

Հ.Ս. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Գ.Ա. ԹՈՒՄԱՆՅԱՆ, Է.Գ. ՀԱՄԲԱՐՁՈՒՄՅԱՆ

**ՖԵՐՈՍՈԼԻԲԴԵՆԻ ՀԻՄՔՈՎ ՍՏԱՑՎԱԾ ՓՈՇԵԿՈՍՊՈԶԻՑԻՈՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ
ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԵՎ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱՅԻՆ
ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Հետազոտվել են <Fe-Mo> հիմքով հակաշփական նշանակության փոշեկոմպոզիցիոն նյութեր: Հիմքում ունենալով ամրացման պինդ լուծույթային (Fe[Mo], Fe[Cu]) և ինտերմետաղական (FeMo, Fe₂Mo) մեխանիզմները և <Fe-Mo> մայրակին ավելացնելով պինդ յուղիչներ (S, C, MoS₂)՝ ստացվում են չոր շփման պայմաններում աշխատող հակաշփական հատկություններով ($f=0,08...0,1$ և $i=0,025...0,034$ գր/կմ) փոշեկոմպոզիցիոն նյութեր: Տրված են այդ նյութերի ֆիզիկամեխանիկական հատկությունները և միկրոկառուցվածքային վերլուծության արդյունքները:

Առանցքային բառեր. արտամղում, կոմպոզիցիոն նյութ, մեխանիկական և հակաշփական հատկություններ, միկրոկառուցվածքային վերլուծություն, կոնստրուկցիոն նյութ:

Նոր հակաշփական նշանակության առանցքակալային նյութերի մշակումը ժամանակակից տեխնիկայում ունի ժողովրդատնտեսական նշանակություն: Հետազոտություններով պարզվել է, որ կոմպոզիցիոն մետաղակերամիկական նյութերի մեջ պինդ յուղիչների (գրաֆիտ, սուլֆիդներ, սելենիդներ և այլն) ներմուծումը զգալիորեն բարձրացնում է առանցքակալային նյութերի և շինվածքների մաշակայունությունը՝ շահագործման ընթացքում պահպանելով շփվող հանգույցների չափային ճշտությունը: Հայտնի է, որ պինդ յուղիչ պարունակող մեքենամասը կարող է աշխատել սահմանային և չոր շփման պայմաններում, ինչը երաշխավորում է հակաշփական հատկություններով կոմպոզիցիոն նյութերից սահքի ուղղորդիչների և հենարանների, տարբեր նշանակության առանցքակալների (վռաններ և ներդրակներ), միացմատերի և թրթուրավոր ժապավենների, ինչպես նաև ծանր բեռնվածության պայմաններում աշխատող լիսեռների և ատամնանիվների պատրաստումը:

Արդյունաբերության մեջ լայնորեն կիրառվող ծակոտկեն <Fe-C>, <Fe-Mo-C>, <Fe-Cu-C> փոշեհամաձուլվածքների շարքում առավել պակաս են հետազոտված <Fe-Mo> հիմքով փոշեհամաձուլվածքները:

Ծակոտկեն նյութերի դեֆորմացման և ամրացման (կոմպակտավորման) տեսական-փորձական հետազոտությունները հնարավորություն են տալիս մշակել մետաղական փոշենյութերի արտամղման տեխնոլոգիա, որին հատուկ է մամլման եռակալման գործընթացների համակցումը, ինչի արդյունքում ստացվում է անծակոտկեն նյութ:

Այս գործընթացին բնորոշ յուրահատկությունն է նաև արտամղման արդյունաբար զուգորդումը բարձր ջերմաստիճանային ջերմամեխանիկական մշակման (ԲՋՄՄ) և դրան հաջորդող միման ու հետագա արձակման հետ [1]:

Հետազոտման ծրագրում նախատեսվում է ֆերոմոլիբդենի հիմքի վրա արտամղված <Fe-Mo+K> փոշեհամաձուլվածքների հակաշփական և մեխանիկական հատկությունների ուսումնասիրումը մոլիբդենի 5% և K-ի (Cu, C, S, MoS₂) 0,5...2,0% բաղադրության սահմաններում:

Պղնձով լեգիրումը բարձրացնում է առանցքակալի տանող ընդունակությունը (<Fe-Mo-Cu>, <Fe-Cu-C>, PV=7 (*ՄՊա-ւ/վրկ*)), կոմպոզիցիոն նյութի ջերմահաղորդականությունը, ապահովում եռակալում հեղուկ ֆազի մասնակցությամբ (որն էլ ակտիվացնում է կառուցվածքագոյացման գործընթացը), նվազեցնում մաշումը [1]:

Ծանր բեռնվածության տակ աշխատող առանցքակալների պատրաստման համար օգտակար է նաև 0,5 ...0,8% ածխածնի ներմուծումը:

Հիմքում ունենալով ամրացման պինդ լուծույթային Fe[Mo], Fe[Cu] և ինտերմետաղական (FeMo, Fe₂Mo) մեխանիզմները, <Fe-Mo> մայրակին ավելացնելով պինդ յուղիչներ (S, C, MoS₂) ստացվում է չոր շփման պայմաններում աշխատող հակաշփական նշանակության փոշեկոմպոզիցիոն նյութ [2,3]:

Հետազոտման առանցքում հակաշփական նշանակության հետևյալ փոշեկոմպոզիցիոն նյութերն են՝ ա - Fe+5%Mo+2%Cu+0,5%C+2%MoS₂ բաղադրությամբ արտամղված, բ - նույն բաղադրությամբ ջերմամշակված (*t*_{մխմ}=1050°C, *t*_{արձ}=300°C, *τ*_{պահ}=2ժամ) և գ - Fe+5%Mo+2%Cu+1%S բաղադրությամբ արտամղված (աղ. 1):

Աղյուսակ 1

Փոշեկոմպոզիցիաների էլքային բաղադրությունը, տոկոս

Նմուշ	Կոմպոզիցիոն նյութ	Կոմպոնենտների բաղադրությունը, %					
		Cu	Mo	MoS ₂	S	C	Fe
ա	Fe-Mo-Cu-C-MoS ₂ (արտամղված)	2,0	5,0	2,0		0,5	մնացածը
բ	Fe-Mo-Cu-C-MoS ₂ (մխված)	2,0	5,0	2,0		0,5	
գ	Fe-Mo-Cu-S (արտամղված)	2,0	5,0		1		

Երկաթի հիմքով փոշեհամաձուլվածքների հակաշփական և մեխանիկական հատկությունները բերված են աղ. 2-ում:

Աղյուսակ 2

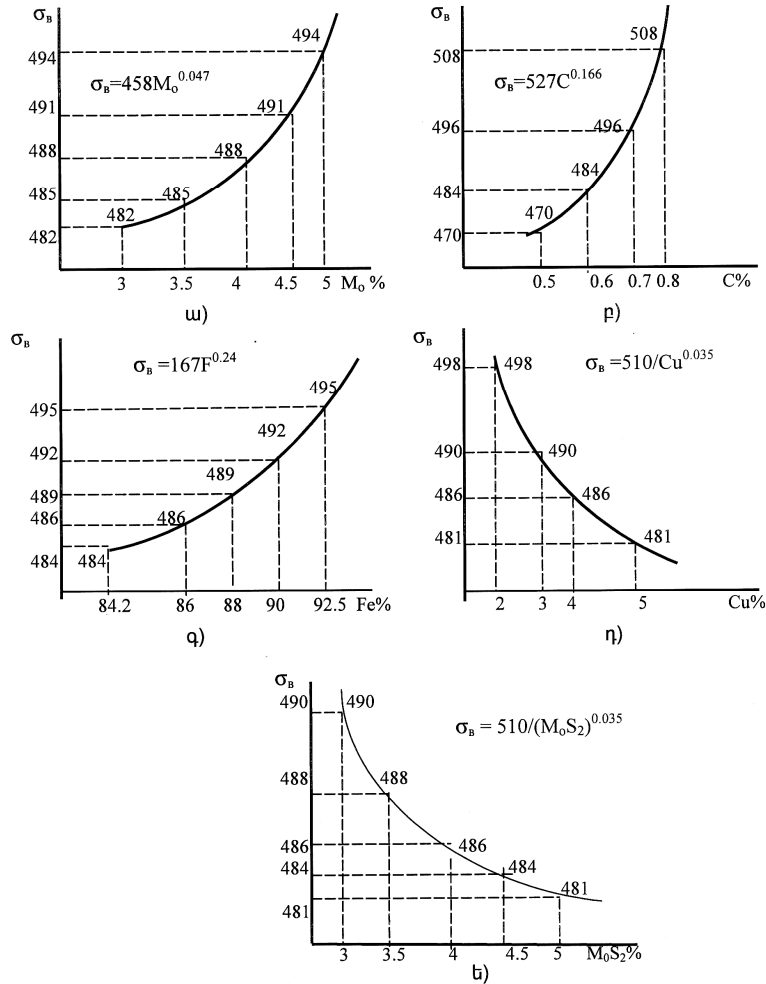
Երկաթի հիմքով փոշեհամաձուլվածքների հակաշփական և մեխանիկական հատկությունները

Նմուշ	Կոմպոզիցիոն նյութ	V=1 մ/վրկ (չոր շփում)		σ_2 , ՄՊա	HB, ՄՊա	KC, կջ/մ ²	λ Վտ / մ.Կ
		P, ՄՊա	f				
ա	Fe-Mo-Cu-C-MoS ₂ (արտամղված)	18	0,09	510	1100	830	35,5
բ	Fe-Mo-Cu-C-MoS ₂ (մխված)	18	0,08	-	1980	550	30,0
գ	Fe-Mo-Cu-S (արտամղված)	14	0,1	440	870	970	46,0

Հիմնական գործոնների ազդեցության աստիճանը արտամղմամբ ստացված համաձուլվածքի ամրային հատկությունների վրա բացահայտվել է փորձի փաստացի 2⁵ տիպի գիտափորձի պլանավորման մեթոդով: Հետազոտվել է պարամետրերի այնպիսի կախվածություն, որի դեպքում ապահովվում է փոշեկոմպոզիցիոն նյութերի առավելագույն ամրություն՝

$$\sigma_B = \frac{182(M_0)^{0,047} \cdot C^{0,166} \cdot Fe^{0,24}}{(Cu)^{0,035} \cdot (MoS_2)^{0,035}} : \quad (1)$$

Նկ. 1-ում բերված են ամրության արժեքների կախումը որոշվող գործոններից: $\sigma_B = f(Mo, C, Fe)$ - ֆունկցիան հիպերբոլիկ աճող է, իսկ $\sigma_B = f(Cu, MoS_2)$ - ֆունկցիան՝ հիպերբոլիկ նվազող:

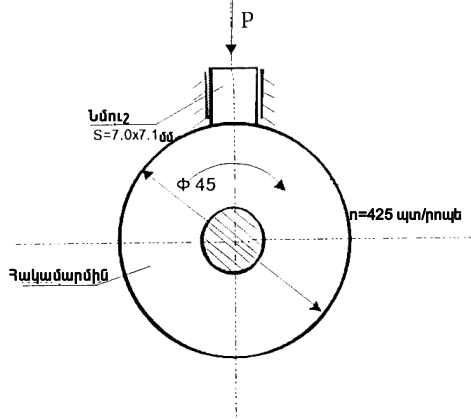


Նկ.1. Կոմպոզիցիոն նյութի ամրության կախումը բաղադրամասերի տոկոսային պարունակությունից (ա-ե)

Ստացված գրաֆիկներից կարելի է որոշել հետազոտվող պարամետրերի այն օպտիմալ արժեքները, որոնց դեպքում ապահովվում են փոշեկոմպոզիցիոն նյութի բարձր մեխանիկական հատկություններ, այն է՝ $Mo(\sim 5\%)$, $C(0,8\%)$; $Cu(2\%)$ և $MoS_2(3\%)$, մնացածը՝ երկաթ:

Նշված բաղադրությամբ կոմպոզիցիոն նյութի մեխանիկական հատկություններն են՝
 $\sigma_B = 510...540 \text{ ՄՊա}$, $HB=1811 \dots 2100 \text{ ՄՊա}$, $KC=800...850 \text{ կՋ/մ}^2$:

Հակաշփական փոշեկոմպոզիցիոն նյութերի փորձարկումները կատարվել են ՄՄ-1M սարքի վրա (նկ.2):



Նկ.2. Շփման գործակցի որոշման փորձարկման սխեմա

Փ փորձարկման ռեժիմներն են. շփումը՝ սահքի; սահքի արագությունը – 1 մ/վրկ; տեսակարար ճնշումը – $2...40 \text{ ՄՊա}$; ջերմաստիճանը – սենյակային, շփումը – ինքնայուղում; մշակման ժամանակը – 1 ժամ: Որպես հակամարմին օգտագործվել է պողպատ 45 մակնիշի (45(12 պտտվող հոլովակը (HRC 48-50):

Արտամղման եղանակով փորձանմուշները 1-2 ժամ տևողությամբ $P=2 \text{ ՄՊա}$ բեռնվածության տակ ենթարկվել են նախնական մշակման ($V=1 \text{ մ/վրկ}$):

Որպես նախամշակման ավարտի ցուցանիշ հանդես է գալիս շփման մոմենտի և ջերմաստիճանի փոքրացումը և դրանց հետագա կայունացումը կոնտակտային գոտում:

Շփման գործակիցը հաշվարկվել է

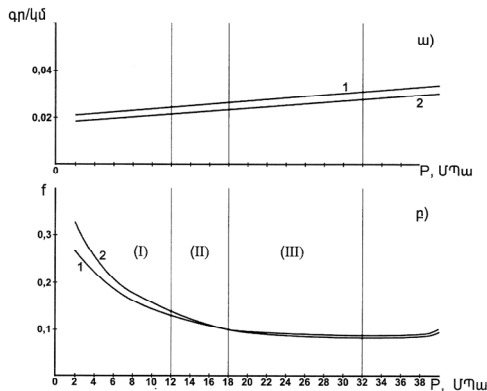
$$\mu = \frac{M_{\text{միջ}}}{P \cdot r}, \quad (2)$$

բանաձևով, որտեղ $M_{\text{միջ}}$ - ը շփման մոմենտի միջին արժեքն է, Ն(մ; P - ն՝ բեռնվածությունը, ՄՊա; r - ը՝ հոլովակի (հակամարմնի) շառավիղը, մ:

Մաշվածությունը որոշվել է կշռային մեթոդով, փորձարկումից առաջ և հետո ստացված կշիռների տարբերությամբ (մեկ կմ անցած շփման ճանապարհի համար: Նկ. 3 ա, բ-ում բերված են մաշման՝ i ($գր/կմ$) և շփման գործակիցների (f) կախումը բեռնվածությունից (P): Այստեղ առանձնացված են երեք բնորոշ տեղամասեր՝ առաջին՝ ինկուբացիոն կամ անցումային, երկրորդ՝ կայուն, որը համապատասխանում է շփման հանգույցի աշխատանքի նորմալ ռեժիմներին և երրորդ՝ մաշող:

Բեռնվածության մեծացումով շփման գործակիցը նվազում է մինչև կայունացված ռեժիմի սկսվելը, որը համապատասխանում է ինկուբացիոն տեղամասին: Շփման գոտու ջերմաստիճանային գործոնի առկայության շնորհիվ, տեքստուրացված պինդ յուղման գործընթացը դառնում է դյուրին՝ հանգեցնելով կայունացված ռեժիմի (II գոտի): Վերջինս բնորոշվում է կայուն շփման գործակցի և

թույլատրելի մաշման արժեքներով, որոնք առկա են՝ ի հաշիվ շփվող մակերեսներում երկրորդային կառուցվածքագոյացման:



Նկ.3. Մաշման (ա) և շփման գործակցի (բ) կախվածությունը բեռնվածությունից ոչ ծակոտկեն նմուշների համար.

1 – Fe+5%Mo+2%Cu+2%MoS₂+0,5%C
(արտամղված)
2 – Fe+5%Mo+2%Cu+2%MoS₂+0,5%C
(մխված)

Շփման գործակցի հետագա աճը և մակերևույթների արագացված մաշը (III գոտի) վկայում է կառուցման գործընթացի ծավալման մասին: Բեռնվածության աճը զարգանում է 2 *ՄՊա*-ով, իսկ յուրաքանչյուր բեռի համար պահման ժամանակը (մաշման տևողությունը) կազմում է 1 ժամ: Փորձարկման արդյունքները բերված են աղյուսակ 3-ում:

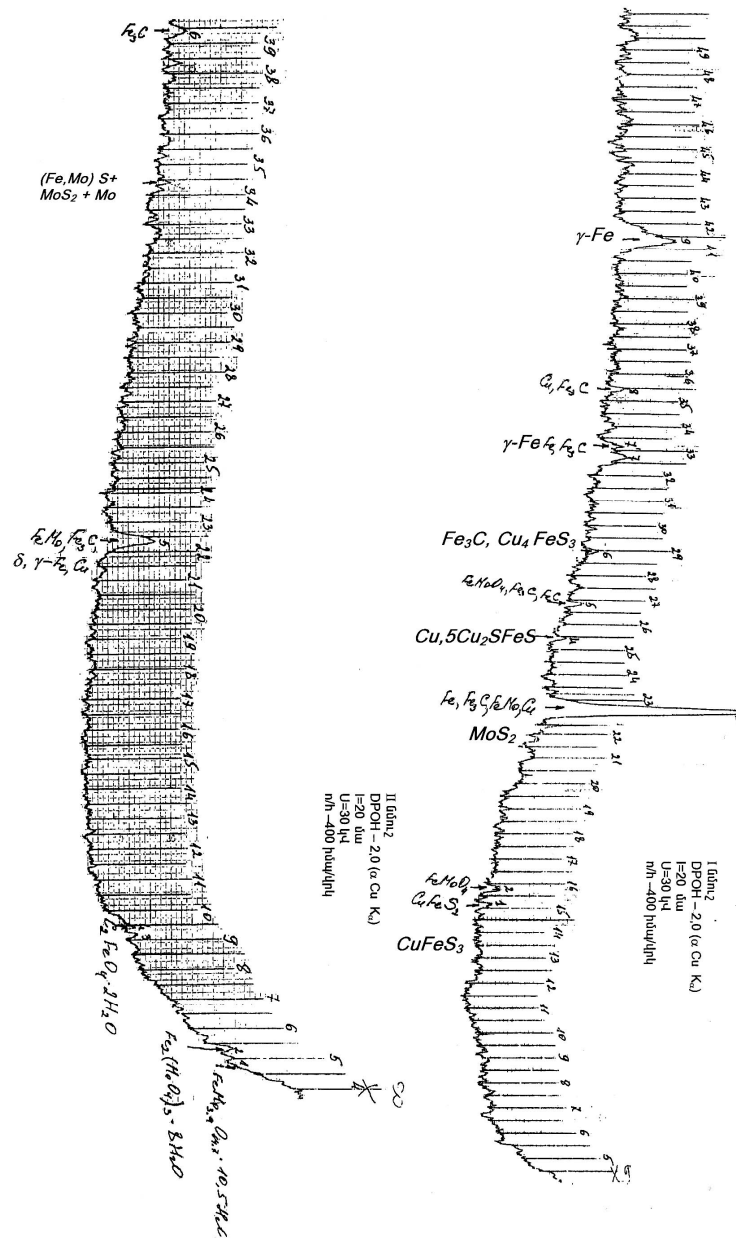
Կոմպոզիցիոն նյութի աշխատանքային օպտիմալ ռեժիմը գտնվում է ճնշման արժեքների $P=18...38$ *ՄՊա* միջակայքում (նկ. 3), որի ընթացքում շփման գործակցի և մաշման արժեքները չեն գերազանցում $f=0,08...0,1$ և $i=0,025...0,034$ *գր/կմ*:

Աղյուսակ 3

Փորձարկվող նմուշների քիմիական բաղադրությունը և հակաշփական արդյունքները						
Նյութը (Fe+5%Mo+2%Cu+2%MoS ₂ +0,5%C)	Բեռնվածություն, ՄՊա					
	2,0	8,0	12,0	18,0	32,0	40,0
Արտամղումից հետո	0,27	0,16	0,13	0,10	0,09	0,10
	0,021	0,023	0,024	0,026	0,03	0,034
Մխումից հետո	0,33	0,18	0,14	0,10	0,085	0,095
	0,018	0,02	0,021	0,023	0,027	0,03

* Համարիչում շփման գործակցի արժեքներն են, իսկ հայտարարում՝ մաշումը (*գր/կմ*):

Հայտնի է, որ շփվող գույգի հակաշփական բնույթի պարամետրերի համար առանձնակի նշանակություն ունեն առաջացած II-ային կառուցվածքների բնույթը և հատկությունները: II-ային կառուցվածքագոյացումը հետևանք է մակերևութային շերտի մեխանաքիմիական լեգիրման (փոխազդեցությունների)՝ ներառյալ շփվող մակերևույթներում նյութերի (օքսիդներ, սուլֆիդներ, կարբիդներ և այլ միացություններ) դիսպերսացումը: Վերջիններս գոյանում են եռակալման բարձր ջերմաստիճաններում և մեծ ճնշումներով շփման պայմաններում, ուր նրանք ձեռք են բերում նոր որակ (բնութագրեր և կառուցվածք), որի հիման վրա կոմպոզիցիոն նյութը ձեռք է բերում բարձր մեխանիկական հատկություններ (աղյուսակ 2), ինչպես օրինակ՝ նյութերի դիսպերս կարծրացման ժամանակ գոյացած II-ային կառուցվածքի դերը ադգեզիոն-դեֆորմացիոն գործընթացների տեղայնացումն է՝ ինչն առաջացնում է սահքի ցածր ամրությամբ բարակ աշխատանքային շերտ (նկ. 4):

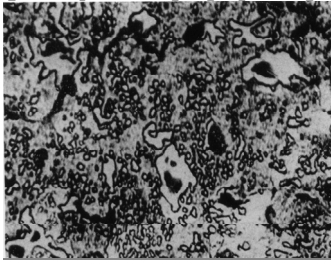


Նկ.4. <Fe-Mo-Cu-MoS₂-C> կոմպոզիցիոն նյութի ռենտգենակառուցվածքային վերլուծություն,
 I նմուշ - կոնտակտային շփման մակերևույթ, II նմուշ - արտամղված
 նյութի հղկված մակերևույթ

Cu-ով և C-ով լրացուցիչ լեգիրումը, ինչպես նաև հետագա ջերմային մշակումներն ապահովում են բարձր հակաշփական հատկություններ (դեֆորմացման $\lambda=3,4$ պայմաններում):

Միտումից հետո ստրուկտուրան մարտենսիտային է, ինչն էլ ապահովում է կոմպոզիցիոն նյութի բարձր մեխանիկական հատկություններ (աղ. 2):

2 կշ.%Cu առկայությունը Fe-Cu-S կոմպոզիցիոն նյութում առաջացնում է FeS և Fe₂S սուլֆիդներ, իսկ 1000 °C և ավելի ջերմաստիճաններում՝ $\gamma - \text{Fe} + \text{FeS} + \text{Cu}_4\text{FeS}_3$, որտեղ γ -ն Cu-ի պինդ լուծույթն է երկաթի մեջ Fe[Cu]: Առաջացած միացությունների մեծամասնությունը՝ այդ թվում նաև FeS-ը և Cu₂S-ը միասին առաջացնում են հոմոգեն և անընդհատ պինդ լուծույթներ: Առաջացնում են նաև 5Cu₂S·FeS, 2Cu₃SFeS կամ Cu₄FeS₃ միացություններ [4], սուլֆիդներ, որոնք փոշեկոմպոզիցիոն նյութում ապահովում են բարձր հակաշփական հատկություններ (նկ.5):



Նկ.5. Fe-Cu-C-S կոմպոզիցիոն նյութի միկրոկառուցվածքը թրծումից հետո (X500)

Դիտարկելով Fe-Mo-S եռակի համակարգի դիագրամը [5], համոզվում ենք, որ էվտեկտիկայի բյուրեղացման ջերմաստիճանը $\text{Ж} \Leftrightarrow \delta\text{-Fe} + \text{MoS}_x$ 1150(C է: Էվտեկտիդային փոխակերպությունը՝ $\delta\text{-Fe} \Leftrightarrow \gamma\text{-Fe} + \text{MoS}_x$ ընթանում է 1120(C-ում: MoS₂-ի լուծելիությունը δ և $\gamma\text{-Fe}$ -ի մեջ մեծ է, իսկ $\alpha\text{-Fe}$ -ում չի գերազանցում (ըստ կշռի) 0,5% [6,7]: Համաձուլվածքում գոյացած մոլիբդենի սուլֆիդը՝ MoS_x ($x \approx 1,8$) բյուրեղային կառուցվածքով մոտ է MoS₂-ին, ինչն էլ ապահովում է հետագոտվող փոշեկոմպոզիցիոն նյութի հակաշփական հատկություններ (նկ.3, աղ.2):

Հետագոտություններից պարզվում է, որ մշակված հակաշփական փոշեկոմպոզիցիոն նյութը (ա - բաղադրության) ունի հետևյալ առավելությունները.

- լավ է աշխատում մեծ բեռնվածությունների պայմաններում ($P=18...38 \text{ ՄՊա}$, $V=1 \text{ մ/վրկ}$),

- ունի բարձր հակաշփական և մեխանիկական հատկություններ՝ ($f=0,08$ և ցածր մաշվածություն) $\sigma_B \approx 500 \text{ ՄՊա}$, $HB=1980 \text{ ՄՊա}$,

- 2% Cu-ի առկայության շնորհիվ ունի լավ ջերմահաղորդականություն՝ $\lambda=46 \text{ Վտ/մ}\cdot\text{Կ}$,

- ենթարկվում է ջերմային մշակման (միտում), բարձրացնելով սեփական ամրությունը և կարծրությունը՝ ($HB=2100 \text{ ՄՊա}$, $KC=850 \text{ կՋ/մ}^2$) բավարար մածուցիկության պայմաններում:

Հետագոտված փոշեկոմպոզիցիոն նյութերը կարելի է օգտագործել մեծ բեռնվածությունների տակ և չոր շփման պայմաններում աշխատող առանցքակալների պատրաստման համար:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Манукян Н.В. Порошковая металлургия на пороге 3000-летия. – Ереван: Тигран Мец, 2000. – 205 с.
2. Woodyatt J.R., Kraus G. – Met. Trans. – 1979. – V. A10, ¹ 12. – P. 1893 – 1900.
3. Андреасян М.Г. Некоторые свойства ферромолибденового порошка и прочностные свойства спеченного изделия // Порошковая металлургия: Труды ЕрПИ. – Ереван, 1971. – Том. 35, вып. 1. – С. 145-151.
4. Вол А.Е. Строение и свойства двойных металлокерамических систем. – М.: Наука, 1959. – 1976. – Т.1-3.
5. Шурин А.К., Киндрачук М.В., Разумова Н.А. Металлофизика: Респ. межвед. сб.- Киев: Наукова думка, 1978. – ¹ 71. – С. 61-63.
6. Merwin N.E., Lombard R.H. Economical Geology. – 1937. – V. 32, ¹ 2. – P.203-284.
7. Bogitch M.B. Compt.Rend. Seanc. de L'academie Sei. – 1926. – T.182, ¹ 7. – P. 468-470.
8. Шурин А.К., Киндрачук М.В., Разумова Н.А. Металлофизика: Респ. межвед. сб. - Киев: Наукова думка, 1978. – ¹ 71. – С. 61-63.

ՀՊՃՀ. Նյութեր ներկայացվել է խմբագրություն 16.03.2005:

А.С. ПЕТРОСЯН, Г.А. ТУМАНЯН, Э.Г. АМБАРЦУМЯН

АНТИФРИКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ФЕРРОМОЛИБДЕНОВОЙ МАТРИЦЫ

Рассматриваются вопросы исследования порошковых композиционных материалов на основе <Fe-Mo> антифрикционного назначения. На основе растворного (Fe[Mo], Fe[Cu]) и интерметаллидного (FeMo, Fe₂Mo) механизмов путем добавления твердых смазок (S, C, MoS₂) получены порошковые композиционные материалы антифрикционного назначения ($f=0,08...0,1$ и $i=0,025...0,034$ г/км), работающие в условиях сухого трения. Даны физико-механические свойства и микроструктурный анализ композиционных антифрикционных материалов.

Ключевые слова: экструзия, композиционный материал, антифрикционные и механические свойства, микроструктурный анализ, конструкционный материал.

H.S. PETROSYAN, G.H. TUMANYAN, E.G. HAMBARTSUMYAN

ANTIFRICTION PROPERTIES AND A MICROSTRUCTURAL ANALYSIS OF POWDER COMPOSITE MATERIAL OBTAINED IN THE TERMS OF IRON MATRIX

Problems of studying composite material <Fe-Mo> with antifriction properties are considered. In terms of solution Fe[Mo], Fe[Cu] and intermetallid (FeMo, Fe₂Mo) mechanisms by adding solid lubricants in the matrix <Fe-Mo> powder composite materials with antifriction properties ($f=0,08...0,1$ and $i=0,025...0,034$ g/km) operating in dry friction property conditions are obtained. The physical and mechanical properties and a microstructural analysis of composite antifriction material are given.

Keywords: extrusion, composite material, antifriction and mechanical properties, microstructural analysis, structural material.