

Հ.Ս. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Լ.Զ. ԳԱԼՍՏՅԱՆ

ՏԱՔ ԱՐՏԱՄՂՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ ԵՐԿԱԹ-ՔՐՈՄԱՅԻՆ ՓՈՇԵԿՈՄՊՈԶԻՏԱՅԻՆ
ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՍՏԱՅՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Հետազոտված է Fe-Cr համակարգի ընդհանրացված վիճակի դիագրամը, որում վերլուծվել են երեք գերկառուցվածքային ֆազեր՝ β , θ և σ : Հետազոտված են հոմոգենության և խտությամբ իրարից տարբերվող փոշեմետաղական երկաթ-քրոմային համաձուլվածքների ստացման մեթոդները: Ներկայացված են դրանց եռակալման, արտամղման լավարկված ռեժիմները: Բերված են համաձուլվածքների մեխանիկական հատկությունները և միկրոկառուցվածքային վերլուծությունները:

Առանցքային բառեր. երկաթ-քրոմային համաձուլվածքներ, կոմպոզիցիոն նյութ, հոմոգենային կառուցվածք, գերկառուցվածքային ֆազ, մեխանիկական հատկություններ, տաք արտամղում, միկրոկառուցվածք:

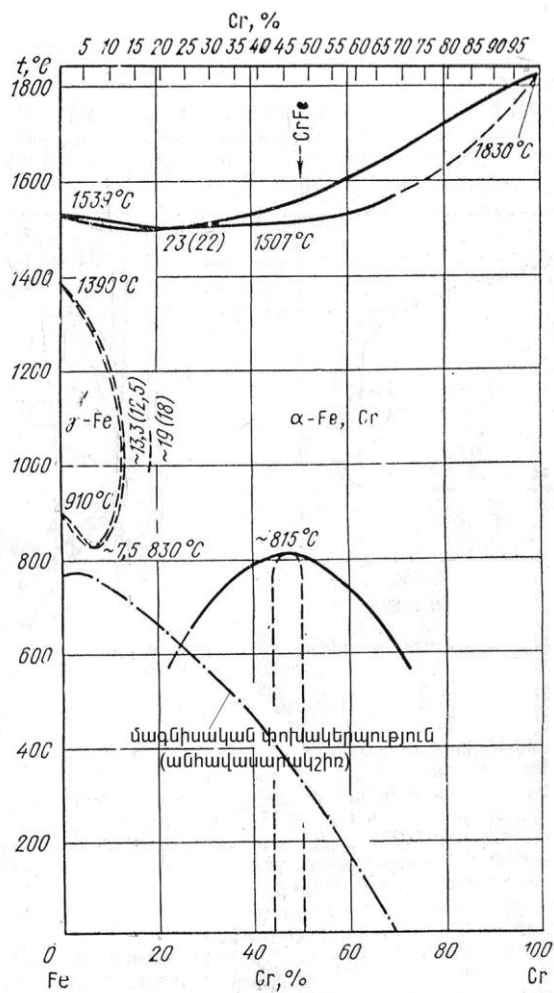
Ներածություն. Փոշեմետաղագիական տեխնոլոգիաները թույլ են տալիս առավել լիարժեք իրագործելու հետերոգեն կառուցվածքով հակաշփական կոմպոզիտային նյութերի հիմնական պահանջները:

Եռակալված պինդ ֆազում նյութերի վերլուծությունը ցույց է տվել, որ չնայած մեխանիկական հարաբերականորեն բարձր բնութագրերին՝ կոմպոզիտային նյութերի կիրառման բնագավառները սահմանափակ են՝ մնացորդային ծակոտկենության պատճառով, որը այլ հավասար պայմանների առկայությամբ պայմանավորված է մետաղական մայրակի ամրությամբ և հարաբերական խտությամբ [1]:

Երկաթ-քրոմ համակարգի համաձուլվածքների ավելի վաղ ուսումնասիրությունները կատարվել են անցյալ դարի սկզբին: Այդ ժամանակ արդեն բավականին մեծ ճշտությամբ որոշվել են դյուրահալության կորերը, γ -Fe-ում քրոմի պինդ լուծույթների տիրույթը, ինչպես նաև σ -փուլի առաջացման կոնցենտրացիան և ջերմաստիճանային սահմանները:

Աշխատանքի նպատակն է Fe-Cr համակարգի վիճակի դիագրամի վերլուծության հիման վրա (մինչև 1200°C միջակայք) մշակել համանման բաղադրիչներով փոշեկոմպոզիտային նյութի ստացման տեխնոլոգիա (տաք արտամղում) և բացահայտել տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները: Վիճակի դիագրամը [2] Fe-Cr համակարգի հիման վրա բերված է նկ.1-ում; Լիկվիդուսի և սոլիդուսի կորերի վրա 22% Cr-ի և 1507°C -ի դեպքում դիտվում են մինիմումներ: Քրոմը կայունացնում է երկաթի ծավալակենտրոն խորանարդային մոդիֆիկացումը և այդ մոդիֆիկացումների հետ առաջացնում է պինդ լուծույթների անընդհատ շարքեր:

Նստակենտրոն խորանարդային կառուցվածքում քրոմի պինդ լուծույթների տիրույթը երկաթում համեմատաբար նեղ է և աճում է մինչև 13,3% Cr: Քրոմը նվազեցնում է երկաթի պոլիմորֆ $\alpha \leftrightarrow \gamma$ անցման ջերմաստիճանը 910-ից մինչև 830°C ~ 7,5% քրոմի պարունակության դեպքում: Քրոմի պարունակության հետագա ավելացումը հանգեցնում է ջերմաստիճանի կտրուկ աճին: Հալույթներում ~ 50% քրոմի պարունակության դեպքում 815°C ջերմաստիճանում տեղի է ունենում α -պինդ լուծույթի փուլային վերաբյուրեղացում, այսպես կոչված՝ σ -ֆազի առաջացմամբ: $\alpha \rightarrow \sigma$ անցումը բավականին դանդաղ է ընթանում, և այն ավարտելու համար անհրաժեշտ է բավականին երկար ժամանակ պահել տվյալ ջերմաստիճանի պայմաններում [2]:

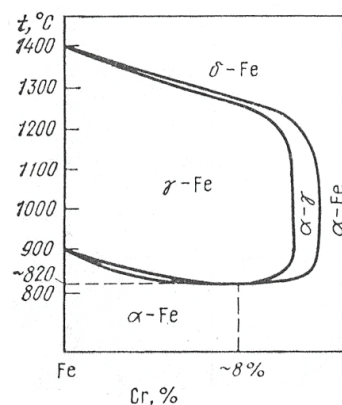


Նկ.1. Fe-Cr համակարգի վիճակի դիագրամը

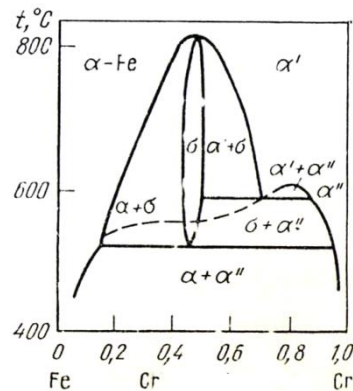
Մ-ֆազն ունի տարրական բջիջում 30 ատոմներով բարդ տետրագոնալ կառուցվածք և սովորաբար առաջանում է անցումային մետաղների հիմքով համակարգերում: Մ-ֆազերը, որպես կանոն, օժտված են հոմոգենության բավականին լայն տիրույթներով: Երկաթ-քրոմ համակարգում այդ ֆազը 600°C-ում գտնվում է Cr-ի 43...49(առ.)% տիրույթում: Մ-ֆազի ցանցի պարբերություններն են՝ $a=0,88$ նմ, $c=0,54$ նմ և քիչ են փոփոխվում հոմոգենության տիրույթի սահմաններում:

[2, 3] աշխատանքներում ճշտվել են հալույթի համակարգում V օղակի ձևը և դիրքը: Ուսումնասիրությունները կատարվել են միկրոկառուցվածքային և միկրոքիմիական վերլուծության մեթոդներով տարբեր ջերմաստիճաններում երկարատև իզոթերմիկ պայմաններում պահելուց հետո: Հալույթում ածխածնի պարունակությունը փոփոխվում է 0,001-ից մինչև 0,005% (ըստ զանգվածի), ազոտի պարունակությունը՝ 0,002-ից մինչև 0,009%:

Նկ. 2-ում ցույց է տրված հալույթի համակարգում γ -տիրույթը [2]: 0,005% C-ի և 0,0009% N-ի պարունակության դեպքում կորի մինիմումը որոշվում է 820°C և Cr-ի 8,9% կոորդինատներով: Նվազեցնելով ածխածնի պարունակությունը մինչև 0,0025 և ազոտի պարունակությունը մինչև 0,005%, մինիմումի կետը տեղաշարժվում է մինչև 840...845°C -ի 7,8% Cr-ի դեպքում: Ուսումնասիրվել է նաև երկաթ-քրոմ համակարգի վիճակի դիագրամի ցածր ջերմաստիճանային մասը: 550°C-ից α և σ ֆազերի պինդ լուծույթներն անկայուն են դառնում և շերտավորում են երկու պինդ լուծույթների ծավալակենտրոն խորանարդային ցանցով: Մ ֆազի բացակայության պայմաններում α պինդ լուծույթի շերտավորումը սկսվում է ավելի բարձր ջերմաստիճաններում: Նկ. 3-ում բերված է երկաթ-քրոմ համակարգի վիճակի դիագրամի ցածր ջերմաստիճանային մասը [2], ստվերագծված մասում ցույց է տրված α պինդ լուծույթի շերտավորումը σ ֆազի բացակայության դեպքում:



Նկ. 2. Fe-Cr համակարգի համաձուլվածքների γ օղակը



Նկ. 3. Fe-Cr համակարգի վիճակի դիագրամը 800°C-ից ցածր ջերմաստիճաններում

Համակարգում շերտավորման տիրույթի առկայությունը համապատասխանում է թերմոդինամիկական տվյալներին, հատկապես՝ իդեալական լուծույթներից ունեցած դրական շեղումով և դրական ջերմային շեղումներով: Դա նշանակում է, որ α և σ ֆազերի պինդ լուծույթները ջերմաստիճանի իջեցմանը զուգընթաց դառնում են պակաս կայուն և գոյացնում են քրոմի մեծ և փոքր պարունակություններով պինդ լուծույթներ: σ ֆազի կայունության ջերմաստիճանային տիրույթը կազմում է մոտավորապես 440...820°C:

Հետևաբար՝ առաջադրված մաշման պայմաններում աշխատող կոմպոզիտային նյութերի ֆիզիկամեխանիկական և շահագործողական հատկությունների բարձրացման համար անհրաժեշտ է մշակել տեխնոլոգիա բարձրամուր և կոմպակտ շինվածքների ստացման համար:

Բարձր խտությամբ փոշեկոմպոզիտային նյութերի ստացման առավել տարածված մեթոդներից է հեղուկ մետաղական ֆազի առկայությամբ եռակալումը [4]: Պինդ ֆազային եռակալման հետ համեմատած, որի դեպքում որոշիչը դիֆուզիոն գործընթացներն են, մածուցիկ հոսքը և վերաբյուրեղացումը, որը տեղի է ունենում հեղուկ ֆազի առաջացման ժամանակ, զգալիորեն բարձրացնում է կոմպոնենտների դիֆուզիայի արագությունը, հեշտացնում պինդ մասնիկների իրար նկատմամբ տեղաշարժը, որի հետևանքով ծակոտիները արագ լրացվում են:

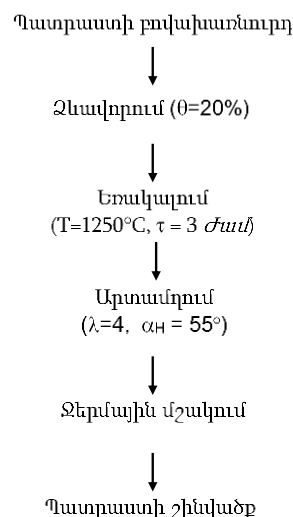
Հեղուկ ֆազի առկայությամբ եռակալման տեխնոլոգիաների կիրառումով հնարավոր է դառնում մշակել երկաթի հիմքով մի շարք կոմպակտ կոմպոզիտային փոշեհամաձուլվածքների ստացման մեթոդներ և բաղադրություններ, որոնք ցուցաբերում են բարձր ամրություն և մաշակայունություն: Որպես ելանյութեր այստեղ ծառայում են մետաղական երկաթափոշին (ПЖ4М), Մենդելեևի պարբերական համակարգի IV-VI խմբերի անցողիկ մետաղների կարբիդները (TiC, Mo₂C, Cr₂C₂, WC, VC), ինչպես նաև գրաֆիտը:

Առավել հեռանկարային կոմպոզիտային փոշեպողպատներից են երկաթի հիմքով կարբիդաքրոմային համաձուլվածքները, որոնք աշխատում են շփման, հղկումային մաշման և բանվորական բարձր ջերմաստիճանի պայմաններում:

$\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-Fe-C}$ համակարգի նյութերի զգալի բարձր ամրությունը պայմանավորված է երկաթի փոշու ցեմենտացնող հատկությամբ: Բովախառնուրդի մամլում-եռակալում գործընթացը ($1130\ldots 1150^\circ\text{C}$) ուղեկցվում է արագ նստեցումով, որը Fe-Cr-C էվտեկտիկայի հիման վրա հեղուկ ֆազի առաջացման հետևանք է:

Երկաթի 40...70% բաղադրության աճով իջնում է կարծրությունը, բարձրանում են ամրությունը և հարվածային մածուցիկությունը: Դա բացատրվում է առավել պլաստիկ բաղադրամասերի աճով, որը ներկայացնում է ածխածնացված ֆերոքրոմ: Երկաթի 60...70% պարունակության դեպքում հարվածային մածուցիկությունը աճում է 3,5 անգամ, իսկ ըստ ծոման ամրությունը՝ 1,6 անգամ: Կարբիդային ֆազի միկրոկարծրությունը կազմում է 13500...14000, իսկ ածխածնային ֆերոքրոմի կարծրությունը՝ 6150...6200 *ՄՊա* [4]: Մեկ այլ աշխատանքում [5] մաշակայուն երկաթ-քրոմային համաձուլվածքի ստացման համար Cr_3C_2 -ի փոխարեն օգտագործվել է արդյունաբերական վառարանային ածխածնային ֆերոքրոմ, որի լուծման մեխանիզմը երկաթում Cr_3C_2 -ի լուծման անալոգն է: Միայն ֆերոքրոմը լուծվում է առավել ցածր ջերմաստիճաններում (մոտ 1000°C), և $1000\ldots 1100^\circ\text{C}$ միջակայքում պրոցեսն ավելի արագ է ընթանում, քան Cr_3C_2 -ի առկայության պայմաններում:

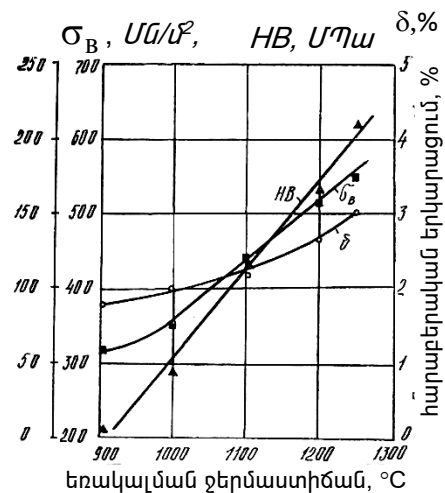
Հետազոտության արդյունքները: Fe-Cr հիմքով եռակալված նյութերի մեխանիկական հատկությունների ուսումնասիրության համար պատրաստվել են փորձանմուշներ՝ համաձայն հետևյալ տեխնոլոգիական սխեմայի (նկ. 4):



Նկ. 4. Եռակալված և արտամղված կոմպոզիցիոն նյութի ստացման տեխնոլոգիական սխեման

Եռակալումը կատարվել է ջրածնի միջավայրում Al_2O_3 -ի օգտագործմամբ:

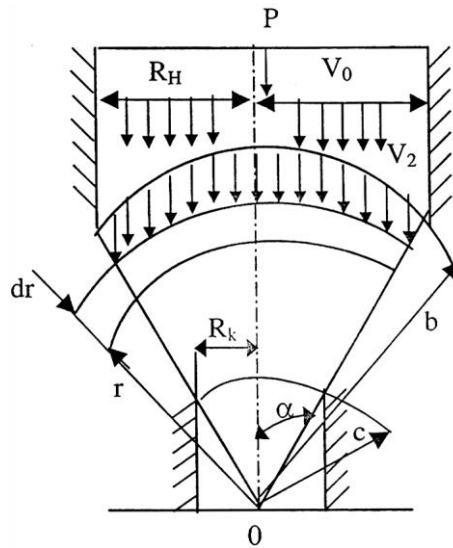
Եռակալման ջերմաստիճանի բարձրացումով (նկ.5) փորձանմուշների ամրությունն աճում է: Օրինակ, $T=1250^\circ C$ եռակալումով (երբ սկզբնական ծակոտկենությունը 20% է) մեխանիկական հատկությունները ստացվում են. ամրությունը՝ $\sigma_B = 179 \text{ ՄՆ/սմ}^2$, կարծրությունը՝ $HB = 620 \text{ ՄՊա}$, հարաբերական երկարացումը՝ $\delta = 3\%$:



Նկ.5. Fe-Cr փոշենյութի σ_B , HB և δ կախվածությունը եռակալման ջերմաստիճանից. ծակոտկենությունը 20%, պահումը՝ 2 ժամ [5]

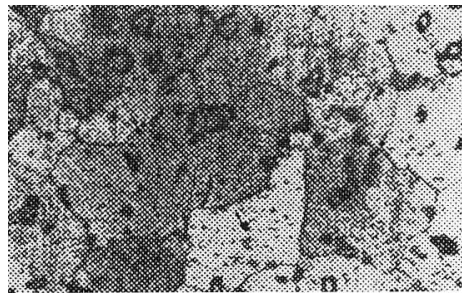
Fe-Cr-C համաձուլվածքի ստացման համար ֆերոքրոմի փոշենյութ է ներմուծվել 0,2...1,0% գրաֆիտ՝ ТМЖ մակնիշի: Եռակալման գործընթացում օգտագործվող Al_2O_3 -ը պարունակում է 7...8% C՝ ածխածնազրկումը կանխելու համար: Փորձարկման արդյունքներից պարզվել է, որ նվազագույն ամրությունը ածխածնի 0,2% պարունակության դեպքում է՝ 360 ՄՆ/սմ²: Ածխածնի 1%-ի դեպքում՝ $\sigma_B = 552 \text{ ՄՆ/սմ}^2$:

Ձևավորման առավել արդյունավետ մեթոդներից է տաք արտամղումը, որը հնարավորություն է տալիս ստանալու կոմպակտ (անծակոտկեն) կառուցվածք (նկ. 6):

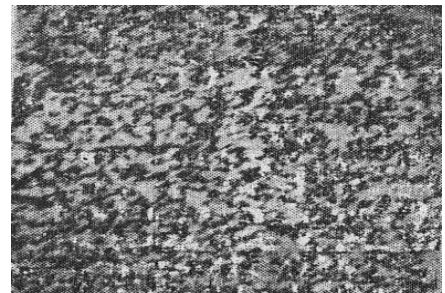


Նկ.6. Արտամղման ժամանակ նյութի հոսքի սխեման [6]

Fe-Cr-C (1%Cr և 0,4%C) կոմպոզիտային նյութից պատրաստված փորձանմուշները ($\varnothing 24 \times 40$ մմ), որոնք պատրաստվել են օպտիմալ ռեժիմներով, ենթարկվել են արտամղման: Արդյունքում՝ ստացվել են անձակոտկեն (մինչև 1,8...2,0%) $\varnothing 12$ մմ տրամաչափի շինվածքներ: Ստացված բարձր մեխանիկական հատկությունները՝ HB=2150 ՄՊա, $\sigma = 420$ ՄՆ/մ², հաստատում են տաք արտամղման առավելությունը: Նկ. 7-ում պատկերված է արտամղված փորձանմուշների միկրոկառուցվածքը, որը ներկայացնում է լեգիրված ֆերոքրոմ, ֆերրիտ և պեռլիտ: Նկարում պարզ երևում է նաև կարբիդային ֆազը:



ա)



բ)

Նկ. 7. Երկաթ-քրոմային փոշեհամաձուլվածքի միկրոկառուցվածքը.
ա - եռակալումը 1300°C. 3 ժամ պահումով, բ - Fe-Cr-C փոշեհամաձուլվածքը
արտամղումից հետո ($T=1150^\circ\text{C}$; $\lambda=4$)

Տաք արտամղումից հետո նմուշներն անմիջապես մխվել են NaCl-ի 10% - անոց ջրային լուծույթում: Արդյունքում ստացվել է մարտենսիտային կառուցվածք: Ստացված նյութի բարձր մաշակայունությունը պայմանավորված է ստացված կոմպոզիտային համաձուլվածքի չհավասարակշռված կառուցվածքով՝ մարտենսիտային հիմքով, որում տեղաբաշխված են $(CrFe)_7C_3$ կարբիդների կարծր մասնիկներ՝ շրջապատված քրոմի դիֆուզիոն գոտիներով: Կարբիդների միկրոկարծրությունն է 18000...20000 *ՄՊա*, իսկ մարտենսիտի դիֆուզիոն գոտիներինը՝ 7500 *ՄՊա*:

Եզրակացություն. Ներկայացված արդյունքներից հետևում է փոշեմետալուրգիայի մեթոդների հեռանկարային և նպատակահարմար լինելը երկաթի հիմքով մաշակայուն և բարձրամուր շինվածքների պատրաստման համար:

Միևնույն ժամանակ, բերված տվյալները ցույց են տալիս, որ բարձրամուր շինվածքները, որոնք կարող են աշխատել մեծ բեռնվածությունների պայմաններում, ստացվում են եռակալված ծակոտկեն նախապատրաստվածքների ճնշմամբ մշակման եղանակներով (տաք դրոշմում, արտամղում և այլն):

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Радомысельский И.Д.** Металлокерамические конструкционные детали // Порошковая металлургия. – Киев, 2002. – N9/10. – С. 105-117.
2. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа: Справочник / **О.А. Банник** и др. – М., 1986. – 439 с.
3. **Григорьев А.И., Куприна В.В.** // ЖНХ. - 1983. – Т. 8, N 11. – С. 2563-2565.
4. **Клименко В.Н., Маслюк В.А., Самброс Ю.В., Самборос Ю.В.** Спекание, структурообразование и свойства порошковых материалов системы карбид хрома – железо // Порошковая металлургия. – Киев, 1986. – N8. – С. 39-44.
5. **Львовский М.М.** Исследование процесса полирования порошковых конструкционных материалов углеродистым феррохромом // Спеченные конструкционные материалы. – Киев: Ин-т проблем материаловедения АН УССР, 1994. – С. 115-121.
6. **Петросян А.С., Туманян Г.А.** Способ изготовления беспористых длинномерных заготовок горячей экструзией // Механика. - 2007. – Т. 60, N 3. – С.127-131.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 28.09.2016.

А.С. ПЕТРОСЯН, Л.З. ГАЛСТЯН

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ
ФЕРРОХРОМОВЫХ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
МЕТОДОМ ГОРЯЧЕЙ ЭКСТРУЗИИ**

Исследованы сплавы системы $Fe-Cr$ в обобщенном виде. Установлено, что в сплавах системы $Fe-Cr$ образуются три сверхструктурные фазы β , θ и σ с разными областями гомогенности. Изучены методы получения порошковых феррохромовых сплавов, которые отличаются высокой плотностью и прочностью. Определены оптимальные режимы их спекания, горячего прессования и экструзии. Приведены механические свойства сплавов и дан их микроструктурный анализ.

Ключевые слова: феррохромовые сплавы, композиционный материал, гомогенная структура, сверхструктурная фаза, механические свойства, горячая экструзия, микроструктура.

H.S. PETROSYAN, L.Z. GALSTYAN

**THE TECHNOLOGICAL PECULIARITIES OF OBTAINING
FERROCHROMIUM POWDER COMPOSITE MATERIAL
BY EXTRUSION**

Three superstructure phases with different homogeneity regions are formed in the alloys of the $Fe-Cr$ system. The alloys of the $Fe-Cr$ system in the generalized form are investigated. The methods for producing powder $Fe-Cr$ alloys that have high density and strength are studied. The optimal regimes of sintering, hot pressing and extrusion are determined. The mechanical properties of the alloys and the microstructural analysis are introduced.

Keywords: $Fe-Cr$ alloys, composite material, homogeneous structure, superstructure phase, mechanical properties, hot extrusion, the microstructure.