

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Վ.Գ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

ԱԼՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՓՈՇԵՀԱՄՍԱԶՈՒԼ ՎԱՐՔԻ ՊԵՆԴ ՔՍԱՆՅՈՒԹԻ
ՕՊՏԻՄԱԼ ԲԱՂԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ԸՆՏՐՈՒՄԸ ԵՎ ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ
ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ

Համալիր հետազոտությունների արդյունքում մշակվել է ալյումինային հակաշփական փոշեհամաձուլվածք ($4\%Cu+1,8\%Mg+1,2\%Cr+4,5\%MoS_2+Al_{100}$) պինդ քսանյութի 4,5% բաղադրությամբ, որի մեխանիկական հատկություններն են՝ $\sigma_{\theta}=240...245$ ՄՊա, $HB=700...710$ ՄՊա, $\delta=1,5...2,5\%$, իսկ շփման թույլատրելի պարամետրերը՝ չոր շփման դեպքում՝ $P \leq 5$ կգ, $V \leq 1,2$ մ/վ դեպքում $f=0,075...0,97$, $I=2,8...4,3$ մկմ/կմ, սահմանային շփման դեպքում՝ $P \leq 12$ կգ, $V \leq 1,2$ մ/վ (500 պտ/րոպե) դեպքում $f=0,08$, $I \leq 7$ մկմ/կմ և $P \leq 11$ կգ, $V=2,4$ մ/վ, (1000 պտ/րոպե) դեպքում $f \leq 0,075$, $I \leq 7,0$ մկմ/կմ: Երկրորդային կառուցվածքը ներկայացնում է մետաղական օքսիդների և սուլֆիդների միացություն, որի հիմքը կազմում է MoS_2 -ը:

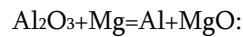
Առանցքային բաղադր. ալյումինային փոշեհամաձուլվածք, մամլվածք, տաք արտամղում, մխում, ձերացում, սահմանային շփում, չոր շփում, մաշում, երկրորդային կառուցվածք:

Ներածություն. Սահմանային և հատկապես չոր շփման պայմաններում աշխատելիս անհրաժեշտություն է առաջանում պաշտպանել շփման մակերևույթներն ինտենսիվ մաշումից և քայքայումից: Այդ նպատակի համար լայն տարածում են ստացել չոր քսանյութերը, հատկապես մոլիբդենի դիսուլֆիդը [1-4]: Այն ունի ցածր շփման գործակից՝ $f=0,017...0,047$: Մաշակայուն ալյումինային համաձուլվածքները կարելի է ստանալ և՛ փոշեմետալուրգիական, և՛ ձուլման տեխնոլոգիաներով: Ձուլման տեխնոլոգիայի հիմնական թերությունն այն է, որ MoS_2 -ի բարձր տեսակարար կշիռը ($\rho_{MoS_2} = 4,8...5,16$ գ/սմ³), որը շատ ավելի բարձր է, քան ալյումինինը, դժվարացնում է նրա ներմուծումն ալյումինային հալույթ, բացի այդ, ալյումինային հալույթն օժտված է բավականին բարձր քիմիական ակտիվությամբ, ինչը կարող է հանգեցնել MoS_2 -ի մասնակի քայքայման, եթե վերջինս երկար ժամանակ գտնվի հալույթում: Փոշեմետալուրգիական եղանակի դեպքում այս խնդիրը վերանում է, սակայն առկա է մեկ այլ խնդիր. ալյումինը բավականին ակտիվ տարր է, նրա փոշին պատված է օքսիդային թաղանթով և կարող է պարունակել մինչև 20% Al_2O_3 : Օքսիդային թաղանթները խոչընդոտում են լեգիրող և մետաղական տարրերի շփումը և հետևաբար՝ լեգիրող տարրերի լուծման գործընթացը: Այդ իսկ պատճառով շատ է դժվարանում ինտերմետաղական ֆազերի, հետևապես և պահանջվող հատկությունների ստացումը: Դա նվազեցնում է փոշեհամաձուլվածքների տարողունակությունը և թույլ չի տալիս լիարժեք կերպով բացահայտել պինդ քսանյութի (MoS_2) քսուքապատող հատկու-

թյունները: Այս տեսակետից առաջադրված խնդիրը խիստ արդիական է և հեռանկարային:

Ելնելով վերոհիշյալից, աշխատանքի նպատակն է ընտրել և հիմնավորել ալյումինային հակաշփական փոշեհամաձուլվածքի օպտիմալ բաղադրությունը և ուսումնասիրել մեխանիկական ու հակաշփական հատկությունները:

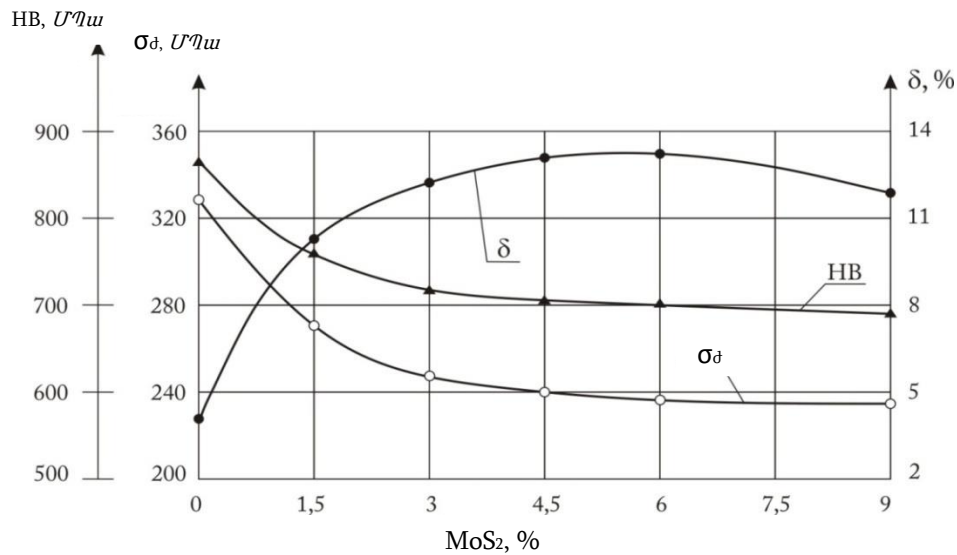
Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը. Ալյումինափոշու օքսիդային թաղանթից խուսափելու նպատակով բովախառնուրդ է ներմուծվել Mg-ի փոշի, որը թթվածնի նկատմամբ ունեցած իր ավելի բարձր խնամակցության հաշվին վերականգնում է ալյումինի օքսիդային թաղանթը և նպաստում լեգիրող տարրերի միջև մետաղական կապի ու ինտերմետաղական ֆազերի առաջացմանը:



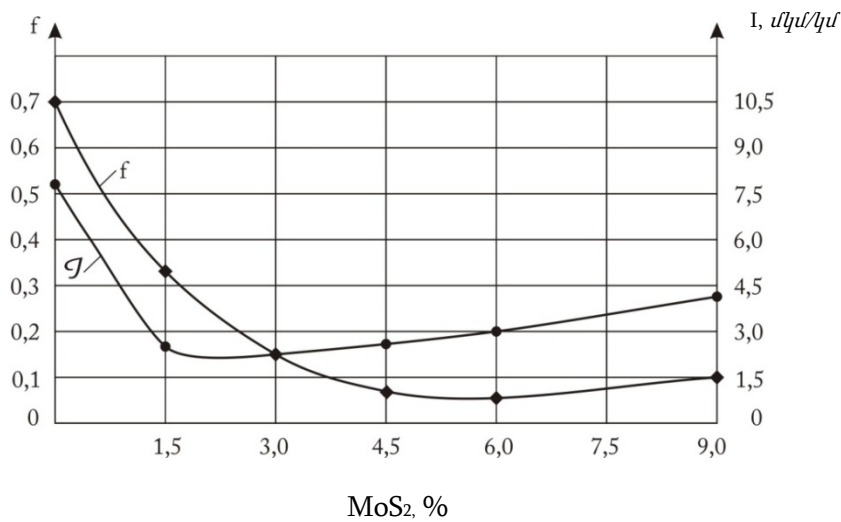
MoS₂-ի տարբեր պարունակության մամլվածքները ($d=25\%$, $h=50$ մմ, $\theta=25\%$) եռակալումից և տաք արտամղումից հետո ($T_{\text{ա}}=525^{\pm 10}$ °C, $\tau_{\text{ա}}=2$ ժամ, $\lambda=5$) ենթարկվել են ջերմամշակման ընտրված ռեժիմներով ($T_{\text{մ}}=525^{\pm 10}$ °C, $\tau_{\text{մ}}=45\dots 45$ րոպե միումը ջրում, $T_{\text{ծ}}=225^{\pm 10}$ °C, $\tau_{\text{ծ}}=30\dots 35$ ժամ), որից հետո կատարվել են մեխանիկական ու հակաշփական փորձարկումներ: Մեխանիկական փորձարկումների արդյունքները բերված են նկ.1-ում: Շփման փորձարկումներն իրականացվել են CMI-2 մակնիշի շփման մեքենայի վրա: Շփումն իրականացվել է չոր և սահմանային շփման պայմաններում՝ անշարժ կոճղակ-պտտվող սկավառակ սխեմայով [5]: Որպես անշարժ կոճղակ օգտագործվել են ստացված համաձուլվածքից պատրաստված գլանաձև նմուշներ ($0,28$ մմ² բանվորական մակերեսով), իսկ որպես հակամարմին՝ պողպատ 45-ից պատրաստված և ջերմամշակված սկավառակը (HRC 55): Փորձարկվող նմուշները ենթարկվել են հարմարաբերման 1-2 ժամվա ընթացքում: Հարմարաբերման ավարտ են հանդիսացել շփման մոմենտի նվազեցումը և հետագա կայունացումը: Յուրաքանչյուր բեռնվածքի պայմանում նմուշները պահվել են 2,5 ժամ: Փորձի ընթացքում անընդհատ գրանցվել է շփման մոմենտը:

Հետազոտության արդյունքները. Չոր շփման փորձարկումներն իրականացվել են 0,7, 1,2 և 2,4 մ/վ (300, 500 և 1000 պտ/րոպե) սահքի արագություններով:

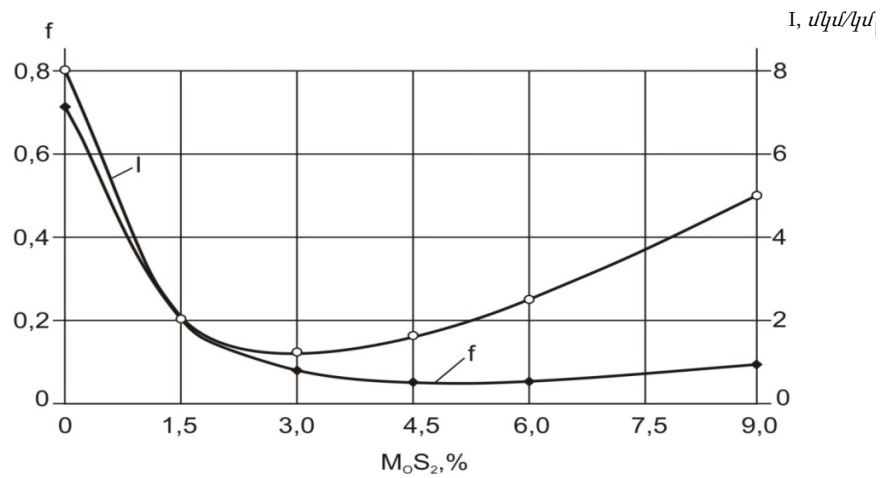
Նկ. 2, 3 և 4-ում պատկերված են շփման գործակցի և մաշվածության կախումը MoS₂-ի պարունակությունից չոր շփման պայմաններում ($V=0,7$ մ/վ, $P=1, 3$ և 5 կգ):



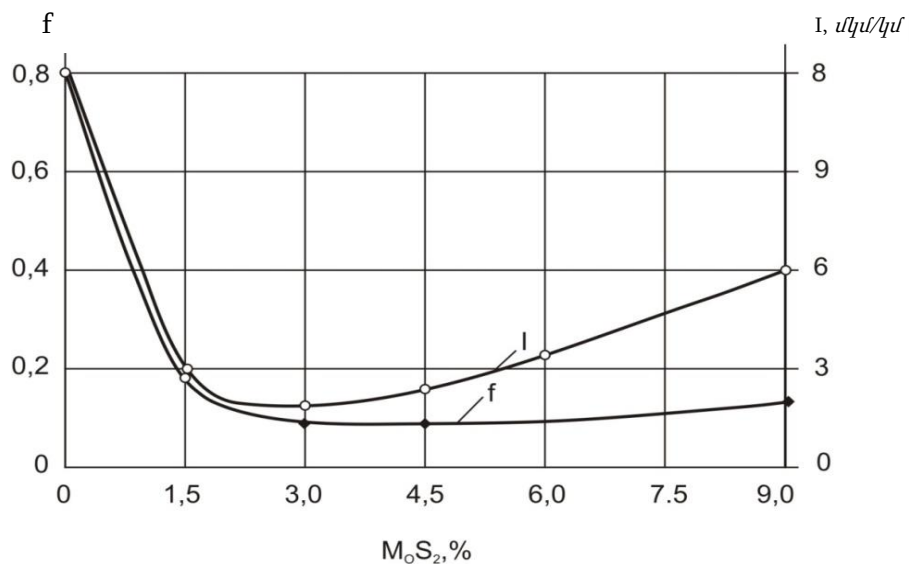
Նկ. 1. 4%Cu+1,8%Mg+1,2%Cr+Al_{0,05} պարունակող ալյումինային փոշեհամաձուլվածքի մեխանիկական հատկությունների կախումը մոլիբդենի դիսուլֆիդի պարունակությունից



Նկ. 2. 4%Cu+1,8%Mg+1,2%Cr+Al_{0,05} պարունակող ալյումինային փոշեհամաձուլվածքի շփման գործակցի ու մաշվածքի կախումը մոլիբդենի դիսուլֆիդի պարունակությունից՝
 $P=1$ կգ, $V=0,7$ մ/վ (300 պտ/րոպե), չոր շփում



Նկ. 3. 4%Cu+1,8%Mg+1,2%Cr+Al₂O₃ ալյումինային փոշեհամաձուլվածքի շփման գործակցի և մաշվածքի կախումը MoS₂-ի պարունակությունից՝ P=3 կգ, V=0,7 մ/վ (300 պտ/րոպե), չոր շփում

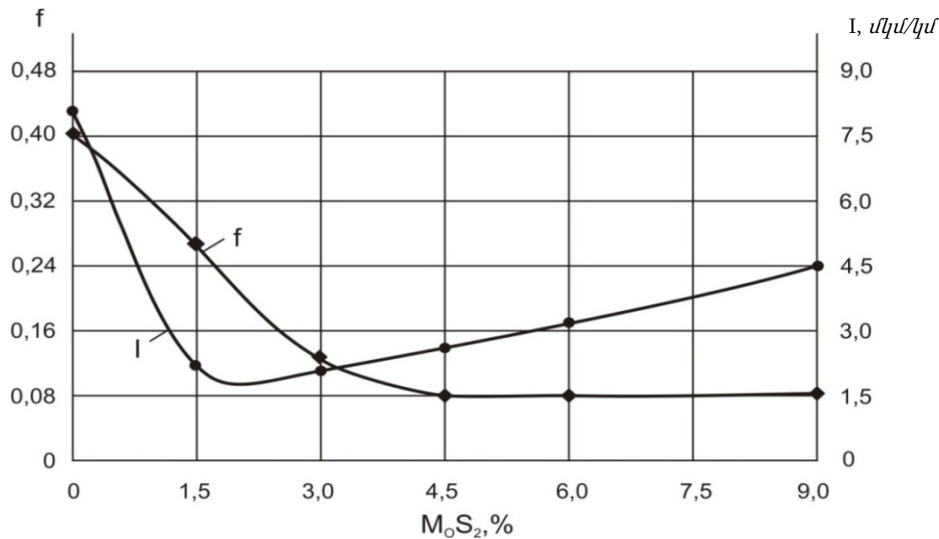


Նկ. 4. 4%Cu+1,8%Mg+1,2%Cr+Al₂O₃ ալյումինային փոշեհամաձուլվածքի շփման գործակցի և մաշվածքի կախումը MoS₂-ի պարունակությունից՝ P=5 կգ, V=0,7 մ/վ (300 պտ/րոպե), չոր շփում

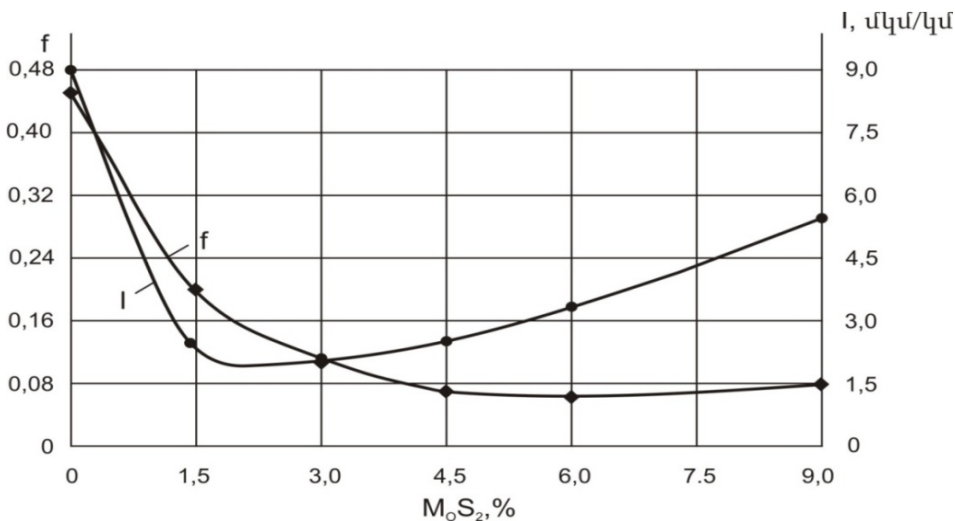
Այնուհետև մեծացվել է սահքի արագությունը (1,2 մ/վ և 2,4 մ/վ), և կրկին որոշվել շփման գործակցի և մաշվածության կախվածությունը MoS₂-ի պարունակությունից տարբեր բեռնվածքների պայմաններում (P=1, 3 և 5 կգ):

Նկ. 5-8-ում բերված են չոր շփման պայմաններում փորձարկումների արդյունքները, երբ V=1,2 մ/վ, P=1, 3 և 5 կգ, իսկ նկ. 9-ում՝ փոշեհամաձուլվածքի շփման

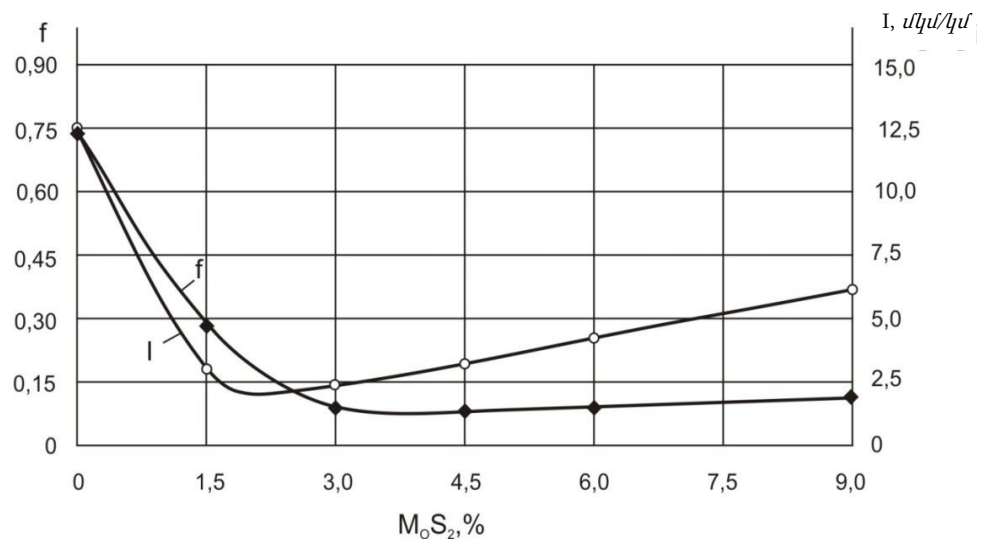
մակերևույթի մակրոկառուցվածքը: Փորձերը ցույց են տալիս, որ 2,4 մլ/լ արագության պայմաններում ($n=1000$ պտ/րոպե) 3 կգ բեռնվածքից սկսած տեղի է ունենում նյութի շատ արագ մաշում՝ անկախ MoS_2 -ի պարունակությունից:



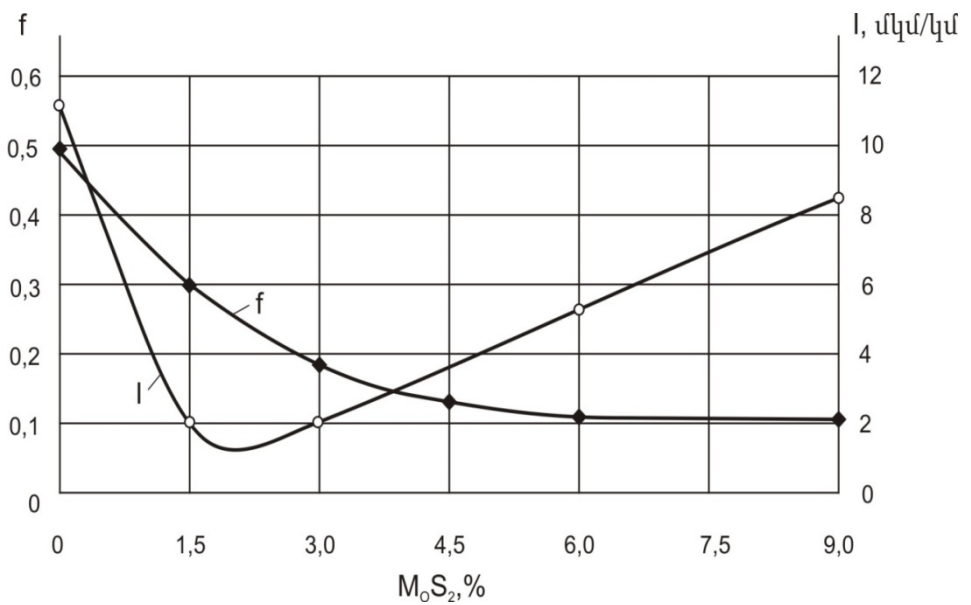
Նկ. 5. 4%Cu+1,8%Mg+1,2%Cr+Al₂O₃ պարունակող ալյումինային փոշեհամաձուլվածքի շփման գործակցի և մաշվածքի կախումը MoS_2 -ի պարունակությունից՝ $P=1$ կգ, $V=1,2$ մլ/լ (500 պտ/րոպե), չոր շփում



Նկ. 6. 4%Cu+1,8%Mg+1,2%Cr+Al₂O₃ պարունակող ալյումինային փոշեհամաձուլվածքի շփման գործակցի և մաշվածքի կախումը MoS_2 -ի պարունակությունից՝ $P=3$ կգ, $V=1,2$ մլ/լ (500 պտ/րոպե), չոր շփում



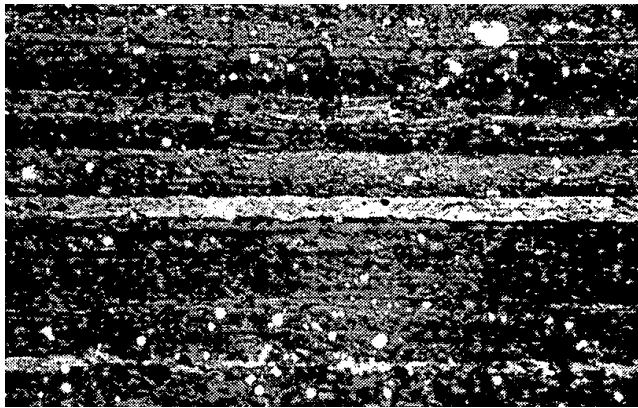
Նկ. 7. 4%Cu+1,8%Mg+1,2%Cr+Al₂O₃ պարունակող ալյումինային փոշեհամաձուլվածքի շփման գործակցի և մաշվածքի կախումը MoS₂-ի պարունակությունից՝ P=5 կգ, V=1,2 մ/վ (500 պտ/րոպե), չոր շփում



Նկ. 8. 4%Cu+1,8%Mg+1,2%Cr+Al₂O₃ պարունակող ալյումինային փոշեհամաձուլվածքի շփման գործակցի և մաշվածքի կախումը MoS₂-ի պարունակությունից՝ P=1 կգ, V=2,4 մ/վ (500 պտ/րոպե), չոր շփում

Ինչպես երևում է կատարված հետազոտություններից, շփման գործակցի նվազագույն արժեքները համապատասխանում են 4...5% MoS₂-ի պարունակությանը, որի դեպքում փոշեհամաձուլվածքն օժտված է հետևյալ մեխանիկական հատկություններով՝ $\sigma_{\theta}=240...245$ ՄՊա, HB=700...710 ՄՊա, $\delta=1,5...2,5\%$: MoS₂-ի պարունակության մեծացմանը զուգընթաց նկատվում է շփման գործակցի կայունացում, սակայն տեղի է ունենում մաշվածքի աճ, ինչը կարելի է բացատրել նյութի ամրության և կարծրության փոքրացմամբ:

Արտաքին բեռնվածքի և արագության աճը մինչև որոշակի արժեքներ նպաստում է շփման գործակցի նվազմանը: Դա բացատրվում է նրանով, որ ճնշման աճին և հետևաբար մակերևույթի ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց սկսում են հեռանալ մակերևույթում աղսորբված գազերն ու խոնավությունը, և հեշտանում է երկրորդային թաղանթի առաջացումը: Ճնշման և սահքի արագության հետագա աճը հանգեցնում է շփման գործակցի և մաշվածքի մեծացմանը, ինչը պայմանավորված է երկրորդային կառուցվածքի դանդաղ քայքայմամբ (նկ. 9):



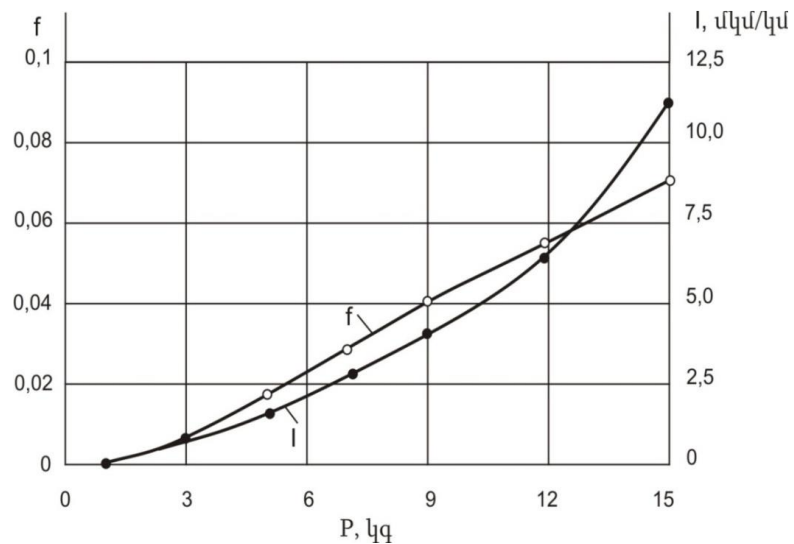
Նկ. 9. 4%Cu+1,8%Mg+1,2%Cr+Al₂O₃ ալյումինային հակաշփական փոշեհամաձուլվածքի շփման մակերևույթի մակրոկառուցվածքը ($\times 50$)՝ $P=5$ կգ, $V=1,2$ մ/վ (500 պտ/րոպե), չոր շփում

Կատարված հետազոտություններից երևում է, որ 4...5% MoS₂ պարունակության դեպքում, չոր շփման պայմաններում փոշեհամաձուլվածքն օժտված է հետևյալ հատկություններով՝ $f=0,075...0,97$, $I=2,8...4,3$ մկմ/կմ:

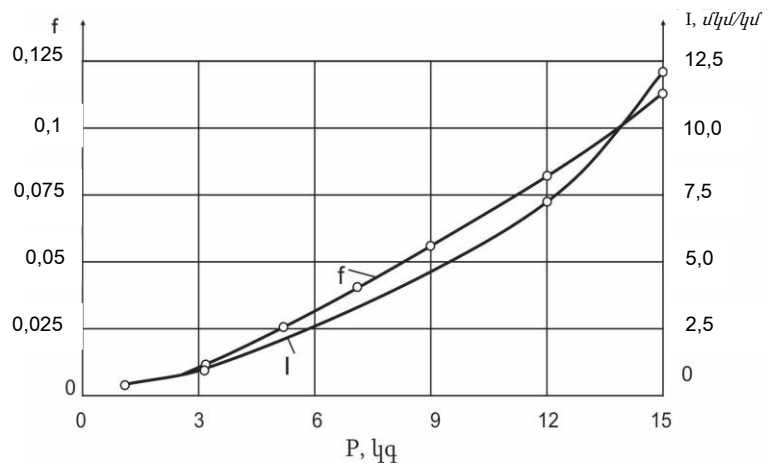
Իրական շփման դեպքում յուղի պայմաններում հաճախ տեղի է ունենում անցում շփումից սահմանային շփման: Շփման այս եղանակն առավել տարածված է, սակայն քիչ ուսումնասիրված:

Փորձարկումների այս փուլում կատարվել է 4,5% MoS₂-ի պարունակությամբ ալյումինային փոշեհամաձուլվածքի հակաշփական հատկությունների ուսումնասիրում սահմանային շփման պայմաններում (նկ.10, 11 և 12): Շփումն իրականացվել է անշարժ կոճղակ-պտտվող սկավառակ սխեմայով, սահքի արագությունը՝ 0,7, 1,2, և

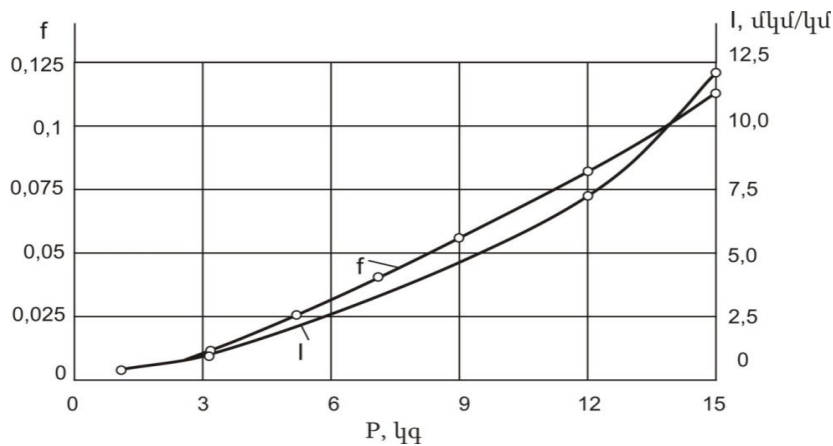
2,4 մ/վ: Բեռնվածությունը փոխվել է աստիճանաբար 1...15 կգ տիրույթում: Բեռնվածության յուրաքանչյուր փոփոխման դեպքում գրանցվել են շփման մոմենտը և մաշվածքը: Յուրը շփման գոտի մատուցվել է կաթիլային եղանակով՝ 12 կաթիլ/րոպե հաճախությամբ:



Նկ. 10. 4%Cu+1,8%Mg+1,2%Cr+4,5%MoS₂+Al_{0.5} բաղադրությամբ ալյումինային հակաշփական փոշեհամաձուլվածքի շփման գործակցի ու մաշվածքի կախումը բեռնվածքից (V=0,7 մ/վ), սահմանային շփում



Նկ. 11. 4%Cu+1,8%Mg+1,2%Cr+4,5%MoS₂+Al_{0.5} բաղադրությամբ ալյումինային հակաշփական փոշեհամաձուլվածքի շփման գործակցի ու մաշվածքի կախումը բեռնվածքից (V=1,2 մ/վ), սահմանային շփում



Նկ. 12. 4%Cu+1,8%Mg+1,2%Cr+4,5%MoS₂+Al_{0.05} բաղադրությամբ ալյումինային հակաշփական փոշեհամաձուլվածքի շփման գործակցի ու մաշվածքի կախումը բեռնվածքից (V=2,4մ/վ), սահմանային շփում

Ինչպես երևում է նկ. 10, 11 և 12-ից, մշակված նյութը կարող է սահմանային շփման պայմաններում բավարար աշխատել մինչև 13 կգ բեռնվածքի պայմաններում՝ V=0,7 մ/վ արագության դեպքում (f=0,06, I=7,5 մկմ/կմ), մինչև 12 կգ բեռնվածքի պայմաններում՝ V=1,2 մ/վ արագության դեպքում (f=0,08, I=7 մկմ/կմ) և մինչև 11 կգ բեռնվածքի պայմաններում՝ V=2,4 մ/վ արագության դեպքում (f=0,075, I=7,0 մկմ/կմ): Փոշեհամաձուլվածքի շփման մակերևույթի մակրոկառուցվածքը բերված է նկ. 13-ում (x50)՝ P=5 կգ, V=1,2 մ/վ (500 պտ/րոպե):



Նկ. 13. 4% Cu+1,8 % Mg+1,2% Cr+4,5% MoS₂+Al_{0.05} բաղադրությամբ ալյումինային հակաշփական փոշեհամաձուլվածքի շփման մակերևույթի մակրոկառուցվածքը (x50)՝ P=5 կգ, V=1,2 մ/վ (500 պտ/րոպե), սահմանային շփում

Մետաղագրական վերլուծությամբ հիմնավորվել է, որ փոշեհամաձուլվածքը բաղկացած է լուծման և ինտերմետաղական ֆազերի ամրացման մեխանիզմով դիսպերս կարծրացող ալյումինային մայրակից և MoS_2 պինդ քսանյութի մասնիկներից, ինչը հնարավորություն է ստեղծում նմուշի կտրվածքի խորությամբ առաջացնել մեխանիկական հատկությունների դրական գրադիենտ, որը երկրորդային կառուցվածքի առաջացման արդյունք է: Երկրորդային կառուցվածքը ներկայացնում է մետաղական օքսիդների և սուլֆիդների միացություն, որի հիմքը կազմում է MoS_2 -ը:

Եզրակացություն. Համալիր հետազոտությունների արդյունքում ընտրվել է ալյումինային հակաշփական փոշեհամաձուլվածքի պինդ քսանյութի (MoS_2) 4,5% օպտիմալ բաղադրություն, որի դեպքում մեխանիկական հատկությունները ($\sigma_{\text{с}}=240...245$ ՄՊա, $\text{HB}=700...710$ ՄՊա, $\delta=1,5...2,5\%$) և շփման թույլատրելի պարամետրերը (չոր շփում՝ $P \leq 5$ կգ, $V \leq 1,2$ մ/վ դեպքում $f=0,075...0,97$, $I=2,8...4,3$ մկմ/կմ, սահմանային շփում՝ $P \leq 12$ կգ, $V \leq 1,2$ մ/վ դեպքում $f=0,08$, $I \leq 7$ մկմ/կմ և $P \leq 11$ կգ, $V=2,4$ մ/վ դեպքում $f \leq 0,075$, $I \leq 7,0$ մկմ/կմ) բավարարում են միջին բեռնվածությունների պայմաններում աշխատելու համար: Երկրորդային կառուցվածքը ներկայացնում է մետաղական օքսիդների և սուլֆիդների միացություն, որի հիմքը կազմում է MoS_2 -ը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Крагельский И.В.** Трение и износ.- М.: Машиностроение, 1968.- 478 с.
2. **Крагельский И.В., Михин Н.М.** Узлы трения машин.- М.: Машиностроение, 1984.- 280 с.
3. **Сентюрихина Л.Н., Опарина Е.М.** Твердые дисульфидмолибденовые смазки.-М.: Химия, 1966.- 152 с.
4. **Цуркан И.Г., Кузнецов В.П., Гвирицман А.А.** Смазочные и защитные материалы.- М.: Транспорт, 1988.- 167 с.
5. **Федорченко И.М., Пугина Л.И.** Композиционные спеченные антифрикционные материалы.- Киев: Наукова думка, 1980.- 403 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 31.08.2015:

С.Г. АГБАЛЯН, В.Г. ВАРДАНЯН

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА ТВЕРДОЙ СМАЗКИ АЛЮМИНИЕВОГО
АНТИФРИКЦИОННОГО ПОРОШКОВОГО СПЛАВА И ИССЛЕДОВАНИЕ
АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ**

В результате комплексных исследований разработан антифрикционный порошковый сплав ($4\%Cu + 1,8\%Mg + 1,2\%Cr + 4,5\%MoS_2 + Al_{ост}$) с содержанием 4,5% твердой смазки со следующими механическими свойствами: $\sigma_B = 240 \dots 245 \text{ МПа}$, $HB = 700 \dots 710 \text{ МПа}$, $\delta = 1,5 \dots 2,5\%$, а допустимые параметры трения: во время сухого трения - $P \leq 5 \text{ кг}$, $V \leq 1,2 \text{ м/с}$: $f = 0,075 \dots 0,97$, $I = 2,8 \dots 4,3 \text{ мкм/км}$, во время граничного трения - $P \leq 12 \text{ кг}$, $V \leq 1,2 \text{ м/с}$ (500 об/мин): $f = 0,08$, $I \leq 7 \text{ мкм/км}$ и $P \leq 11 \text{ кг}$, $V = 2,4 \text{ м/с}$ (1000 об/мин): $f = 0,075$, $I \leq 7,0 \text{ мкм/км}$. Вторичная структура представляет собой оксиды металлов и соединение сульфидов, основу которого составляет MoS_2 .

Ключевые слова: порошковый алюминиевый сплав, горячая экструзия, закалка, старение, граничное трение, сухое трение, износ, вторичная структура.

S.G. AGHBALYAN, V.G. VARDANYAN

**SELECTING THE OPTIMAL COMPOSITION OF A SOLID LUBRICANT OF AN
ALUMINUM ANTI-FRICTION POWDER ALLOY AND INVESTIGATING THE
ANTI-FRICTION PROPERTIES**

As a result of comprehensive studies, an antifriction powder alloy (4% Cu + 1,8% Mg + 1,2% Cr + 4,5% MoS_2 + Al) with a content of a 4.5% lubricant is developed with the following mechanical properties $\sigma_m = 240 \dots 245 \text{ MPa}$, $HB = 700 \dots 710 \text{ MPa}$, $\delta = 1,5 \dots 2,5\%$, while the permissible parameters of friction are as follows: at dry friction - $P \leq 5 \text{ kg}$, $V \leq 1,2 \text{ m/s}$: $f = 0,075 \dots 0,97$, $I = 2,8 \dots 4,3 \text{ micron/km}$, at the boundary friction $P \leq 12 \text{ kg}$, $V \leq 1,2 \text{ m/s}$ (500 rev/m) $f = 0,08$, $I \leq 7 \text{ micron/km}$, and $P \leq 11 \text{ kg}$, $V = 2.4 \text{ m/s}$ (1000 rev/m): $f = 0,075$, $I \leq 7,0 \text{ micron/km}$. The secondary structure represents metal oxides and a sulphide compound, which is based on MoS_2 .

Keywords: aluminum powder alloy, hot extrusion, quenching, ageing, boundary friction, dry friction, wear, secondary structure.