

**ՄԵՏԱԼՈՒՐԳԻԱ, ՆՅՈՒԹԱԳԻՏԻԹՅՈՒՆ,
ԸՆԴԵՐՔՕԳՏԱԳՈՐԾՈՒՄ**

ՄԵՏԱԼՈՒՐԳԻԱ ԵՎ ՆՅՈՒԹԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

ՀՏԴ 669.2:669-P953:669.24/29

Հ.Ս. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Հ.Տ. ԱՍՐՅԱՆ

**ՄՈԼԻԲԴԵՆԻ ՀՈՒՄՔԱՅԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԸ ԵՎ ԵՌՕՔՍԻԴԻ ՍՏԱՑՄԱՆ
ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ**

Ուսումնասիրվել են մոլիբդենի հումքային նյութերը և դրանցից մոլիբդենիտի ու մոլիբդենի եռօքսիդի ստացման հնարավորությունները: Հետազոտվել է մոլիբդենիտից մոլիբդենի եռօքսիդի ստացման գործընթացը տարբեր ջերմաստիճաններում: Ցույց են տրվել գործընթացի առանձնահատկությունները և իրականացման ձևերը, համաձայն որոնց՝ մաքուր եռօքսիդ կարելի է ստանալ՝ տեխնիկական մաքրությամբ եռօքսիդը լուծելով ամիակաջրում կամ ցնդման միջոցով, որից այնուհետև կարելի է ստանալ բարձր մաքրությամբ մոլիբդենափոշի:

Առանցքային բառեր. մոլիբդեն, միներալ, խտանյութ, մոլիբդենիտ, եռօքսիդ, վերականգնում, մոլիբդենափոշի:

Ներածություն. Ժամանակակից մետալուրգիական արտադրությանը ներկայացվող կարևորագույն պահանջներից է նորագույն տեխնոլոգիաների ներդրմամբ հանքահումքային ռեսուրսների համալիր օգտագործումը, որոնք կապահովեն ոչ միայն հանքանյութերում գտնվող արժեքավոր կոմպոնենտների կորզումը, այլև կստեղծեն անթափոն արտադրություն և կլուծեն բնապահպանական խնդիրներ:

Հայաստանի Հանրապետությունը, ունենալով գունավոր, հազվագյուտ և ազնիվ մետաղների հանքավայրեր, որոնց պաշարները անսպառ չեն, խիստ կերպով կարևորվում է հանքանյութերի և խտանյութերի համալիր օգտագործումն անթափոն արտադրության ստեղծումով, այդ թվում՝ նաև մոլիբդենի կորզումը, որն անհրաժեշտ է ոչ միայն ֆերոհամաձուլվածքների, այլ նաև մոլիբդենափոշու արտադրության համար:

Տեխնիկայի զարգացմանը զուգընթաց՝ խիստ կարևորվում են բարձրամուր փոշեկոմպոզիտային նյութերը, որոնք անհրաժեշտ են ժամանակակից մեքենաշինության, քիմիական, ավիացիոն, էլեկտրատեխնիկական, ինչպես նաև ռազմական արդյունաբերության հետագա զարգացման համար:

Մեքենամասերի համաշխարհային արտադրության մեջ անընդհատ ավելանում է փոշեկոմպոզիտային նյութերի մասնաբաժինը, որոնց հատկությունների

լավացումն իրականացվում է նրանց կազմի մեջ լեգիրող տարրերի ավելացմամբ: Որպես այդպիսիք օգտագործվում են քրոմի, նիկելի, մանգանի, վոլֆրամի, մոլիբդենի, նիոբիումի, տիտանի, վանադիումի և այլ մետաղափոշիներ:

Ներկայումս թողարկվող մոլիբդենի մոտավորապես 85%-ը օգտագործվում է ֆերոմոլիբդենի արտադրության մեջ, որն իր հերթին հանդիսանում է որպես լեգիրող տարր հատուկ պողպատների արտադրության ժամանակ: Մոլիբդենն ապահովում է մանրահատիկ կառուցվածքով պողպատի ստացումը, բարձրացնելով նրա մեխանիկական հատկությունները: Այն լայն կիրառություն է գտել չժանգոտվող, ջերմակայուն և թթվակայուն պողպատների արտադրության մեջ:

Մոլիբդենի արդյուահանումը և մոլիբդենափոշու ստացումը հանդիսանում են խիստ հրատապ խնդիր հատկապես Հայաստանի Հանրապետության համար, որտեղ առկա են մոլիբդենի մեծ պաշարներ:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը. Աշխատանքի նպատակն է մշակել Քաջարանի մոլիբդենային խտանյութերից մոլիբդենի եռօքսիդի ստացման տեխնոլոգիա, հետագայում նրանից մոլիբդենափոշու ստացման նպատակով՝ Հայաստանի Հանրապետությունում զարգացնելով փոշեմետալուրգիական արդյունաբերությունը:

Համեմատած պիրոմետալուրգիական արտադրության հետ, փոշեմետալուրգիական արտադրության փոքր ծավալներով (մոտ 0,1%) և օգտագործվող հատուկ սարքավորումներով է պայմանավորված մետաղական փոշիների բարձր ինքնարժեքը [1, 2]: Սակայն մետաղափոշիներից ստացված արտադրանքի փոքր ինքնարժեքը և շահագործման բարձր հատկությունները լիովին փոխհատուցում են արտադրական ծախսերը:

Փոշեմետալուրգիայի ապագան խիստ կերպով կախված է հանքաքարերից մետաղափոշիների ստացման նոր մեթոդների մշակումից: Դա առաջին հերթին բացատրվում է ոչ միայն տնտեսական արդյունավետությամբ, այլ նաև մետաղափոշու որակով, որը երաշխավորում է տրված քիմիական կազմով և ֆիզիկատեխնոլոգիական հատկություններով օժտված արտադրանքի ստացումը: Այս առումով հեռանկարային են մետաղափոշիների մշակման այնպիսի եղանակները, ինչպիսիք են գլոցումը, տաք արտամղումը (էքստրուզիան), իմպուլսային խտացումը, հիդրոստատիկ մամլումը և այլն [3, 4, 5, 6]:

Քանի որ օդում տաքացնելիս 500°C բարձր ջերմաստիճանում մոլիբդենն առաջացնում է ցնդող օքսիդ, հետևաբար՝ բարձր ջերմաստիճաններում տաքացումը պետք է իրականացնել վակուումում, ինչպես նաև վերականգնիչ կամ չեզոք գազերի միջավայրում: Մոլիբդենին բնորոշ է բարձր կոռոզիոն հատկությունը: Թթուները (ազոտականը, արքայաջուրը), օքսիդացած աղերի հալվածքը (կալիումի

նիտրատը) և հալված հիմքերն արագ քայքայում են մոլիբդենը: Շատ բարձր ջերմաստիճաններում մոլիբդենը քայքայում են նաև ջրային գոլորշիները, ազոտի օքսիդը և ծծմբային գազը: Սակայն մի շարք հիմնային լուծույթների, ծծմբային, աղաթթվի և ֆտորաթթվի նկատմամբ այն կայուն է, ընդ որում՝ կայուն է տարբեր ջերմաստիճաններում և տարբեր կոնցենտրացիաների պայմաններում: Մոլիբդենը համեմատաբար իներտ է ածխաթթու գազի, ազոտի և դիսոքսիդացված ամոնիակի նկատմամբ մինչև 1100°C և կայուն է հեղուկ հիմնային մետաղների նկատմամբ, ինչպիսիք են սնդիկը, մագնեզիումը, բիսմուտը և այլն: Այս հատկության շնորհիվ մոլիբդենը մեծ կիրառություն է գտել քիմիական արդյունաբերությունում սարքավորումների պատրաստման մեջ:

Մի շարք լեգիրող տարրեր էապես մեծացնում են մոլիբդենի մեխանիկական հատկությունները՝ չփոխելով ֆիզիկական հատկությունները: Ընդ որում՝ նրա բոլոր համաձուլվածքները պինդ լուծույթներ են: Մոլիբդենն առաջացնում է MoO₃ և MoO₂ կայուն, ինչպես նաև մի շարք միջանկյալ օքսիդներ:

Մոլիբդենի ստացման տեխնոլոգիայում կարևոր նշանակություն ունեն նատրիումի և ամոնիումի մոլիբդատները, պարա- ու պոլիմոլիբդատները, ինչպես նաև կալցիումի և երկաթի մոլիբդատները: Նրանց հատկությունները փոխադարձ կապով կախված են տեխնոլոգիական գործընթացներից [7, 8]:

Բնության մեջ հայտնի է մոլիբդենի մոտ 20 միներալ, սակայն պրակտիկայում գործ ենք ունենում 4 միներալների հետ: Մաքուր մոլիբդենը բնության մեջ հանդես չի գալիս: Հիմնական միներալներն են՝

- մոլիբդենիտը (MoS₂), որն արտաքին տեսքով նման է գրաֆիտին, բայց ծանր է նրանից 2 անգամ (տեսակարար կշիռը՝ 4,7 գր/սմ³): Մաքուր միներալը պարունակում է 59,95% մոլիբդեն և 40,05% ծծումբ,
- վոլֆենիտը (PbMoO₄) որը բնության մեջ հանդիպում է կապարային այլ հանքանյութերի հետ (տեսակարար կշիռը՝ 6,7...7 գր/սմ³): Մաքուր միներալը պարունակում է 26,15% մոլիբդեն,
- պովելիտը (CaMoO₄), որը պարունակում է 47,98 % մոլիբդեն,
- մոլիբդիտը (Fe₂O₃ . 3MoO₃ . 7,5H₂O), ավելի ճշգրիտ՝ xFe₂O₃ . yMoO₃ . zH₂O:

Բնական մոլիբդենային հանքանյութերում մոլիբդենի պարունակությունը բավական քիչ է, և այն չի կարող անմիջապես օգտագործվել մոլիբդենի և նրա համաձուլվածքների ստացման համար: Մոլիբդենիտի կորզումը հանքանյութերից, ֆլոտացիոն հարստացման եղանակով, կազմում է 90-95%:

Սովորաբար ձգտում են օգտագործել այնպիսի խտանյութեր, որոնց մեջ MoS₂-ի պարունակությունը բարձր է, որը պետք է լինի ոչ պակաս 78-83%-ից:

Թողարկվող մոլիբդենիտային խտանյութերը՝ ըստ մոլիբդենի և խառնուրդների պարունակության, պետք է բավարարեն աղ. 1-ում բերված պահանջները:

Մոլիբդենիտային խտանյութերը, որոնք հիմնականում պարունակում են մոլիբդեն, նախ և առաջ ենթարկվում են օքսիդացման (օքսիդացուցիչ թրծում կամ քայքայում ազոտական թթվով)՝ ծծմբի հեռացման նպատակով:

Օքսիդացուցիչ թրծման ժամանակ մոլիբդենիտային խտանյութերում գտնվող մոլիբդենիտը փոխարկվում է մոլիբդենի եռօքսիդի (MoO_3) կամ, այսպես կոչված, կիսայրուքի: Ամոնիումի պարամոլիբդատի ստացման նպատակով կիսայրուքը ենթարկում են ամոնիակով լվացահանման: Այնուհետև ստացված լուծույթը ենթարկում են մաքրման ծանր գունավոր մետաղներից, որից հետո լուծույթից ստանում են մաքուր ամոնիումի պարամոլիբդատ [9, 10, 11]:

Աղյուսակ 1

Մոլիբդենիտային խտանյութի մակնիշը և կազմը, %

Մակնիշը	Mo ոչ պակաս	Խառնուրդները, ոչ ավելի, %				
		SiO ₂	As	Sn	P	Cu
KM-1	50	5	0,07	0,07	0,07	0,5
KM-2	48	7	0,07	0,07	0,07	1,0
KM-3	47	9	0,07	0,07	0,15	2,0

Կիսայրուքը, որը ստացվում է հարուստ մոլիբդենիտային խտանյութերի թրծմամբ, կարող է անմիջականորեն օգտագործվել ֆերոմոլիբդենի արտադրության մեջ: Դրա համար թողարկվող կիսայրուքը պետք է բավարարի աղ. 2-ում ներկայացվող պահանջները:

Աղյուսակ 2

Մոլիբդենի եռօքսիդին ներկայացվող տեխնիկական պահանջները, %

Մակնիշը	Mo ոչ պակաս	Խառնուրդները, ոչ ավելի, %					
		As	Sn	P	Cu	C	S
KMO-1	55	0,07	0,07	0,07	0,6	0,08	0,15
KMO-2	53	0,07	0,07	0,07	1,2	0,10	0,18
KMO-3	50	0,07	0,07	0,07	2,4	0,12	0,20

Հայտնի են նաև մոլիբդենիտային խտանյութերի վերամշակման այլ եղանակներ՝ ազոտաթթվական քայքայում, քլորացում, ավտոկլավային լվացահանում օքսիդացուցի առկայությամբ և այլն: Այս բոլոր եղանակները, բացի ազոտաթթվական քայքայման եղանակից, առայժմ պրակտիկ կիրառություն չեն գտել, որի պատճառը համապատասխան հանքահումքային պաշարների բացակայությունն է:

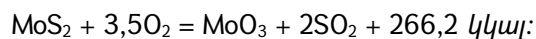
Մոլիբդենիտային խտանյութերը մոլիբդենափոշու, ֆերոմոլիբդենի և մոլիբդենի տարբեր քիմիական միացությունների ստացման համար հիմնական ելանյութեր են, որոնցից կարևորագույններն են մոլիբդենի եռօքսիդի, ամոնիումի պարամոլիբդատը և նատրիումի ու կալցիումի մոլիբդատները:

Անկախ նրանից, թե ինչպիսի արտադրանք է պահանջվում ստանալ, սկզբնական տեխնոլոգիական օպերացիան օքսիդացուցիչ թրծումն է, որի արդյունքում ստացվում է կիսայրուք: Այն բաղկացած է մոլիբդենի եռօքսիդից, որն աղտոտված է տարբեր խառնուրդներով: Կիսայրուքը այնուհետև ուղարկվում է ֆերոմոլիբդենի, մոլիբդենափոշու կամ էլ մոլիբդենի մաքուր միացությունների ստացման արտադրություն: Մաքուր մոլիբդենի եռօքսիդի ստացման համար կիրառվում են ցնդման եղանակով մաքուր մոլիբդենի եռօքսիդի ստացման և կիսայրուքի հիդրոմետալուրգիական (քիմիական) եղանակով վերամշակման տեխնոլոգիա [9, 12, 13, 14, 15], որի էությունը ամոնիակի, սոդայի կամ նատրիումի հիդրօքսիդի միջոցով կիսայրուքի լվացահանումն է: Այդ դեպքում մոլիբդենն անցնում է լուծույթ (նատրիումային կամ ամոնիումային) աղերի տեսքով, որից ստանում են մոլիբդենաթթու, կալցիումի մոլիբդատ և ամոնիումի պարամոլիբդատ:

Հետազոտության արդյունքները. Մոլիբդենիտային խտանյութի օքսիդացուցիչ թրծումն իրականացվել է՝ ելնելով այն բանից, թե ստացված կիսայրուքը ինչ նպատակի պետք է ծառայի: Եթե կիսայրուքը պետք է օգտագործվի ֆերոմոլիբդենի արտադրությունում, ապա թրծման գործընթացը կատարվում է այնպես, որ այրվի խտանյութում գտնվող համարյա ամբողջ ծծումբը, իսկ եթե կիսայրուքը պետք է ուղարկվի հետագա հիդրոմետալուրգիական մշակման՝ մոլիբդենափոշու ստացման նպատակով, ապա գործընթացը կատարվում է այնպես, որ խտանյութում գտնվող ամբողջ մոլիբդենը լուծվի ամիակում:

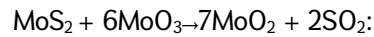
Մոլիբդենիտային խտանյութը, բացի մոլիբդենիտից, պարունակում է պիրիտ (FeS_2), խալկոպիրիտ (CuFeS_2), խալկոզին (Cu_2S), կովելին (CuS), արսեն և այլ խառնուրդներ:

450-500°C ջերմաստիճաններում, օդի պայմաններում օքսիդացուցիչ թրծման ժամանակ տեղի է ունենում մոլիբդենի օքսիդացում հետևյալ ռեակցիայով՝



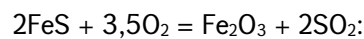
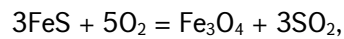
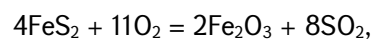
Ա.Ն.Ջելիկմանը և Լ.Վ. Բելյանսկին [16, 17] ցույց են տվել, որ մոլիբդենիտի հալման ջերմաստիճանը բավական բարձր է՝ հավասար 1650-1700°C, և հիմնավորել են նրա ջերմային կայունությունը: Հետևաբար՝ թրծման գործընթացում հնարավոր չէ MoS_2 -ի դիսոցացում:

Առաջացած մոլիբդենի եռօքսիդը փոխազդում է մոլիբդենիտի հետ հետևյալ ռեակցիայով՝

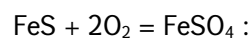
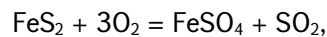


Օքսիդացուցիչ թրծման ժամանակ պղնձի և երկաթի սուլֆիդները օքսիդանում են, առաջացնելով օքսիդներ և սուլֆատներ:

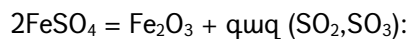
300-500°C-ից բարձր ջերմաստիճաններում երկաթի սուլֆիդը օքսիդանում է հետևյալ ռեակցիայով՝



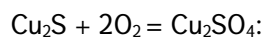
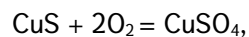
Ցածր ջերմաստիճաններում՝ 350-400°C, երկաթի սուլֆիդը օքսիդանում է մինչև սուլֆատ հետևյալ ռեակցիայով՝



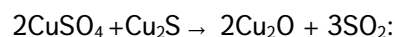
450-550°C-ից բարձր ջերմաստիճանում սուլֆատը քայքայվում է, առաջացնելով օքսիդ.



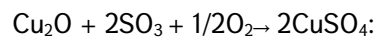
Պղնձի սուլֆիդը ցածր ջերմաստիճաններում օքսիդանում է սուլֆատի՝



300-400°C ջերմաստիճաններում ինտենսիվ ընթանում է հետևյալ ռեակցիան.



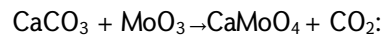
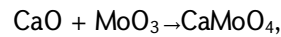
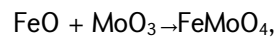
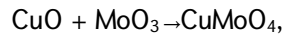
Կախված վառարանային գազերի կազմից, պղնձի ենթօքսիդը սուլֆատացվում է հետևյալ ռեակցիայով՝



600-650°C-ից բարձր ջերմաստիճաններում տեղի է ունենում պղնձի սուլֆատի դիսոացում:

Բացի նշված ռեակցիաներից, 500-600°C ջերմաստիճաններում տեղի է ունենում պղնձի, երկաթի և կալցիումի օքսիդների, ինչպես նաև կալցիումի կար-

բոնատի փոխազդեցություն պինդ վիճակում, առաջացնելով պղնձի, երկաթի և կալցիումի մոլիբդատներ հետևյալ ռեակցիաներով՝



Քվարցը պրակտիկորեն չի փոխազդում մոլիբդենի եռօքսիդի հետ, իսկ առաջացած արսենի օքսիդը ցնդում է և հեռանում վառարանային գազերի հետ:

Օքսիդացուցիչ թրծման գործընթացում, ելնելով մոլիբդենիտի և խառնուրդների վարքից, կարելի է եզրակացնել, որ կիսայրուքը պարունակում է մոլիբդենի եռօքսիդ, օքսիդներ և մասամբ պղնձի ու երկաթի սուլֆատներ, ինչպես նաև կալցիումի, պղնձի և երկաթի մոլիբդատներ:

Թրծման ջերմաստիճանի բարձրացումը՝ 600-700°C-ից բարձր, նպատակահարմար չէ, որովհետև տեղի է ունենում մոլիբդենի եռօքսիդի ցնդում: Իսկ ջերմաստիճանի բարձրացումը մինչև 795°C անթույլատրելի է, քանի որ այդ ջերմաստիճանում մոլիբդենի եռօքսիդը հալվում է:

Մոլիբդենիտային խտանյութերի թրծումն իրականացվում է հետևյալ ազդեցատներում.

1. բոցային և մուֆելային վառարաններում՝ ձեռքով պարբերաբար խառնելով,
2. պտտվող թմբուկային վառաններում,
3. բազմահատակային վառաններում,
4. եռացող շերտով վառարանում:

Թրծումը բոցային և մուֆելային վառաններում կատարվում է 60-70 մմ հաստությամբ շերտով: Խտանյութը աստիճանաբար շարժվում է 450°C ջերմաստիճանային գոտուց 680-700°C ջերմաստիճանային գոտի: 450°C ջերմաստիճանում հիմնականում հեռանում են խոնավությունը և օրգանական խառնուրդները, որոնք խտանյութ են անցել հարստացման գործընթացում: Ծծմբի հիմնական մասն այրվում է 600-700°C ջերմաստիճանային գոտում: Ծծմբի վերջնական պարունակությունը կիսայրուքում կազմում է 0,1-0,2%:

Օքսիդացումը սկսվում է արտաքին շերտից և տարածվում խտանյութի ներքին շերտի վրա: Քանի որ գործընթացն ընթանում է ջերմության անջատմամբ, ապա հնարավոր է նաև արտաքին շերտի հալում (MoO_3 -ի հալման ջերմաստիճանը 795°C):

Օքսիդացման գործընթացի արագացման և հալման կանխարգելման նպատակով իրականացվում է խտանյութի պարբերական խառնում: Մոլիբդենի կո-

րուստը կազմում է 2-3% (մոլիբդենի ցնդման հաշվին): Փոշեորսման համար օգտագործվում են փոշեխցեր, պարկային ֆիլտրեր և էլեկտրաֆիլտրեր:

Մուֆելային վառարաններում թրծումը նման է բոցային վառաններում թրծմանը: Թրծման այս եղանակները նպատակահարմար են խտանյութի ոչ մեծ քանակությամբ թրծման համար և քանի որ ունեն ցածր արտադրողականություն, պահանջվում է ձեռքի մեծ աշխատանք: Բացի դրանից, մեխանիկական կորուստները բավական մեծ են, որոնք կապված են ձեռքով բարձման և բեռնաթափման հետ [12, 13,14]:

Պոտվող խողովակային վառարաններում թրծումը հնարավորություն է տալիս գործընթացը վարել անընդհատ ռեժիմով, որն էլ ապահովում է համեմատաբար բարձր արտադրողականություն: Թրծումը կատարվում է 600-700°C ջերմաստիճաններում: Վառարանը ներսից երեսապատված է շամոտային աղյուսով: Թմբուկի ներսի տրամագիծը կազմում է 1,5մ, երկարությունը՝ 20մ, պտտման արագությունը՝ 0,5 պտ/րոպ, թեքությունը՝ 1,5°: Օրական կարող է թրծման ենթարկվել 4...5տ խտանյութ: Թրծման ենթարկվող խտանյութը պետք է ունենա հետևյալ բաղադրությունը՝ 89-90%MoS₂, 4-5%FeS, 1-2%CuS, 5-10%SiO₂: Ստացված կիսայրուքն ունի հետևյալ կազմը՝ 84-89%MoO₃, 3-4%Fe₂O₃, 0,5-2%CuO, 7-11%SiO₂, 0,05%S:

Այս տիպի վառարաններում մեխանիկական կորուստները հասցված են նվազագույնի, սակայն տեղի է ունենում մեծ չափով փոշեհոսացում, քանի որ վառարանի պտտման ժամանակ խտանյութի որոշ մասը գտնվում է կախված վիճակում և կարող է հեռանալ վառարանային գազերի հետ: Որպես վառելանյութ օգտագործում են մագուի կամ բնական գազ [12, 13, 14]: Գործընթացի թերություններից է ագրեգատի ցածր արտադրողականությունը:

Բազմահատակային վառարաններում թրծումը կատարվում է 8, 12 և 16-հատականի վառարաններում 4...5,4 մ տրամագծով: Յուրաքանչյուր հատակում կիսայրուքը խառնվում է երկու թիակներով: Նյութերի և գազերի հակահոսքի սկզբունքն ապահովում է խտանյութի մասնիկների ինտենսիվ օքսիդացումը: Հակահոսքն ապահովում է ջերմության լրիվ օգտագործումը, և գործընթացն ընթանում է մոլիբդենի օքսիդացման ջերմության հաշվին, եթե խտանյութում մոլիբդենի պարունակությունը կազմում է ոչ պակաս 40%:

Որպեսզի ապահովվի ծծմբի ամենամեծ այրումը, ներքևի հատակներին տեղադրվում են բոցամուղներ: Հատակներում ջերմաստիճանը չի գերազանցում 600-650°C և կարող է կարգավորվել յուրաքանչյուր հատակին օդի տրման միջոցով [14]:

Օդը տրվում է վառարան ներքևից, իսկ հեռանում է միայն վերևի անցքից և կարող է տրվել յուրաքանչյուր հատակին և այնտեղից էլ հեռացվել: Վերջին դեպքում ապահովվում է ավելի բարձր արտադրողականություն 60...70 կգ/մ³օր, քան առաջին դեպքում, որն ապահովում է 25...40 կգ/մ³օր:

Խտանյութերի թրծման համար, որը նախատեսված է ֆերոմոլիբդենի արտադրության համար, բազմահատակային վառարաններում ստացված կիսայրուքը պարունակում է 0,05...0,12% ծծումբ: Փոշեհեռացումը կազմում է 8...10%: Վառարաններում, որոնցում տեղադրված են էլեկտրաֆիլտրեր, մոլիբդենի կորզումը կազմում է 97,3...97,5%:

Եռացող շերտով վառարաններում մոլիբդենիտային խտանյութերի թրծման եղանակն առաջին անգամ վերամշակվել և արտադրության մեջ ներդրվել է նախկին ԽՍՀՄ գիտնականների կողմից [17, 18, 19]: Մոլիբդենիտային խտանյութերի թրծումը եռացող շերտով թրծման վառարաններում ունի հետևյալ առավելությունները.

ա) բարձրանում է կիսայրուքի որակը. մոլիբդենի ուղղակի կորզումը կիսայրուքից ամիակային լուծույթով 7...12% մեծ է, քան բազմահատակային վառարաններում թրծումը, որն արդյունք է մոլիբդատների և մոլիբդենի ցածր օքսիդների քիչ պարունակության;

բ) մեծանում է տեսակարար արտադրողականությունը (10...12 անգամ մեծ է բազմահատակայինի համեմատ) և կազմում է 1,5...1,6 տ/մ³օր;

գ) գործընթացը տեղի է ունենում մոլիբդենիտի օքսիդացման հետևանքով անջատված ջերմության հաշվին;

դ) գործընթացը հեշտ է ենթարկել ավտոմատացման, որը հնարավորություն է տալիս կայուն պահել թրծման օպտիմալ ռեժիմը:

Եռացող շերտով թրծման գործընթացը կատարվում է 585...595°C ջերմաստիճանում:

Փոշեհեռացումը, գազերի հոսքի 5...7 սմ/վրկ արագության դեպքում, կազմում է 24...45%: Վառարանից հեռացող փոշին ունի ցածր օքսիդացման աստիճան (60...80%), որը գործընթացի էական թերություններից է:

Մոլիբդենիտային խտանյութերի նախնական հատիկավորումը՝ մինչև 0,25...2 մմ, հնարավորություն է տալիս մեծացնելու փոշիների օքսիդացման աստիճանը մինչև 90%:

Մոլիբդենային խտանյութերը հանդիսանում են թանկարժեք ռենիում մետաղի կորզման համար որպես հիմնական հումքի աղբյուր: Նրա պարունակությունը երկրակեղևում կազմում է 10⁻⁷%: Մոլիբդենիտային խտանյութերում ռենիումի պարունակությունը կազմում է 2.10⁻⁵...5.10⁻⁷%: Մոլիբդենիտային խտանյութերի

օքսիդացուցիչ թրծման ժամանակ, օդի ավելցուկի պայմաններում, ռենիումը օքսիդանում է՝ առաջացնելով Re_2O_7 : Թրծման ջերմաստիճանում ($550\text{-}600^\circ\text{C}$) Re_2O_7 -ը ցնդում և հեռանում է գազի հոսքով: Թրծման ժամանակ, օդի ոչ բավարար պայմաններում, կարող են առաջանալ ռենիումի ցածր օքսիդներ (ReO_3 , ReO_2): Ուստի ռենիումի ամբողջական հեռացման համար խտանյութի թրծումը պետք է իրականացնել օդի ավելցուկի պայմաններում: Ամենից բարձր ցնդման աստիճանն ապահովվում է եռացող շերտով թրծման ժամանակ: Այդ դեպքում գազային ֆազ է անցնում ռենիումի 95...97%-ը [20]: Ռենիումի արդյունավետ որսում ապահովվում է թաց փոշեորսիչներում: Ամենից լրիվ որսում ապահովվում է թաց էլեկտրաֆիլտրերում (սկրուբեր, թաց էլեկտրաֆիլտրեր) [21]: ԱՄՆ-ում կիրառվում է սկրուբեր համակարգը [22]: Կիսայրուքներում մնացած ռենիումը, ամոնիումի պարամոլիբդատի բյուրեղացումից հետո [23], կոնցենտրացվում է մայր լուծույթում կամ լուծույթում և անջատվում է կալցիումի մոլիբդատի նստեցումից հետո [24]:

Ռենիումի կորզման համար փոշիները ենթարկում են թրծման, այնուհետև մշակում ջրով, որի արդյունքում ստացված լուծույթում առաջանում է ռենիումաթթու: Այնուհետև լուծույթը մշակելով կալիումի քլորիդով՝ ստանում են կալիումի պերոտենատ (KReO_4), որը նստում է հատակին:

Ցնդմամբ մոլիբդենի եռօքսիդի ստացման եղանակի հիմքում ընկած է նրա ցնդման հատկությունը, որը նշանակալի կերպով նկատվում է դեռ մինչև նրա հալման ջերմաստիճանը, սակայն ավելի նշանակալից ցնդում նկատվում է հալման ջերմաստիճանից (795°C) բարձր ջերմաստիճաններում: Գործընթացն ընթանում է բավարար արագությամբ $900\text{-}1100^\circ\text{C}$: Այս դեպքում գործընթացն արագանում է, եթե մոլիբդենի եռօքսիդի գոլորշիներն անընդհատ հեռացվում են օդի շիթով: Գոլորշիացման արագությունը կարող է մեծանալ նաև վակուումի պայմաններում: Մեծ քանակությամբ խառնուրդներ (երկաթի, պղնձի, ալյումինի, սիլիցիումի օքսիդներ) չեն ցնդում $900\text{-}1000^\circ\text{C}$ ջեմաստիճանում: Կապարի մոլիբդատը (PbMoO_4) սկսում է ցնդել 1050°C -ում, հետևաբար՝ կապարի մոլիբդատի առկայության պայմաններում գործընթացը կատարվում է 1000°C -ից ցածր ջերմաստիճաններում: Քվարցը պրակտիկորեն չի ցնդում և չի ազդում ցնդման գործընթացի վրա:

Ցնդմամբ ստացված մոլիբդենի եռօքսիդը պարունակում է 99,95% MoO_3 : Ցնդման գործընթացն իրականացվում է տարբեր սարքավորումներում՝ պտտվող էլեկտրական վառարաններում, քվարցային տիգելում և անընդհատ գործողությամբ շարժվող հատակով վառարաններում [12, 25]: Նստվածքը (60...70% մոլիբդենի ցնդումից հետո), մոլիբդենի լրացուցիչ կորզման նպատակով, ենթարկում են հիդրոմետալուրգիական վերամշակման:

Տարբեր տեխնոլոգիաներով ստացված մոլիբդենի եռօքսիդը, խառնուրդներից մաքրելուց հետո, օգտագործում են մոլիբդենափոշու և մոլիբդենային շտաբիկներ ստանալու համար, ֆերոմոլիբդենի արտադրությունում, ինչպես նաև մոլիբդենային աղերի ստացման համար և այլն:

Եզրակացություն. Վերլուծության են ենթարկվել մոլիբդենի հումքային նյութերը, նրանց հատկությունները և մշակման եղանակները, համաձայն որոնց մոլիբդենափոշու ստացման համար որպես ելանյութ ընտրվել է մոլիբդենիտ միներալը՝ MoS_2 : Ուսումնասիրվել են մոլիբդենիտային խտանյութերի օքսիդացուցիչ թրծման եղանակները և առանձնահատկությունները: Արդյունքում՝ հիմնավորվել են մոլիբդենափոշու ստացման համար առավել արդյունավետ տեխնոլոգիաները:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Дьяченко И.М.** Экономика порошковой металлургии.- Челябинск: Металлургия, Челяб. отд-ние, 1990.- 151 с.
2. Технология и экономика порошковой металлургии / **Б.П. Чичканож и др.**; АН СССР, Урал. отд-ние, Ин-т металлургии.- М.: Недра, 1989.- 221 с.
3. **Дуррев Р.** Металлургическая переработка железных руд.- М.: Металлургиздат, 1960.- 176 с.
4. **Джонс В.Д.** Основы порошковой металлургии.- М.: Мир, 1964.- 224 с.
5. **Аксенев Г.И.** Основы порошковой металлургии.- Куйбышев, 1962.- 189 с.
6. Прокатка металлических порошков / **Г.А. Виноградов и др.**- М.: Металлургия, 1969.- 328 с.
7. Металлургия вольфрама, молибдена и ниобия / **Ю.И. Юркевич и др.**- М.: Наука, 1967.- С. 53.
8. Бюллетень ЦНИИЦМ / **С.И. Соболев и др.** - 1959.- №12.- С. 27.
9. **Сонгина О.А.** Редкие металлы.- М.: Металлургия, 1964.- 250 с.
10. Порошковая металлургия / **И.М. Федорченко и др.** // Материалы IX Респ. конф. по порошковой металлургии.- Киев, 1990.- 220 с.
11. **Wiberd M.** Some new spongciron process // Jenkontorets Ann.- 1958.- 142.- P. 289-319.
12. Основы металлургии / **Ю.А. Быховский и др.** - М.: Металлургия, 1967.- Том IV.- С. 15-23.
13. **Зеликман А.Н., Беляевская Л.В.** // ЖНХ.- 1956.- В 10т.- Т. 1.- С. 2245-2256.
14. **Зеликман А.Н.** // ЖНХ.- 1956.- В 12 т.- Т. 1.-С. 2778-2791.
15. Основы техники псевдоожижения / **Н.И. Гельперин и др.**- М.: Химия, 1967.
16. Применение кипящего слоя в народном хозяйстве СССР / **А.Н. Зеликман и др.**- ЦНИИЦМ, 1965.- 122 с..
17. Рений / **А.Н. Зеликман, В.И. Бибилова, В.М. Петроя., С.В. Постникова, Г.И. Абашин, В.Ф. Притулов, Л.Н. Никитина.**- М.: Наука, 1961.- 42 с.
18. **Савраев В.П.** Рений.- М.: Наука, 1964.- 79 с.

19. **Maiouf E.E., Prater J.D., Zimmerley S.R.** Rhenium.- Amsterdam-New York, 1962.- P 6.
20. **Бибикова В.И.** // Редкие металлы .- 1936.- N 5.- С. 25.
21. **Ковыршин В.Г. Аполонов В.И.** // Цветные металлы.- 1957.- N 8.- С. 67.
22. **Металлургия и технология цветных металлов / А.Н. Зеликман и др.** // Сб. МЦМИ.- М.: Metallurgizdat, 1960.- С. 186-202.
23. **Крамаров А.Д., Соколов А.Н.** Электрометаллургия стали и ферросплавов.- М.: Metallurgia, 1976.- 319 с.
24. **Рысс М.А., Ходоровский Я.Н.** Производство ферросплавов.- М.: Metallurgia, 1960.- 280с.
25. **Елютин В.П., Павлов Ю.А., Алексеев Е.М.** Производство ферросплавов.- М.: Гос. научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1957.- 410с.

А.С. ПЕТРОСЯН, О.Т. АСРЯН

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ МОЛИБДЕНА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТРИОКСИДА

Разработаны и исследованы сырьевые материалы молибдена и возможности получения молибденита и триоксида молибдена. Исследован процесс получения триоксида молибдена из молибденита при разных температурах. Выявлены технологические особенности и разновидности процесса, в соответствии с чем чистую трехокись можно получить в виде технической чистоты, растворяя трехокись в водном растворе аммиака или методом сублимации, после чего можно получить порошок молибдена высокой чистоты.

Ключевые слова: молибден, минерал, концентрат, молибденит, трехокись, восстановление, порошок молибдена.

H.S. PETROSYAN, H.T. ASRYAN

MOLYBDENUM RAW MATERIALS AND TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF OBTAINING TRIOXIDE

Molybdenum raw materials, as well as the possibilities of obtaining molybdenite and molybdenum trioxide from them have been developed and studied. The process of molybdenum trioxide extraction from molybdenum at different temperatures has been studied. The process specifics and modes are revealed, whereby pure trioxide can be obtained through technical purification by dissolving the trioxide in ammonia water or by dilution, after which high-purity molybdenum powder can be obtained.

Keywords: molybdenum, mineral, concentrate, molybdenite, trioxide, recovery, molybdenum powder.