

E.G. ZAKARYAN

SOME ISSUES ON THE PROCESS OF OBTAINING FERROMOLYBDEN AN BY ALUMINOTHERMAL REDUCTION OF MOLYBDENUM CONCENTRATE

The problems of formation of temperature profiles in the process of ferromolybdenum production are discussed by means of aluminothermic reduction of molybdenum concentrate. Some issues of the mechanism of the process of self-propagation high-temperature synthesis are given.

Keywords: temperature profile, ferromolybdenum, aluminothermic reduction, molybdenum concentrate, molybdenum.

ՀՏԴ 621.762

Ռ.Ս. ՊԱՊՈՅԱՆ

ԳՆԴԱՂԱՑՆԵՐՈՒՄ ՀԱՆՔԱՔԱՐԵՐԻ ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՄԱՆՐԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ԵՎ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Դիտարկվել են տրված հանքանյութերի մանրացման գործընթացի առանձնահատկությունները, գնդաղացների աշխատանքի սկզբունքը և մետաղական գնդերից պահանջվող հատկությունները:

Առանցքային բառեր. գնդաղաց, թմբուկ, հանքանյութ, պողպատ, գունդ, մանրացում:

Ներածություն. Հայաստանի Հանրապետության ընդերքը հարուստ է օգտակար հանածոներով: Համաձայն հնագիտական տվյալների [1, 2]՝ հանրապետությունում պղնձի, ոսկու, երկաթի և մի շարք այլ օգտակար հանածոների հանքավայրեր հայտնի են եղել դեռևս հնագույն ժամանակներում, իսկ դրանցից մի քանիսը նույնիսկ մասամբ շահագործվել են: Ներկայումս Հայաստանի Հանրապետության տարածքում հայտնաբերվել և արդյունաբերական իրացման են նախապատրաստվել 54 տեսակի հանածոների՝ երկաթի, պղնձի, մոլիբդենի, կապարի, ցինկի, ոսկու, արծաթի և այլ մետաղական ու ոչ մետաղական նյութերի հանքավայրեր: Այդ հենքի վրա զարգացել են հանրապետության տնտեսության որոշ ճյուղեր, ինչպիսիք են լեռնահանքային և մետալուրգիական արդյունաբերությունները, շինանյութերի արտադրությունը և այլն: Շահագործվող և շահագործման նախապատրաստվող ութ մետաղային հանքավայրերից մեծածավալ պաշարներով երկարաժամկետ ապահովված են միայն Քաջարանի պղինձ-մոլիբդենային հանքավայրը (ավելի քան 150 տարի), Սոթքի ոսկու և Շահումյանի ոսկի-բազմամետաղային հանքավայրերի պաշարները կարող են շահագործվել մոտ

30 *տարի*, Ազարակի պղինձ-մոլիբդենային և Կապանի պղնձի հանքավայրերը՝ 13 *տարի*, Մեղրաձորի ոսկու հանքավայրը՝ 7-9 *տարի*, Շամլուղի պղնձի հանքավայրը՝ 9-12 *տարի* [2]: Նշված հանքավայրերի շահագործումն անհնար է պատկերացնել առանց մետաղական խտանյութերի ստացման, որում իրենց ուրույն տեղն ունեն գնդաղացներում հանքաքարերի մեխանիկական ջարդման և մանրացման գործընթացները: Մեխանիկական մանրացումը բավականին տարածված մեթոդ է, որը հնարավորություն է տալիս ստանալ ցանկացած հատիկայնությամբ հանքաքար: Մանրացումը հանքաքարի սկզբնական չափսերի փոքրացումն է ջարդման և քերամաշման միջոցով՝ արտաքին ուժերի ազդեցության ներքո: Խոսելով մեխանիկական մանրացման մասին, հարկ է նշել, որ ավելի նպատակահարմար է այս մեթոդը կիրառել համեմատաբար ավելի փխրուն հանքաքարերի դեպքում, ինչպիսիք են գունավոր մետաղների՝ պղնձի, մոլիբդենի, ոսկու և այլ հանքաքարեր:

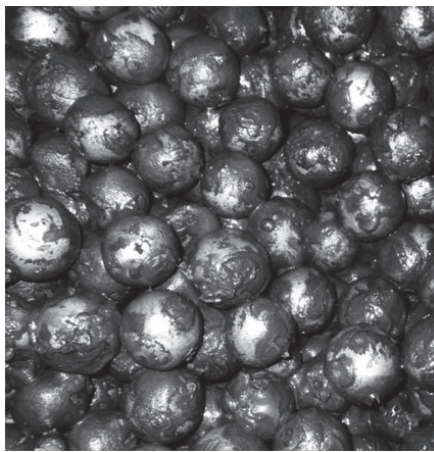
Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը. Հաշվի առնելով վերը նշվածը, աշխատանքի նպատակն է ցույց տալ հանքանյութերի մանրացման գործընթացի առանձնահատկությունները, գնդաղացների աշխատանքի սկզբունքը և մետաղական գնդերի հատկությունները:

Համեմատաբար ավելի մեծ չափսերի փոշեհատիկներ ստանալու համար գերադասելի է օգտագործել ճզմման և հարվածային ուժեր, իսկ ավելի փոքր չափսերի փոշեհատիկների համար՝ շփման ու հարվածային ուժեր: Զարդման համար անհրաժեշտ էներգիան ծախսվում է պլաստիկ դեֆորմացման և նոր մակերևույթների առաջացման վրա: Դեֆորմացման ընթացքում՝ արտաքին ուժերի ազդեցության տակ, մանրացվող մարմնի մակերևութային շերտում տեղի է ունենում մանրագույն ճաքերի առաջացում: Արտաքին ուժերի դադարեցման դեպքում առաջացած ճաքերը կարող են վերականգնվել: Հետևաբար՝ պետք է այնպես անել, որ ճաքերի չափսերը լինեն բավականին մեծ ու քայքայեն ջարդման օբյեկտը:

Պ.Ա. Ռեբինդերի կողմից ցույց է տրված, որ ջարդման համար անհրաժեշտ էներգիան հանդիսանում է երկու տարբեր էներգիաների գումար: Առաջինը որոշվում է $\sigma\Delta S$ բանաձևով, որտեղ σ -ն մակերևութային լարվածությունն է, իսկ ΔS -ը՝ հատիկների չափսերի փոփոխությունը: Այս արտադրյալը ներկայացնում է այն էներգիան, որն անհրաժեշտ է նոր մակերևույթներ ստանալու համար: Երկրորդը հավասար է $K\Delta V$, որտեղ K -ն պլաստիկ դեֆորմացման աշխատանքն է միավոր ծավալում, իսկ ΔV -ն՝ ծավալի փոփոխությունը: Հանքաքարի խոշորահատիկ մանրացման դեպքում $\sigma\Delta S \ll K\Delta V$, և մանրացման համար էներգիայի ծախսը մոտավորապես համեմատական է մանրացվող հանքաքարի ծավալին: Մանրահատիկ

մանրացման դեպքում առաջացած մակերևույթը շատ մեծ է և $\sigma_{\Delta S} \gg K_{\Delta V}$: Այդ իսկ պատճառով մանրացման վրա ծախսվող էներգիան այս դեպքում համեմատական է նոր առաջացած մակերևույթի մակերեսի մեծությանը [3]:

Հետազոտման արդյունքները. Գնդաղացի աշխատանքի սկզբունքը հետևյալն է: Բացելով բեռնավորման կափարիչը, մանրացվող հանքաքարը լցվում է գնդաղացի թմբուկի մեջ, այնուհետև փակվում է կափարիչը, և միացվում գնդաղացի էլեկտրաշարժիչը հոսանքին: Հանքաքարը և գնդերը (նկ. 1) սկսում են շարժվել թմբուկի պտտման ուղղությամբ, որի արդյունքում հանքաքարը ենթարկվում է մանրացման: Մանրացումը տեղի է ունենում մանրացնող պողպատյա գնդերի հանքանյութին հարվածելու և միմյանց շփվելու շնորհիվ: Մանրացված հանքաքարը դատարկվում է՝ դատարկման կափարիչը բացելով, որտեղ տեղադրված է համապատասխան ցանց՝ գնդերը չթափվելու նպատակով: Գնդաղացում գտնվող մանրացնող գնդերը կազմում են նրա ընդհանուր ծավալի 40-50%-ը: Երբ թմբուկը պտույտ է գործում, գնդերը և հանքաքարը, թմբուկի ներսի պատերի հետ ունեցած իրենց շփման շնորհիվ, վեր են բարձրանում այնքան, քանի դեռ վերամբարձ անկյունը չի գերազանցել բնական թեքության անկյանը, որից հետո գնդերը վայր են ընկնում կամ գլորվում ներքև ու մանրացնում հանքանյութը՝ կոտրատելով նրա կտորները կամ տրորելով դրանք գնդերի ու թմբուկի պատերի միջև:



Նկ. 1. Գնդաղացներում օգտագործվող գնդերը

Գնդերի կոտրատող և տրորող գործողությունների միջև փոխհարաբերությունը զգալի չափով կախված է թմբուկի տրամագծի ու ծնիչի երկարության հարաբերությունից: Այդ հարաբերության 3-ից մինչև 5-ի դեպքում հիմնականում տեղի է ունենում կոտրատում, իսկ ավելի փոքր արժեքների դեպքում՝ տրորում:

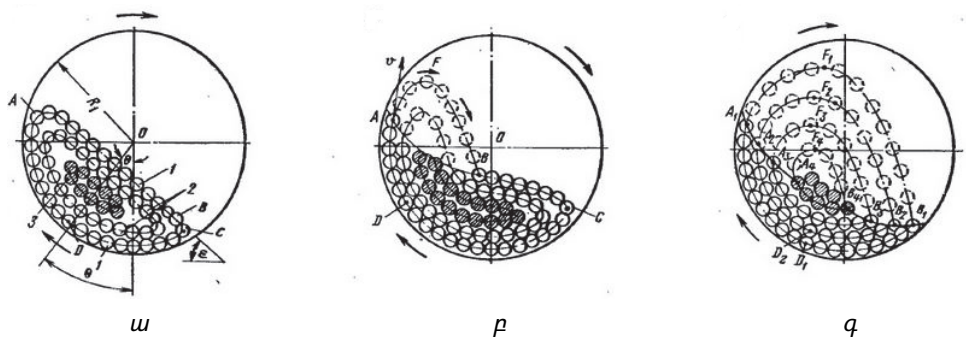
Մանրացման ինտեսիվության և մեխանիզմի վրա որոշիչ դեր են խաղում թմբուկի պտտման արագությունը, մանրացվող հանքանյութի ձևն ու քանակը, բեռնված հանքանյութի ծավալը, մանրացման տևողությունն ու միջավայրը: Թմբուկի պտտման արագության մեծացմանը զուգընթաց՝ կենտրոնախույս ուժի աճի ու վերամբարձ անկյան մեծացման հետ կապված, գնդերը կսկսեն վայր ընկնել ավելի մեծ բարձրություններից, հետևապես, ավելի արդյունավետ կմանրացնեն հանքաքարը: Պտտման արագության հետագա մեծացման դեպքում կոնտրոնախույս ուժը կարող է այնքան աճել, որ գնդերն ու մանրացվող նյութը պտտվեն թմբուկի հետ միասին՝ հաված մնալով նրա պատին, որի արդյունքում մանրացում տեղի չի ունենում: Այն արագությունը, որի դեպքում սկսվում է նկատվել այս երևույթը, կոչվում է կրիտիկական արագություն կամ կրիտիկական պտտուտաթվեր:

Հանքաքարով և մանրացնող գնդերով գնդաղացը միաշերտ լիցքավորելու դեպքում, նույնիսկ եթե թմբուկի ներքին մակերևույթը ամբողջությամբ հարթ է, հանքանյութերը ամբողջական պտույտ չեն կատարում՝ անգամ բարձր պտտման արագությունների դեպքում: Դրանք պտտվում են թմբուկի պտտման առանցքին զուգահեռ, իրենց պտտման առանցքի ուղղությամբ: Իսկ բազմաշերտ լիցքավորման դեպքում, կախված պտտման հաճախականությունից, հնարավոր են հետևյալ տեսակի պտտման ռեժիմները (նկ. 2).

ա) մանրացնող նյութերի կասկադային շարժում՝ գլորվելով, բայց առանց թռիչքների (նկ. 2ա),

բ) մանրացնող նյութերի խառը շարժում՝ հաճախակի գլորվելով և թռիչքներով (նկ. 2բ),

գ) մանրացնող նյութերի հոսքային ռեժիմ՝ գերակայող թռիչքներով (նկ. 2գ):

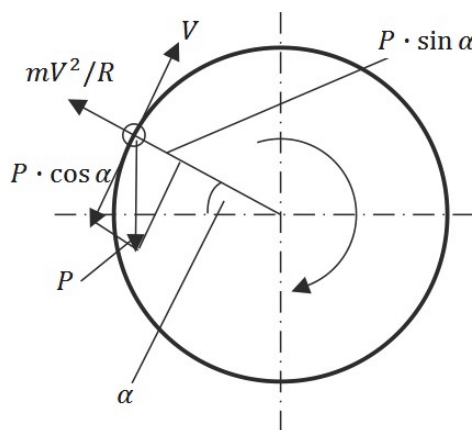


Նկ. 2. Բազմաշերտ լիցքավորված գնդաղացներում մանրացնող գնդերի և մանրացվող հանքաքարերի պտտման ռեժիմներ

Առաջին ռեժիմի դեպքում (նկ. 2ա) թմբուկի ներսում գտնվող նյութերի ամբողջականությունը թեքվում է որոշակի անկյան տակ և կատարում փակ ցիկլիկ շարժում, որի ընթացքում մանրացվող հանքանյութերը մնում են իրենց հաստատուն դիրքում, իսկ մանրացնողները շրջանագծային հետագծով կատարում են ցիկլիկ շարժում: Տվյալ ռեժիմի դեպքում մանրացումը տեղի է ունենում ճզմող և շոշափող ուժերի ազդեցության ներքո: Երկրորդ ռեժիմի դեպքում (նկ. 2բ) մանրացնող գնդերի շարժումը տարբերվում է առաջին ռեժիմի շարժման տեսակից: Այս դեպքում մանրացման գործընթացն իրականացնում են արտաքին շերտում տեղակայված գնդերը, իսկ մանրացումը տեղի է ունենում արտաքին շերտի և «անշարժ» միջուկի միջև: Երրորդ ռեժիմի իրականացման համար (նկ. 2գ) թմբուկը պետք է ունենա որոշակի պտտման արագություն, որպեսզի կարողանա մանրացնող գնդերին հաղորդել պարաբոլային շարժում: Այս ռեժիմի դեպքում թմբուկում առկա նյութերը բարձրանում են վեր՝ թմբուկի պատից նրանց փոխանցվող շրջանագծային ուժի հաշվին, և սկսած ինչ-որ մի պահից՝ ցած են ընկնում, բախվելով թմբուկի հատակին և միմյանց, ինչի հաշվին էլ տեղի է ունենում մանրացման գործընթացը: Տվյալ շարժումը նույնպես ցիկլիկ բնույթ է կրում:

Մանրացնող գնդերի զանգվածը պետք է լինի բավարար, որպեսզի դրանք կարողանան մանրացնել թմբուկում գտնվող ամենամեծ կտորները: Եթե մանրացվող հանքաքարի կազմում «մեծ» կտորները շատ են, ապա դա կարող է հանգեցնել նրան, որ այդ կտորները տեղակայվեն մանրացնող գնդերի արանքներում և ի վերջո կանգնեցնեն մանրացման գործընթացը: Արդյունավետության համար անհրաժեշտ է պահպանել գնդերի և մանրացվող նյութերի ճիշտ հարաբերակցությունը:

Դիտարկենք գնդի վարքը թմբուկի պտտման ժամանակ (նկ. 3):



Նկ. 3. Գնդաղացի թմբուկի պտտման կրիտիկական արագության հաշվարկի սխեման

P զանգվածով գունդը v ($մ/վ$) արագությամբ պտտվող գլանի ներսի պատի m կետում գտնվում է $mv^2/R = Pv^2/gR$ (1.1) կենտրոնախույս ուժի արագացման ազդեցության տակ, որտեղ g -ն ծանրության ուժի արագացումն է, R -ը՝ թմբուկի ներսի գլանի տրամագիծը:

Տրված m կետում (α վերամբարձ անկյան տակ) գնդի սեփական զանգվածի ուժը կարող է վերածվել $P \cdot \sin \alpha$ և $P \cdot \cos \alpha$ բաղադրիչների: Անտեսելով շփման ուժը՝ կարելի է հաստատել, որ գունդը կպահվի թմբուկի ներսի պատին այնքան ժամանակ, քանի դեռ տեղի ունի հետևյալ անհավասարությունը՝

$$Pv^2/gR \geq P \cdot \sin \alpha \text{ կամ } V^2/gR \geq \sin \alpha:$$

Եթե պտտման արագությունն այնպիսին է, որ զենիթով անցման պահին (երբ $\alpha = 90^\circ$) գունդը նույնաբար հավասարակշռության մեջ է մնում թմբուկի պատի հետ, ապա՝

$$\alpha = 90^\circ, \sin 90^\circ = \frac{v^2}{gR} = 1 \text{ կամ } v^2 = gR:$$

Քանի որ թմբուկի N (*պտ/րոպե*) պտուտաթվերի դեպքում՝

$$v = \frac{\pi DN}{60}, \text{ ապա } \frac{\pi^2 D^2 N^2}{(60)^2} = g \frac{D}{2},$$

որտեղ D -ն թմբուկի ներսի տրամագիծն է ($մ$): Այստեղից գտնում ենք՝

$$N = \sqrt{\frac{g}{2\pi^2} \cdot \frac{60}{\sqrt{D}}} = \frac{42,4}{\sqrt{D}}, \quad N_k = \frac{42,4}{\sqrt{D}}:$$

Մանրացման արդյունավետության բարձրացման նպատակով՝ գործնականում թմբուկի պտուտաթվերը վերցնում են հավասար կրիտիկականի (N_k) 75...80% - ի սահմաններում:

Մանրացման գործընթացի վրա մեծ ազդեցություն ունեն գնդերի զանգվածը և գնդերի ու մանրացվող նյութի կտորների չափսերի միջև հարաբերությունը:

Գործնական տվյալներով, երբ թմբուկի պտտման արագությունը $0,75N_k$ է, գնդերի օպտիմալ զանգվածը կազմում է 1,7...1,9 կգ աղացի 1 լիտր ծավալի դեպքում: Ավելի նուրբ մանրացում կատարելը վայր ընկնող գնդերի հարվածների միջոցով դառնում է սկզբունքորեն ոչ նպատակահարմար: Այդպիսի դեպքերում մանրացման այլ ռեժիմ է կիրառվում, երբ գնդերը ոչ թե վայր են ընկնում որոշակի բարձրությունից, այլ վեր են բարձրանում պտտվող գլանի ներսի պատերի

հետ միասին, այնուհետև գլորվում գնդային զանգվածի թեք մակերևույթով (նկ. 2): Այստեղ նյութի մանրացումը տեղի է ունենում, հիմնականում, ի հաշիվ թեք մակերևույթով գլորվող գնդերի փոխադարձ շփումների: Շատ նուրբ մանրացման համար պետք է ունենալ հարվածային մեծ ուժեր: Առավել լավ մանրացում է տեղի ունենում ոչ մեծ մեխանիկական ուժերով թավալվող գնդերի անընդհատ ներգործությամբ նյութի վրա: Մանրացման այդպիսի ռեժիմ է նկատվում, երբ թմբուկի պտտման արագությունը չի գերազանցում կրիտիկականի 60% - ը:

Որոշ դեպքերում կարող է ստացվել մանրացման ևս մեկ տարբերակ: Հարթ ներքին մակերևույթով թմբուկի օգտագործմամբ գնդերի ոչ մեծ ծավալով բեռնավորման դեպքում մանրացնող գնդերը թմբուկի ներսում շրջապտույտ չեն կատարում: Գնդերի ամբողջ զանգվածը սահում է պտտվող թմբուկի մակերևույթով: Գրեթե բացակայում է գնդերի փոխադարձ տեղափոխությունը: Նյութի մանրացումն այս դեպքում տեղի է ունենում ի հաշիվ տրորման՝ գնդային զանգվածի և թմբուկի մակերևույթի միջև:

Գնդերի չափերը նույնպես ազդում են հանքաքարի մանրացման գործընթացի վրա: Առավել ինտենսիվ մանրացման համար գնդերի տրա-մագիծը պետք է գտնվի հետևյալ սահմաններում՝

$$D \leq D/18 \dots D/24,$$

որտեղ D -ն թմբուկի տրամագիծն է:

Մանրացման ինտենսիվացման նպատակով, հատկապես փխրուն նյութերի մանրացման դեպքում, ինչպիսիք են հանքանյութերը, գործընթացն իրականացվում է հեղուկ միջավայրում, որը կանխում է նյութի փոշեցումը: Բացի դրանից, թափանցելով նյութի միկրոճեղքերը, հեղուկը ստեղծում է մեծ մագնոթային ճնշում, որը նպաստում է մանրացմանը:

Հանքաքարերի ջարդման և մանրացման ժամանակ օգտագործվում են մեծ քանակությամբ մետաղական գնդեր, որոնք աշխատում են հարվածների և ինտենսիվ մաշման պայմաններում: Հետևապես՝ գնդերի ամրության և մաշակայունության բարձրացումը, ինչը կնպաստի դրանց աշխատունակության և երկարակեցության բարձրացմանը, հանդիսանում է կարևոր գիտատեխնիկական խնդիր: Նշված նպատակին հասնելու համար անհրաժեշտ է կատարել գնդերի պողպատի մակնիշի ճիշտ ընտրություն և գնդերի այնպիսի ջերմային մշակում, որը կապահովի համապատասխան կառուցվածքի և պահանջվող հատկությունների ստացումը:

Եզրակացություն. Յուրյ է տրված, որ գնդաղացներում հանքանյութերի մանրացման ժամանակ կարևոր ցուցանիշներ են հանդիսանում գնդաղացի

սլոտման արագությունը, գնդերի օպտիմալ զանգվածը և տրամագիծը, հանքանյութի նախնական չափերը և ծավալը, ինչպես նաև գնդերի կառուցվածքը և հատկությունները:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Ավագյան Հ.Ս.** Հայաստանի հանքահումքային ռեսուրսները.- Երևան: ՀՀ ԳԱԱ «Գիտություն», 2004.- 432 էջ:
2. **Հովսեփյան Ս.Գ., Հովսեփյան Գ.Ս.** Հանքավայրերի բաց մշակումը և շրջակա միջավայրը.- Երևան: Լուսակն, 2008.- 130 էջ:
3. **Кипариссов С.С., Либенсон А.М.** Порошковая металлургия.- М.: Металлургия, 1980.- 496 с.

Ր.Տ. ՓԱՊՅԱՆ

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУД В ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦАХ

Показаны особенности процесса измельчения руды, принцип работы шаровых мельниц и требуемые свойства шаров.

Ключевые слова: шаровая мельница, барабан, руда, сталь, шар, измельчение.

R.S. PAPOYAN

THE STUDY AND FEATURES OF THE PROCESS OF MECHANICAL MILLING OF ORE IN BALL MILLS

The features of the ore grinding process, the operating principle of ball mills and the required ball properties are shown.

Keywords: ball mill, drum, ore, steel, ball, grinding.