

Է.Գ. ԶԱՔԱՐՅԱՆ

ԹԵՂՈՒՏԻ ՄՈԼԻԲԴԵՆԻՏԱՅԻՆ ԽՏԱՆՑՈՒԹՅՑ ԲԱՐՁՐՁԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ
ԻՆՔՆԱՏԱՐԱԾՎՈՂ ՄԻՆԹԵԶԻ ԵՂԱՆԱԿՈՎ ՖԵՐՈՍՈԼԻԲԴԵՆԻ ՍՏԱՑՄԱՆ
ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Յույց է տրվել, որ Թեղուտի մոլիբդեն պարունակող սուլֆիդային խտանյութը և դրա բաղադրության մեջ մտնող մոլիբդենային միներալներն 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 գուգակցում, 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:

Առանցքային բառեր. մոլիբդենիտային խտանյութ, դիսպերս մանրացում, մեխանաքիմիական փոխակերպում, մետաղաջերմային գործընթաց, բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզ, ֆերոմոլիբդեն:

Ներածություն. Հայաստանի Հանրապետության տնտեսության զարգացման ծրագրերում կարևոր տեղ է հատկացվում բարձր ամրությամբ, մաշակայունությամբ, կոռոզիակայունությամբ և պահանջվող այլ հատկություններով նոր համաձուլվածքների ստեղծմանը և տեխնոլոգիաների մշակմանը: Այդպիսի հատկություններով օժտված են ֆերոհամաձուլվածքներով, այդ թվում՝ նաև 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 [1]: Մոլիբդենիտի նախնական թրծման և սիլիկաջերմային վերականգնման եղանակով Հայաստանում արտադրում են ֆերոմոլիբդեն: Սակայն ներկայում գործող

տեխնոլոգիան ունի որոշակի 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 գնի վրա: Այսպիսով, ֆերոմոլիբդենի ստացման տեխնոլոգիայի վերարտադրումը ՀՀ Թեղուտի հանքահարստացուցիչ ֆաբրիկայի մոլիբդենիտային խտանյութերի դեպքում 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 գործընթացի ինտենսիվացմանը և սկզբունքորեն նոր մոդիֆիկացված արգասիքների ստացմանը [2-4]: 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: Ուստի մոլիբդեն պարունակող սուլֆիդային խտանյութերից ֆերոմոլիբդենի ստացման ժամանակակից տեխնոլոգիայի մշակումը խիստ արդիական է և բխում է հանրապետության տնտեսության արդի պահանջներից:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը. Ելնելով վերը նշվածից՝ աշխատանքի նպատակն է ՀՀ Թեղուտի մոլիբդենիտային խտանյութերի ռեակցիոն հատկությունների մեծացումը՝ մեխանաքիմիական ակտիվացման եղանակով որպես հիմք մետալուրգիական հետագա գործընթացների ինտենսիվացման համար, և նախապես ակտիվացրած խտանյութից ալյումինաջերմային վերականգնման եղանակով մոդիֆիկացված ֆերոմոլիբդենի ստացման տեխնոլոգիայի մշակումը:

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, այլ ուղղակի, անվառարան ալյումինաջերմային վերականգնման եղանակով, քանի որ վերջինիս 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 հասնում ներթափանցել պինդ նյութի խորքային շերտերը, այլ մնում է մակերեսին՝ մեծացնելով նրա մակերևութային 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:

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 (աղ.): Արդյունքում՝ ընտրվել է նախապես մեխանակտիվացված մոլիբդենային խտանյութի վերականգնման ալյումինաջերմային մեթոդը:

Աղյուսակ

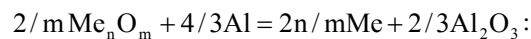
Թեղուտի մոլիբդենիտային խտանյութի քիմիական բաղադրությունը, %

MoS ₂	Mo	Cu	S	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Zn	CaO	MgO
74,25	49,5	0,85	14,63	1,7	2,9	3,5	0,02	0,002	2,0	1,0
74,25	48...51	0,5...1,2	13...15,26	1,4...2,0	2,0...3,8	3...4	0,02	2,0	1,0	1,0

Հետազոտության արդյունքները. Հետազոտվել են մետաղների օքսիդների ալյումինաջերմային վերականգնման գործընթացի հիմնահարցերը և այրման տեխնոլոգիան: Ցույց է տրված, որ բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզն (ԲԻՄ) այրման տեսակ է, որի արդյունքում առաջանում են արժեքավոր պինդ նյութեր: ԲԻՄ գործընթացներում մեծ նշանակություն ունի այրման ալիքում առաջացող նյութի միկրոկառուցվածքի փոփոխությունը, որը կարելի է ներկայացնել որպես «ալյում+կառուցվածքագոյացում» սխեմայով: Այն ընթանում է վառարանից դուրս՝ անվառարան, և որն էլ տեխնոլոգիայի ամենակարևոր առավելությունն է: Օքսիդների ալյումինաջերմային վերականգնումը նույնպես ԲԻՄ գործընթաց է, որն ընթանում է՝ շնորհիվ ելանյութային օքսիդների ու վերականգնիչի

(Al, Si և այլն) միջև ընթացող ջերմանջատիչ քիմիական ռեակցիայից անջատված ջերմության, և տարածվում է այրման ռեժիմով: Մեխանաակտիվացման զուգակցումը ԲԻՄ գործընթացի հետ (ՄԱ ԲԻՄ) ունի կարևոր տեխնոլոգիական նշանակություն: ՄԱ ԲԻՄ գործընթացը բաղկացած է մեխանիկական ակտիվացման և նրան հաջորդող ինքնատարածվող սինթեզի փուլերից: Մեխանաակտիվացման գործընթացում նախնական մանրացումը զգալի ազդեցություն է թողնում ստացված արգասիքի հատկությունների վրա [5-8]: Փոխազդող նյութերի մակերեսը մեծացնելիս և ամորֆ մասնիկների չափերը 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 ԲԻՄ 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 մոլիբդենիտային խտանյութի ալյումինաջերմային գործընթացի թերմոդինամիկական վերլուծություն, որի իրականացման սկզբունքային հնարավորությունը և դրա ընթացքի լիարժեքությունը նախ և առաջ կախված են ալյումինի հետ մետաղի օքսիդների փոխազդեցության թերմոդինամիկական բնութագրերից: Օքսիդների փոխազդեցությունն ալյումինի հետ կարելի է ներկայացնել հետևյալ հավասարումով՝

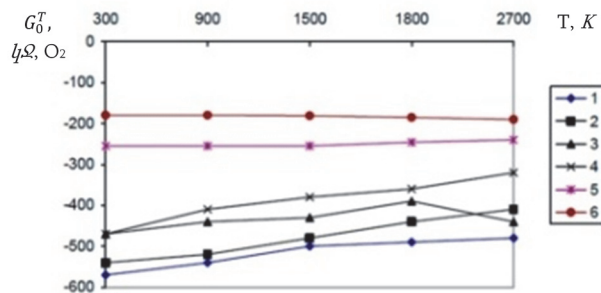


Նշված ռեակցիայի ինքնուրույն ընթացքի հիմնական նախապայմանն ալյումինի օքսիդի առավել բարձր թերմոդինամիկական կայունությունն է՝ համեմատած վերականգնվող մետաղների օքսիդների թերմոդինամիկական կայունության հետ: Մոլիբդենիտային խտանյութի հիմնական բաղադրիչներն են FeO-ն, Fe₂O₃-ը, ազատ SiO₂-ը, աննշան քանակներով պղնձի, ցինկի և կապարի օքսիդները, որոնց պարունակությունը հաշվարկներում կարելի է անտեսել: Ալյումինաջերմային ԲԻՄ գործընթացում կարող են զուգահեռաբար և հաջորդաբար ընթանալ վերականգնման բազմաթիվ ռեակցիաներ: Ռեակցիաների ինքնուրույն ընթանալու չափանիշը հաստատուն ճնշման և ջերմաստիճանի պայմաններում Գիբսի էներգիայի փոփոխության (ΔG_T) նվազումն է: Ռեակցիաների ΔG_T -ի փոփոխության արժեքների համեմատումը հնարավորություն է տալիս որոշել մի ռեակցիայի ընթանալու առավելությունը մյուսի նկատմամբ: ΔG_T -ի արժեքը որոշվել է հետևյալ բանաձևով՝

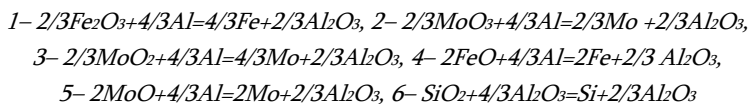
$$\Delta G_T^0 = \Delta H_T^0 - T\Delta S_T^0,$$

որտեղ ΔG_T^0 -ն Գիբսի էներգիայի փոփոխությունն է, ΔH_T^0 -ն՝ համակարգի էնթալպիայի փոփոխությունը, իսկ ΔS_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 ΔG_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 SiO_2 -ը (նկ.1, կոր 6): Օքսիդների վերականգնվող ունակությունը կախված է ոչ միայն դրանց կայունությունից, այլև հալոյթում դրանց կոնցենտրացիայից: Որոշվել է վերականգնման ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունի արժեքը, որը 2500K դեպքում կազմում է 2.10⁴: 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 աստիճանում կորզման:



Նկ. 1. Մոլիբդենիտային խտանյութում պարունակվող օքսիդների ալյումինաջերմային վերականգնման ռեակցիաների ΔG^0 -ի կախվածությունը ջերմաստիճանից.

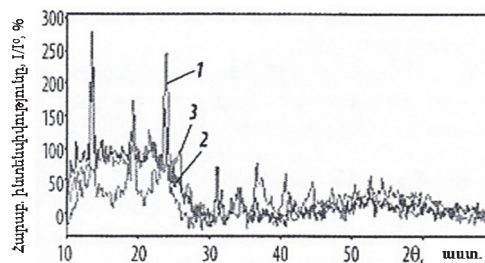


Փոխազդած բովախառնուրդի սյան բարձրությամբ որոշվել է ալյումինաջերմային գործընթացի գծային արագությունը՝ $V_h = h/\tau = (u/l/pq)$: Տվյալ դեպքում 100g բովախառնուրդի՝ $h=8$ սմ և $\tau=25$ վրկ չափսերի դեպքում գծային արագությունը

միջին հաշվով կազմել է $8/25=0,32 \text{ սմ/վրկ}$: Կատարվել են ֆերոմոլիբդենի ալյումինա-ջերմային վերականգնման գործընթացի տեսակարար ջերմության ($2686,65 \text{ կՋ/կգ}$), բովախառնուրդի հալման առավելագույն ջերմաստիճանի (2312 K) և ջերմային կորուստների (3%) տեսական հաշվարկներ: Ցույց է տրվել, որ ստացված պարամետրերը միանգամայն բավարար են ալյումինաջերմային վերականգնման գործընթացն անվտանգ իրականացնելու համար:

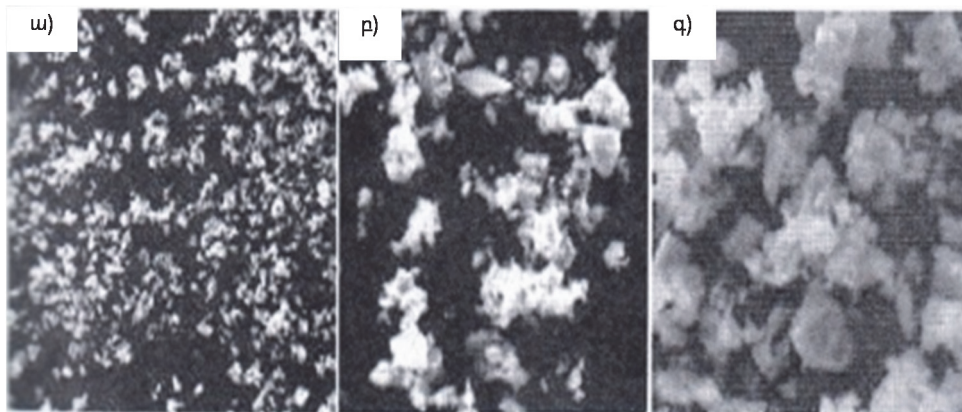
Ուսումնասիրվել է մոլիբդենիտային խտանյութերի ֆազային փոխակերպությունների ընթացքը մեխանաքիմիական և ջերմային մշակման ժամանակ, և կատարվել է ֆերոմոլիբդենի ստացման գործընթացի հետազոտում: Ցույց է տրվել, որ ինչպես առանձին միներալները, այնպես էլ մոլիբդենիտային խտանյութը օդում և ջրային միջավայրում նուրբ մանրացման արդյունքում ենթարկվում են խոր քիմիական փոխակերպությունների, 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 մոլիբդենիտային խտանյութում առկա առանձին միներալների և խտանյութի փոխակերպությունները, ինչի արդյունքում պարզվել է, որ մեխանաքիմիապես ակտիվացված և ջերմային մշակման ենթարկված փորձանմուշների օքսիդացման օրինաչափությունները նման են միմյանց, այսինքն՝ առաջանում են նույն ֆազերը: Մակայն 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 մոլիբդենիտային խտանյութի (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 հետազոտություններով:



Նկ. 2. Մոլիբդենիտի (MoS_2) ջրային ռեժիմում 15, 30 և 60 րոպե ակտիվացման արդյունքում ստացված արգասիքների ռենտգենագրերը

Նկ. 3-ում ներկայացված են մոլիբդենիտի միկրոկառուցվածքները ջրային միջավայրում տարբեր տևողություններով ակտիվացված փորձանմուշների դեպքում, որոնք հաստատում են, որ կախված մանրացման և ակտիվացման տևողությունից՝ տեղի է ունենում փորձանմուշների ամորֆացում: MoS_2 -ից MoO_3 -ի ստացումն ինչպես ջրային միջավայրում, այնպես էլ օդում ուղեկցվում է SO_2 գազի առաջացմամբ, որը նույնպես կարող է բնապահպանական դժվարություններ առաջացնել: Այդ պատճառով մեխանաքիմիական ակտիվացման հետագա փորձերը կատարվել են CaO -ի մասնակցությամբ: Որպես թթվածնի աղբյուր ծառայել է NaNO_3 -ը, որը քայքայվում է՝ անջատելով թթվածին: MoS_2 -ի օքսիդացման գումարային ռեակցիան CaO -ի և NaNO_3 -ի առկայությամբ ունի հետևյալ տեսքը.

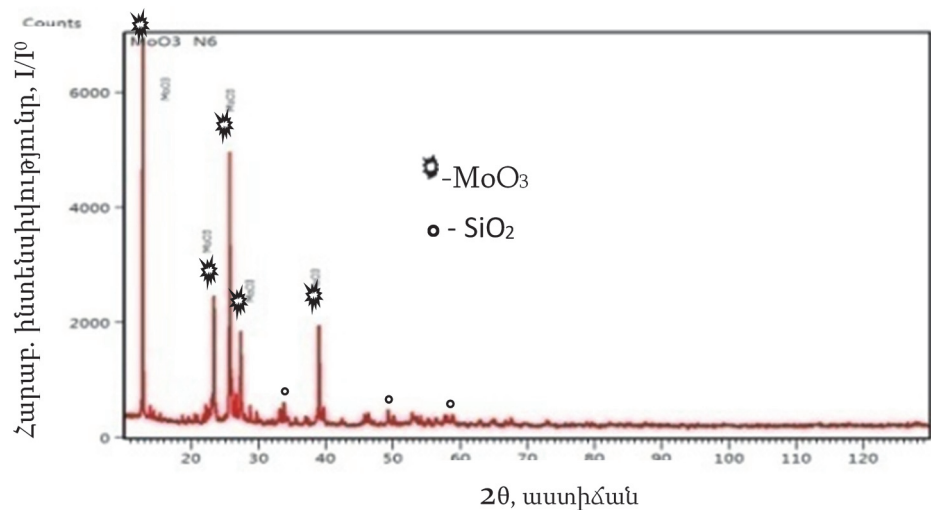


Նկ. 3. Մոլիբդենիտային խտանյութի մեխանաքիմիական ակտիվացման արդյունքում ստացված միկրոկառուցվածքներն ակտիվացրած ջրային ռեժիմում՝ 15 (ա), 30 (բ) և 60 (գ) րոպե տևողություններով ($\times 1000$)

Ստացված CaSO_3 -ը հետագա պիրոմետալուրգիական գործընթացներում վտանգ չի ներկայացնում և մնում է խարամում: Մոլիբդենիտային խտանյութի՝ CaO -ի և NaNO_3 -ի առկայությամբ ինչպես ջրային միջավայրում, այնպես էլ օդում մեխանաքիմիական ակտիվացման հետագա փորձերը ցույց են տալիս մշակված տեխնոլոգիայի ճշգրտությունը:

Ինչպես երևում է նկ. 4-ից, ռենտգենագրում բացառապես երևում են MoO_3 -ի առկայծումները: Այլ արտացոլումներ չեն նկատվել:

Կատարվել են փորձագիտական հետազոտություններ՝ Թեղուտի նախապես մեխանաակտիվացված մոլիբդենային խտանյութից ալյումինաջերմային վերականգնմամբ 36,84% Fe+63,16% Mo բաղադրությամբ ֆերոմոլիբդենի ստացման նպատակով:

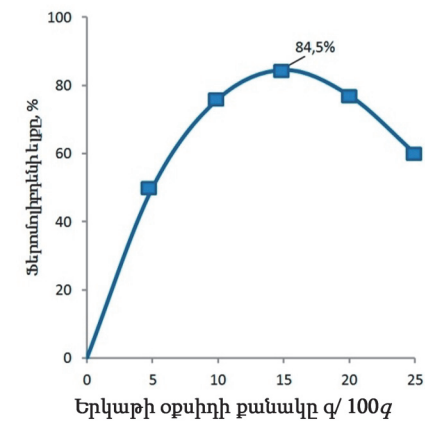


Նկ. 4. Թեղուտի մոլիբդենիտային խտանյութի ռենտգենագիտական վերջնաձևակումից հետո

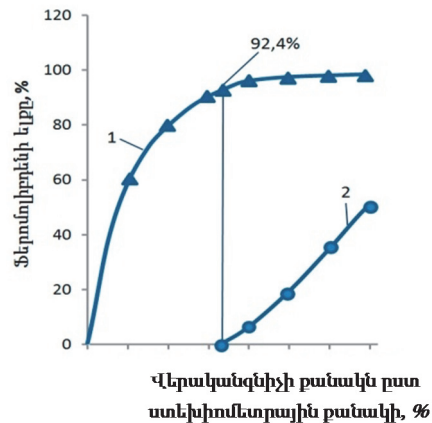
Բովախառնուրդը, բացի մոլիբդենիտային խտանյութից և երկաթի տաշեղներից (կամ Fe_2O_3 -ից), պարունակել է նաև այլ բաղադրիչներ: Մասնավորապես՝ բովախառնուրդի թերմիկությունը մեծացնելու նպատակով ավելացվել է NaNO_3 , իսկ խարամագոյացման համար՝ CaO : Փորձերից հետո ստացված մետաղական զանգվածը կշռվել և ենթարկվել է ինչպես 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 15գ Fe_2O_3 -ի պարունակության դեպքում կամ ստեխիաչափային քանակից 25% ավելցուկի պայմաններում, որի դեպքում համաձուլվածքը հիմնականում բաղկացած է երկաթից և մոլիբդենից՝ ալյումինի չնչին պարունակությամբ: Fe_2O_3 -ի քանակի հետագա մեծացումը հանգեցնում է ֆերոմոլիբդենի ելքի նվազմանը, քանի որ մետաղական ֆազ է անցնում նաև ալյումինը:

Ուսումնասիրվել է նաև մետաղի ելքի կախվածությունը վերականգնիչի (նկ. 5բ), CaO -ի (նկ. 5գ) և NaNO_3 -ի (նկ. 5դ) քանակներից: Ալյումինաջերմային վերականգնման գործընթացում բովախառնուրդի հեղուկահոսունությունը մեծացնելու նպատակով ավելացվում է նաև CaF_2 ՝ բովախառնուրդի քանակի 5%-ի չափով: Այսպիսով, բովախառնուրդի լավարկված պայմաններն են մոլիբդենային խտանյութի, Fe_2O_3 -ի 15%, ալյումինի փոշու 25%-ի, CaO -ի 8% ավելցուկի, 10% NaNO_3 -ի և 5% CaF_2 -ի քանակները՝ ըստ բովախառնուրդի 100գ զանգվածի: Այդ պայման-

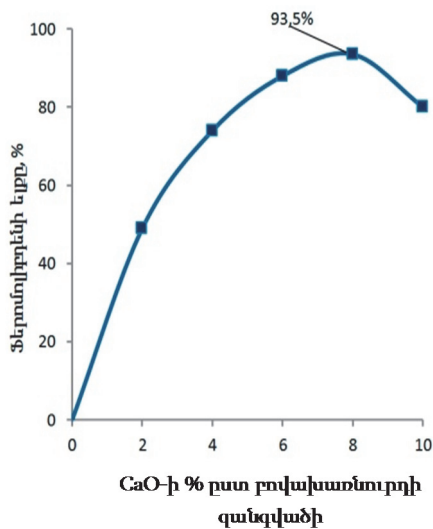
ներում ստացվում է մոնոֆերոմոլիբդեն՝ FeMo, այլումինի չնչին հետքերով, և համաձուլվածքի կորզման աստիճանը հասնում է իր առավելագույն արժեքին՝ 95,6%



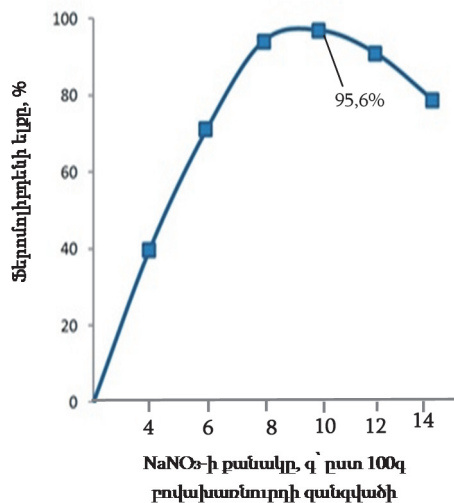
ա)



բ)



գ)

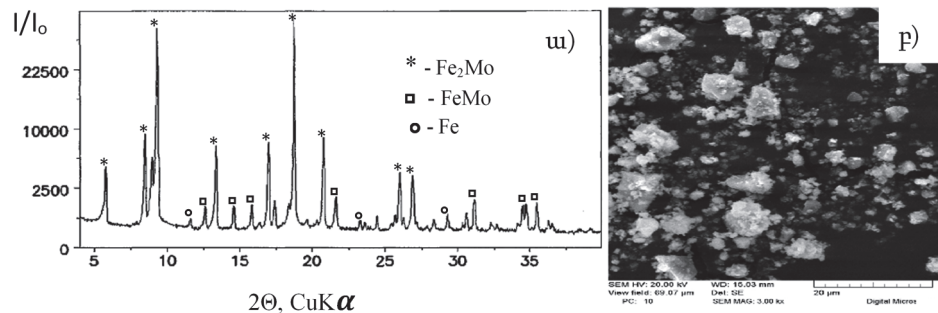


դ)

Նկ. 5. Ֆերոմոլիբդենի ելքի կախվածությունը. ա - երկաթի քանակից, բ - վերականգնիչի և ստացված մետաղական ֆազում այլումինի քանակներից, գ - CaO-ի քանակից, դ - NaNO₃-ի քանակից

Ստացված ֆերոմոլիբդենը ենթարկվել է ռենտգենաֆազային (նկ. 6ա) և մետաղագրական (նկ. 6բ) վերլուծությունների: Ինչպես երևում է ռենտգենագրերից, մետաղական ֆազը հիմնականում բաղկացած է հետևյալ արտացոլումներից՝ FeMo

(2,00x; 1,82x; 1,198A), Fe₂Mo (2,03x; 1,173; 1,432A): Դա համապատասխանում է ֆերոմոլիբդենին՝ FeMo բանաձևով (նկ. 6ա), և ունի բավական համասեռ միկրոկառուցվածք (նկ. 6բ):



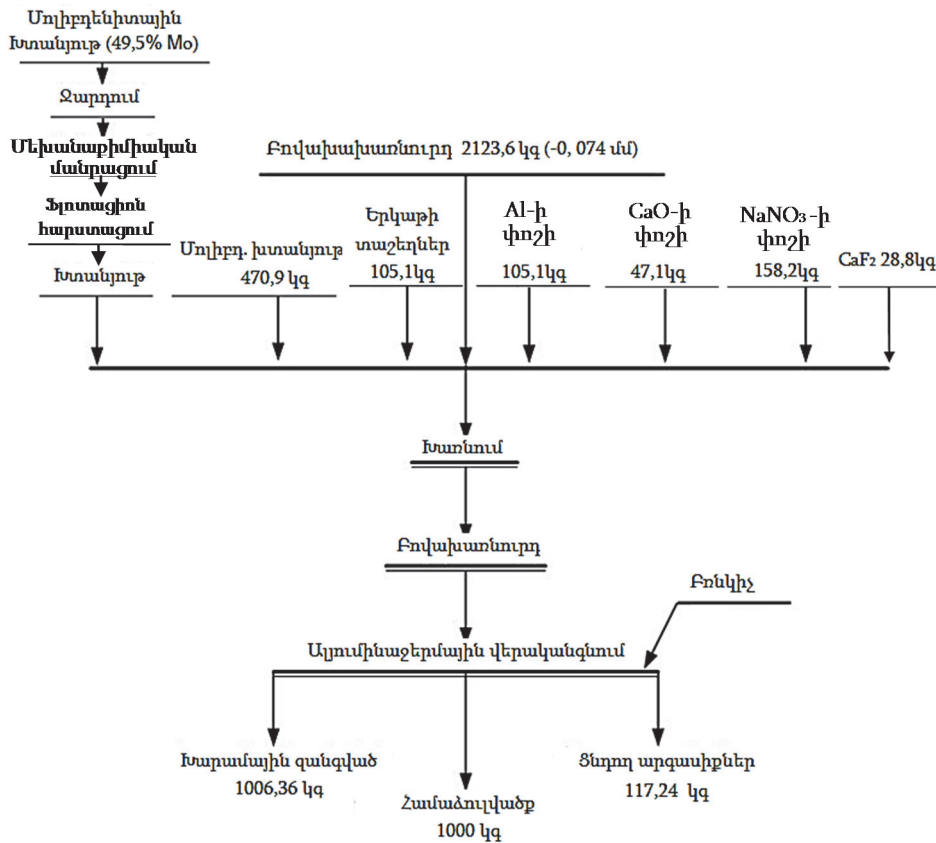
Նկ. 6. Մոլիբդենիտային խտանյութի ալյումինաջերմային վերականգնումից ստացված մետաղական ֆազի ռենտգենագիրը (ա) և միկրոկառուցվածքը (բ)

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: Հստ Fe-Mo վիճակի դիագրամի՝ ստացված համաձուլվածքը գտնվում է Fe+FeMo տիրույթում:

Հետազոտվել են մոլիբդենիտային խտանյութի ալյումինաջերմային վերականգնման ԲԻՄ գործընթացում ալյուման ճակատի տարածման առանձնահատկությունները՝ գծային արագության և առավելագույն ջերմաստիճանի կախվածությունը բովախառնուրդում առկա վերականգնիչի քանակից: Արդյունքները մշակվել են Lab View ծրագրային փաթեթի միջոցով: Ելնելով վերականգնման գործընթացի ջերմաստիճանային պրոֆիլներից, որոշվել են այդ մեծությունների արժեքները: Բացահայտվել են մոլիբդենիտային խտանյութի ալյումինաջերմային վերականգնման եղանակով ֆերոմոլիբդենի ստացման ԲԻՄ գործընթացի կինետիկան և մեխանիզմը, համաձայն որոնց առաջինը վերականգնվում է երկաթը, իսկ խարամների բյուրեղային 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 սիլիկատաառաջացման գործընթացները: Արդյունքում՝ բովախառնուրդի ջերմաստիճանը բարձրանում է՝ հասնելով առավելագույն աստիճանի՝ մինչև 3000 K:

Կատարված համալիր հետազոտությունների հիման վրա առաջին անգամ մշակվել է ուղղակի, անվառարան ալյումինաջերմային վերականգնման եղանակով ֆերոմոլիբդենի ստացման ժամանակակից տեխնոլոգիա (նկ. 7), որը ներա-

ռում է՝ մոլիբդենիտային 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, զանգվածի սառեցում, մանրացում և մետաղական ֆազի անջատում խարամից:



Նկ. 7. Ֆերոմոլիբդենի ստացման տեխնոլոգիական սխեման

Եզրակացություն. Մշակվել է Թեղուտի մոլիբդենիտային խտանյութից արտադրական պայմաններում ընդունելի ֆերոմոլիբդենի ստացման տեխնոլոգիա, որոշվել են լավարկված տեխնոլոգիական ռեժիմները, որոնք ապահովում են նվազագույն ծախսերով ֆերոմոլիբդենի հավելանյութի առավելագույն ելքը: Հիմնավորվել է մոլիբդենի սուլֆիդային խտանյութերի ուղղակի, անվառարան ալյումինաջերմային վերականգնման եղանակով ֆերոմոլիբդենի ստացման կիրառական նշանակությունը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Зеликман А.Н. Молибден: Сборник / Пер. с англ.- М.: Металлургия, 1970.– 440 с.
2. **Мартиросян В.А., Закарян Э.Г., Сасунцян М.Э.** Поведение дисульфида молибдена при механохимической и термической обработке молибденитового концентрата // Изв. НАН РА и НПУА. Сер. ТН.- 2017.- Т. 70, N 4.- С. 420-430. ISSN 0002-306X.
3. **Զարարյան Է.Գ.** Թեղուտի նախապես մեխանաակտիվացված մոլիբդենիտային խտանյութից ֆերոմոլիբդենի ստացման գործընթացի հետազոտումը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ տեղեկագիր. ՏԳ սերիա.- 2018.- Հատ. LXXI, N 3.- Էջ 259-267. ISSN 0002-306X:
4. **Мартиросян В.А., Сасунцян М.Э., Закарян Э.Г.** Фазовые превращения дисульфида молибдена при механохимическом и термическом воздействии на молибденитовый концентрат // Черные металлы.- М.: Изд. дом "Руда и металлы", 2019.- № 1.- С. 16–26. DOI: 10.17073/0368-0797-2019-1-8-14, SKOPUS.
5. **Мартиросян В.А., Лисовская Ю.О., Сасунцян М.Э., Закарян Э.Г.** Поведение шлаков металлургических заводов при механохимической активации // Вестник ГИУА: Металлургия, Материаловедение, Недропользование.- Ереван, 2015.- №1.- С. 30-40. ISSN- 1829-3395.
6. **Мартиросян В.А., Лисовская Ю.О., Сасунцян М.Э., Закарян Э.Г.** Поведение шлаков металлургических заводов при механохимической активации // IV Международная конференция по химии и химической технологии, 14–18 сентября 2015г.- Ереван, 2015.- С. 130-133.
7. МА и МАСВС получения нанокмпозитов металлоксид и интерметаллид оксид / **Т.Ф. Григорьева, Т.Л. Талако, А.А. Новакова, И.А. Ворсина, А.П. Барина, Т.Ю. Киселева, Н.З. Ляхов, П.А. Витязь** // Фундаментальные проблемы современного материаловедения.- 2007.- № 3.- С. 26-31.
8. Поведение шлаков металлургических заводов при механохимической активации / **В.А. Мартиросян, В.В. Савич, Ю.О. Лисовская и др.** // Материалы 12-й Межд. конф. “Новые материалы и технологии: Порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка”, 25-27 мая 2016г.- Минск, 2016.- С.105-113.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 12.11.2021:

Э.Г. ЗАКАРЯН

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОМОЛИБДЕНА ИЗ
ТЕХУТСКОГО МОЛИБДЕНИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА ПУТЕМ
САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО
СИНТЕЗА**

Техутский сульфидный концентрат с содержанием молибдена и минералов молибдена в его составе претерпевает глубокие механохимические превращения в результате диспергирования в воздухе и в воде, тем самым заменяя химические процессы, происходящие на этапе обжига.

Впервые механохимические и металлотермические процессы техутских концентратов сульфида молибдена были объединены, в результате чего получен модифицированный продукт нетрадиционного режима и, минуя процесс предварительного обжига концентрата, решены экологические проблемы.

Выявлены теоретические, кинетические и технологические закономерности и особенности процесса прямого, беспечного металлотермического восстановления техутского сульфидного концентрата, который содержит предварительно механически активированный молибден. Уточнены теоретические вопросы, связанные с механизмом процесса алюминотермического восстановления.

Ключевые слова: молибденитовый концентрат, дисперсионное измельчение, механохимическое превращение, металлотермический процесс, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, ферромolibден.

E.G. ZAKARYAN

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

Teghut molybdenum sulfide concentrate and its molybdenum minerals have been shown to undergo deep mechanochemical transformations as a result of dispersion crushing in air and water, replacing the chemical processes that take place during the roasting phase.

For the first time, a combination of mechanochemical and metallothermal processes of Teghut molybdenum sulfide concentrates was carried out, as a result of which, a fixed product of non-traditional mode was obtained, and bypassing the pre-firing process of the concentrate, environmental issues were solved.

Theoretical, kinetic and technological regularities and peculiarities of the direct, unheated metal-thermal reduction process of Teghut pre-mechanically activated molybdenum sulfide concentrates have been revealed. Theoretical issues related to the mechanism of the aluminum-thermal recovery process were clarified.

Keywords: molybdenum concentrate, dispersion crushing, mechanochemical conversion, metal-thermal process, high-temperature self-propagating synthesis, ferromolibdenum.