

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

ԱԼՅՈՒՄԻՆԱՅԻՆ ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՓՈՇԵՀԱՄԱՁՈՒԼՎԱԾՔՆԵՐՈՒՄ ՇՓՄԱՆ ԵՎ ՄԱՇՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ ԵՐԿՐՈՐԴԱՅԻՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ՄԵԽԱՆԻԶՄԸ

Հետազոտվել է ալյումինային հակաշփական փոշեկոմպոզիտային նյութերի ֆազային բաղադրության ազդեցությունը երկրորդային կառուցվածքների ձևավորման գործընթացի վրա: Ցույց է տրված, որ պինդ քսանյութերի փոքր պարունակության դեպքում ($<15\%$ ծավալային) թաղանթը ձևավորվում է ոչ ամբողջ մակերևույթի վրա: Պինդ քսանյութերի ավելցուկային պարունակությունը ($<25\%$ ծավալային) բացասական է ազդում ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների վրա: Ցույց է տրված, որ եռաֆազ նյութերում շփման մակերևույթներին երկրորդային կառուցվածքների առաջացման մեխանիզմը նույնն է, ինչ երկֆազ նյութերում, բայց եռաֆազ հակաշփական նյութերի մակերևույթներին առաջացած թաղանթների երկարակեցությունը և աշխատունակությունը երկու և ավելի անգամ մեծ է, քան երկֆազինը, որն ապահովվում է ի հաշիվ երրորդ կարծր ֆազի:

Առանցքային բառեր. մայրակ, պինդ քսանյութ, հատիկ, կարծր ֆազ, շփում, մաշում, երկրորդային կառուցվածք, ֆազ, թաղանթ, ամրություն, կարծրություն:

Հակաշփական համաձուլվածքներում մակերևութային թաղանթն առաջանում է հարմարաբերման գործընթացի ժամանակ: Շփման մակերևույթին երկրորդային կառուցվածքների առաջացման հետ մեկտեղ շփման գործակիցը նվազում է (նկ.1), իսկ կայուն թաղանթի առաջացման ժամանակ՝ կայունանում (կոր 1): Թաղանթի ընդհանուր մակերեսը (S) ներկայացնում է երկրորդ ֆազի հատիկների (m) գումարային մակերևույթը (S_i):

$$S = \sum_{i=1}^m S_i : \quad (1)$$

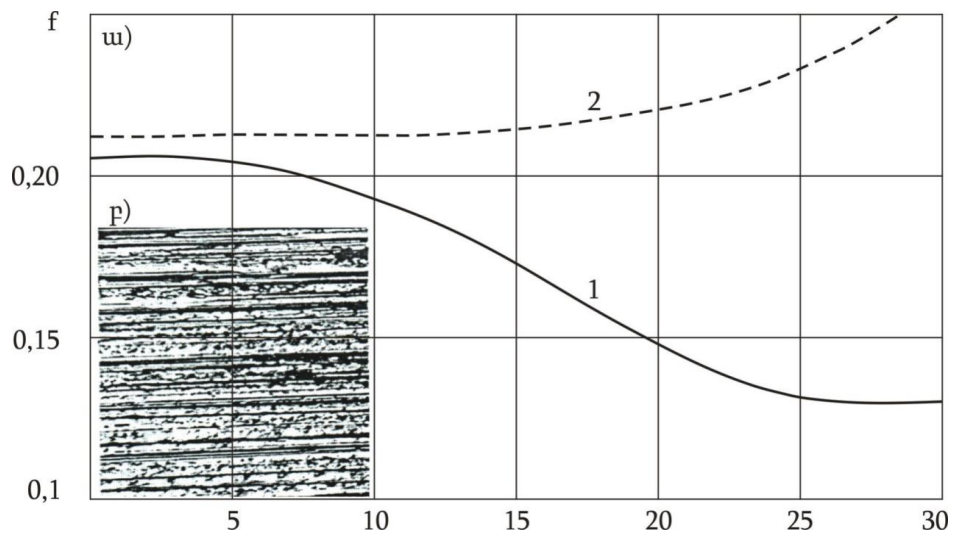
Այս կախվածությունը գրաֆիկորեն պատկերված է նկ. 2-ում: Հետագա հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ հատիկները պետք է ունենան օպտիմալ չափսեր, քանի որ չափից ավելի մանրահատ կառուցվածքի դեպքում թաղանթի ամրությունն ընկնում է, և նկատվում է մեծ մաշվածություն (նկ. 2):

Ինչպես երևում է նկ. 2-ից, երկրորդ ֆազի հատիկների օպտիմալ չափսերը տատանվում են $5...15 \text{ մկմ}$ սահմաններում: Երկրորդային կառուցվածքները փոխազդում են հիմնական ֆազի մակերևույթի հետ և առաջացնում են $0,05 \text{ մկմ}$ հաստությամբ թաղանթներ, այդպիսով ապահովելով նյութի աշխատունակությունը, քանի որ նման հաստության դեպքում կողմնորոշված ատոմների մոնոշերտերի քանակը

կարող է հասնել մի քանի տասնյակի: Գրաֆիտի համար այն կազմում է 70...80, իսկ մոլիբդենի դիսուլֆիդի համար՝ 30...40 [1]: Թաղանթի ամրությունը գնահատվում է մակերևութային լարվածությամբ [2].

$$\sigma = 5,64 \cdot 10^4 \cdot (\rho/A)^{4/3}, \quad (2)$$

որտեղ ρ – ն մետաղի խտությունն է, A – ն՝ ատոմային զանգվածը:



Փորձարկման ժամանակահատվածը, րոպե

Նկ. 1. Շիման գործակցի փոփոխությունը՝ կախված փորձարկման տևողությունից (չոր շփում, $Q=1$ ՄՊա, $V=1$ մ/վ, $1-Al+Cu+Cr+MoS_2$, $2-Al+Cu+Cr$)

Թաղանթի ամրությունը մեծանում է, եթե երկրորդ ֆազը ձևավորող նյութում առկա են տարր կամ տարրեր, որոնց ատոմների չափսերը ($r_{1,2}$) հիմնական ֆազի տարրերի ատոմների չափսերին (r_0) հարաբերում են հետևյալ կերպ [3, 4]՝

$$r_{II\Phi} / r_0 \leq 0,59: \quad (3)$$

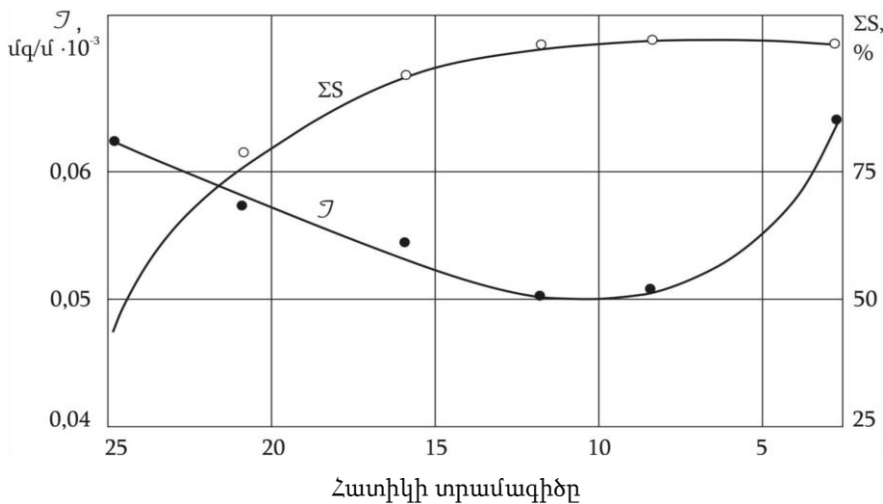
Գրաֆիտը մոլիբդենի մակերևութային առաջացնում է ավելի ամուր թաղանթ, քան ալյումինի, քանի որ առաջին դեպքում $r_{q\Phi:rMo}=0,55$, իսկ երկրորդ դեպքում

$$r_{q\Phi:rCu}=0,62:$$

Մակերևութային թաղանթների առաջացման գործընթացը պայմանավորված է նաև արտաքին գործոններով (P, V), որոնք արագացնում են մաշումը (նկ. 3):

Փոքր բեռնվածությունների և սահքի արագությունների դեպքում թաղանթի ձևավորման ժամանակահատվածը մեծանում է: Մեծ բեռնվածությունների դեպքում

նյութի հիմքը ենթարկվում է պլաստիկ դեֆորմացիայի, և թաղանթը քայքայվում է: Շփվող մակերևույթների միջև առաջանում են միջմոլեկուլային և միջատոմային ուժեր, հետևաբար՝ ակտիվանում են դիֆուզիոն գործընթացները, և նյութը կորցնում է իր աշխատունակությունը:

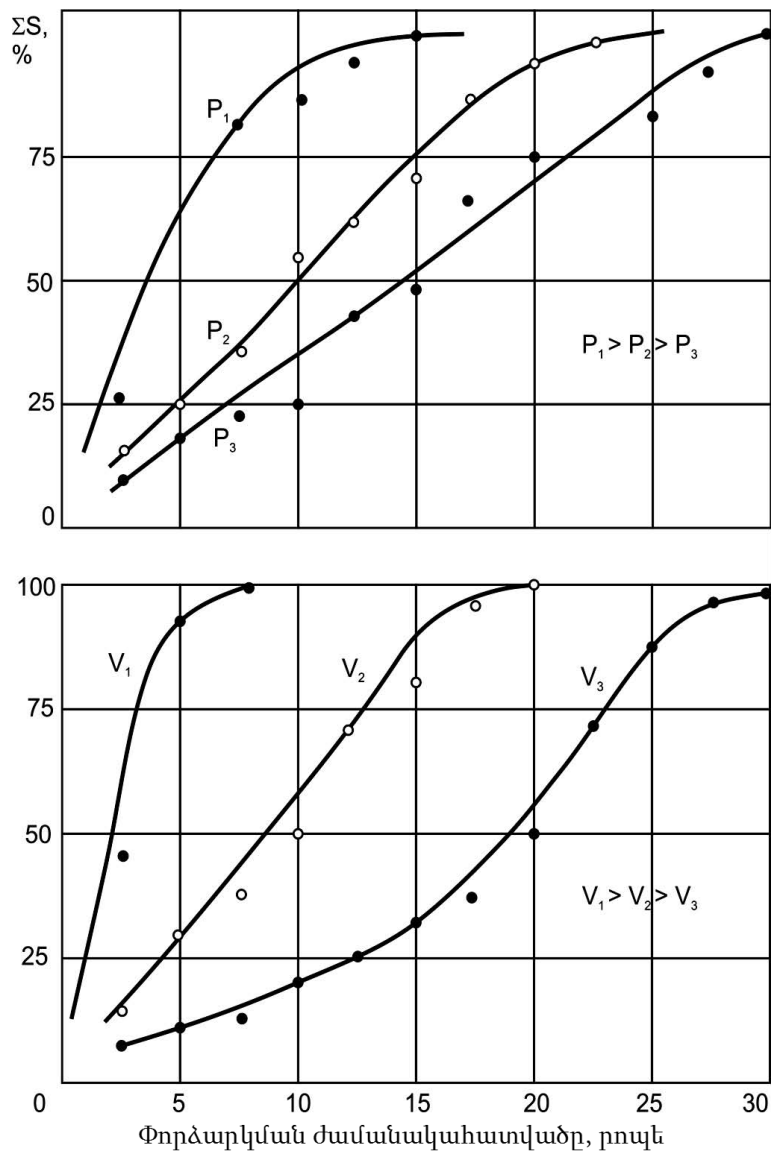


Նկ. 2. Մաշման (I) և երկրորդային կառուցվածքի գումարային մակերևույթի (ΣS) փոփոխությունը՝ կախված երկրորդ ֆազի հատիկայնությունից

Հետազոտվել է նաև ալյումինային հակաշփական նյութերի ֆազային բաղադրության ազդեցությունը երկրորդային կառուցվածքների ձևավորման գործընթացի վրա (նկ. 4): Պինդ քսանյութերի փոքր պարունակության դեպքում (<15 ծավալային %) թաղանթը ձևավորվում է ոչ ամբողջ մակերևույթի վրա: Պինդ քսանյութերի ավելցուկային պարունակությունը (>25 ծավալային %) բացասաբար է ազդում ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների վրա:

Որոշակի հետաքրքրություն է ներկայացնում երկրորդային կառուցվածքների քիմիական բաղադրությունը, որն անալիզի ներկա մեթոդներով (ռենտգենաֆազային, միկրոռենտգենասպեկտրային, էլեկտրոնագրաֆիկական և այլն) պարզել չհաջողվեց՝ շերտերի հաստության փոքր լինելու պատճառով: Դրա համար կատարվել են նմուշների համեմատական հետազոտություններ, որոնց բաղադրության մեջ բացակայում են երկրորդային կառուցվածքները (պինդ քսանյութեր): Ինչպես երևում է նկ. 1 (բ)-ից, այդ նյութերի շփման մակերևույթներում բացակայում են երկրորդային կառուցվածքները:

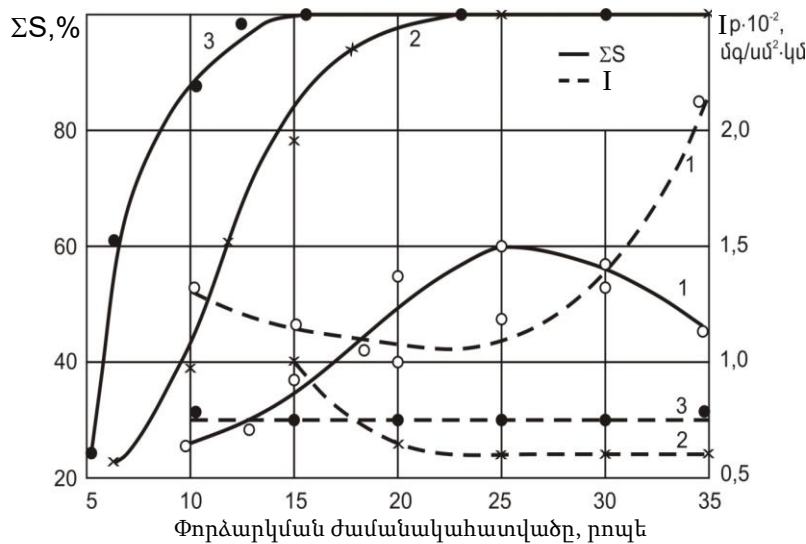
Անհրաժեշտ է նշել, որ f և t արժեքները մեծ են այնքան, որքան մեծ է c/α հարաբերությունը: Դա բացատրվում է նրանով, որ հեքսագոնալ բյուրեղավանդակ ունեցող նյութերում բյուրեղների հարթությունների միջև սահքը տեղի է ունենում փոքր ուժերի ազդեցության ներքո [5]:



Նկ. 3. Երկրորդային կառուցվածքի մակերևույթի առաջացման ինտենսիվությունը՝ կախված արտաքին գործոններից (չոր շփում, $Al+Cu+Cr+MoS_2$): $P_1=1$ ՄՊա, $P_2=3$ ՄՊա, $P_3=6$ ՄՊա, $V_1=1$ մ/վ, $V_2=3$ մ/վ, $V_3=5$ մ/վ

Եռաֆազ նյութերում շփման մակերևույթներին երկրորդային կառուցվածքների առաջացման մեխանիզմը նույնն է, ինչ երկֆազ նյութերում, բայց եռաֆազ հակաշփական նյութերի մակերևույթներին առաջացած թաղանթների երկարակեցությունը և աշխատունակությունը երկու և ավելի անգամ մեծ է, քան երկֆազ համաձուլվածքների

մակերևույթներին առաջացած թաղանթներինը (նկ. 5), որն ապահովվում է ի հաշիվ երրորդ ֆազի (կարծր մասնիկների):



Նկ. 4. Ֆազային բաղադրության ազդեցությունը երկրորդային կառուցվածքների առաջացման մեխանիզմի վրա ($Al+Cu+Cr+MoS_2$, $Q=1$ ՄՊա, $V=1$ մ/վ, չոր շփում).
1-MoS₂=10 ծավ.%, 2-MoS₂=20 ծավ.%, 3-MoS₂=30 ծավ.%

Դիսլոկացիան, տեղաշարժվելով շոշափող լարման ազդեցության տակ, իր ճանապարհին հանդպում է խոչընդոտի: Դիսլոկացիան $T=Gb^2/2$ ուժի ազդեցության տակ, որտեղ b -Բյուրգերսի վեկտորն է, կորանում է խոչընդոտների միջև: Խոչընդոտի երկու կողմերում ընկած դիսլոկացիայի ուղղաձիգ հատվածներով կազմված անկյունը նշանակենք φ ($\varphi < \pi$): Դիսլոկացիայի՝ մեկ խոչընդոտի վրա ազդող ուժի մեծությունը, ինչպես երևում է նկ.6-ից, կլինի՝

$$F = 2T \cdot \sin \varphi / 2 : \quad (4)$$

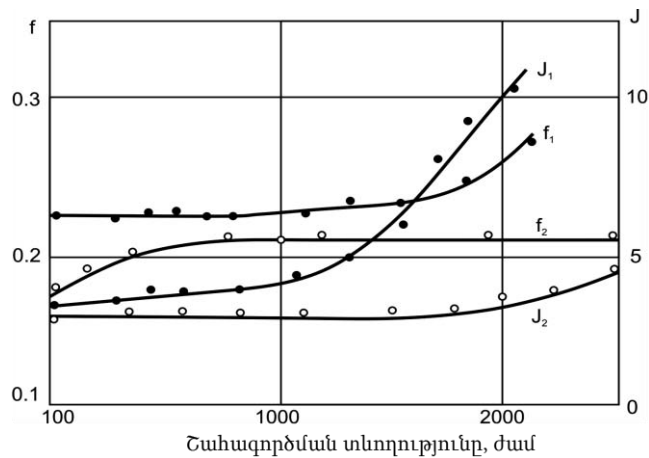
Տեղադրելով (4) բանաձևում T -ի արժեքը, կստանանք թաղանթում դիսլոկացիայի տեղաշարժն արգելակող մեկ կարծր մասնիկի դիմադրության ուժը՝

$$F = G \cdot b^2 \cdot \sin \varphi / 2 : \quad (5)$$

Այդ ուժի առաջացրած լարումը կլինի՝

$$\tau = \frac{G \cdot b}{\ell_0} \cdot \sin \frac{\varphi}{2}, \quad (6)$$

որտեղ ℓ_0 – ն կարծր մասնիկների միջև եղած հեռավորությունն է:



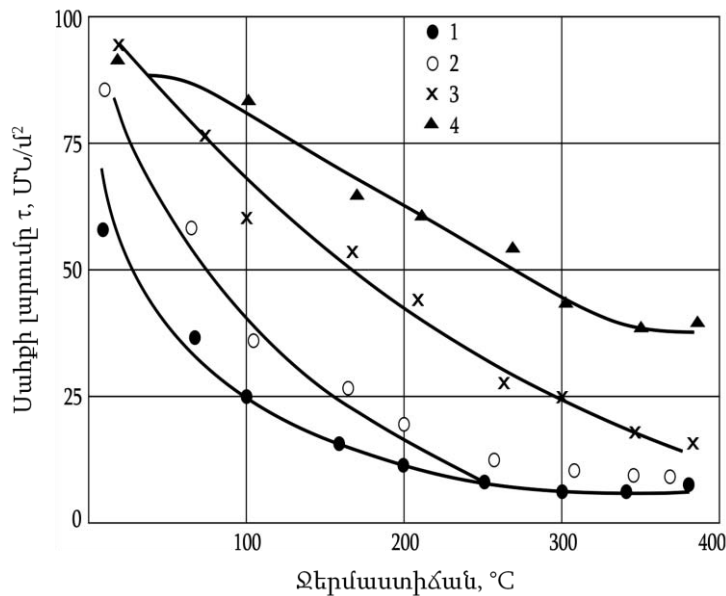
Նկ. 5. Երկֆազ և եռաֆազ այրումինային հակաշփական փոշեհամաձուլվածքների շփական հատկությունների կախվածությունը շահագործման տևողությունից (1-Al+Cu+MoS₂, 2-Al+Cu+Cr+MoS₂, Q=1 ՄՊա, V=1 մ/վ, չոր շփում Q=1 ՄՊա, V=1 մ/վ, չոր շփում)

Սահքը խոչընդոտող թաղանթի մակերևույթին առկա լարվածությունը պայմանավորված է կարծր մասնիկների թվով (n).

$$\tau = \frac{\alpha \cdot G \cdot b}{\pi \cdot R^2 \cdot \ell_0} \cdot \sin \varphi / 2 : \quad (7)$$

(7) բանաձևը թույլ է տալիս պնդել, որ շփման մակերևույթին ձևավորված թաղանթի ամրությունը կարելի է մեծացնել, փոքրացնելով երրորդ ֆազի հատիկայնությունը և մեծացնելով նրա պարունակությունը:

Ուսումնասիրվել է Al-ի հիմքով երկֆազ և եռաֆազ հակաշփական փոշեկոմպոզիտային նյութերի շփման գործընթացի ժամանակ երկրորդային կառուցվածքի առաջացման մեխանիզմը, համաձայն որի շփման մակերևույթի վրա երկրորդային կառուցվածքի առաջացումով շփման գործակիցը նվազում է, իսկ կայուն թաղանթի առաջացումով՝ կայունանում: Ցույց է տրված, որ մակերևույթային թաղանթի առաջացման մեխանիզմը պայմանավորված է ինչպես հակաշփական նյութերի քիմիական բաղադրությամբ ու ֆազային կազմով, այնպես էլ արտաքին գործոններով, հատկապես ճնշումով և արագությամբ:



Նկ. 6. Տեղաշարժի լարման փոփոխությունը՝ կախված շփման ջերմաստիճանից
(Al+Cu+Cr, Q=0,5...3 ՄՊա, V=1 մ/վ)՝ 1-Cr=1%, 2-Cr=2%, 3-Cr=3%)

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Фридель Ж.** Дислокации.- М.: Мир, 1967.- 643 с.
2. **Брейтуэйт Е.Р.** Твердые смазочные материалы и антифрикционные покрытия.- М.: Химия, 1967.- 320 с.
3. **Семенченко В.К.** Поверхностные явления в металлах и сплавах.- М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1957.- 491 с.
4. Физическое металловедение.- М.: Металлургия, 1987.- Т. 3.- 662 с.
5. **Буйнов Н.Н., Мальцев М.В., Фридляндер И.Н.** Металловедение алюминия и его сплавов. 2-е изд., пераб. и доп.- М.: Металлургия, 1983.- 280 с.

Հասցատանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 17.06.2015:

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

**МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ВТОРИЧНОЙ СТРУКТУРЫ В АЛЮМИНИЕВЫХ
АНТИФРИКЦИОННЫХ СПЛАВАХ ПРИ ТРЕНИИ И ИЗНОСЕ**

Исследовано влияние фазового состава алюминиевых антифрикционных порошковых композиционных материалов на формирование процесса вторичной структуры. Показано, что в случае незначительных содержаний твердых смазочных материалов (<15% объемный) пленка образуется не на всей поверхности. Избыточная концентрация твердых смазок (<25% объемный) отрицательно воздействует на физико-механические свойства. Показано, что в трехфазных материалах на контактной поверхности механизм получения вторичной структуры является таким же, как в двухфазных материалах, но долговечность и работоспособность полученных пленок на поверхности трехфазных антифрикционных материалов в два или более раза больше, чем у двухфазных, что обеспечивается за счет третьей твердой фазы.

Ключевые слова: матрица, твердый смазочный материал, зерно, твердая фаза, трение, износ, вторичная структура, фаза, прочность, твердость.

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

**THE FORMATION MECHANISM OF THE SECONDARY STRUCTURE IN
ALUMINIUM ANTIFRICTION ALLOYS AT FRICTION AND WEAR**

The impact of phase composition of aluminum antifriction powder composite materials on the formation of the process of secondary structure is investigated. It is shown that in case of insignificant content of solid lubricants (<15% volume) the film is formed not on the whole surface. The excess concentration of solid lubricants (<25% volume) influences the physico – mechanical properties negatively. It is shown that in three-phase materials, on the contact surface, the mechanism of obtaining a secondary structure is the same as in two-phase materials, but the durability and operability of the received films on the surface of three-phase antifriction materials are two or more times as much as in case of the two-phase ones which is provided at the expense of the third solid phase.

Keywords: matrix, solid lubricant, grain, solid phase, friction, wear, secondary structure, phase, durability, hardness.