

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Հ.Հ. ԵԶԱԿՅԱՆ, Ս.Գ. ԲՈՅԱԶՅԱՆ

ՊՂՆԱՍՏՈՒԼԱԿԱՆ ԱՐՏԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ԹԱՓՈՆԱԽԱՐԱՄՆԵՐԻՑ
ԵՐԿԱԹԱՓՈՇՈՒ ՍՏԱՅՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Մշակվել է պղնձաձուլական արտադրության թափոնակույտային խարամներից երկաթափոշու ստացման տեխնոլոգիա՝ իր հիմնական փուլերով՝ դիսպերս մանրացման շնորհիվ փոշեհատիկների քիմիական ակտիվության մեծացում, վերականգնման և մագնիսական չոր տարանջատման միջոցով խտանյութի ստացում, ածխածնի ու նատրիումի կարբոնատի առկայությամբ $T=1000...1050$ °C, $\tau=2,5...3$ ժամ բովախառնուրդի թրծման միջոցով ֆերոմագնիսական ֆազի ստացում, մագնիսական խոնավ տարանջատման միջոցով երկաթափոշու՝ սին ապարներից և լուծույթից անջատում ու հետագա վերականգնում ցածր ջերմաստիճանում ($T_{վ}=750\pm 10^\circ\text{C}$, $\tau_{վ}=1,0$ ժամ):

Առանցքային բառեր. խարամ, ֆայալիտ, ածխածին, մեխանաքիմիական ակտիվացում, վերականգնում, մագնիսական տարանջատում, խտանյութ, սողա, գնդիկավորում, թրծում, երկաթափոշի:

Տեխնիկայի զարգացմանը զուգընթաց մեծ տեղ է հատկացվում փոշեմետալուրգիային, որը մետաղամշակման բազմաթիվ մեթոդների շարքում առաջնային նշանակություն է ձեռք բերում: Այն հնարավորություն է ստեղծում մշակելու նախապես պահանջվող հատկություններով սկզբունքորեն նոր նյութեր, որոնց պատրաստումն ավանդական մետալուրգիական եղանակներով շատ դժվար, իսկ երբեմն էլ անհնար է: Սակայն մետաղափոշիների համեմատաբար բարձր արժեքը և դրանց տեղափոխման դժվարությունները զգալի կերպով արգելակում են մետաղակերամիկական իրերի արտադրությունը և ներդրումը տնտեսության տարբեր ճյուղերում: Այդ իսկ պատճառով անհրաժեշտություն է առաջացել տեղական հումքի բազայի վրա մետաղափոշիների արտադրությունը կազմակերպել տեղում: Հայաստանի ընդերքը բավականին հարուստ է երկաթի հանքանյութերով, որոնց համար արդեն մշակված են մաքուր երկաթափոշու ստացման համապատասխան տեխնոլոգիաներ: Միաժամանակ, Հայաստանի ընդերքը հարուստ է նաև պղնձով, որի արտադրության ժամանակ առաջանում են մեծ քանակությամբ խարամներ՝ ֆայալիտի (Fe_2SiO_4) և մագնետիտի (Fe_3O_4) տեսքով, որոնք կարող են հումք հանդիսանալ երկաթափոշու արտադրության համար: Սակայն ֆայալիտից երկաթափոշու ստացումը դժվար է՝ կապված նրա վերականգնման փոքր արագության հետ:

Վերջին ժամանակներս մետալուրգիական գործընթացներում տեղ է գտել նոր ուղղություն, համաձայն որի խտանյութերի մշակումը կատարվում է մեխանաքիմիական և կարբոջերմային վերականգնման եղանակների զուգակցմամբ, ինչը

նպաստում է հետագա օքսիդավերականգնման գործընթացների ինտենսիվացմանը և սկզբունքային նոր մոդիֆիկացված արգասիքների ստացմանը [1-5]: Ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ որոշ տիպի վերականգնման ռեակցիաներ, մեխանաքիմիական նախնական ազդեցությունից հետո, ի տարբերություն ջերմային քայքայման ռեակցիաների, կարող են ընթանալ դետոնացիոն արագություններով և համեմատաբար ցածր ակտիվացման էներգիայով:

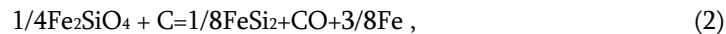
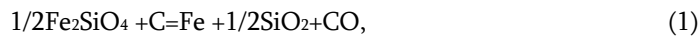
Մեխանաքիմիական ակտիվացման և վերականգնման գործընթացների զուգակցումը ժամանակակից մետալուրգիայի ամենահեռանկարային ուղղություններից է, որը թույլ է տալիս ստանալ մետաղափոշիներ՝ լավագույն ֆիզիկամեխանիկական և տեխնոլոգիական հատկություններով:

Ելնելով վերոհիշյալից, ներկայացված աշխատանքը՝ նվիրված Հայաստանի պղնձաձուլական արտադրության թափոնակույտային խարամներից երկաթափոշու ստացման տեխնոլոգիայի մշակմանը և ստացված երկաթափոշու կառուցվածքի ու հատկությունների հետազոտմանը, խիստ արդիական է և հեռանկարային:

Կատարվել է հայրենական և արտասահմանյան գրականության վերլուծություն՝ երկաթափոշու ստացման տեխնոլոգիական առանձնահատկությունների բացահայտման նպատակով [6-9]: Ցույց է տրված, որ հեռանկարային է նաև երկաթափոշու ստացման տեխնոլոգիայի մշակումը Ալավերդու պղնձաձուլական արտադրության թափոնախարամներից, որոնցում երկաթի պարունակությունը հասնում է 37...50%:

Հետազոտվել են պղնձաձուլական արտադրության խարամների մեխանաքիմիական պինդֆազային ռեակցիաների կինետիկական և էներգետիկական օրինաչափությունները, ինչպես նաև վերականգնման գործընթացը՝ կախված մանրացման եղանակից և շերտի հաստությունից [7]: Հետազոտման արդյունքում պարզվել է, որ երբ մանրացվող նյութի չափսերը դառնում են համաչափելի տարրական բջջին, ապա տեղի են ունենում նյութերի ֆիզիկական հատկությունների արմատական փոփոխություններ: Արդյունքում՝ մեծանում է պինդ նյութերի ռեակցիոն ունակությունը, որը նպաստում է քիմիական ռեակցիայի արագության մեծացմանը: Շնորհիվ մեխանաքիմիական գործընթացների՝ տեղի են ունենում մանրացվող նյութի քիմիական կազմի և կառուցվածքի փոփոխություններ: Մասնավորապես, դա վերաբերում է մեխանիկական էներգիայի ազդեցությամբ մի շարք մետաղների (Mo, Pb, Cu, Fe և այլն) օքսիդների և ածխածնի միջև ընթացող վերականգնման պինդ ֆազային ռեակցիաներին: Այդ է պատճառը, որ թրթռաղացում 2 ժամ և ավելի մանրացված խարամափոշին պինդ վերականգնիչով ենթարկվում է 95% վերականգնման՝ 1000 ± 10 °C ջերմաստիճանում, 2 ժամվա ընթացքում: Ցույց է տրված, որ պղնձաձուլական արտադրության խարամների մանրացման գործընթացում քիմիական փոխակերպումների և դեֆորմացիաների բնույթը կախված է բազմաթիվ գործոններից՝ նյութերի մանրացման աստիճանից, մանրացման տևողությունից, կիրառվող լարումներից, աղացի և մանրացվող միներալի տեսակից և այլն:

Պղնձաձուլական արտադրության խարամներից երկաթափոշու ստացման նպատակով կատարված նախնական թերմոդինամիկական հաշվարկների արդյունքում պարզվել է, որ տաքացման ընթացքում կարող է տեղի ունենալ Fe_2SiO_4 -ի վերականգնում ածխածնով և ածխածնի օքսիդով՝ ըստ հետևյալ ռեակցիաների.



Հաշվարկների արդյունքները բերված են նկ. 1-ում:

Ելնելով Գիրսի էներգիայի փոփոխության արժեքներից՝ նշված ռեակցիաների համար հաշվարկվել են նաև հավասարակշռության հաստատունների արժեքները (K)՝ կախված ջերմաստիճանից (աղ.):

Ինչպես երևում է նկ. 1-ից, աղյուսակից և բերված ռեակցիաներից, թերմոդինամիկորեն կարող են ընթանալ 1, 3 և 4 ռեակցիաները: Սակայն 3-րդ և 4-րդ ռեակցիաներն ընթանում են 1200 K -ից բարձր ջերմաստիճաններում, իսկ 1-ինը՝ սկսած 1000 K ջերմաստիճանից:

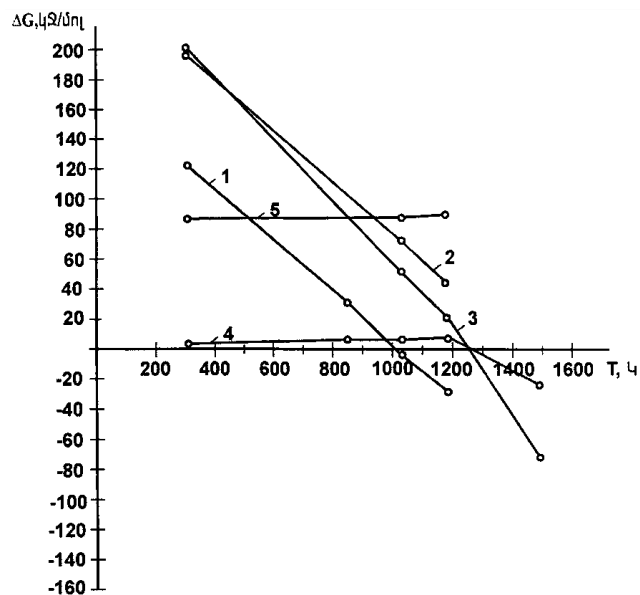
Մանրացված խարամափոշուց պատրաստվել է բովախառնուրդ, որում ավելացվել է 14% պինդ վերականգնիչ (լամպի մուր)՝ ըստ զանգվածի: Պինդ վերականգնիչի քանակությունը որոշվել է խարամի մեջ եղած Fe_3O_4 -ի և Fe_2SiO_4 -ի վերականգնման համար պահանջվող ածխածնի քանակությամբ, որից հետո ստացված բովախառնուրդը ենթարկվել է հատիկավորման՝ մինչև $\varnothing 10$ μm տրամագծով, երբ օգտագործվել է ջուրը:

Վերականգնման աստիճանը գնահատվել է մետաղացման աստիճանով, այսինքն՝ $100 \cdot \text{Fe}_{\text{մետ}} / \text{Fe}_{\text{ընդ}}$: Վերականգնումը կատարվել է 1000 ± 10 $^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանում 15, 30, 45, 60, 90 և 120 *րոպե* պահմամբ, որից հետո կատարվել են բովագնդիկների մանրացում և մագնիսական չոր տարանջատում: Ինչպես երևում է նկ. 2-ից, թրթռաղացում մանրացված խարամի մեջ եղած երկաթի օքսիդները և ֆայալիտը 2 ժամվա ընթացքում վերականգնվել են ~95%-ով, իսկ գնդաղացում մանրացվածը՝ ~75%-ով: Ընդ որում, վերականգնման ինտենսիվությունը շատ մեծ է առաջին մեկ ժամվա ընթացքում:

Վերականգնման սկզբնական փուլն ընթանում է քիմիական կինետիկայով, իսկ երկրորդ փուլը՝ դիֆուզիոն մեխանիզմով: Մեծ դեր ունի նաև շերտի հաստությունը: Օրինակ, հատիկավորված բովախառնուրդը, որը պատրաստվել է թրթռաղացում մանրացված խարամափոշուց, 100%-ով վերականգնվում է 4,0 ժամում, իսկ ազատ լիցքի դեպքում՝ մինչև իսկ 10 ժամվա ընթացքում՝ ընդամենը 45%-ով:

Ռենտգենաֆազային և ջերմաձանրաչափական վերլուծության եղանակներով պարզվել է, որ թրթռաղացում 60 րոպե և ավելի տևողությամբ մանրացումից հետո երկաթի և պղնձի օքսիդների վերականգնման աստիճանը կազմում է 95%: Վերականգնված պղնձի մոտ 60%-ը լուծվում է երկաթի մեջ, իսկ մնացածը մագնիսական չոր տարանջատման ժամանակ անցնում է թափոն: Մագնիսական չոր տարանջատումը հնարավորություն է տալիս ստանալ 85...90% երկաթի, մագնետիտի, ինչպես նաև 10...15% սին ապարների պարունակությամբ բարձրորակ խտանյութ:

Հետազոտվել են նատրիումի կարբոնատի առկայությամբ խտանյութի ածխածնով վերականգնման մեխանիզմը և կինետիկան, թրժման և սիլիկատաառաջացման, ինչպես նաև հեղուկ միջավայրում թրժված խտանյութի մանրացման ու մագնիսական տարանջատման գործընթացները:

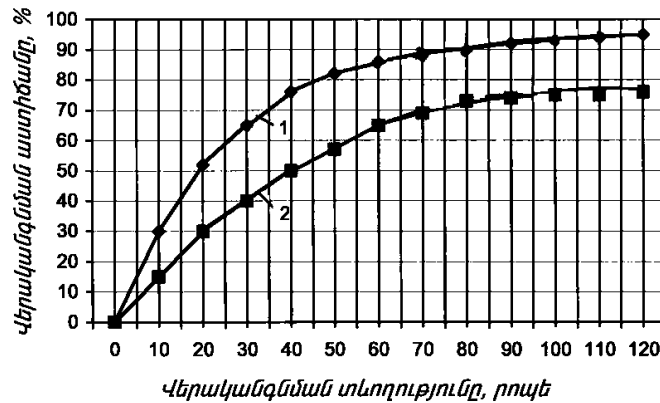


Նկ. 1. Գիրսի էներգիայի փոփոխության կախումը ջերմաստիճանից

Աղյուսակ

Հավասարակշռության հաստատունների արժեքների կախումը ջերմաստիճանից

№	Ռեակցիաները	Ջերմաստիճանը, °C				
		298	846	1033	1185	1493
1	$1/2\text{Fe}_2\text{SiO}_4 + \text{C} = \text{Fe} + 1/2\text{SiO}_2 + \text{CO}$	$3 \cdot 10^{-22}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	1,38	16,22	-
2	$1/4\text{Fe}_2\text{SiO}_4 + \text{C} = 1/8\text{FeSi}_2 + \text{CO} + 3/8\text{Fe}$	$2,3 \cdot 10^{-35}$	-	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$1,02 \cdot 10^{-2}$	-
3	$1/4\text{Fe}_2\text{SiO}_4 + \text{C} = 1/2\text{Fe} + 1/4\text{Si} + \text{CO}$	$1,1 \cdot 10^{-35}$	-	$2,69 \cdot 10^{-3}$	0,11	$4,26 \cdot 10^2$
4	$1/2\text{Fe}_2\text{SiO}_4 + \text{CO} = \text{Fe} + 1/2\text{SiO}_2 + \text{CO}_2$	0,39	0,35	0,44	0,4	5,75
5	$1/4\text{Fe}_2\text{SiO}_4 + \text{CO} = 1/2\text{Fe} + 1/4\text{Si} + \text{CO}_2$	$5,6 \cdot 10^{-16}$	-	$3,4 \cdot 10^{-5}$	$1,15 \cdot 10^{-4}$	-



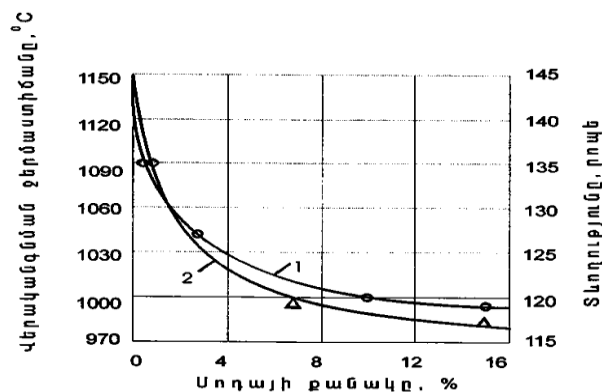
Նկ. 2. Պղնձաձուլական արտադրության կոնվերտորային խարամի՝ ածխածնով վերականգնման կինետիկան. $T_{վ.}=1000-100^{\circ}\text{C}$. 1-մանրացված է թրթռադացում՝ միջին հատիկաչափական կազմը 15...18 մկմ, 2-մանրացված է գնդադացում՝ միջին հատիկաչափական կազմը 40...45 մկմ

Պղնձաձուլական արտադրության թափոնախարամներից ստացված խտանյութից նատրիումի կարբոնատի առկայությամբ բովախառնուրդի վերականգնման ընթացքում միաժամանակ տեղի են ունենում բովախառնուրդի վերականգնման և քիմիական ռաֆինացման գործընթացներ, այսինքն՝ տեղի է ունենում ոչ միայն երկաթի օքսիդների վերականգնում, այլ նաև սողայի քիմիական փոխազդեցություն խառնուկների հետ՝ առաջացնելով նատրիումի մետասիլիկատ, ալյումինատ և ջրում լուծելի այլ միացություններ:

Ավելի բարձր ջերմաստիճանում ռեակցիան ընթանում է նատրիումի ալյումասիլիկատի ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) առաջացման ուղղությամբ: Կալցիումի, մագնեզիումի և մանգանի միացությունները սողայի ավելցուկով եռակալման ժամանակ առաջացնում են կարբոնատներ, որոնք 500°C -ում սկսում են քայքայվել՝ առաջացնելով թթուներում հեշտ լուծվող օքսիդներ: Ֆոսֆորի օքսիդը, փոխազդելով սողայի հետ, առաջացնում է ջրում լուծվող նատրիումի ֆոսֆատ՝ Na_3PO_4 : Տիտանի երկօքսիդը, փոխազդելով սողայի հետ, առաջացնում է նատրիումի տիտանատ՝ Na_2TiO_3 , որը լուծվող α մոդիֆիկացումից կարող է վերափոխվել դժվար լուծվող β մոդիֆիկացման: Քրոմի միացություններն առաջացնում են լուծելի նատրիումի քրոմատ՝ Na_2CrO_4 : Վանադիումի, վոլֆրամի, մոլիբդենի և արսենի միացությունները նույնպես առաջացնում են նատրիումի լուծելի աղեր՝ NaVO_3 , Na_2WO_4 , Na_2MoO_4 , Na_3AsO_4 :

Նատրիումի կարբոնատի փոխազդեցությունը խտանյութի մեջ մնացած երկաթի օքսիդի հետ 500°C -ում գործնականորեն տեղի չի ունենում, իսկ 700°C -ում երկաթի օքսիդի և սողայի միջև ռեակցիան ընթանում է շատ ինտենսիվ, առաջացնելով նատրիումի ֆերիտ՝ (NaFeO_2): Սակայն վերականգնիչ միջավայրում՝ $500...600^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանում, եռարժեք երկաթի օքսիդը վերականգնվում է ցածրարժեք օքսիդի, իսկ

ավելի բարձր ջերմաստիճանում՝ մինչև մետաղական երկաթի: Այսպես, նկ. 3-ում ցույց են տրված սոդայի քանակությունից կախված բովախառնուրդի վերականգնման ջերմաստիճանի (1 կոր) և տևողության (2 կոր) կախվածությունները: Ինչպես երևում է կորերից, մինչև 8% սոդայի պարունակության դեպքում նկատվում է վերականգնման ջերմաստիճանի և տևողության կտրուկ նվազում, մինչդեռ 12% սոդայի պարունակության դեպքում բովախառնուրդի վերականգնման ջերմաստիճանը 140...150°C-ով ցածրանում է, և 20%-ով կրճատվում է վերականգնման ժամանակահատվածը: Առանց սոդայի պարունակության բովախառնուրդի վերականգնման դեպքում ստացված երկաթափոշու մաքրությունն այնքան էլ բարձր չէ, իսկ խառնուկների հեռացումը չնչին է: Մինչդեռ 10% Na_2CO_3 պարունակության դեպքում երկաթի մաքրությունը հասնում է 99,7%-ի :



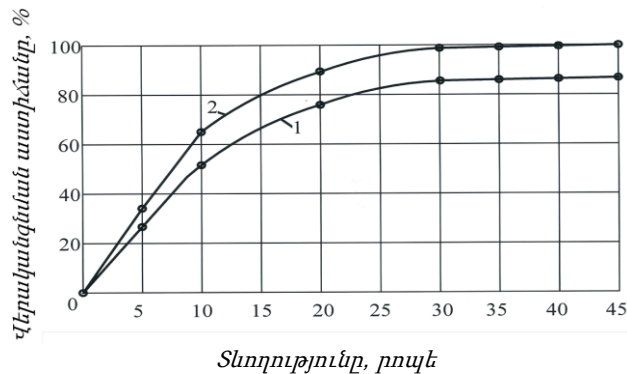
Նկ. 3. Սոդայի ազդեցությունը բովախառնուրդի վերականգնման վերջնական ջերմաստիճանի (1 կոր) և տևողության (2 կոր) վրա

Հետազոտվել են մեխանաքիմիապես ակտիվացված, ածխածնով վերականգնված և չոր մագնիսական տարանջատմամբ ստացված խտանյութերի՝ ածխածնով և նատրիումի կարբոնատով համատեղ վերականգնման մեխանիզմը և կինետիկան, համաձայն որոնց 10% սոդայի պարունակության դեպքում կտրուկ կերպով արագանում է վերականգնման գործընթացը, իսկ ածխածինը հանդիսանում է լավագույն վերականգնիչ ստացված խտանյութերի վերականգնման համար: Սոդան ակտիվացնում է ածխածնի գազիֆիկացման երևույթն իր տրոհման արգասիքներով ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{O} + \text{CO}_2$), որոնք, պահպանելով ավելցուկային էներգիա, ներդրվում են գրաֆիտի ցանցի մեջ՝ նպաստելով կապերի թուլացմանը բազիսային հարթությունների միջև: Սոդան նույնպես ազդում է վերականգնման հետևանքով ստացված մագնետիտի վրա, որի մակերևույթին ադսորբվում են Na_2O գրգռված մոլեկուլները: Այս դեպքում միավալենտ մետաղի վրա ներդրումը փոխում է ազատ էլեկտրոնների կամ անցքերի քանակությունը, հետևաբար և՛ օքսիդի ռեակցիոն հատկությունը:

Կատարվել է հատիկավորման գործընթացի հետազոտում: Պարզվել է, որ հա-

տիկավորող սարքի թմբուկի պտույտների օպտիմալ թիվը կազմում է 30...40 պտ/րոպե, ինչը հնարավորություն է ստեղծում ստանալու հատիկների լավագույն չափը (8...12 մմ):

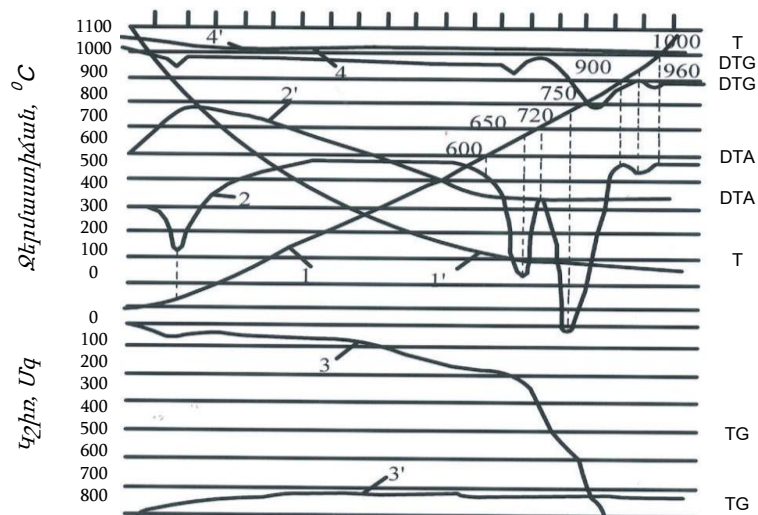
Վերականգնման աստիճանը գնահատվել է մետաղացման աստիճանով, այսինքն՝ $100 \cdot \text{Fe}_{\text{մետ}} / \text{Fe}_{\text{ընդ}}$: Ինչպես երևում է նկ. 4-ից, ածխածինը (լամպի մուր) օժտված է վերականգնման լավագույն հատկություններով. 1150°C ջերմաստիճանում 30 րոպե տևողության դեպքում խտանյութի վերականգնման աստիճանը կազմում է 98...98,5%:



Նկ. 4. Ածխածնով խտանյութի վերականգնման կինետիկան (1-1050°C, 2-1150°C)

Ստդայով և ածխածնով վերականգնման մեխանիզմի և կինետիկայի ուսումնասիրման նպատակով կատարվել են համալիր ջերմաձանրաչափական հետազոտություններ (նկ.5): Գործընթացն ուղեկցվում է ջերմության կլանումով և նմուշի զանգվածի նվազումով: Սա բացատրվում է աղսորբցված խոնավության հեռացումով: Հաջորդ միմիմումը նույնպես բնորոշ է տարբեր բաղադրություն ունեցող բովախառնուրդներին և գրանցվում է DTA և DTG կորերի միջոցով 650⁺⁷°C ջերմաստիճանում: Գործընթացը տեղի է ունենում 600...720 °C ջերմաստիճանային միջակայքում և բացատրվում է վերականգնման առաջին փուլով՝ $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$: Ջերմաստիճանի բարձրացումը մինչև 720...900 °C-ի DTA կորի վրա առաջացնում է նոր միմիմում՝ 750 °C-ում, որը բացատրվում է խտանյութի մեջ եղած խառնուկների հետ սողայի փոխազդեցությամբ: Միաժամանակ, արագանում է վերականգնման երկրորդ փուլի ռեակցիան՝ $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$: Այն իրականացվում է ինչպես պինդ ֆազային դիֆուզիոն մեխանիզմին՝ $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO} \uparrow$, այնպես էլ գազային ֆազի մեխանիզմին համապատասխան՝ $\text{FeO} + \text{CO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2 \uparrow$:

Հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ սողայի պարունակության մեծացմանը զուգընթաց $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$ և $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ վերականգնման արագությունը մեծանում է: Դա բացատրվում է սողայի և խառնուկների փոխազդեցությամբ, որի հետևանքով էլ տեղի է ունենում կապված երկաթի օքսիդների բացահայտում: $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ վերականգնման երրորդ փուլն ընթանում է 900...1000 °C-ում:



Նկ. 5. 15% Na_2CO_3 պարունակող բովախառնուրդի ջերմաձանրաչափական կորերը. 1, 2, 3, 4-ը նմուշի տաքացման ժամանակ համապատասխանաբար ջերմաստիճանի (T), դիֆերենցիալ ջերմային անալիզի (DTA), զանգվածի փոփոխության (TG) և զանգվածի փոփոխության արագության (DTG) կորերն են, իսկ 1', 2', 3', 4'-ը՝ նմուշի սառեցման ժամանակ համապատասխանաբար T, DTA, TG և DTG կորերը

700...1100 °C ջերմաստիճանային միջակայքում վերականգնված բովախառնուրդի արգասիքների միներալոգիական անալիզի միջոցով բացահայտվել է, որ ընթացող սիլիկատառաջացման պինդ ֆազային ռեակցիաների հետևանքով առաջանում են Na_2SiO_3 , $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$, $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$, Ca_2SiO_4 , Mg_2SiO_4 , $2\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$, Al_2TiO_5 , CaCr_2O_4 , $2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, $3\text{CaO} \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Na}_2\text{MgSiO}_4$ միացությունները, որոնք հաստատում են երկակի (սկզբնական, 700...800 °C) և եռակի (երկրորդային, 900...1100 °C) ռեակցիաների համակարգերը: Արդյունքում՝ առաջանում են սիլիկատներ, ալյումինատներ, ալյումասիլիկատներ և այլ բարդ կոմպլեքսներ:

Ինչպես ցույց է տալիս ռենտգենաֆազային վերլուծությունը, հատիկավորված բովախառնուրդների վերականգնման գործընթացում՝ 1000...1050 °C ջերմաստիճանում, տեղի է ունենում պինդ ֆազային ռեակցիաների վերածածկում (առաջնային և երկրորդային):

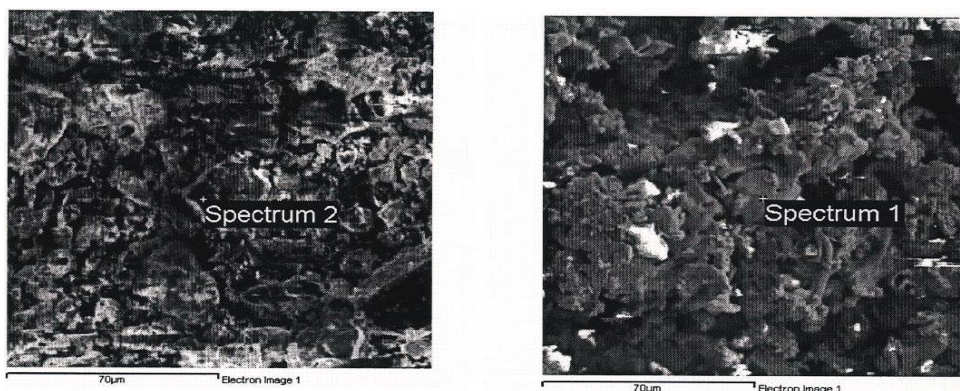
Ուսումնասիրվել են հեղուկ միջակայքում թրծված խտանյութի մանրացման ու մագնիսական տարանջատման գործընթացները, և ընտրվել են օպտիմալ ռեժիմներ, համաձայն որոնց՝ օպտիմալ լարվածությունը կազմում է 71640...79600 Մ/մ:

Հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ սողայի օգտագործումը մեծացնում է խարամներից ստացված բովախառնուրդի վերականգնման արագությունը: Այսպես. 5...15% սողա պարունակող բովախառնուրդների $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$ վերականգնման արագությունը $\alpha=10\%$ -ի դեպքում մեծանում է 6,5...7,5 անգամ, իսկ $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$

վերականգնման արագությունը, երբ $\alpha=50\ldots 60\%$, 2 անգամ: Սողան առավելագույն ազդեցություն է թողնում սկզբնական փուլում. արագության առավելագույն արժեքները շեղվում են դեպի ձախ: Դրանով է բացատրվում $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$ և $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ վերականգնման փուլերի ուժեղ վերածածկումը: Ջերմաստիճանը բարձրացնելիս զգալիորեն մեծանում է ռեակցիայի արագությունը, և կրճատվում է վերականգնման տևողությունը: Այսպիսով, վերականգնման գործընթացի վրա մեծ ազդեցություն է թողնում սողայի ներմուծումը ջրային լուծույթի ձևով: Ներմուծումը կատարվում է հետևյալ փուլերով.

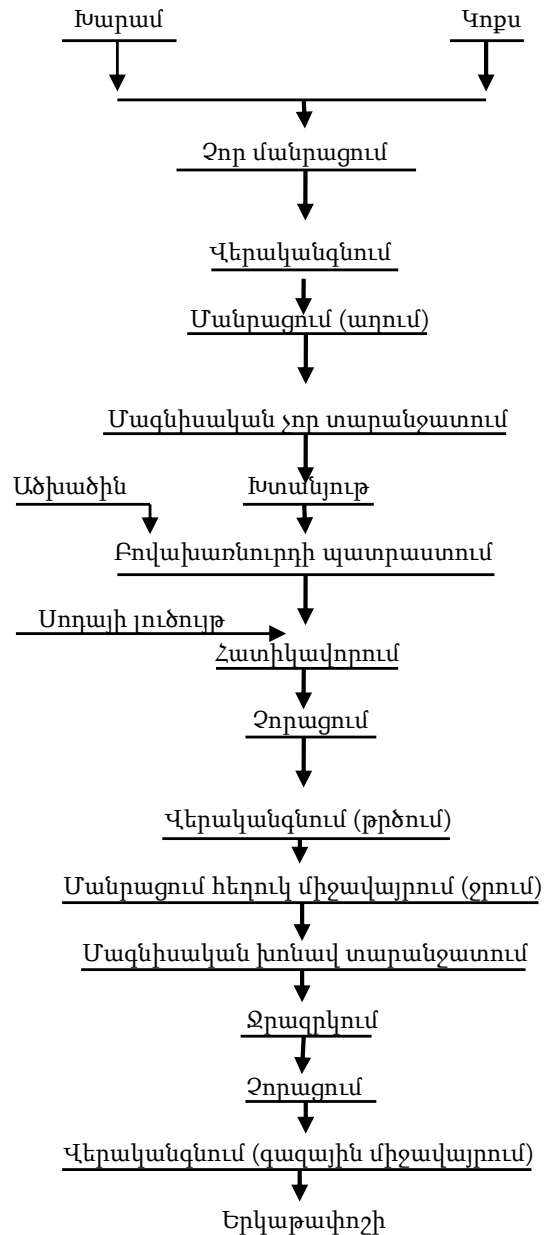
1. Բովախառնուրդի հատիկավորման գործընթացը համատեղվում է բովախառնուրդի մեջ սողայի ջրային լուծույթի ներմուծման գործընթացի հետ: Դա հնարավորություն է ստեղծում, որ սողայի մասնիկները հավասարաչափ բաշխվեն խառնուրդի ամբողջ ծավալով, որի հետևանքով նրա ակտիվությունը կտրուկ մեծանում է, և բովախառնուրդի վերականգնման (թրծման) ժամանակ ստացվում է փափուկ և ծակոտկեն սպունգ՝ բովագնդիկների տեսքով: Այս ամենը բարենպաստ պայմաններ է ստեղծում վերականգնման գործընթացի արդյունավետության համար:

2. Վերականգնման (թրծման) ջերմաստիճանը կարող է տատանվել լայն սահմաններում $1000\ldots 1200\text{ }^\circ\text{C}$: Բարձր ջերմաստիճաններում վերականգնելիս առաջանում են բարդ սիլիկատային միացություններ, որոնք չեն լուծվում ոչ թթուներում, ոչ էլ հիմքերում: Ելնելով դրանից, հատիկավորված բովախառնուրդը ենթարկվել է թրծման (վերականգնման)՝ մուֆելային վառարանում $800\ldots 1100\text{ }^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանային միջակայքում 2 ժամ տևողությամբ: Որպես լավարկված ջերմաստիճան վերցվել է $1000\ldots 1050\text{ }^\circ\text{C}$, իսկ պահման օպտիմալ տևողությունը՝ 3 ժամ: Նկ.6-ում պատկերված է թրծումից և վերականգնումից հետո ստացված երկաթափոշու կառուցվածքը: Ինչպես երևում է նկարից, այն սպունգաձև է, որը բնորոշ է վերականգնման եղանակով ստացված մետաղափոշիներին:



Նկ. 6. Երկաթափոշու կառուցվածքը թրծումից (ա) և վերականգնումից (բ) հետո

Համալիր հետազոտությունների հիման վրա մշակվել է պղնձաձուլական արտադրության թափոնակույտային խարամներից երկաթափոշու ստացման տեխնոլոգիական սխեմա (նկ.7):



Նկ. 7. Պղնձաձուլական արտադրության խարամներից երկաթափոշու ստացման տեխնոլոգիական սխեման

Համաձայն մշակված տեխնոլոգիայի, թափոնակույտային խարամները, գրաֆիտի հետ միասին, խոնավ միջավայրում ենթարկվել են դիսպերս մանրացման 2 ժամ տևողությամբ M-30 մակնիշի թրթռադացում՝ ձեռք բերելով բարձր ռեակցիոն կարողություն, որից հետո ենթարկվել են վերականգնման $950...1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճաններում, 1 ժամ տևողությամբ: Ստացված խտանյութի հետագա մշակումն իրականացվել է սողայով գտման միջոցով: Բովազնդիկները չորացվել և ենթարկվել են վերականգնման (թրծման) $850...900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճաններում, 1 ժամ տևողությամբ, որից հետո մանրացվել են ИМ-1 մակնիշի թաց մանրացման թմբուկային գնդադացում (ջրային միջավայրում) մինչև $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ չափի: Այնուհետև մանրացված զանգվածը բեռնավորվել է 120Б-СЭ տիպի և 75 կգ/ժամ արտադրողականությամբ թաց մագնիսական տարանջատիչի մեջ և ենթարկվել մագնիսական տարանջատման՝ բաժանելով ստացված երկաթափոշին սին ապարներից (ոչ մագնիսական բաղադրամասերից): Ստացված արգասիքը ջրազրկվել է, չորացվել և ենթարկվել վերականգնման ջրածնի միջավայրում՝ $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանում, 1 ժամ տևողությամբ: Արդյունքում՝ ստացվել են երկաթափոշի՝ $\text{Fe} \geq 99,0\%$, $\text{Cu} \leq 0,5\%$ քիմիական բաղադրությամբ, այլ խառնուրդներ՝ $\leq 0,5\%$:

Մշակված տեխնոլոգիայի առանձնահատկությունն այն է, որ սողան (նատրիումի կարբոնատը) ոչ միայն նպաստում է վերականգնման գործընթացին, այլ նաև առաջացնում է պինդ ֆազային միացություններ սիլիցիումի, ալյումինի, մանգանի, մագնեզիումի և այլ տարրերի օքսիդների հետ: Արդյունքում՝ առաջանում են ջրում լուծելի (Na_2SiO_3 , $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ և այլն) և անլուծելի քիմիական միացություններ: Դա հնարավորություն է տալիս ամբողջությամբ ազատվել սիլիցիումի, ալյումինի, մանգանի օքսիդներից, իսկ միացությունները, որոնք առաջանում են սողայի հետ միանալով, հեռացվում են մագնիսական թաց տարանջատման ժամանակ՝ անցնելով պոչանք:

Հետագոտվել են ստացված երկաթափոշու կառուցվածքը և հատկությունները: Ստացված արդյունքներն ամբողջությամբ համապատասխանում են ավանդական ПЖ-В1 մակնիշի երկաթափոշուն: Այն բեկորաձև կամ սպունգաձև է: Միկրոկարծրությունը տատանվում է $800...1160\text{ } \text{MPa}$, լիցքային խտությունը՝ $1,7...2,3\text{ } \text{g/cm}^3$, հոսունությունը՝ $6,1...11,0\text{ } \text{g/}^\circ\text{C}$, մամլունակությունը, 20% ծակոտկենության դեպքում, կազմում է $4,5...5,0\text{ } \text{m/m}^2$: $1100...1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանում 2 ժամ տևողությամբ եռակաված ծակոտկեն ($17...18\%$) նմուշներն ունեն բարձր ամրության սահման՝ $\sigma_{\sigma} = 100...131\text{ } \text{MPa}$, հարաբերական երկարացումը՝ $\delta = 7,8...12\%$ և կարծրությունը՝ $\text{HB} = 320...400\text{ } \text{MPa}$:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Болдырев В.В.** Механохимия и механическая активация твердых веществ // Успехи химии / РАН.- 2006.- Т.75, вып.3.- С. 203-216.
2. **Бутягин П.Ю.** Разупорядоченные структуры и механохимические реакции в твердых телах // Успехи химии.- М.: Наука, 1984.- Т. 53, №11.- С. 1769-1789.
3. Физикохимия ультрадисперсных систем / Институт металлургии им. А.А. Байкова, АН СССР.- М.: Наука, 1987.- 150 с.
4. **Молчанов В.И., Юсупов Т.С.** Физические и химические свойства дисперсных минералов.- М.: Недра, 1981.- 201 с.
5. **Аввакумов Е.Г.** Механохимические методы активации химических процессов.- Новосибирск: Наука, 1986.- 306 с.
6. **Манукян Н.В.** Технология порошковой металлургии.- Ереван: Айастан, 1986.- 232 с.
7. Железные порошки: технология, состав, структура, свойства и экономика / **В.Б. Аккименко, В.Я. Буланов, В.В. Рукин** и др.- М.: Металлургия, 1981.- 88 с.
8. **Кипарисов С.С., Либенсон Г.А.** Порошковая металлургия.- М.: Металлургия, 1980.- 495 с.
9. **Եզակյան Հ.Հ.** Պղնձաձուլական արտադրության խարամների մանրացման մեխանիկական պինդֆազային ռեակցիաների կինետիկան և էներգետիկական բնութագրերը // Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի Լրագրեր.- 2011.- Հատ.8, №2.- էջ 363-367:

ՀՊՀՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 05.11.2013:

С.Г. АГБАЛЯН, А.О. ЕЗАКЯН, С.Г. БОЯДЖЯН

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОГО ПОРОШКА ИЗ ШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Разработана технология получения железного порошка из шлаковых отходов медеплавильного производства, главными особенностями которой являются химическая активация порошка за счет их дисперсионного измельчения, получение концентрата восстановлением и сухой магнитной сепарацией, получение ферромагнитной фазы путем отжига шихты при температурах 1000...1050 °С продолжительностью выдержки 2,5...3 часа при наличии углерода и карбоната натрия, мокрая магнитная сепарация с разделением пустых пород из растворов и дальнейшее низкотемпературное ($T_{\text{в}}=750\pm 10^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{в}}=1,0$ час) восстановление.

Ключевые слова: шлак, фаялит, углерод, механохимическая активация, восстановление, магнитная сепарация, концентрат, сода, грануляция, отжиг, железный порошок.

S.G. AGHBALYAN, H.H. EZAKYAN, S.G. BOYAJYAN

DEVELOPING A TECHNOLOGY FOR OBTAINING IRON POWDER FROM SLAG WASTES OF COPPER SMELTING PRODUCTION

A technology is developed for obtaining iron powder from slag wastes of copper smelting production whose main peculiarities are the chemical activation of the powder at the expense of their dispersion grinding, obtaining the concentrate by means of reduction and dry magnetic separation, obtaining the ferromagnetic phase by annealing the batch at temperatures 1000...1050°C with the duration of exposure 2.5...3.0 hours, at the presence of sodium carbonate and carbon, wet magnetic separation with separation of waste rock from solutions and further low-temperature reduction ($T_{\text{w}} = 750^{\pm 10} \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{v}} = 1.0 \text{ h}$).

Keywords: slag, fayalite, carbon, mechanochemical activation, reduction, magnetic separation, concentrate, soda, granulation, annealing, iron powder.