

Վ.Հ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Ա. Յու. ՇՄԱՎՈՆՅԱՆ, Մ.Է. ՄԱՍՈՒՆՅԱՆ, Զ.Լ. ԶԱՔԱՐՅԱՆ, Ա.Հ. ԶԻՏԱՆՅԱՆ

ՔՐՈՄԻՏՆԵՐԻ ԱԼՅՈՒՄԻՆԱԹԵՐՄԱՅԻՆ ՎԵՐԱԿԱՆԳՆՄԱՆ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ ԱԶԴՈՂ ԳՈՐԾՈՆՆԵՐԸ

Քննարկվում են Սևանի Շորժայի հանքավայրի քրոմիտների հարստացումից ստացված խտանյութի անվառարան ալյումինաթերմային վերականգնման գործընթացի արագության վրա ազդող գործոնները՝ ֆեռոքրոմի (Fe-Cr) կամ ֆեխրալի (Fe-Cr-Al) ստացումով:

Առանցքային բառեր. վերականգնում, ալյումինաթերմիա, ֆեռոքրոմ, բովախառնուրդ, քրոմիտ, խտանյութ:

Ժամանակակից տեխնիկական առաջընթացը կապված է կատարելագործված հատկություններով նոր կոնստրուկցիոն նյութերի սինթեզի հետ՝ էներգախնայողական, նյութախնայողական և բնապահպանական տեսակետից պաշտպանված տեխնոլոգիաներով: Այդպիսի նյութերի թվին են պատկանում համաձուլվածքները, որոնք աչքի են ընկնում իրենց բացառիկ բարձր հակակոռոզիոն, հրակայուն և հրադիմացկուն հատկություններով: Աշխատանքում այդ նյութերի ստացման համար որպես հումք է օգտագործվել Սևանի Շորժայի հանքավայրի քրոմիտների հարստացումից ստացված խտանյութը ($53\% \text{Cr}_2\text{O}_3$, $12\% \text{FeO}$):

Քրոմիտային խտանյութի ալյումինաթերմային վերականգնման փորձերը կատարվում են հետևյալ ձևով՝ բովախառնուրդը (10 g), որը պատրաստվում է քրոմիտային խտանյութից, ալյումինային փոշուց և երկաթի օքսիդից, խառնվելուց հետո տեղավորվում է հրակայուն թասի մեջ: Որպես հարուցանյութ օգտագործվում է $\text{Ti} + \text{C}$ խառնուրդը: Այրման հարուցումը կատարվում է շիկացած մետաղալարի միջոցով: Ռեակցիոն խառնուրդի մակերեսային շերտում գրգռվում է քիմիական ռեակցիան, և ձևավորվում է այրման ալիքը, որն արագորեն տարածվում է ամբողջ նմուշի երկարությամբ՝ առաջացնելով ինքնատարածվող բարձրջերմաստիճանային սինթեզ: Այրումը տևում է $12-16 \text{ րոպե}$: Վերականգնման գործընթացում անջատված մեծ քանակությամբ ջերմության հաշվին զարգանում են բարձր ջերմաստիճաններ ($3000...3500^\circ\text{C}$), որը թույլ է տալիս վերականգնումը տանել անվառարան ռեակցիայի ժամանակ անջատված ջերմության հաշվին: Այդ ծայրահեղ պայմաններում բովախառնուրդը կարծես (եռում է), որի հետևանքով երկաթի քրոմիտում պարունակվող երկաթը և քրոմը հալվում և լուծվում են՝ առաջացնելով մետաղական ֆեռոքրոմի գնդիկներ, իսկ քրոմիտային խտանյութում պարունակվող այլ օքսիդները (SiO_2 , Na_2O , CaO), ստացված Al_2O_3 -ի հետ առաջացնում են սիլիկատներ և ալյումինասիլիկատներ խարամի ձևով, որոնք սառչելուց հետո հեշտությամբ պոկվում են ֆեռոքրոմի գնդիկներից:

Ալյումինաթերմային վերականգնման գործընթացի ջերմային հաշվեկշիռը մեծացնելու նպատակով բովախառնուրդին ավելացվել է նաև NaNO_3 , որի հետևանքով ստացվում է արժեքավոր ազոտ պարունակող ֆեռոքրոմ:

Այրման արդյունքում ստացված արգասիքների հետազոտությունը կատարվել է հետևյալ կերպ: Այրումից հետո պատրաստի արգասիքը սառչում է: Սառած

զանգվածը համաձուլվածքի տարբեր չափի գնդիկներ են, որոնք կենտրոնացված են բովախառնուրդների կենտրոնում, և այլումինասիլիկատային զանգված, որը մանրացնելուց հետո ամբողջովին պոկվում է գնդիկներից: Ստացված համաձուլվածքները ենթարկվել են ռենտգենաֆագային, քիմիական և սպեկտրային վերլուծության:

Անվառարան այլումինաթերմային վերականգնման գործընթացի հալման ջերմաստիճանը կախված է գործընթացի արագությունից: Դանդաղ ընթանալու դեպքում ջերմային կորուստները շատանում են, և ընկնում է հալման գործընթացի ջերմաստիճանը, որն իր հերթին համեմատական է հալման տևողությանը [1-3]:

Այլումինաթերմային գործընթացի արագությունը, կախված արտաքին ճնշումից, կարևոր է ոչ միայն գործնական, այլև մեխանիզմի առումով: Սակայն քանի որ երկաթի քրոմիտի այլումինաթերմային վերականգնման ռեակցիայի ստեխեոմետրիկ հավասարման մեջ զագային արգասիքներ չեն մտնում, և ռեակցվող նյութերի ու արգասիքների եռման ջերմաստիճանները շատ բարձր են, կարելի է ենթադրել, որ հիմնական ռեակցիան ընթանում է պինդ փուլում և արտաքին ճնշումից կախված չէ: Ինչպես նշվում է [4,5]-ում, շատ օքսիդների, այդ թվում և երկաթի ու քրոմի օքսիդների այլումինաթերմային վերականգնման ռեակցիայի արագությունը կախված չէ արտաքին ճնշումից: Հետևաբար այլումինաթերմային վերականգնման ռեակցիան ընթանում է առանց զագային նյութերի առաջացման:

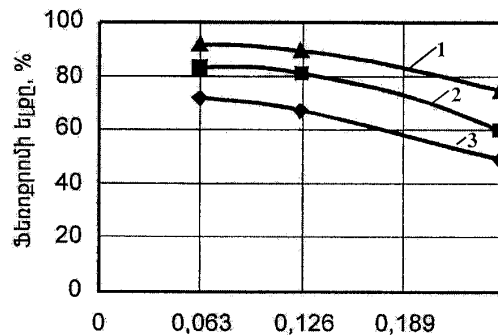
Անվառարան այլումինաթերմային վերականգնման ռեակցիայի արագությունը կախված է բովախառնուրդի և այլումինիումի մանրացման աստիճաններից: Վերականգնման գործընթացում առավելագույն արագություն ապահովելու համար պետք է բովախառնուրդի և վերականգնիչի չափսերն ընտրվեն այնպես, որ բովախառնուրդի ամեն մի տարրական մասնիկ, որը փոխազդեցության մեջ է մտնում այլումինիումի հետ, գտնվի որոշակի քանակական հարաբերության մեջ նրա հետ, և հատիկների ծավալների հարաբերությունը համապատասխանի նրանց մոլ-համարժեքային ծավալներին:

[6-8]-ում փորձնականորեն ապացուցված է, որ այլումինաթերմային վերականգնման գործընթացը առավելագույն արդյունքներ է տալիս բովախառնուրդի և այլումինիումի նույն չափերի դեպքում:

Նկ.1-ից երևում է, որ բովախառնուրդի և այլումինիումի հատիկների չափերի մեծացումը իջեցնում է ֆեռոքրոմի ելքը, քանի որ փոքրանում է փոխազդող նյութերի շփման մակերեսը, և մեծանում են ջերմային կորուստները:

Այսպիսով, այլումինաթերմային վերականգնման ռեակցիաներն ունեն առավելագույն արժեքներ, առավել մանր հատիկների դեպքում, քանի որ այս դեպքում ապահովվում է մասնիկների ամենաէֆեկտիվ խառնումը բովախառնուրդի և այլումինիումի հատիկների միջև շփման մակերեսը առավելագույնն է: Բովախառնուրդի նյութերի մանրացման աստիճանից է կախված այլումինաթերմային հալման գործընթացի արագությունը: Ռեակցիայի արագությունը այստեղ կախված է փուլերի բաժանման մակերեսի մեծությունից, որի պատճառով հատիկների չափերի մեծացումը հանգեցնում է փոխազդող նյութերի տեսակարար մակերեսի փոքրացման, և գործընթացի արագությունն ընկնում է: Հատիկների որոշակի մեծության դեպքում ռեակցիայի հետևանքով անջատված ջերմությունը չի բավարարում բովախառնուրդի հաջորդ բաժնի տաքացմանը և ինքնաբերաբար ընթացքին, և անվառարան վերականգնման գործընթացը դադարում է: Մյուս կողմից՝ բովախառնուրդի նյութերի գերմանրացումը բերում է վերականգնիչի գերայրման և ռեակցվող նյութերի ցրման, իսկ որոշ դեպքերում և պայթման: Բացի

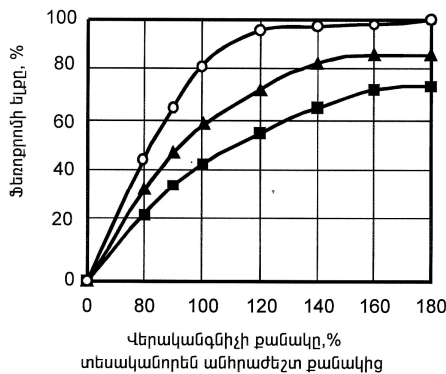
այդ, ինչպես բովախառնուրդի, այնպես էլ ալյումինիումի նուրբ մանրացման ժամանակ մեծանում են նյութերի կորուստները, այդ պատճառով մասնիկների չափերը չպետք է անցնեն $-0,063..-0,125$ մմ-ից:



Նկ.1. Ֆեռոքրոմի ելքի կախումը ալյումինիումի մանրացման աստիճանից բովախառնուրդի տարբեր մանրացման աստիճանի դեպքում՝
1 - $0,063$ մմ, 2 - $0,125$ մմ, 3 - $0,250$

Կարևոր տեխնոլոգիական գործոն է նաև վերականգնիչի քանակի կարգավորման հարցը:

Նկ.2. -ում պատկերված է բովախառնուրդի հալման արագության կախումը վերականգնիչների քանակից ալյումինիումի տարբեր մանրացման աստիճանների դեպքում (բովախառնուրդի մանրացման աստիճանը $-0,063$ մմ):

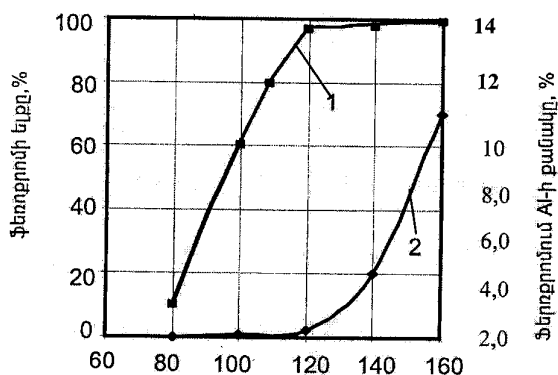


Նկ. 2. Ֆեռոքրոմի ելքի կախումը վերականգնիչի քանակից ալյումինիումի մանրացման տարբեր աստիճանների դեպքում՝
○ $-0,063$ մմ, ▲ $-0,125$ մմ, ■ $-0,500$ մմ

Ֆեռոքրոմի առավելագույն ելքը ստացվում է բովախառնուրդի և վերականգնիչի $0,063$ մմ մանրացման աստիճանի դեպքում:

Վերականգնված ֆեռոքրոմի կորզման աստիճանը, ինչպես նաև դրանում Al-ի պարունակությունը կարող է խիստ փոխվել բովախառնուրդում վերականգնիչի քանակի փոփոխությունից: Որոշակի տիրույթում վերականգնիչի քանակի ավելացումը հանգեցնում է ֆեռոքրոմի ելքի մեծացմանը (նկ.3), այսինքն՝

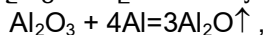
այլումինիումը ծախսվում է հիմնականում վերականգնման ռեակցիայի լիարժեք ընթանալու վրա: Վերականգնիչի 100% պարունակության դեպքում ֆեռոքրոմի ելքը ցածր է և չի անցնում 80% -ից: Լավագույն արդյունքները ստացվում են 120% վերականգնիչի պարունակության դեպքում, ընդ որում ֆեռոքրոմի ելքը հասնում է 98% -ի: Երբ վերականգնիչի քանակը 120% -ից մեծ է, այլումինիումի մի մասն անցնում է հալույթի մեջ, այդ պատճառով այլումինիումի քանակը համաձուլվածքում պետք է սահմանափակվի (նկ.3):



Նկ. 3. Ֆեռոքրոմի ելքի 1 և նրանում Al-ի քանակության 2 կախումը վերականգնիչի քանակից, % տեսական քանակության նկատմամբ

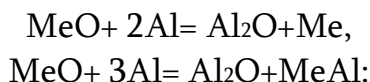
Սակայն այլումինիումի քանակի ավելացումը ֆեռոքրոմում հանգեցնում է նոր տիպի արժեքավոր համաձուլվածքի ստացման Fe-Cr-Al (ֆելխրոլ): Անհրաժեշտության դեպքում այլումինիումի քանակը ֆեռոքրոմում կարելի է հասցնել մինչև 10%:

Բացի այդ, այլումինիումի քանակի ավելացումը բովախառնուրդում հանգեցնում է նաև նրա ցածրագույն օքսիդի առաջացման ըստ հետևյալ ռեակցիայի՝

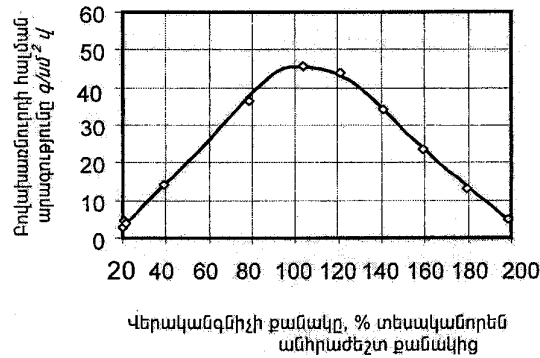


որի դեպքում պատճառով Al -ի ավելցուկի դեպքում այրումը ուղեկցվում է ծխի առաջացումով և այլումինիումի կորստով:

Որոշ դեպքերում Al_2O_3 -ի առաջացումը օգտակար է, քանի որ այն կարող է մասնակցել դժվար վերականգնվող օքսիդների վերականգնման գործընթացին ըստ հետևյալ ռեակցիաների՝



Այլումինիումի քանակի՝ տեսականորեն անհրաժեշտ քանակից ավելացումը (նկ.4) ուղեկցվում է բովախառնուրդի հալման արագության նվազեցմամբ՝ կապված այլումինիումի հալման ջերմային երևույթի մեծացման հետ:



Նկ. 4. Բովախառնուրդի հալման արագության կախումը վերականգնիչի քանակից, բովախառնուրդի և A1 –ի 0,063մմ չափերի դեպքում

Այլումինաթերմային հալման գործընթացի արագությունը կախված է նաև հալման պայմաններից, մասնավորապես, խայծի վերին և ներքին դիրքից:

Ներքին խայծով աշխատելիս, ամբողջ հալման ընթացքում է բովախառնուրդը անընդհատ թափվում է հալույթի մակերեսին, և վերականգնման ռեակցիան ընթանում է միայն այն շերտում, որն անմիջականորեն սահմանակից է բովախառնուրդ-հալույթ սահմանագծին:

Խայծի վերին դիրքով աշխատելիս գործընթացը բնութագրվում է վերականգնման ավելի մեծ արագություններով, քանի որ այս դեպքում հալման ժամանակ անջատված բարձր ջերմաստիճան ունեցող մետաղի կաթիլները ծանրության ուժի ազդեցության տակ իջնում են ներքև, շփվում ոչ խիտ բովախառնուրդի հետ և հարուցում են ռեակցիային անհրաժեշտ ջերմություն ավելի ցածր տեղավորված շերտում, և այդպես վերականգնումն ընթանում է մինչև վերջ:

Փորձերի արդյունքները ներկայացված են աղյուսակում, ուր ցույց է տրված մետաղական զանգվածի հալման գործընթացը՝ կախված այլումինիումի հատիկների մեծությունից վերին և ներքին խայծի դեպքում: Երկու դեպքում էլ բովախառնուրդում պարունակվել է 120% տեսականորեն պահանջված քանակի այլումինիում:

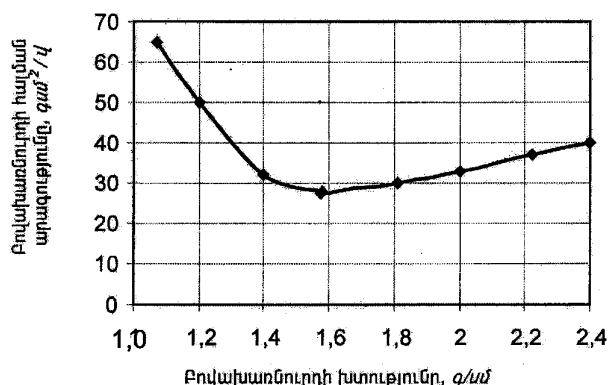
Աղյուսակի տվյալները հաստատում են խայծի վերին դիրքի դեպքում այլումինաթերմային վերականգնման գործընթացի զգալի առավելությունը:

Աղյուսակ

Ֆեռոբորմի հալման արագությունը ($q/սմ^2$ ր) կախված խայծի տրման եղանակից

Այլումինիումի փոշու մանրացման աստիճանը, մմ	Վերին դիրքով խայծ, $q/սմ^2$ ր	Ներքին դիրքով խայծ $q/սմ^2$ ր
0,75	19	9
0,50	20	12
0,25	22	15
0,125	24	16
0,063	35	19

Վերականգնման գործընթացի արագությունը երկու դեպքում էլ կախված է բովախառնուրդի խտության աստիճանից: Ըստ [8]-ի՝ բովախառնուրդի խտության մեծացման հետ գործընթացի արագությունը նվազում է: Դա բացատրվում է պինդ փուլերի և գազային արգասիքների միջև ջերմափոխանցման ուժգնությամբ, որը փոքրանում է բովախառնուրդի խտացումից, չնայած [6,7]-ում հեղինակները պնդում են, որ մետաղաթերմային հալման գործընթացում գազ չի առաջանում կամ աննշան չափով է առաջանում, և հալման արագությունը համարյա կախված չէ բովախառնուրդի խտությունից:



Նկ.5. Բովախառնուրդի հալման արագության կախումը բովախառնուրդի խտությունից՝
3գ քրոմիտային խտանյութ, 1,5գAl, 1գNaNO₃

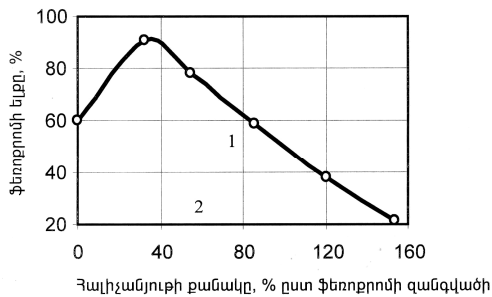
Նկ. 5 -ում պատկերված է բովախառնուրդի հալման արագության կախումը նրա խտությունից:

Ինչպես երևում է, բովախառնուրդի հալման արագությունը սկզբում նվազում է ապա՝ աճում: Առավել հավանական պատճառը արագության կտրուկ նվազման հետ կապված, առաջացած հեղուկ մետաղի դեպի ներքև հոսքի դժվարությունն է, իսկ արագության հետագա աճը՝ 1,68 g/cm^3 խտացումից հետո, շփման պայմանների լավացմամբ՝ կապված է խառնուրդի մեջ եղած օքսիդների և ալյումինիումի փոխազդեցության մասնիկների միջև եղած տարածության փոքրացման հետ: Այդ գործում զգալի դեր ունի ջերմահաղորդականության գործոնը:

Հալիչանյութի (ֆլյուս) ազդեցությունը բովախառնուրդի ալյումինաթերմային հալման արագության վրա որոշվում է նրա տեխնոլոգիական դերով մետաղների օքսիդների ալյումինով վերականգնման գործընթացում: Հալիչանյութի բովախառնուրդի մեջ մտցնելու հիմնական նպատակը որոշակի ֆիզիկաքիմիական բնութագրերով խարամային հալույթի ստացումն է, վերականգնման ռեակցիային զուգահեռ և մետաղական փուլի ու խարամի հնարավորինս լրիվ բաժանման հնարավորության ապահովումը: Որպես հալիչ օգտագործվել է CaO-ն: Իրական ալյումինաթերմային գործընթացներում CaO-ն մտցնելիս վերականգնման ռեակցիան սկզբում չի արագանում, դա ըստ երևույթին հետևանք է այն բանի, որ պինդ CaO-ի մտցնելը բովախառնուրդի մեջ, որի հալման ջերմաստիճանը գերազանցում է գործընթացի ջերմաստիճանին և որի անցումը հալույթի մեջ կապված նրա լուծման հետ բարձր կավահողային խարամի մեջ, ուղեկցվում է ջերմային կորուստներով:

Լուծվելով խարամային հալույթի մեջ, ի հաշիվ ջերմակլանիչ ռեակցիայի, CaO -ն իջեցնում է հալույթի ջերմաստիճանը, հետևաբար նաև՝ բովախառնուրդի հալման արագությունը: Այս երկու գործոնների գոյությունը՝ մետաղի ձուլածոյի ձևավորման պայմանների լավացումը և վերականգնման ռեակցիայի արագության նվազումը, պայմանավորվում են բովախառնուրդում CaO -ի քանակի ընտրությամբ, որը որպես կանոն, չի գերազանցում վերականգնվող օքսիդների զանգվածի 30% -ին:

Նկ. 6 -ում պատկերված է ֆեռոքրոմի ելքի և բովախառնուրդի հալման արագության կախումը հալիչի քանակից:



Նկ.6. Ֆեռոքրոմի ելքի կախումը հալիչանյութի քանակից

Ինչպես երևում է, 30%-ից ավելի CaO -ի ավելացումը հանգեցնում է հալման արագացման և ֆեռոքրոմի ելքի նվազման:

Կինետիկական առումով CaO -ի ավելացումը հանգեցնում է թափոնային ավելցուկի ավելացմանը: Թափոնային ավելցուկը կիրառվում է այն դեպքերում, երբ հարկավոր է իջեցնել գործընթացի արագությունը և հալման ջերմաստիճանը: Պրոցեսի արագությունը բալաստի ավելացումից զծային ձևով նվազում է: Ըստ

որում՝ որքան փոքր է բալաստային խառնուրդի խտությունը, այքան զգալի է նրա ազդեցությունը այլումինաթերմային գործընթացի արագացման վրա:

Բովախառնուրդային նյութերի՝ նախապես տաքացումը հանգեցնում է այլումինաթերմային վերականգնման գործընթացի արագության մեծացմանը՝ կապված ջերմաստիճանի բարձրացման հետ: Թերմիտային խառնուրդների ազդեցությամբ նույն արդյունքն է առաջանում, ինչ և նախապես տաքացումից, սակայն այն դեպքում դրությունը կտրուկ կարող է բարդանալ, եթե թերմիտային խառնուրդում պարունակվում են նյութեր, որոնք ազդում են հալման ընթացքի կամ առաջացած խարամի բաղադրության վրա:

Այսպիսով, փորձարարական հետազոտությունները ցույց տվեցին, որ կարգավորելով անվառարան այլումինաթերմային վերականգնման գործընթացում բովախառնուրդի հալման արագությունը, կարելի է քրոմիտային խտանյութից ստանալ ֆեռոքրոմ բավական մեծ ելքերով: Անհրաժեշտության դեպքում կարելի է ստանալ նաև ֆեխրալ կամ այլ լեգիրող հավելանյութեր:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Боголюбов В.А.** К теории алюминотермического процесса // Сталь, 1958. - 1 1.
2. **Боголюбов В.А.** Зависимость температуры алюминотермического процесса от удельной теплоты // Сталь, 1987. - 1 6.
3. **Добровин А.С.** О температуре металлокерамических процессов // Сб.тр. Челябинского НИИМ. - Вып. 2. - Челябинск: Кн. изд.-во, 1980.

4. Плинер Ю.Л., Сучильников С.И. К вопросу о факторах, определяющих температуру внепечной алюминотермической плавки // Изв. вузов. Черная металлургия. - 1971. - ¹ 11.
5. Мурач Н.Н., Верягин У.Д. Внепечная металлургия // Металургиздат, 1986.
6. Процессы горения в химической технологии и металлургии / Под ред. проф. А.Г. Мержанова. - Черноголовка, 1985. - 288 с.
7. Беляев А.Ф., Комкова Л.Д. Зависимость скорости горения термитов от давления // Журнал физической химии. - 1980. - Т. 24, вып. 2.
8. Плинер Ю.Л., Рубинштейн Е.А., Добровин А.С. Влияние крупности компонентов на протекание внепечного алюминотермического процесса // Тр. Челябинского НИИМ. - Челябинск: Кн. изд-во, 1983.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 7.03.2005:

**В.А. МАРТИРОСЯН, А.Ю. ШМАВОНЯН, М.Э. САСУНЦЯН, К.Л. ЗАКАРЯН,
А.О. ЧИТАНЯН
ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СКОРОСТЬ АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ХРОМИТОВ**

Изучены кинетические закономерности процесса внепечного алюминотермического восстановления местных хромитовых руд, в частности, факторы, влияющие на скорость восстановления с получением феррохрома (Fe-Cr) или фехрала (Fe-Cr-Al).

Ключевые слова: восстановление, алюминотермия, феррохром, шихта, хромит, концентрат.

**V.H.MARTIROSYAN, A.Yu.SHMAVONYAN, M.E.SASUNTSYAN,
K.L. ZAKARYAN, A. N. CHITANYAN
FACTORS INFLUENCING THE SPEED OF CHROMITE ALUMINIUM-THERMAL RESTORATION
PROCESS**

Kinetic process regularities of non-furnace aluminium-thermal restoration of local chromite ores, in particular, factors influencing restoration speed obtaining ferrochrome (Fe-Cr) or fechrал (Fe-Cr-Al) are studied.

Keywords: restoration, aluminium-thermal, ferrochrome, chromite, concentrate.