

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Ա.Ա. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Վ.Գ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

ԱԼՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՓՈՇԵՀԱՄԱՁՈՒՎԱԾՔՆԵՐԻ
ՇՓԱՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՊԱՀՈՎՄԱՆ ՄԿՋՔՈՒՆՔՆԵՐԸ

Մշակվել են այրումինային հակաշփական փոշեհամաձուլվածքների շփատեխնիկական հատկությունների ապահովման սկզբունքները տարածագրական նյութագիտության տեսանկյունից, համաձայն որի երկրորդ ֆազը բնութագրող հիմնական պարամետրներն են հատիկների չափերը և նրանց քանակը, ընդ որում, տեսակարար մակերևույթի մեծացմանը զուգընթաց ավելանում են նյութի մաշակայունությունը և թույլատրելի բեռնվածությունը: Ցույց է տրված, որ նյութի շփատեխնիկական հատկությունների ապահովման համար երկրորդ ֆազի հատիկների օպտիմալ չափերը պետք է լինեն 1,5...3,0 մկմ/սահմաններում, երբ շփման գործակիցը և մաշվածքը ստացվում են նվազագույն:

Առանցքային բառեր. շփում, մաշում, փոշեհամաձուլվածք, պինդ քսանյութ, երկրորդային կառուցվածք, շփման գործակից, ֆազ, տեսակարար մակերևույթ:

Հակաշփական փոշեհամաձուլվածքները՝ կախված աշխատանքային պայմաններից, պետք է ունենան լավ մշակվելիություն, կոռոզիակայունություն, փոքր շփման գործակից, բարձր տեսակարար ամրություն և մաշակայունություն, բարձր ջերմահաղորդականություն և հարվածային մածուցիկություն: Նշված հատկություններն անմիջականորեն պայմանավորված են նյութի կառուցվածքով՝ նրա բյուրեղային ցանցով և ֆազային կազմով:

Տարածագրական նյութագիտության տեսանկյունից համաձուլվածքում կառուցվածքային ֆազերի օպտիմալ քանակը և երկրաչափական ճիշտ բնութագրերը կարող են ապահովել ոչ միայն բարձր շփատեխնիկական, այլ նաև ֆիզիկամեխանիկական հատկություններ:

Համաձայն հակաշփական նյութերի կառուցվածքային մոդելների՝ մայրակը պետք է ունենա բարձր առաձգականություն և ապահովի բարձր մաշակայունություն՝ կրելով արտաքին բեռնվածությունը: Աշխատանք [1]-ից հայտնի է, որ նյութի մաշակայունությունը և աշխատունակությունն ուղղակիորեն կախված են նրա կարծրությունից: Այդ պահանջները բավարարվում են համաձուլվածքի լեգիրումով: Աշխատանք [2]-ում նշվում է, որ ներդրման ատոմներ ունեցող տարրերով լեգիրելու դեպքում համաձուլվածքի ամրությունը լինում է ավելի բարձր, քան տեղակալման ատոմներ ունեցող տարրերի դեպքում: Ներդրված ատոմներն առաջացնում են բյուրեղավանդակի տետրագոնալության աղավաղում և ակտիվ կերպով փոխազդում են եզրային և պտուտակային դիսլոկացիաների հետ: Հետևաբար, նպատակահարմար է մաշակայուն հակաշփական փոշեհամաձուլվածքների կառուցվածքում ունենալ ներդրման

պինդ լուծույթի տեսքով ֆազ (մայրակ): Այդ դեպքում լեգիրող տարրերն ընտրվում են՝ հաշվի առնելով նրանց սահմանափակ լուծելիությունը հիմնական տարրերում և միջմետաղական միացությունների առաջացումը, որոնք համաձուլվածքի կառուցվածքում կարող են կատարել երրորդ ֆազի դեր:

Դիտարկենք մաշակայուն ալյումինային հակաշփական փոշեհամաձուլվածքներին ներկայացվող հատկությունների ապահովումը տարածագրական նյութագիտության տեսանկյունից: [3, 4] աշխատանքներում ցույց է տրված մետաղների և համաձուլվածքների ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների կախվածությունը հատիկների տեսակարար մակերևույթի մեծությունից: Տվյալ դեպքում մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում մաշակայունության և թույլատրելի բեռնվածության կախվածությունը հատիկների տեսակարար մակերևույթի մեծությունից: Ինչպես և սպասվում էր, մայրակի հատիկների տեսակարար մակերևույթի մեծացմանը զուգընթաց ավելանում են նյութի մաշակայունությունը և թույլատրելի բեռնվածությունը:

$$I = I_0 - a \cdot \Sigma \cdot S, \quad Q = Q_0 + b \cdot \Sigma \cdot S, \quad (1)$$

որտեղ I_0 -ն, Q_0 -ն նյութի հատկություններն են, երբ հատիկների չափսերը կազմում են ~250 մկմ, իսկ a -ն և b -ն նյութի հատկություններից կախված գործակիցներ են:

Ինչպես ցույց է տրված նկ. 1-ում, մայրակի հատիկների փոքրացումը ($\Sigma S < 140$) չի հանգեցնում մաշակայունության բարձրացմանը, ինչը պայմանավորված է համաձուլվածքներում ջերմահաղորդականության նվազմամբ, որը հաստատվում է կատարված փորձերի արդյունքներով (նկ. 2):

Նկ. 1-ի և 2-ի վերլուծությունից երևում է, որ հատիկի օպտիմալ չափսերը ~50 մկմ է:

Հետազոտությունների արդյունքներն ավելի լիարժեք են դառնում, եթե հաշվի առնենք շփման հանգույցի աշխատանքային պայմանները, այսինքն՝ Q բեռնվածքի և V արագության ազդեցությունը: Այդ նպատակով մաթեմատիկական մշակման են ենթարկվել մեր կողմից ստացված տվյալները:

$$I = I_0 + K \left[\frac{0,5(2 + V)(1 + 0,01Q)}{V} \right] \Sigma S, \quad (2)$$

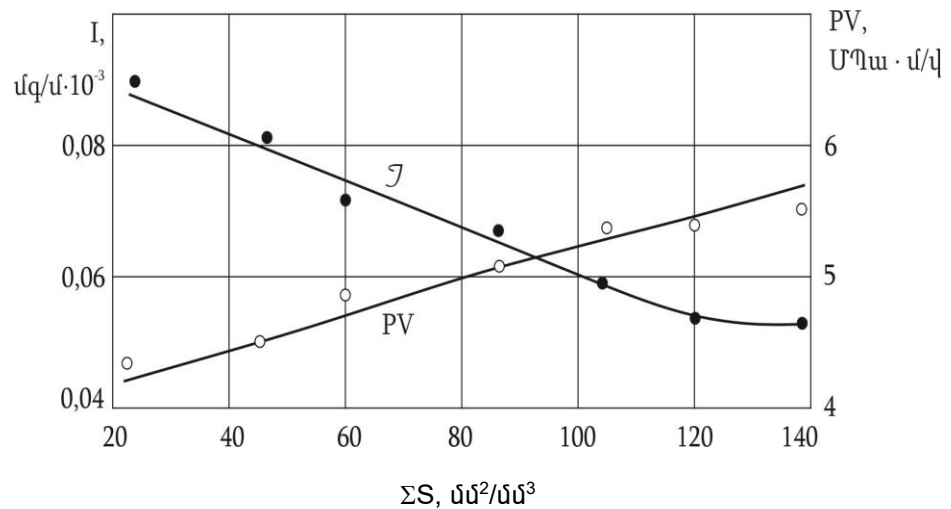
որտեղ K -ն նյութից կախված գործակից է, որն ալյումինային համաձուլվածքների դեպքում հավասար է 0,7:

(2) բանաձևի վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ բեռնվածությունն ունի ուղղակի ազդեցություն մաշվածության վրա, մինչդեռ արագության ազդեցությունը միանշանակ չէ: Մաշվածությունն ունի շատ փոքր արժեք $V=1...2$ մ/վ արագությունների դեպքում:

Մետաղական երկու հավող մակերևույթների միջև առկա փոխազդեցության ուժերը կարելի է հաշվել հետևյալ բանաձևով [3].

$$F = \frac{0,013}{H^4} \cdot 10^{-1} \nu / u^2, \quad (3)$$

որտեղ F -ը հպման միավոր մակերեսի վրա ազդող ուժն է, իսկ H -ը՝ մակերևույթների միջև առկա բացակը, $մկմ$:



Նկ. 1. Այրումինային հակաշփական փոշեհամաձուլվածքների մաշակայունությունը և կրման ունակությունը՝ կախված մայրակի հատիկների տեսակարար մակերևույթի մեծությունից

Շփման հանգույցներում, շփվող մակերևույթների միջև, տեղադրվում է H հաստությամբ նյութ, որը խոչընդոտում է փոխազդեցության ուժերին ($F \rightarrow 0$) և հետևաբար՝ ապահովում է շփման փոքր գործակից: Այդպիսի նյութեր են հեղուկ քսուքները: Դիտարկված համաձուլվածքներում, որոնք նախատեսված են չոր և սահմանային քսանյութերով շփման հանգույցներում աշխատելու համար, այդպիսի նյութի դեր է կատարում երկրորդ ֆազը (պինդ քսանյութերը):

Հայտնի է, որ համաձուլվածքներում լարվածության նվազումը, այսինքն՝ նրա ռելաքսացիան արտահայտվում է հետևյալ բանաձևով [4].

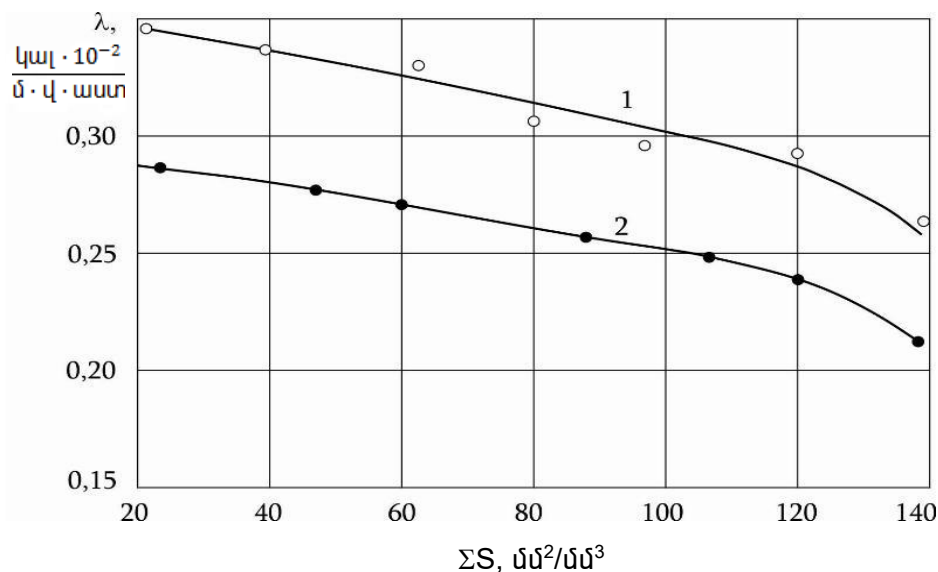
$$\tau = \tau_0 e^{-t/T}, \quad (4)$$

որից հետևում է, որ որքան փոքր է ռելաքսացիայի ժամանակահատվածը՝ T -ն, այնքան փոքր է դեֆորմացիա առաջացնող τ լարվածությունը՝ համեմատած սկզբնական τ_0 -ի հետ: Այսպիսի պայմաններում պինդ մարմինը նմանվում է մածուցիկ հեղուկի: Այսպիսի հատկություններ ունեն պինդ քսանյութերը, ինչպիսիք են սուլֆիդները,

ֆոսֆիդները, սելենիդները, որոնց ռելաքսացիայի ժամանակահատվածը շատ կարճ է և որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$T = f \cdot (\sigma_h / G), \quad (5)$$

որտեղ T -ն ռելաքսացիայի ժամանակահատվածն է, σ_h -ը՝ հոսունության լարումը, G -ն՝ տեղաշարժի մոդուլը (երկրորդ կարգի առաձգականության մոդուլ):



Նկ. 2. Այրումինային հակաշփական փոշեհամաձուլվածքների ջերմահաղորդականությունը՝ կախված հատիկների տեսակարար մակերևույթի մեծությունից

Պինդ քսանյութերում σ_h -ի արժեքները փոքր են, քանի որ $\sigma_h \cong \tau / dv_x / dy$, այսինքն՝ փոքր շոշափող լարումների (τ) ազդեցության տակ dv_x / dy հարաբերությունը մեծ է:

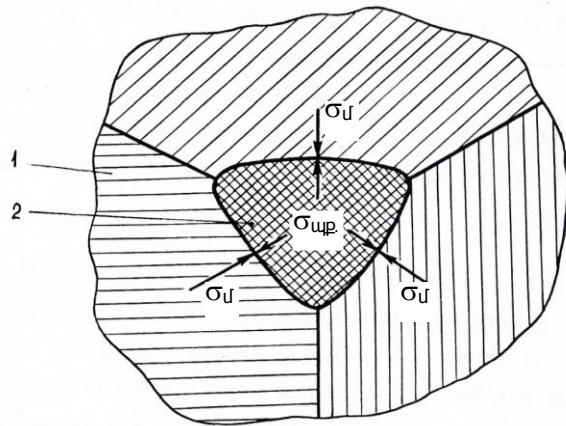
Ելնելով այս նկատառումներից՝ դիտարկենք շփվող մակերևույթների միջև պինդ քսանյութի աշխատանքի մեխանիզմը՝ կախված նյութի կառուցվածքից: Պինդ քսանյութի աշխատանքի մեխանիզմը կարելի է բացատրել առանձին ֆազերի ծավալային ընդարձակման տարբեր գործակիցներով [5]: Ֆազերի միջև առաջանում են լարումներ (նկ. 3): Երկրորդ ֆազի և մայրակի հատիկների միջև առկա են փոխադարձ սեղմող լարումներ σ_u և $\sigma_{u,p}$.

$$\sigma_u - \sigma_{u,p} > \tau_{u,u,p}, \quad (6)$$

ինչի հաշվին էլ տեղի է ունենում երկրորդ ֆազի անջատումը ($\tau_{u,u,p}$ - սահքի լարումն է), որի փաստացի ծավալը կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով՝

$$V_{\phi} = \Delta V_1 + \Delta V_2 = \beta_1 - T \cdot V'_1 + \beta_2 \cdot T \cdot V_2, \quad (7)$$

որտեղ ΔV_1 – ը մայրակի հատիկի ընդարձակված ծավալն է, ΔV_2 – ը՝ երկրորդ ֆազի հատիկի ընդարձակված ծավալը, β_1 – ը, β_2 – ը՝ հիմնական և երկրորդային ֆազերի ծավալային ընդարձակման գործակիցները, T -ն՝ ջերմաստիճանը շփման տեղամասում, V'_1 – ը՝ հիմնական ֆազի հատիկի մի մասը, որը հպվում է երկրորդ ֆազի հատիկին, V_2 – ը՝ երկրորդ ֆազի հատիկի ծավալը:



Նկ. 3. Նյութի կառուցվածքում ֆազերի միջև առկա լարվածային վիճակի սխեման.
1-առաջին ֆազ (մայրակ), 2-երկրորդ ֆազ (չոր քսանյութ)

Քանի որ հիմնական և երկրորդային ֆազերի միջև կապը կատարվում է ի հաշիվ շփվող մակերևույթների, ապա՝

$$V'_1 = \Delta V_1 \cdot r^2 / 3R^2, \quad (8)$$

որտեղ V_1 – ը հիմնական ֆազի հատիկի ծավալն է, R -ը՝ հիմնական ֆազի հատիկների միջին շառավիղը, r -ը՝ երկրորդ ֆազի հատիկների միջին շառավիղը:

(7) բանաձևը շփման ամբողջ մակերևույթի համար կունենա հետևյալ տեսքը.

$$V_{\phi} = 1,3\pi \cdot T \cdot K \cdot r^2 \cdot m(\beta_1 R + \beta_2 r), \quad (9)$$

որտեղ m -ը երկրորդ ֆազի հատիկների քանակն է, K -ն՝ օբսիդացման գործակիցը (ոչ ազնիվ մետաղների դեպքում՝ $K=1, \dots, 1,3$ [6]):

Որպեսզի առաջացած երկրորդ ֆազի V_{ϕ} քանակությունը բավարար լինի երկրորդային կառուցվածքի ձևավորման համար, անհրաժեշտ է, որ (7) բանաձևը շփման ամբողջ մակերևույթի համար ունենա հետևյալ տեսքը.

$$V_{\phi} \geq V_p, V_p = S \cdot H, \quad (10)$$

որտեղ S -ը շփման մակերևույթն է, H -ը՝ ձևավորվող երկրորդային կառուցվածքի անհրաժեշտ հաստությունը:

H -ը կարելի գտնել (3) բանաձևից, այսինքն՝ $H \geq 0,1$ մկմ: Հետևաբար՝ (10) բանաձևից կարելի գրել՝

$$n \geq 1,3\pi TKr^2(\beta_1 R + \beta_2 r) / S, \quad (11)$$

$$0,1S \leq 1,3\pi TKm(\beta_1 R + \beta_2 r): \quad (12)$$

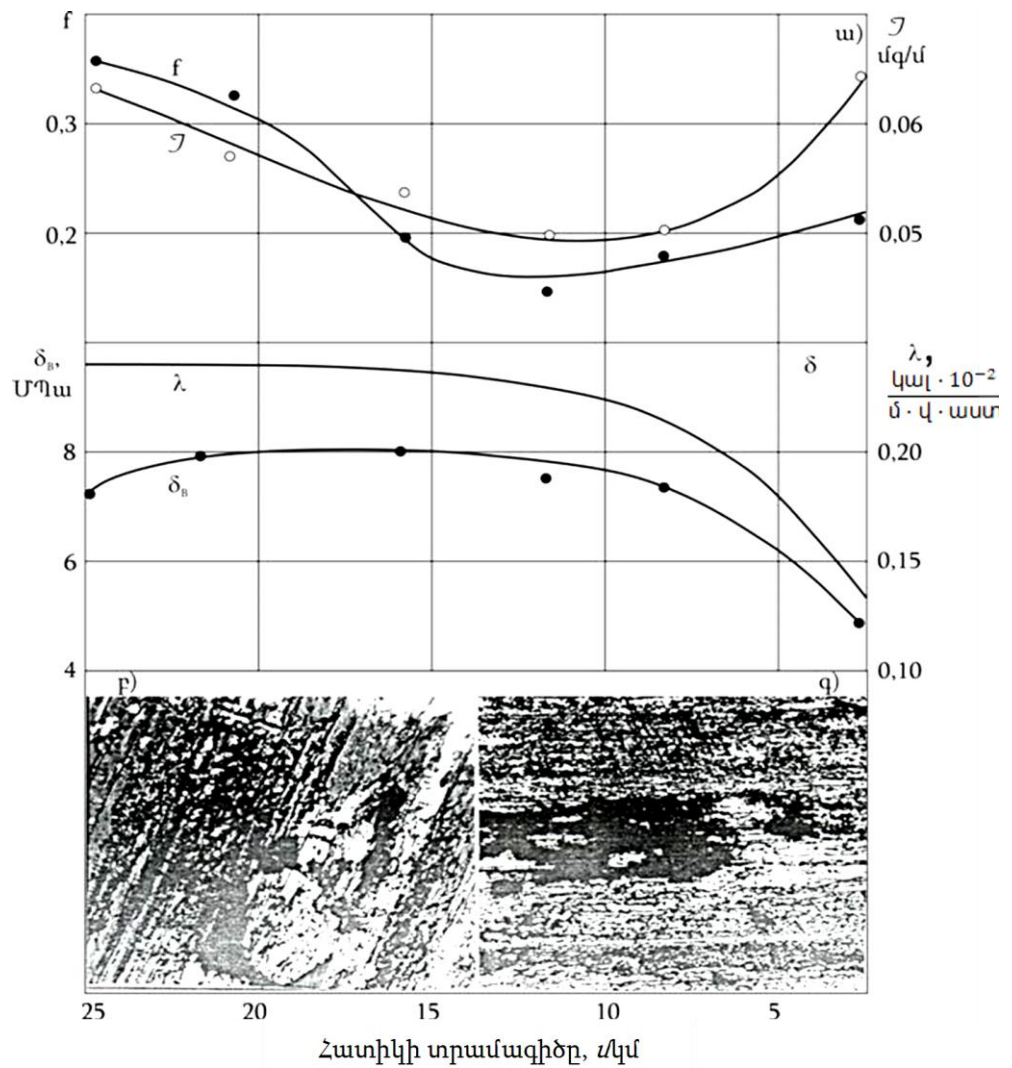
Որոշելով միավոր (n) մակերևույթի վրա երկրորդ ֆազի անհրաժեշտ հատիկների քանակը, կարելի է որոշել միավոր ծավալներում տոկոսային բաղադրությունը.

$$V_{II\phi} = (4\pi m m \varepsilon^3 / 3V_{pl\phi}) \cdot 100\%, \quad (13)$$

որտեղ $V_{pl\phi}$ -ը շինածոյի ընդհանուր ծավալն է:

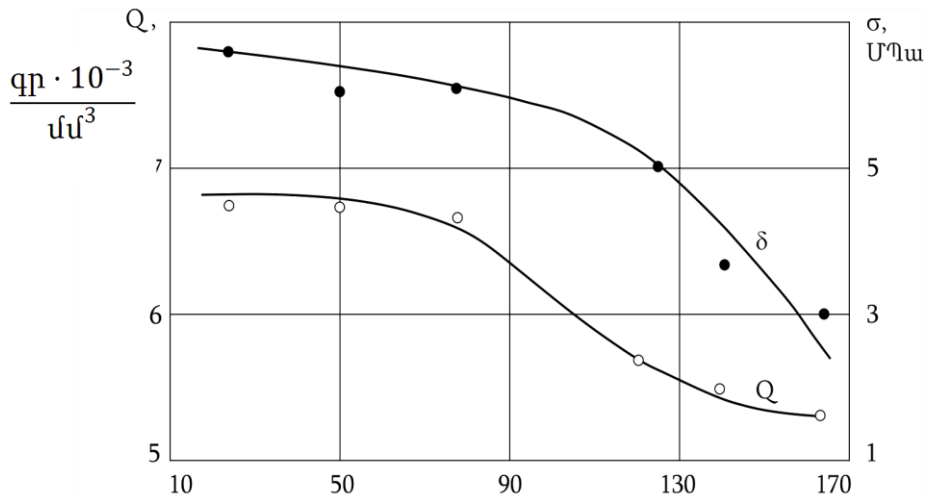
Նյութի տարածագրական կառուցվածքում երկրորդ ֆազը բնութագրող հիմնական պարամետրերն են հատիկների չափսերը (r) և նրանց քանակը (m): Սրանք կախված են միմյանցից, որովհետև անփոփոխ ծավալի դեպքում հատիկների ծավալի մեծացման դեպքում փոքրանում է նրանց քանակությունը և հակառակը: Այս կախվածության ազդեցությունն այնուհետև համաձուլվածքների շփատելանիկական և ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների վրա հետազոտվել է փորձնականորեն, արդյունքները բերված են նկ. 4-ում:

Կորերի վրա կարելի է առանձնացնել երեք տեղամաս: Առաջինում ($d_{\text{պ.բ.}} = 25 \dots 15$ մկմ) դիտվում է շփման գործակցի փոքրացում և մաշակայունության բարձրացում: Երկրորդ ֆազի խոշորահատիկության պատճառով շփման մակերևույթների վրա առաջանում են կայուն, ամբողջական երկրորդային կառուցվածքներ (նկ. 4, գ): Երկրորդ տեղամասում ($d_{\text{պ.բ.}} = 15 \dots 8$ մկմ) շփման գործակիցը և մաշումն ունեն նվազագույն արժեքներ, շփման մակերևույթներում առաջանում է կայուն թաղանթ (նկ. 4, գ): Երրորդ տեղամասում ($d_{\text{պ.բ.}} < 8$ մկմ) շփատելանիկական (նկ. 4, ա) և ֆիզիկամեխանիկական (նկ. 4, բ) հատկությունները նկատելիորեն նվազում են, թուլանում է մայրակի և երկրորդ ֆազի միջև առկա մետաղական կապը, որի արդյունքում նվազում է ջերմահաղորդականությունը, և հետևաբար՝ մեծանում են շփման գործակիցը և մաշումը: Հիմնական ֆազը (մայրակը) պետք է ունենա բարձր ջերմահաղորդականություն, այդ դեպքում շփման տեղամասում չեն առաջանա բարձր ջերմաստիճանային լարման դաշտեր, որով էլ կապահովվի շփման հանգույցի աշխատանքի երկարակեցությունը:



Նկ. 4. Ալյումինային հակաշփական փոշեհամաձուլվածքների շփական և ֆիզիկամեխանիկական հատկությունները՝ կախված երկրորդ ֆազի հատիկների չափսերից

Նկ. 5-ում ցույց է տրված ջերմահաղորդականության ազդեցությունը երկրորդ ֆազի առաջացման և շփման հանգույցում ջերմաստիճանային լարումների վրա: Ցածր ջերմահաղորդականության դեպքում ջերմաստիճանային լարումը մեծ է, հետևաբար՝ տեղի է ունենում երկրորդ ֆազի ինտենսիվ առաջացում, արդյունքում՝ ընկնում է շփման հանգույցի երկարակեցությունը: Բարձր ջերմաստիճաններն արգելակում են շփվող մակերևույթների վրա երկրորդային կառուցվածքի ձևավորումը:

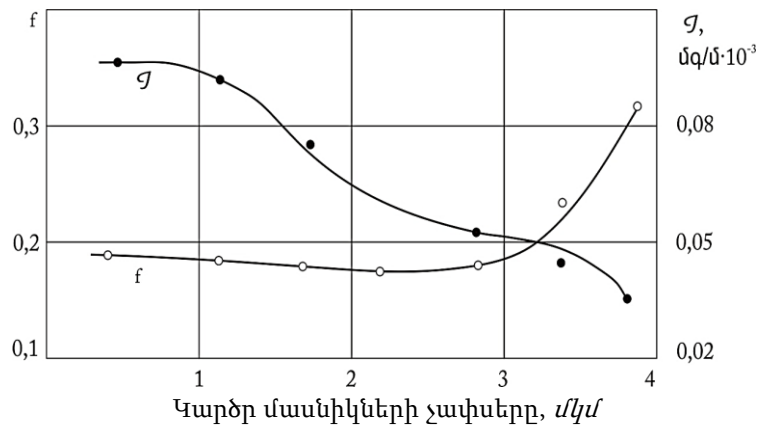


Նկ. 5. Առաջացող երկրորդ ֆազի և ջերմային լարումների քանակության փոփոխությունը չոր շփման ընթացքում՝ կախված այլումինային հակաշփական փոշեհամաձուլվածքների ջերմահաղորդականությունից ($Q=1$ ՄՊա, $V=1$ մ/վ)

Ինչպես արդեն նշվել է, ֆազի ծավալային բաղադրության ընտրությունը, հատիկի չափսերի օպտիմալացումը և նրանց հավասարաչափ բաշխվածությունն ապահովում են կառուցվածքային մոդելի բնականոն աշխատանքը: Դիսպերս-կարգավորված նյութերի համար այդ պարամետրերը տեսականորեն և գործնականորեն ճշգրիտ որոշված են [6, 7] աշխատանքներում՝ $d < 0,1$ մկմ, $S=2...5$ մկմ, $\alpha > 10\%$:

Ինչպես ցույց են տալիս հետազոտությունները, այս արժեքները չեն կարող օպտիմալ լինել շփատեխնիկական նշանակությամբ նյութերի դեպքում: Երրորդ ֆազի ծավալի որոշման համար կարելի է օգտվել հայտնի բանաձևերից, սակայն երրորդ ֆազի ծավալը չպետք է գերազանցի մայրակի ծավալի 25%-ը [8]: Ցածր բեռնվածությունների դեպքում երրորդ ֆազի ծավալը չի գերազանցում 10%-ը: Նրա ազդեցությունը զգալիորեն նվազում է, այդ պատճառով նման դեպքերում նպատակահարմար է օգտագործել երկֆազ կառուցվածքով նյութեր: Նյութի շփատեխնիկական հատկությունների վրա հատիկների չափսերի ազդեցությունը ցույց է տրված նկ. 6-ում:

Ինչպես երևում է նկ. 6-ից, երրորդ ֆազի հատիկների օպտիմալ չափսերը տատանվում են 1,5...3,0 մկմ սահմաններում, այս միջակայքում f և I արժեքները նվազագույն են:



Նկ. 6. Ալյումինի հիմքով եռաֆազ հակաշփական փոշեհամաձուլվածքների շփական հատկությունների փոփոխությունը՝ կախված կարծր մասնիկների չափսերից (չոր շփում, $Q=1$ ՄՊա, $V=1$ մ/վ)

Երրորդ ֆազի հատիկների միջին հեռավորությունը կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով [9].

$$L = 2R / 6,2a / (1,5a)^{\frac{1}{3}} - 1: \quad (14)$$

Այս բանաձևով գնահատվում է երրորդ ֆազի հավասարաչափ բաշխվածության աստիճանը: Մասնիկների միջև օպտիմալ հեռավորությունը կազմում է 5...15 մկմ:

Համալիր հետազոտությունների արդյունքում պարզվել է, որ ալյումինի հիմքով երկֆազ հակաշփական փոշեհամաձուլվածքներում երկրորդ ֆազը բնութագրող հիմնական պարամետրներն են հատիկների չափսերը և նրանց քանակը, ընդ որում, հատիկների տեսակարար մակերևույթի մեծացմանը զուգընթաց մեծանում են նյութի մաշակայունությունը և թույլատրելի բեռնվածությունը: Ցույց է տրված, որ ինչպես երկֆազ, այնպես էլ եռաֆազ հակաշփական նյութերում երկրորդ ֆազի հատիկների օպտիմալ չափսերը պետք է լինեն 1,5...3,0 մկմ սահմաններում, որի դեպքում շփման գործակիցը և մաշվածքը ստացվում են ամենափոքրը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Теребушко О.И.** Основы теории упругости и пластичности.- М.: Наука, 1987.- 319 с.
2. **Юм-Розер В., Рейнор Г.** Структура металлов и сплавов.- М.: Металлургиздат, 1959.-391 с.
3. **Бокштейн С.З.** Строение и свойства металлических сплавов.- М.: Металлургия, 1971.- 495 с.
4. **Уманский Я.С., Финкельштейн Б.Н., Блантер М.Е.** Физические основы металлостроения.- М.: Металлургиздат, 1949.- 320 с.
5. **Гуляев А.П., Лахтин Ю.М., Тарусин А.И.** Термическая обработка стали.- М.: Машгиз, 1946.- 218 с.

6. **Ахматов А.С.** Молекулярная физика граничного трения.- М.: Физматгиз, 1963.- 476 с.
7. **Портной К.И., Бабич Б.Н.** Дисперсноупрочненные материалы.- М.: Металлургия, 1974.- 199 с.
8. Физическое металловедение: В 3-х т., 3-е изд., перераб. и доп./Под ред. **П.У. Кана, П.Т. Хаазена.** Т. 2: Фазовые превращения в металлах и сплавах: Пер. с англ.- М.: Металлургия, 1987.- 624 с.
9. **Демидов С.П.** Теория упругости.- М.: Высшая школа, 1979.- 432 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 12.04.2015:

С.Г. АГБАЛЯН, А.А. ПЕТРОСЯН, В.Г. ВАРДАНЫАН

ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ СПЛАВОВ

Разработаны принципы обеспечения триботехнических свойств алюминиевых антифрикционных порошковых сплавов с точки зрения стереографического материаловедения, согласно которому основными параметрами, характеризующими вторую фазу, являются размер и количество зерен. Кроме того, с увеличением удельной поверхности увеличиваются износостойкость материала и допустимая нагрузка. Показано, что для обеспечения триботехнических свойств материала оптимальные размеры зерен второй фазы должны быть в пределах 1,5...3,0 мкм, при которых коэффициент трения и износ получаются минимальными.

Ключевые слова: трение, износ, порошковый сплав, твердый смазочный материал, вторичная структура, коэффициент трения, фаза, удельная поверхность.

S.G. AGHBALYAN, A.A. PETROSYAN, V.G. VARDANYAN

PRINCIPLES OF ENSURING THE TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF ALUMINIUM ANTIFRICTION POWDER ALLOYS

The principles of ensuring the tribotechnical properties of aluminum antifriction powder alloys from the standpoint of stereographic material science according to which, the key parameters characterizing the second phase are the size and the amount of grains are developed. Besides, with an increase in the specific surface, the wear resistance of the material, and the permissible load increase. It is shown that to insure the tribotechnical properties of the material, the optimum sizes of grains of the second phase are to be in the range of 1,5 ... 3,0 mcm, at which the friction coefficient and the wear are minimum.

Keywords: friction, wear, powder alloy, solid lubricant, secondary structure, friction coefficient, phase, specific surface.