութերում առկա մոլիբդենիտ միներալի վարքի բացահայտում մեխանիկական և ջերմային մշակման արդյունքում՝ մեխանաքիմիան իրականացնելով որպես այդ խտանյութերի թրծման փուլին փոխարինող գործընթաց:

2. Օքսիդիչի ( $\text{NaNO}_3$ ) և  $\text{CaO}$ -ի դերի բացահայտում մոլիբդենի երկսուլֆիդի մեխանիկական մանրացման գործընթացում:

3. Մոլիբդենային խտանյութում պարունակվող երկաթի և մոլիբդենի օքսիդների ու այլումինի միջև ընթացող ռեակցիաների տեսական և թերմոդինամիկական հիմնավորում,

4. Թեղուտի նախապես մեխանակտիվացված մոլիբդենային խտանյութի ուղղակի, անվառարան այլումինաջերմային վերականգնման գործընթացի կինետիկայի և օրինաչափությունների բացահայտում:

5. Ստացված մետաղական և խարամային ֆազերի կառուցվածքի և հատկությունների բացահայտում,

6. Մոլիբդենային խտանյութի այլումինաջերմային վերականգնման բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզի (ԲԻՍ) գործընթացի մեխանիզմի որոշակի հարցերի բացահայտում՝ փորձնականորեն ստացված ջերմաստիճանային պրոֆիլների միջոցով,

7. Մոլիբդենային խտանյութերից ֆերոմոլիբդեն համաձուլվածքի ստացման տեխնոլոգիայի ԲԻՍ և մեխանաքիմիական ակտիվացման գործընթացների զուգակցմամբ տեխնիկատնտեսական հիմնավորումը և բնապահպանական չափանիշների գնահատումը:

**Ատենախոսության գիտական նորույթը:** Առաջին անգամ ցույց է տրվել, որ Թեղուտի մոլիբդեն պարունակող սուլֆիդային խտանյութը և դրա բաղադրության մեջ մտնող մոլիբդենային միներալները օդում և ջրային միջավայրում դիսպերս մանրացման արդյունքում ենթարկվում են խոր մեխանաքիմիական փոխակերպումների՝ փոխարինելով թրծման փուլում ընթացող քիմիական գործընթացները:

Առաջին անգամ կատարվել է Թեղուտի մոլիբդեն պարունակող սուլֆիդային խտանյութերի մեխանաքիմիական և մետաղաջերմային գործընթացների զուգակցում, որի արդյունքում ստացվել է ոչ ավանդական մոդիֆիկացված արգասիք, և շրջանցելով խտանյութի նախնական թրծման գործընթացը՝ լուծվել են բնապահպանական հարցեր:

Բացահայտվել են Թեղուտի՝ նախապես մեխանաքիմիապես ակտիվացված մոլիբդեն պարունակող սուլֆիդային խտանյութերի ուղղակի, անվառարան մետաղաջերմային վերականգնման գործընթացի տեսական, կինետիկական և տեխնոլոգիական օրինաչափություններն ու առանձնահատկությունները: Պարզաբանվել են նաև այլումինաջերմային վերականգնման գործընթացի մեխանիզմին վերաբերող տեսական հարցեր:

**Ատենախոսության կիրառական նշանակությունը.** Մշակվել է Թեղուտի մոլիբդենային խտանյութից արտադրական պայմաններում ընդունելի ֆերոմոլիբդենի ստացման տեխնոլոգիա, որոշվել են լավարկված տեխնոլոգիական

ռեժիմները, որոնք ապահովում են նվազագույն ծախսերով ֆերոմոլիբդեն հավելանյութի առավելագույն ելքը: Հիմնավորվել է մոլիբդենի սուլֆիդային խտանյութերի ուղղակի, անվառարան այլումինաջերմային վերականգնման եղանակով ֆերոմոլիբդենի ստացման կիրառական նշանակությունը: Առաջարկվել է մշակված տեխնոլոգիայի ներդրումը հանրապետությունում գործող «Մաքուր երկաթի գործարան» ԲԲԸ-ում:

**Ատենախոսության արդյունքների հրապարակումները:** Ատենախոսության հիմնադրույթները և գործնական հանձնարարականները՝ ըստ մշակման ընթացքի, զեկուցվել են ՀԱՊՀ 2015...2021թ. տարեկան գիտաժողովներում, ինչպես նաև 2015թ. և 2017թ. Երևանում կազմակերպված «Քիմիա և քիմիական տեխնոլոգիաներ» և 2015թ-ին Մինսկում կազմակերպված «Նոր նյութեր և տեխնոլոգիաներ» միջազգային գիտաժողովներում: Ատենախոսության հիմնական արդյունքները հրապարակվել են քսաներկու գիտական աշխատանքներում, որոնցից վեցն առանց համահեղինակների են, իսկ երեքը՝ արտոնագիր:

**Ատենախոսության կառուցվածքը և ծավալը:** Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, հինգ գլուխներից, ընդհանուր եզրակացություններից և 170 անուն օգտագործված գրականության ցանկից, շարադրանքը կազմում է համակարգչային 128 էջ, ներառում է 26 նկար, 13 աղյուսակ և 1 հավելված, որում ներկայացված է ակտ-երաշխավորագիր՝ հեղինակի կողմից ԲԻՍ եղանակով ֆերոմոլիբդենի ստացման տեխնոլոգիայի մշակման և արտադրությունում ներդրման վերաբերյալ:

### **ԱՏԵՆԱՒՈՍՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ**

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

**Առաջին գլխում** կատարվել է ֆերոմոլիբդենի ստացման վերաբերյալ հայրենական և արտասահմանյան գրականության վերուծություն, ուսումնասիրվել են ֆերոմոլիբդենի միներալները և հանքանյութերը, մոլիբդենային հանքաքարերի հարստացման, խտանյութի ստացման և ֆլոտացման գործընթացները: Ցույց է տրվել, որ դժվարահալ մետաղների սուլֆիդների մշակումը հարմար է իրականացնել ոչ թե ավանդական վառարանային մեթոդներով, այլ ուղղակի, անվառարան այլումինաջերմային վերականգնման եղանակով, քանի որ այս եղանակի առավելությունները խիստ ակնառու են գոյություն ունեցող ավանդական եղանակների համեմատ: Ուսումնասիրվել են մեխանաքիմիական գործընթացների հիմնահարցերը՝ մեխանաքիմիան դիտելով որպես փոխազդող նյութերի ռեակցիոն հատկությունների մեծացման գործոն: Ընդունված է, որ

աղացներում մեխանիկական մանրացման արդյունքում ռեակցիայի արագության մեծացման պատճառը ոչ միայն փոխազդող նյութերի շփման մակերեսի մեծացումն է, այլև պինդ նյութերի մակերևույթի որոշ կետերում մեծ քանակությամբ անջատվող էներգիան, որն ուղեկցվում է, այսպես կոչված, «տաք» կետերի առաջացումով: Շնորհիվ պինդ նյութերի փոքր ջերմահաղորդականության՝ այդ ջերմությունը չի հասցնում ներթափանցել պինդ նյութի խորքային շերտերը, այլ մնում է մակերեսին՝ մեծացնելով նրա մակերևույթային էներգիան, որը ծախսվում է քիմիական ակտիվության մեծացման վրա:

Պինդ նյութերի մանրացման գործընթացում արտաքին մեխանիկական ուժերի ազդեցությունը նյութում առաջացնում է դեֆորմացիա, որը կապված է միջհատիկային հեռավորության փոփոխության, բյուրեղային ցանցերի աղավաղման, արատների առաջացման և ամորֆացման հետ: Կառուցվածքային այս բոլոր աղավաղումները խիստ ազդեցություն են թողնում նյութերի ռեակցիոն ունակությունների վրա: Ընդհանուր առմամբ, այդ փոխարկումները հանգեցնում են փոխազդող նյութերի քիմիական ռեակցիայի ակտիվացման էներգիայի նվազմանը, ռեակցիոն ունակությունների մեծացմանը, ռեակցիաների նոր, յուրահատուկ ընթացքի և նոր մոդիֆիկացված արգասիքների առաջացմանը: Կատարված վերլուծության արդյունքում հիմնավորվել են աշխատանքի նպատակը և հետազոտության խնդիրները:

**Երկրորդ գլխում** ընտրվել և հիմնավորվել են ելանյութերը, ուսումնասիրվել են դրանց բնութագրերը, մասնավորապես, Թեղուտի հանքավայրի մոլիբդենային հանքանյութերի և խտանյութի ընդհանուր բնութագրերը՝ այդ խտանյութի միներալոգիական կազմը, քիմիական և ֆազային վերլուծության արդյունքները: Արդյունքում՝ ընտրվել է նախապես մեխանաակտիվացված մոլիբդենային խտանյութի վերականգնման այլումինաջերմային մեթոդը:

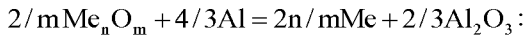
Կատարվել է մոլիբդենային խտանյութի մեխանաքիմիական ակտիվացման ենթարկված և դրանից ֆերոմոլիբդենի ստացման համար նախատեսված չափիչ-հսկիչ սարքավորումների ընտրություն ու հիմնավորում:

Ուսումնասիրվել են ֆերոհամաձուլվածքների որակին ներկայացվող հիմնական պահանջները և դրանց իրականացման եղանակները:

**Երրորդ գլխում** հետազոտվել են մետաղների օքսիդների այլումինաջերմային վերականգնման գործընթացի հիմնահարցերը և այրման տեխնոլոգիան: Ցույց է տրված, որ բարձրջերմաստիճանային ինքնքատարածվող սինթեզն (ԲԻՍ) այրման տեսակ է, որի արդյունքում առաջանում են արժեքավոր պինդ նյութեր: ԲԻՍ գործընթացներում մեծ նշանակություն ունի այրման ալիքում առաջացող նյութի միկրոկառուցվածքի փոփոխությունը, որը կարելի է

ներկայացնել որպես «այրում + կառուցվածքագոյացում» սխեմայով: Այն ընթացում է վառարանից դուրս՝ անվառարան, և որն էլ տեխնոլոգիայի ամենակարևոր առավելությունն է: Օքսիդների այրումինաջերմային վերականգնումը նույնպես ԲԻՍ գործընթաց է, որն ընթանում է՝ շնորհիվ ելանյութ օքսիդների ու վերականգնիչի (Al, Si և այլն) միջև ընթացող ջերմանաչափի քիմիական ռեակցիայից անջատված ջերմության, և տարածվում է այրման ռեժիմով: Մեխանակատիվացման զուգակցումը ԲԻՍ գործընթացի հետ (ՄԱ ԲԻՍ) ունի կարևոր տեխնոլոգիական նշանակություն: ՄԱ ԲԻՍ գործընթացը բաղկացած է մեխանիկական ակտիվացման և նրան հաջորդող ինքնատարածվող սինթեզի փուլերից: Մեխանակատիվացման գործընթացում նախնական մանրացումը զգալի ազդեցություն է թողնում ստացված արգասիքի հատկությունների վրա: Փոխազդող նյութերի մակերեսը մեծացնելիս և ամորֆ մասնիկների չափսերը փոքրացնելիս սինթեզն ընթանում է ավելի ցածր ջերմաստիճաններում՝ ավելի ցածր ակտիվացման էներգիայի պայմաններում: Առաջանում են մեծ թվով բյուրեղացման կենտրոններ, իսկ ստացված բյուրեղները սկսում են աճել ցածր ջերմաստիճաններում՝ մինչև հեղուկ ֆազի առաջացումը, ինչն ազդում է սինթեզված ֆերոմոլիբդենի կառուցվածքագոյացման և ֆազաառաջացման գործընթացի վրա: Ընթանում է ԲԻՍ գործընթաց, որի արդյունքում առաջանում է միկրոհետերոգեն կառուցվածքով նյութ: Քանի որ սինթեզն ընթանում է խառնուրդներից ազատված օքսիդների հետ, հետևաբար՝ ստացվում է ավելի մաքուր և նանոչափային հատիկներով ֆերոմոլիբդեն:

Կատարվել է մոլիբդենային խտանյութի այրումինաջերմային գործընթացի թերմոդինամիկական վերլուծություն, որի իրականացման սկզբունքային հնարավորությունը և դրա ընթացքի լիարժեքությունը նախ և առաջ կախված են այրումինի հետ մետաղի օքսիդների փոխազդեցության թերմոդինամիկական բնութագրերից: Օքսիդների փոխազդեցությունն այրումինի հետ կարելի է ներկայացնել հետևյալ հավասարումով՝



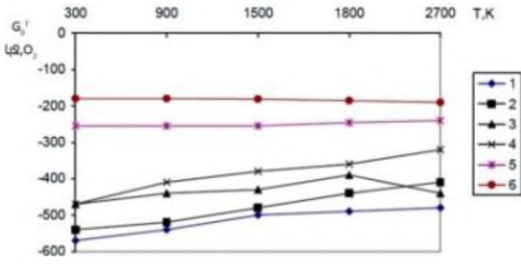
Նշված ռեակցիայի ինքնուրույն ընթացքի հիմնական նախապայմանը այրումինի օքսիդի առավել բարձր թերմոդինամիկական կայունությունն է՝ համեմատած վերականգնվող մետաղների օքսիդների թերմոդինամիկական կայունության հետ: Մոլիբդենային խտանյութի հիմնական բաղադրիչներն են FeO-ն, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ը, ազատ SiO<sub>2</sub>-ը, աննշան քանակներով պղնձի, ցինկի և կապարի օքսիդները, որոնց պարունակությունը հաշվարկներում կարելի է անտեսել: Այրումինաջերմային բարձրջերմաստիճանային վերականգնման գործընթացում



կարող են զուգահեռաբար և հաջորդաբար ընթանալ վերականգնման բազմաթիվ ռեակցիաներ: Ռեակցիաների ինքնուրույն ընթանալու չափանիշը հաստատուն ճնշման և ջերմաստիճանի պայմաններում Գիբսի էներգիայի փոփոխության ( $\Delta G_T^0$ ) նվազումն է: Ռեակցիաների  $\Delta G_T^0$ -ի փոփոխության արժեքների համեմատումը հնարավորություն է տալիս որոշել մի ռեակցիայի ընթանալու առավելությունը մյուսի նկատմամբ:  $\Delta G_T^0$ -ի արժեքը որոշվել է հետևյալ՝  $\Delta G_T^0 = \Delta H_T^0 - T\Delta S_T^0$  բանաձևով, որտեղ  $\Delta G_T^0$ -ն Գիբսի էներգիայի փոփոխությունն է,  $\Delta H_T^0$ -ն՝ համակարգի էնթալպիայի փոփոխությունը, իսկ  $S_T^0$ -ն՝ համակարգի էնտրոպիայի փոփոխությունը:

Հաշվարկները կատարվել են 298...2700K ջերմաստիճանային տիրույթում՝ հաշվի առնելով ֆազային փոփոխությունները էնթալպիայի և էնտրոպիայի արժեքներում: Համեմատություններն ավելի ակնառու դարձնելու համար հաշվարկները կատարվել են ատոմական թթվածնի 1 մոլի համար:

Ֆերոհամաձուլվածքների արտադրությունում բազմաբաղադրիչ համակարգերի համատեղ վերականգնման դեպքում էներգետիկական առումով առավելագույն նշանակություն է ունենում երկաթի եռօքսիդը (նկ. 1, 1-ին կոր): Տարբեր օքսիդների համատեղ վերականգնման ռեակցիաների  $\Delta G_T^0$ -երի փոփոխության ջերմաստիճանային կախվածության դիտարկումը ցույց է տալիս, որ երկաթի օքսիդն առաջինն է վերականգնվում (նկ. 1, կորեր 1 և 4): Ավելի դժվար վերականգնվող օքսիդներից է  $\text{SiO}_2$ -ը (նկ. 1, կոր 6):



Նկ. 1. Մոլիբդենային խտանյութում պարունակվող օքսիդների այլումինաջերմային վերականգնման ռեակցիաների  $\Delta G_T^0$ -ի կախվածությունը ջերմաստիճանից:

- 1-  $2/3\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4/3\text{Al} = 4/3\text{Fe} + 2/3\text{Al}_2\text{O}_3$ , 2-  $2/3\text{MoO}_3 + 4/3\text{Al} = 2/3\text{Mo} + 2/3\text{Al}_2\text{O}_3$ ,
- 3-  $2/3\text{MoO}_2 + 4/3\text{Al} = 4/3\text{Mo} + 2/3\text{Al}_2\text{O}_3$ , 4-  $2\text{FeO} + 4/3\text{Al} = 2\text{Fe} + 2/3\text{Al}_2\text{O}_3$ ,
- 5-  $2\text{MoO} + 4/3\text{Al} = 2\text{Mo} + 2/3\text{Al}_2\text{O}_3$ , 6-  $\text{SiO}_2 + 4/3\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{Si} + 2/3\text{Al}_2\text{O}_3$

Օքիդների վերականգնող ունակությունը կախված է ոչ միայն դրանց կայունությունից, այլև հալույթում դրանց կոնցենտրացիայից: Որոշվել է վերականգնման ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունի արժեքը, որը 2500K դեպքում կազմում է  $2 \cdot 10^4$ : Դա համապատասխանում է խարամում 1%

մոլիբդենի և 0,4% MoO պարունակությամբ հավասարակշիռ կազմին և ուղեկցվում է Գիբսի էներգիայի զգալի փոփոխությամբ, ինչի շնորհիվ գործընթացն ընթանում է հոգուտ հիմնական տարրի բարձր աստճանի կորզման:

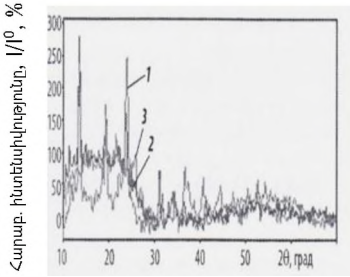
Որոշվել է նաև ալյումինաջերմային գործընթացի գծային արագությունը: Ալյուման գծային արագությունը որոշվել է փոխազդած բովախառնուրդի սյան բարձրությամբ՝  $V_{\text{h}}=h/\tau$  (սմ/վրկ): Տվյալ դեպքում 100գ բովախառնուրդի՝  $h=8$  սմ և  $\tau=25$ վրկ չափսերի դեպքում գծային արագությունը միջին հաշվով կազմել է  $8/25 = 0,32$  սմ/վրկ:

Կատարվել են ֆերոմոլիբդենի ալյումինաջերմային վերականգնման գործընթացի տեսակարար ջերմության (2686,65 կՋ/կգ), բովախառնուրդի հալման առավելագույն ջերմաստիճանի (2312K) և ջերմային կորուստների (3%) տեսական հաշվարկներ: Ցույց է տրվել, որ ստացված պարամետրերը միանգամայն բավարար են ալյումինաջերմային վերականգնման գործընթացն անվառարան իրականացնելու համար:

**Չորրորդ գլխում** ուսումնասիրվել է մոլիբդենային խտանյութերի ֆազային փոխարկումների ընթացքը մեխանաքիմիական և ջերմային մշակման ժամանակ, և կատարվել է ֆերոմոլիբդենի ստացման գործընթացի հետազոտում: Ցույց է տրվել, որ ինչպես առանձին միներալները, այնպես էլ մոլիբդենային խտանյութը օդում և ջրային միջավայրում նուրբ մանրացման արդյունքում ենթարկվում են խոր քիմիական փոխարկումների, ընդ որում՝ 60 րոպե ջրային միջավայրում մանրացնելիս ստացվում է մոլիբդենի եռօքսիդ, իսկ երկաթի դեպքում՝ նաև օքսիդներ ( $Fe_2O_3$  և  $Fe_3O_4$ ): Ուսումնասիրվել են նաև ջերմային մշակման ենթարկված մոլիբդենային խտանյութում առկա առանձին միներալների և խտանյութի փոխարկումները, ինչի արդյունքում պարզվել է, որ մեխանաքիմիապես ակտիվացված և ջերմային մշակման ենթարկված փորձանմուշների օքսիդացման օրինաչափությունները նման են միմյանց, այսինքն՝ առաջանում են նույն ֆազերը: Սակայն մեխանաակտիվացված փորձանմուշների օքսիդացումն ընթանում է ավելի ինտենսիվ և  $\sim 100^\circ\text{C}$ -ով ցածր ջերմաստիճաններում: Ցույց է տրվել, որ մեխանաքիմիական ակտիվացումը կարող է փոխարինել բարձրջերմաստիճանային թրծման գործընթացին, բացառելով ոչ ցանկալի և դեռևս լուծում չստացած  $SO_2$ -ի կորզման հիմնախնդիրը:

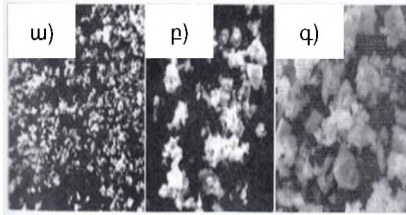
Նկ. 2-ում ցույց են տրված մոլիբդենիտի ( $MoS_2$ ) ջրային միջավայրում ակտիվացման արդյունքում ստացված արգասիքի ռենտգենագրերը՝ մոլիբդենիտն ամբողջությամբ փոխակերպվել է կոլոիդանման ամորֆ զանգվածի (տեղի է ունեցել կտրուկ արտահայտված բյուրեղային ցանցի սուր գագաթների

կլորացում): Նույն փաստը հաստատագրվել է նաև մորֆոլոգիական ուսումնասիրություններով:



Նկ. 2. Մոլիբդենիտի ( $\text{MoS}_2$ ) ջրային ռեժիմում 15, 30 և 60 րոպե ակտիվացման արդյունքում ստացված արգասիքների ռենտգենագրերը

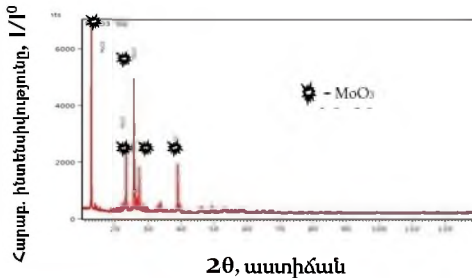
Նկ. 3-ում ներկայացված են մոլիբդենիտի էլեկտրոնային միկրոկառուցվածքները ջրային միջավայրում տարբեր տևողություններով ակտիվացված փորձանմուշների դեպքում, որոնք հաստատում են, որ կախված մանրացման և ակտիվացման տևողությունից՝ տեղի է ունենում փորձանմուշների ամորֆացում:  $\text{MoS}_2$ -ից  $\text{MoO}_3$ -ի ստացումն ինչպես ջրային միջավայրում, այնպես էլ օդում ուղեկցվում է  $\text{SO}_2$  գազի առաջացմամբ, որը նույնպես կարող է բնապահականակն դժվարություններ առաջացնել: Այդ պատճառով մեխանաքիմիական ակտիվացման հետագա փորձերը կատարվել են  $\text{CaO}$ -ի մասնակցությամբ: Որպես թթվածնի աղբյուր ծառայել է  $\text{NaNO}_3$ -ը, որը քայքայվում է՝ անջատելով թթվածին:  $\text{MoS}_2$ -ի օքսիդացման գումարային ռեակցիան՝  $\text{CaO}$ -ի և  $\text{NaNO}_3$ -ի առկայությամբ, ունի հետևյալ տեսքը.  $\text{MoS}_2 + 7\text{NaNO}_3 + 2\text{CaO} = \text{MoO}_3 + 2\text{CaSO}_3 + 7\text{NaNO}_2$ :



Նկ. 3. Մոլիբդենային խտանյութի մեխանաքիմիական ակտիվացման արդյունքում ստացված էլեկտրոնային միկրոկառուցվածքները ակտիվացրած ջրային ռեժիմում՝ 15 (ա), 30 (բ) և 60 (գ) րոպե տևողություններով ( $\times 1000$ )

Ստացված  $\text{CaSO}_3$ -ը հետագա պիրոմետալուրգիական գործընթացներում վտանգ չի ներկայացնում և մնում է խարամում: Մոլիբդենային խտանյութի՝  $\text{CaO}$ -ի և  $\text{NaNO}_3$ -ի առկայությամբ ինչպես ջրային միջավայրում, այնպես էլ օդում մեխանաքիմիական ակտիվացման հետագա փորձերը ցույց են տալիս մշակված տեխնոլոգիայի ճշմարտացիությունը:

Ինչպես երևում է նկ. 4-ից, ռենտգենագրում բացառապես երևում են  $\text{MoO}_3$ -ի առկայծումները: Այլ արտացոլումներ չեն նկատվել:

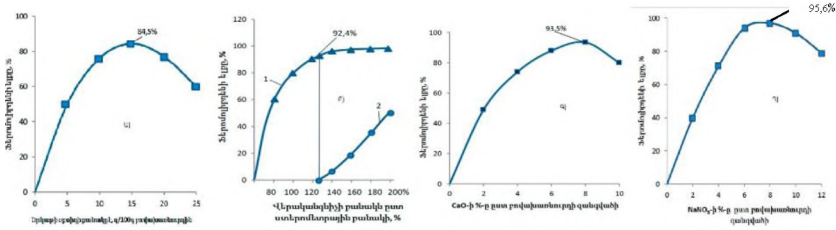


Նկ. 4. Թեղուտի մոլիբդենային խտանյութի ռենտգենագիրը վերջնամշակումից հետո

Կատարվել են փորձագիտական հետազոտություններ՝ Թեղուտի նախապես մեխանակոտրված մոլիբդենային խտանյութից այլումինաջերմային վերականգնմամբ  $36,84\% \text{ Fe} + 63,16\% \text{ Mo}$  բաղադրությամբ ֆերոմոլիբդենի ստացման նպատակով: Բովախառնուրդը, բացի մոլիբդենային խտանյութից և երկաթի տաշեղներից (կամ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -ից), պարունակել է նաև այլ բաղադրիչներ: Մասնավորապես՝ բովախառնուրդի թերմիկությունը մեծացնելու նպատակով ավելացվել է  $\text{NaNO}_3$ , իսկ խարամագոյացման համար՝  $\text{CaO}$ : Փորձերից հետո ստացված մետաղական զանգվածը կշռվել է և ենթարկվել ինչպես քիմիական, այնպես էլ ռենտգենաֆազային և մետաղագրական վերլուծության, արդյունքում որոշվել է մետաղի գումարային ելքը: Ուսումնասիրվել է ֆերոմոլիբդենի ելքի կախումը երկաթի տաշեղների քանակից: Ինչպես երևում է նկ. 5ա-ից, ֆերոմոլիբդենի կորզման աստիճանն իր առավելագույն արժեքին ( $82,4\%$ ) հասնում է  $15\text{գ } \text{Fe}_2\text{O}_3$ -ի պարունակության դեպքում կամ ստեխիաչափային քանակից  $25\%$  ավելցուկի պայմաններում, որի դեպքում համաձուլվածքը հիմնականում բաղկացած է երկաթից և մոլիբդենից՝ այլումինի չնչին պարունակությամբ:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -ի քանակի հետագա մեծացումը հանգեցնում է ֆերոմոլիբդենի ելքի նվազմանը, քանի որ մետաղական ֆազ է անցնում նաև այլումինը:

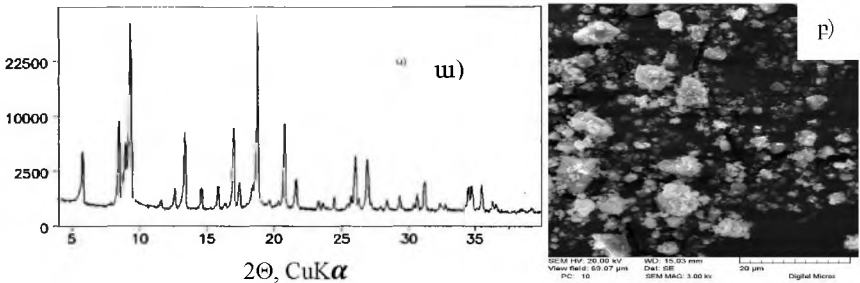
Ուսումնասիրվել է նաև մետաղի ելքի կախվածությունը վերականգնիչի (նկ. 5բ),  $\text{CaO}$ -ի (նկ. 5գ) և  $\text{NaNO}_3$ -ի (նկ. 5դ) քանակներից: Այլումինաջերմային վերականգնման գործընթացում բովախառնուրդի հեղուկահոսունությունը մեծացնելու նպատակով ավելացվում է նաև  $\text{CaF}_2$ ՝ բովախառնուրդի քանակի  $5\%$ -ի չափով: Այսպիսով, բովախառնուրդի լավարկված պայմաններն են մոլիբդենային խտանյութի,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -ի  $15\%$ , այլումինի փոշու  $25\%$  -ի,  $\text{CaO}$ -ի  $8\%$  ավելցուկի,  $10\%$   $\text{NaNO}_3$ -ի և  $5\%$   $\text{CaF}_2$ -ի քանակները՝ ըստ բովախառնուրդի  $100\text{գ}$  զանգվածի: Այդ պայմաններում ստացվում է մոնոֆերոմոլիբդեն՝  $\text{FeMo}$ , այլումինի չնչին

հետքերով, և համաձուլվածքի կորզման աստիճանը հասնում է իր առավելագույն արժեքին՝ 95,6%:



Նկ. 5. Ֆերոմոլիբդենի ելքի կախվածությունը. ա - երկաթի քանակից, բ - վերականգնիչի և ստացված մետաղական ֆազում այլումինի քանակներից, գ - CaO-ի քանակից, դ - NaNO<sub>3</sub>-ի քանակից

Ստացված ֆերոմոլիբդենը ենթարկվել է ոռնտգենաֆազային (նկ. 6ա) և մետաղագրական (նկ. 6բ) վերլուծությունների: Ինչպես երևում է ոռնտգենագրերից, մետաղական ֆազը հիմնականում բաղկացած է հետևյալ արտացոլումներից՝ FeMo (2,00x; 1,82x; 1,198A), Fe<sub>2</sub>Mo (2,03x; 1,173; 1,432A): Դա համապատասխանում է ֆերոմոլիբդենին՝ FeMo բանաձևով (նկ. 6ա), և ունի բավական համասեռ միկրոկառուցվածք (նկ. 6բ):



Նկ. 6. Մոլիբդենային խտանյութի այլումինաջերմային վերականգնումից ստացված մետաղական ֆազի ոռնտգենագիրը (ա) և միկրոկառուցվածքը (բ)

Նկատվել են նաև Al-ի աննշան մեծությամբ արտացոլումներ: Այդ պայմաններում ստացված մետաղական ֆազն ունի հետևյալ քիմիական բաղադրությունը՝ 35,53% Fe, 64,43% Mo և 0,4% Al: Ըստ Fe-Mo վիճակի դիագրամի՝ ստացված համաձուլվածքը գտնվում է Fe+FeMo տիրույթում:

Հետազոտվել են մոլիբդենային խտանյութի այլումինաջերմային վերականգնման ԲԻՍ գործընթացում այրման ճակատի տարածման առանձնահատ-

կոմպոնենտները՝ գծային արագության և առավելագույն ջերմաստիճանի կախվածությունը բովախառնուրդում առկա վերականգնիչի քանակից: Արդյունքները մշակվել Lab View ծրագրային փաթեթի միջոցով: Ելնելով վերականգնման գործընթացի ջերմաստիճանային պրոֆիլներից, որոշվել են այդ մեծությունների արժեքները: Բացահայտվել են մոլիբդենային խտանյութի այլումինաջերմային վերականգնման եղանակով ֆերոմոլիբդենի ստացման ԲԻՍ գործընթացի կինետիկան և մեխանիզմը, համաձայն որոնց առաջինը վերականգնվում է երկաթը, իսկ խարամների քյուրեղային ցանցի ամբողջականությունը չի խախտվում: Այնուհետև սկսում է վերականգնվել մոլիբդենը, ընդ որում՝ վերականգնված երկաթը նպաստում է մոլիբդենի եռօքսիդի վերականգնմանը, որից հետո ավարտվում են FeMo համաձուլվածքի սինթեզի և սիլիկատառաջացման գործընթացները: Արդյունքում՝ բովախառնուրդի ջերմաստիճանը բարձրանում է՝ հասնելով առավելագույն աստիճանի՝ մինչև 3000K:

**Հինգերորդ գլխում** կատարված համալիր հետազոտությունների հիման վրա առաջին անգամ մշակվել է ուղղակի, անվառարան այլումինաջերմային վերականգնման եղանակով ֆերոմոլիբդենի ստացման ժամանակակից տեխնոլոգիա, որը ներառում է՝ մոլիբդենային խտանյութից և Fe-ի ջարդոններից որոշակի հարաբերությամբ բովախառնուրդի պատրաստում, խառնում կոնաձև խառնիչում, լցում գրաֆիտաշամոտային հրակայուն թասերի մեջ, կոնական փոսի պատրաստում, բռնկիչի տեղադրում, այրում (վերականգնում) բաց օդում, գանգվածի սառեցում, մանրացում և մետաղական ֆազի անջատում խարամից:

Կատարվել է ֆերոմոլիբդենի ստացման գործընթացի տեխնիկատնտեսագիտական հիմնավորում: Հաշվարկվել է մեկ տոննա արտադրանքի լրիվ ինքնարժեքը, որը կազմում է 9303,92 հազ. դրամ: Հաշվարկվել և հիմնավորվել են հավելանյութի ստացման արտադրամասի տեխնիկատնտեսական ցուցանիշները:

### **ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐ ԵՎ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ**

1. Ֆերոմոլիբդենի ստացմանը և կառուցվածքագոյացմանը նվիրված հայրենական և արտասահմանյան գրականության վերոձեռնարկային արդյունքում հիմնավորվել է դժվարահալ մետաղների սուլֆիդների մշակման գործընթացի իրականացումը ոչ ավանդական վառարանային մեթոդներով, այլ ուղղակի, անվառարան այլումինաջերմային վերականգնման եղանակով, որի առավելությունները խիստ ակնառու են գոյություն ունեցող ավանդական եղանակների համեմատ: Արդյունքում՝ մշակվել են աշխատանքի նպատակը, խնդիրները և պաշտպանության ներկայացվող դրույթները:

2. Կատարվել է ելանյութերի ընտրություն: Որպես մոլիբդենային խտանյութ ընտրվել է Հայաստանի Հանրապետության Թեղուտի հանքահարստացուցիչ ֆաբրիկայում արտադրվող խտանյութը: Ուսումնասիրվել են մոլիբդենային խտանյութի քիմիական բաղադրությունը և բնութագրերը: Ընտրվել և հիմնավորվել են չափիչ-հսկիչ սարքավորումները և հետազոտության մեթոդիկան: Հիմնավորվել է բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզի (ԲԻՍ) զուգակցումը մեխանաքիմիական գործընթացների հետ, որը թույլ է տալիս մանրադիսպերս բովախառնուրդից սինթեզել ֆիզիկամեխանիկական բարձր հատկություններով և միկրոկառուցվածքով օժտված նոր նյութեր ու համաձուլվածքներ՝ միաժամանակ ստեղծելով նոր տեխնոլոգիաներ:

3. Կատարվել են այլումինաջերմային գործընթացի թերմոդինամիկական հիմնավորում և վերլուծություն, համաձայն որի՝ տարբեր օքսիդների համատեղ վերականգնման ռեակցիաներում Գիբսի էներգիաների փոփոխության ջերմաստիճանային կախվածության դիտարկումը ցույց է տվել, որ երկաթի օքսիդներն առաջինն են վերականգնվում, ինչի արդյունքում համակարգում ստեղծվում են առավել բարենպաստ էներգետիկական պայմաններ՝ դժվար վերականգնվող օքսիդների վերականգնման ռեակցիաների հավասարակշռության տեղաշարժ դեպի վերականգնումը: Բացահայտվել է, որ երկաթը, լուծելով իր մեջ վերականգնված տարրերը, դրանք արտամղում է ռեակցիայի տիրույթից և դրանով իսկ խոչընդոտում երկրորդական ռեակցիաների ընթացքին (օքսիդացում, ինչպես նաև վերականգնված մետաղների գոլորշիացում):

4. Թերմոդինամիկական հաշվարկներով ցույց է տրվել, որ օքսիդների վերականգնող ունակությունը կախված է ոչ միայն դրանց կայունությունից, որը որոշվում է իզոբար-իզոթերմ պոտենցիալի մեծությամբ, այլև հալույթում դրանց կոնցենտրացիայից: Բացահայտվել է, որ մոլիբդենի եռօքսիդի այլումինաջերմային վերականգնման ժամանակ անջատվող ջերմությունը բավարար է ռեակցիայի ամբողջ ընթացքի համար: Հաշվումները ցույց են տվել, որ վերականգնման ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը 2500K դեպքում համապատասխանում է խարամում 1% մոլիբդենի և 0,4% MoO պարունակությամբ հավասարակշռո կազմին և ուղեկցվում է Գիբսի էներգիայի զգալի փոփոխությամբ, ինչի շնորհիվ գործընթացը կարող է ընթանալ օգտակար տարրի՝ մոլիբդենի բարձր կորզմամբ:

5. Կատարվել է մոլիբդենային խտանյութի այլումինաջերմային վերականգնման գործընթացի ջերմային պարամետրերի՝ ջերմաստիճանի, գծային արագության, բովախառնուրդային նյութերի մանրացման աստիճանի, խարամում ֆերոմոլիբդենի կաթիլների անկման արագության և ձուլակտորի չափսերի

փոփոխության ուսումնասիրություն: Ցույց է տրվել, որ, բացի վերոնշյալ գործոններից, բովախառնուրդային նյութերի հատիկների խոշորության աստիճանը որոշելիս անհրաժեշտ է հաշվի առնել, որ վերականգնիչի հատիկի խոշորությունից է կախված վերականգնված մետաղի նստեցման արագությունը, իսկ այլումինային փոշու հատիկների դիսպերսությունը կարող է դառնալ խարամում ձուլահատիկների տեսքով բարձր կորոստների պատճառ: Որոշվել է բովախառնուրդի այլումինաջերմային վերականգնման գործընթացի իրական տեսակարար ջերմությունը՝ 153,82 կՋ/մոլ.ատոմ, որը միանգամայն բավարար է այլումինաջերմային վերականգնման գործընթացն անվառարան իրականացնելու համար:

6. Ուսումնասիրվել են մոլիբդենային խտանյութում պարունակվող  $MoS_2$ -ի վարքը մեխանաքիմիական և ջերմային փոխարկումների ընթացքում, ինչպես նաև ջերմային բնութագրերը՝ մեխանաքիմիական ակտիվացման գործընթացում: Բացահայտվել է, որ 60 րոպե լաբորատոր թրթռաղացի ջրային միջավայրում ակտիվացման արդյունքում ստացված արգասիքն ամբողջությամբ փոխակերպվում է կոլոիդանման ամորֆ զանգվածի. տեղի է ունենում կորուկ արտահայտված բյուրեղային կառուցվածքի սուր գագաթների կտրացում: Ցույց է տրվել, որ մոլիբդենային հանքանյութի նախնական մեխանիկաքիմիական ակտիվացումը՝  $CaO$ -ի և  $NaNO_3$ -ի առկայությամբ, ունի առավելություններ.  $SO_2$ -ը կապվում է  $CaO$ -ի հետ՝ առաջացնելով անվտանգ  $CaSO_3$ , որը չի խանգարում հետագա մշակման գործընթացին և մնում է խարամի կազմում:

7. Փորձարարական հետազոտություններով ցույց է տրվել, որ մեխանաքիմիական և ջերմային ազդեցությունների արդյունքում ընթացող գործընթացներն ունեն նմանակային բնույթ: Երկու դեպքում էլ փոքր քիմիական ակտիվությամբ օժտված բյուրեղային  $MoS_2$ -ը ենթարկվում է խոր քիմիական փոխակերպումների՝ վերածվելով մոլիբդենի զանազան միացությունների, վերջնական արդյունքում՝ մոլիբդենի ամորֆ օքսիդի, ( $MoO_3$ ), որը ծառայում է որպես հումք բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզի եղանակով ֆերոմոլիբդենի ստացման համար: Ստացված արդյունքները հաստատվել են ռենտգենաֆազային և ջերմաձանրաչափական վերլուծության եղանակներով:

8. Ընտրվել են Հայաստանի Թեղուտի հանքավայրի մոլիբդենային խտանյութից պատրաստված բովախառնուրդի այլումինաջերմային վերականգնման գործընթացի լավարկված պարամետրերը, համաձայն որոնց՝ բովախառնուրդում  $Fe_2O_3$ -ի քանակը պետք է լինի 15գ, վերականգնիչի քանակը՝ տարրաչափային քանակից 25% ավելի, իսկ  $CaO$ -ն՝ 8գ,  $NaNO_3$ -ը՝ 10գ և  $CaF_2$ -ը՝ 5գ, հաշվարկված ըստ 100գ բովախառնուրդի զանգվածի: Արդյունքում՝



ստացվում է 95,6% ելքով և միկրոհոմոգեն կառուցվածքով մոնոֆերոմոլիբդեն, որի քիմիական բաղադրությունն է՝ 36,44 % Fe, 63,16% Mo և 0,4% Al: Ցույց է տրվել, որ ռեակցող նյութերի դիսպերսության մեծացման հաշվին կարելի է շրջանցել մոլիբդենային խտանյութի թրծման դժվարին և աշխատատար գործընթացը և իրականացնել խտանյութի ուղղակի մետաղաձեռմային վերականգնում: Բացահայտվել է, որ դիսպերսայնության մեծացումը նպաստում է նաև վերականգնման գործընթացում ընթացող ռեակցիաների ինտենսիվության մեծացմանը:

9. Lab View ծրագրային փաթեթի միջոցով հետազոտվել են մոլիբդենային խտանյութի այլումինաձեռմային վերականգնմամբ ընթացող ԲԻՍ գործընթացի այրման ճակատի տարածման, գծային արագության և առավելագույն ջերմաստիճանի չափման գործընթացները՝ կախված բովախառնուրդում առկա վերականգնիչի քանակից: Ելնելով վերականգնման գործընթացի ջերմաստիճանային պրոֆիլներից՝ որոշվել են այդ մեծությունների արժեքները:

10. Բացահայտվել են մոլիբդենային խտանյութի այլումինաձեռմային վերականգնման եղանակով ֆերոմոլիբդենի ստացման ԲԻՍ գործընթացի կինետիկան և մեխանիզմը, համաձայն որոնց՝ առաջին հերթին վերականգնվում է երկաթը, և չի խախտվում խարամների բյուրեղային ցանցի ամբողջականությունը: Երկաթի լրիվ վերականգնումից հետո սկսվում է մոլիբդենի վերականգնումը, իսկ վերականգնված երկաթը նպաստում է մոլիբդենի եռօքսիդի վերականգնմանը: Տեղի է ունենում FeMo համաձուլվածքի սինթեզ, որին հաջորդում են սիլիկատաառաջացման գործընթացները: Արդյունքում բովախառնուրդի ջերմաստիճանը բարձրանում է՝ հասնելով առավելագույնի՝ մինչև 3000K:

11. Կատարված համալիր հետազոտությունների հիման վրա առաջին անգամ մշակվել է ուղղակի, անվառարան այլումինաձեռմային վերականգնման եղանակով ֆերոմոլիբդենի ստացման ժամանակակից տեխնոլոգիա, որը ներառում է՝ մեխանաքիմիական մանրացմամբ և ֆլոտացիոն հարստացմամբ ստացված մոլիբդենային խտանյութից և Fe-ի ջարդոններից որոշակի հարաբերությամբ բովախառնուրդի պատրաստում, խառնում կոնաձև խառնիչում, լցում գրաֆիտաշամոտային հրակայուն թասերի մեջ, կոնական փոսի պատրաստում, բռնկիչի տեղադրում, այրում (վերականգնում) բաց օդում, ստացված զանգվածի սառեցում, մանրացում և մետաղական ֆազի անջատում խարամից:

Կատարվել է ֆերոմոլիբդենի ստացման գործընթացի տեխնիկատնտեսական հիմնավորում, համաձայն որի մեկ տոննա արտադրանքի լրիվ ինքնարժեքը կազմում է 9303.92 հազ. դրամ:

**Ատենախոսության հիմնական դրույթները հրատարակված են հետևյալ գիտական աշխատանքներում:**

1. Мартиросян В.А., Лисовская Ю.О., Сасунцян М.Э., Закарян Э.Г. Минерологическое исследование шлаков металлургических заводов Армении // IV Международная конференция по химии и химической технологии.- Ереван (Армения), 2015.- С. 127-130.

2. Мартиросян В.А., Лисовская Ю.О., Сасунцян М.Э., Закарян Э.Г. Получение ферросилиция из шлаков действующих металлургических заводов Армении // IV Международная конференция современные проблемы химической физики.- Ереван (Армения), 2015.- С. 185-186.

3. Мартиросян В.А., Лисовская Ю.О., Сасунцян М.Э., Закарян Э.Г. Поведение шлаков металлургических заводов при механохимической активации // Вестник НПУА: Металлургия, Материаловедение, Недропользование.- Ереван, 2015.- №1.- С. 30-40. ISSN- 1829-3395.

4. Мартиросян В.А., Лисовская Ю.О., Сасунцян М.Э., Закарян Э.Г. Поведение шлаков металлургических заводов при механохимическом активации // IV Международная конференция по химии и химической технологии.- Ереван (Армения), 2015.- С. 130-133.

5. Мартиросян В.А., Савич В.В., Лисовская Ю.О., Сасунцян М.Э., Закарян Э.Г. Поведение шлаков металлургических заводов при механохимической активации // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка.- Материаллы 12-й международной конференции.- Минск, 2016.- С.105-113.

6. Мартиросян В.А., Савич В.В., Лисовская Ю.О., Сасунцян М.Э., Закарян Э.Г. Получение ферросилиция из шлаков действующих металлургических заводов Армении // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка.- Материаллы 12-й международной конференции.- Минск, 2016.- С. 113-115.

7. Мартиросян В.А., Закарян Э.Г., Сасунцян М.Э. Поведение дисульфида молибдена при механохимической и термической обработки молибденитового концентрата // Изв. НАН РА и НПУА.- Сер. ТН.- 2017.- Т. 70.- N 4.- С. 420-430. ISSN 0002- 306X.

8. Мартиросян В.А., Закарян Э.Г. Сасунцян М.Э. Получение ферромolibдена методом СВС // V Международная конференция по химии и химической технологии.- Ереван (Армения), 2017.- С. 313-315.

9. Закарян Э.Г., Сасунцян М.Э. Получение ферромолибдена методом CBC // VII научно-практическая конференция (1 часть), Научный журнал “ RF-China”.- N 17, 2017.- С.56-59. Сайт: <http://rf-china-science.ru>.

10. Мартиросян В.А., Савич В.В., Сасунцян М.Э., Закарян Э.Г. Получение порошков силицидов железа из шлаков металлургических заводов Армении // RS Global / Выпуск №4(22) Web of Scholar.- 2018, p.70-76. ISSN 2518-167X.

11. Զաքարյան Է.Գ. Թեղուտի նախապես մեխանական փոխակազմի մոլիբդենիտային խտանյութից ֆերոմոլիբդենի ստացման գործընթացի հետազոտումը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ տեղեկագիր.- ՏԳ սերիա.- Երևան, 2018.- Հատ.- LXXI.- N 3.- էջ 259-267. ISSN 0002-306X.

12. Мартиросян В.А., Савич В.В., Лисовская Ю.О., Сасунцян М.Э., Закарян Э.Г. Получение порошков разных силицидов железа из шлаков действующих металлургических заводов Армении // Порошковая металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов.- Выпуск 41.- 2018.- С. 46-53. ISSN 0134-9597.

13. Мартиросян В.А., Закарян Э.Г., Сасунцян М.Э. Фазовые превращения дисульфида молибдена при механохимическом и термическом воздействии на молибденитовый концентрат // Черные металлы. Изд. дом "Руда и металлы" (Москва).- Черные металлы, 2019.- № 1.- С. 16–26. DOI: 10.17073/0368-0797-2019-1-8-14, SKOPUS.

14. Զաքարյան Է.Գ. Մոլիբդենային խտանյութի այլումինացերմային վերականգնման եղանակով ֆերոմոլիբդենի ստացման գործընթացի որոշ հարցեր // ՀԱՊՀ - Լրաբեր- 76. - Գիտական և մեթոդական հոդվածների ժողովածու.- Երևան, 2019.- Մաս 2, էջ 476-483:

15. ՀՀ Արտոնագիր № 3256A: Վիլենա Մարտիրոսյան, Մարինե Սասունցյան, Նինա Սահակյան, Էդգար Զաքարյան: Տիտանի, այլումինի և ածխածնի հիմքով փոշենյութի ստացման եղանակ: B22F3/00, 2018.01,C22C 1/00, ներկայացվել է 24.10.2018, տրվել է 15.11.2018:

16. ՀՀ Արտոնագիր № 3319A: Վիլենա Մարտիրոսյան, Մարինե Սասունցյան, Նինա Սահակյան, Էդգար Զաքարյան: Ֆերոհամաձուլվածքի ստացման եղանակ: C22B 34/00, C22C 33/00, ներկայացվել է 09.04.2019, տրվել է 01.08.2019:

17. ՀՀ Արտոնագիր № 3320A: Վիլենա Մարտիրոսյան, Մարինե Սասունցյան, Նինա Սահակյան, Էդգար Զաքարյան, Էրիկ Չոլախյան: Բովախառնուրդ ֆերոհամաձուլվածքի ստացման համար: C22C 33/00, ներկայացվել է 09.04.2019, տրվել է 01.08.2019.

18. Мартиросян В.А., Саакян Н.Г., Сасунцян М.Э., Чолахян Э.А., Закарян Э.Г. Синтез и исследование процесса фазообразования МАХ-фаз типа  $Ti_3AlC_2$  методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза // Вестник НПУА: Metallurgy, Materials Science, Nuclear Energy.- Ереван, 2021.- №2.- С. 23-33. ISSN- 1829-3395.

19. Ջաքարյան Է.Գ. Թեղուտի մոլիբդենիտային խտանյութից բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզի եղանակով ֆերոմոլիբդենի ստացման տեխնոլոգիայի մշակումը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ տեղեկագիր.- ՏԳ սերիա.- Երևան, 2021.- Հատ.- LXXIV.- N 4.- էջ 393-405. ISSN 0002-306X.

20. Zakaryan E.G. Development of Ferromolybdenum Production Technology // Proceedings of the ssholarly abstracts European Academic Science and Eesearsh.- Publisher: EASR, SciPub.De.- 2021.-p. 11.

21. Ջաքարյան Է.Գ. Արտադրական պայմաններում Թեղուտի մոլիբդենիտային խտանյութից ֆերոմոլիբդենի ստացման գործընթացի հիմնավորումը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ տեղեկագիր.- ՏԳ սերիա.- Երևան, 2022.- Հատ.- LXXV.- N 2.- էջ 193-203. ISSN 0002-306X.

22. Ջաքարյան Է.Գ. Թեղուտի նախապես մեխանականորեն փայտանյութային խտանյութից ֆերոմոլիբդենի ստացման գործընթացի հետազոտումը // Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի Լրաբեր.- Գիտական հոդվածների ժողովածու.- Մաս 2.- Երևան, Երևան: Ճարտարագետ, 2022.- էջ 457-464:

## РЕЗЮМЕ

### РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОМОЛИБДЕНА ИЗ ТЕХУТСКОГО МОЛИБДЕНОВОГО КОНЦЕНТРАТА ПУТЕМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГО СИНТЕЗА

Горнодобывающая и металлургическая промышленность Армении является одной из приоритетных сфер экономики республики и обеспечивает большую часть объемов экспорта. По запасам молибдена Армения занимает десятое место в мире. На обогатительных фабриках Каджарана, Агарака и Техута флотационным методом успешно осуществляется отделение молибдена от меди с получением медного (20...25% меди) и молибденового (50% молибдена) концентратов. На основе полученных концентратов молибдена в Республике Армения действуют два завода, которые производят ферромolibден методом металлотермического восстановления. Однако производство ферромolibдена в этих заводах нуждается в совершенствовании. Это особенно актуально для создания эффективной технологии переработки нововывявленного техутского концентрата. Реорганизация действующего производства ферромolibдена связана с определенными трудностями в республике. Существует проблема потери цветных металлов в процессе обжига, которые наносят ущерб предприятию, и выделения нежелательного  $SO_2$ , что создает большие экологические проблемы для окружающей среды. К сожалению, в настоящее время металлургические заводы Армении, которые производят ферромolibден, работают на основе указанного метода.

Перспективным методом производства ферромolibдена является получение молибденового концентрата методом предварительной механохимической активации в сочетании с методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (МА СВС), что позволяет получать специфические материалы и сплавы со значительным снижением энергетических затрат. Благодаря экзотермическим реакциям синтеза данный процесс не требует нагревания извне и проходит внепечным способом, что и является преимуществом данной технологии перед другими.

Целью диссертационной работы является разработка новой, нетрадиционной технологии производства молибденового концентрата методом механоактивации с получением гомогенного и аморфного чистого оксида молибдена -  $MoO_3(VI)$ , обходя процесс обжига и минуя получение нежелательного газа  $SO_2$ , а также разработка технологии получения ферромolibдена методом внепечного алюминиотермического восстановления предварительно механоактивированного молибденового концентрата совместно с СВС и технико-экономическое обоснование разработанной технологии.

Для достижения этой цели были предложены и решены следующие задачи:

➤ выявлены закономерности поведения минерала молибденита, входящего в состав молибденитовых концентратов, при механической и термической обработке;

➤ выявлены поведение теухутского молибденитового концентрата в процессе механической и термической обработки и механохимия, как процесс заменяющий обжиг;

➤ дано теоретическое и термодинамическое обоснование возможности селективного восстановления оксидов молибдена железа при их совместном присутствии с оксидами натрия, кальция и кремния в процессе внепечного аллюминотермического восстановления металлургических отходов;

➤ выявлены технологические закономерности процесса внепечного аллюминотермического восстановления молибденитового концентрата с получением ферромolibденового сплава. Показано, что при содержании 25% избытка  $Fe_2O_3$  и восстановителя в шихте, 8%  $CaO$ , 10%  $NaNO_3$  и 5%  $CaF_2$  от теоретически необходимого содержания можно получить ферромolibденовый сплав с выходом 96,5%;

➤ проведено структурное исследование полученного сплава рентгенофазовым и сканирующим электронно-микроскопическим методами анализов. Согласно результатам электронно-микроскопического анализа, сплавы, полученные из молибденитового концентрата, содержат: 35,53%  $Mo$ , 63,65%  $Fe$  и 0,04%  $Al$ . Эти данные подтверждаются результатами рентгенофазового анализа;

➤ выявлены некоторые теоретические вопросы, связанные с СВС методом восстановления молибденитового концентрата с алюминием. Определены линейная скорость и максимальная температура в зависимости от количества восстановителя. Уточнены некоторые вопросы СВС-механизма процесса получения ферромolibденового сплава методом аллюминотермического восстановления молибденитового концентрата;

➤ разработана производственная технология для получения ферромolibдена путем переработки молибденитового концентрата методом внепечного, аллюминотермического восстановления;

➤ дано технико-экономическое обоснование. Себестоимость 1т продукта составляет 9303.92 тыс. драм, а срок окупаемости цеха – 4,5 года. Использование разработанной технологии позволяет решить ряд экологических вопросов, и ее можно внедрить на заводе "Чистое железо" (г. Ереван) без особых экономических затрат.

Основные результаты диссертации опубликованы в 22 научных работах, 6 из которых без соавторов.

## **SUMMARY**

### **DEVELOPING A TECHNOLOGY FOR OBTAINING FERROMOLIBDENUM FROM MOLYBDENUM CONCENTRATE OF TEGHUT BY THE METHOD OF THE HIGH-TEMPERATURE SELF-PROPAGATING SYNTHESIS**

The mining and metallurgical industry of Armenia is one of the priority sectors of the republic economy and provides most of the export volumes. In terms of molybdenum reserves, Armenia ranks the tenth in the world. Mining of molybdenum from copper by the flotation method, with the production of copper (20–25% copper) and molybdenum (50% molybdenum) concentrates — is successfully carried out at the enrichment plants of Kajaran, Agarak and Teghut. Based on the molybdenum concentrates obtained, in Republic of Armenia, two plants operate which produce ferromolybdenum by the metalothermal reduction method. However, the production of ferromolybdenum in these plants needs to be improved. This is especially important for the creation of an effective technology for processing the Teghut new, not yet used concentrate. The reorganization of the acting ferromolybdenum production is associated with certain difficulties in the republic. There is a problem of loss of non-ferrous metals in the firing process, which causes damage to the enterprise, and the release of undesired  $\text{SO}_2$ , which creates great ecological problems for the environment. Unfortunately, our metallurgical plants, which produce ferromolybdenum, are currently working by this method.

A promising method for the production of ferromolybdenum is to obtain molybdenum concentrate by the method of preliminary mechanochemical activation with a combination of self-propagating high-temperature synthesis (MA SHS), which allows to obtain specific materials and alloys with a significant reduction of energy costs. Due to the exothermic reactions of synthesis, this process does not require heating from the outside, and goes through an extra-furnace process, which is an advantage of this technology over the others.

The aim of the dissertation is to develop a new, unconventional technology for the production of molybdenum concentrate by mechanical activation, to obtain a homogeneous and amorphous pure molybdenum oxide -  $\text{MoO}_3$  (VI), bypassing the burning process and preventing the production of the undesirable  $\text{SO}_2$  gas, as well as the development of a technology for the production of ferromolybdenum by extra-furnace aluminum-thermal reduction of pre-mechanically activated molybdenum concentrate by SHS, and a feasibility study of the developed technology. To achieve this goal, the following tasks are proposed and solved:

- the regularities of the behavior of the molybdenite mineral included in the composition of molybdenite concentrates during mechanical and heat treatment are revealed;
- the behavior of the Teghut molybdenite concentrate in the process of mechanical and heat treatment is revealed, and the mechanochemistry as a substitute for the roasting process during the mechanical and heat treatment of the Teghut concentrate;

- the theoretical and thermodynamic substantiation of the possibility of selective reduction of iron and molybdenum oxides is given, at their joint presence with the oxides of sodium, calcium and silicon in the process of secondary furnace aluminothermic reduction of metallurgical wastes;

- the technological regularities of the processes of extra-furnace aluminothermic reduction of molybdenum concentrate with the production of a ferromolybdenum alloy are revealed. It is shown that when the content in the mixture is 25% of an excess of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and a reducing agent, 10%  $\text{NaNO}_3$  of  $\text{CaO}$  8% and 5%  $\text{CaF}_2$ , from the theoretically necessary content, a ferromolybdenum alloy with a yield of 96,5% can be obtained;

- the structural analysis of the resulting alloy is carried out by the X-ray and scanning electron microscopic analysis methods. According to the results of electron microscopic analysis, the alloys obtained from molybdenite concentrate contain: 35,53% Mo, 63,65% Fe, and 0,04% Al. These data are confirmed by the results of X-ray phase analysis.

- Some theoretical issues related to the process of SHS recovery of molybdenum concentrate with aluminum are revealed. The linear velocity and maximum temperature are determined depending on the amount of the reducer. Some issues of the SHS mechanism of the process of producing a ferromolybdenum alloy and aluminothermic reduction of molybdenum concentrate are clarified.

- a production technology for producing the ferromolybdenum by processing molybdenite concentrate by the extra-furnace aluminothermic reduction method is developed.

- a feasibility study is presented. The cost of 1t of the product is 9303,92 thousand AMD, and the payback period of the workshop is 4,5 years. The developed technology solves a number of environmental issues and can be implemented at the "Pure Iron plant" (Yerevan) without special economic costs.

The main results of the dissertation are published in 22 scientific works, 6 of which have no co-author.

