

Ն.Գ. ՄԵԼԻՔՍԵԹՅԱՆ, Կ.Վ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Ա.Ն. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ,
Վ.Վ. ՍԱՐՈՅԱՆ

**ՏԵՂԱԿԱՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՍԲ ԿՈՄՊՈԶԻՏՑԻԱ
ՊՈԼԻՄԵՐԱՅԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՇՓԱԳԻՏԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

Առաջարկվել են տեղական հանքանյութերի օգտագործմամբ կոմպոզիտային ինքնա-
յուզվող պոլիմերային հիմքով նյութերի ստացման տեխնոլոգիան և մետաղապոլիմերային
շփահակում շփանյութափոխանցման թաղանթների երկարակեցության գնահատման
հաշվարկային բանաձևը: Ամբողջական գործոնային փորձարկումների մեթոդով իրակա-
նացվել է կոմպոզիտների բաղադրակազմերի լավարկումը, ինչը հնարավորություն է ընձե-
ռում առաջարկել նյութեր՝ մաշման նվազագույն ուժգնությամբ և շփման գործակցի արժեքով:

Առանցքային բառեր. պոլիմեր, լցանյութ, շփանյութափոխանցում, մաշվածք,
շփման գործակից, թաղանթի երկարակեցություն:

Ներածություն: Չոր շփման պայմաններում աշխատանքի մեծ ռեսուրս և
նվազագույն մաշում ապահովող շփահանգույցների ստեղծումը, ինչպես նաև շփա-
նյութափոխանցման (ՇՆՓ) թաղանթների զարգացման դինամիկայի հետազո-
տումը հնարավորություն են տալիս բարձրացնելու մեքենաների և մեխանիզմների
մետաղապոլիմերային շփահանգույցների երկարակեցությունն ու մաշակայունու-
թյունը [1-3]: Պոլիմերային հիմքով կոմպոզիտային նյութերը, բազմաթիվ դրական
հատկությունների շնորհիվ, լայն կիրառություն են գտել մեքենաշինության տար-
բեր ճյուղերում:

Աշխատանքի նպատակը պոլիմերային հիմքով հակաշփական կոմպոզիտա-
յին նյութերի ու մեքենամասերի, տեղական հանքանյութերի օգտագործմամբ շփա-
հանգույցների մակերևութային շերտերի շփագիտական հետազոտումների, ինչ-
պես նաև չոր շփման պայմաններում մետաղապոլիմերային շփահամակարգում
ՇՆՓ թաղանթների երկարակեցության հաշվարկի և քանակական գնահատման
ու վերլուծության իրականացումն է:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Բուն պոլիմերի համեմատ՝
լցանյութերի տեսակի, քանակի և ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների փո-
փոխման միջոցով հնարավոր է ստանալ ֆիզիկամեխանիկական և շփագիտական
շատ ավելի բարձր հատկություններ: Որոշ հանքանյութեր հաջողությամբ կարող
են կիրառվել որպես կոմպոզիտային ինքնայուզվող պոլիմերային նյութերի լցա-
նյութեր: Դիտարկվում է դրանցից երկուսի՝ մոլիբդենի և պղնձի խտանյութերի՝

որպես լցանյութերի արդյունավետությունն ացետալների խմբին պատկանող ֆորմալդեհիդի և դիօքսոլանի համապոլիմերի (ՖՂՀ) դեպքում: Նշված խտանյութերն արտադրվում են Քաջարանի պղնձամոլիբդենային կոմբինատում, և դրանց ստացման համար կիրառվում է մոլիբդենիտի ֆլուտացում՝ պղնձի սուլֆիդի կորզմամբ ծծմբային նատրիումի միջոցով, իսկ որպես փրփրիչ ծառայում է տերպինեոլը: Աղ. 1-ում ներկայացված է օգտագործված խտանյութերի քիմիական բաղադրակազմը:

Աղյուսակ 1

Խտանյութերի քիմիական բաղադրակազմը

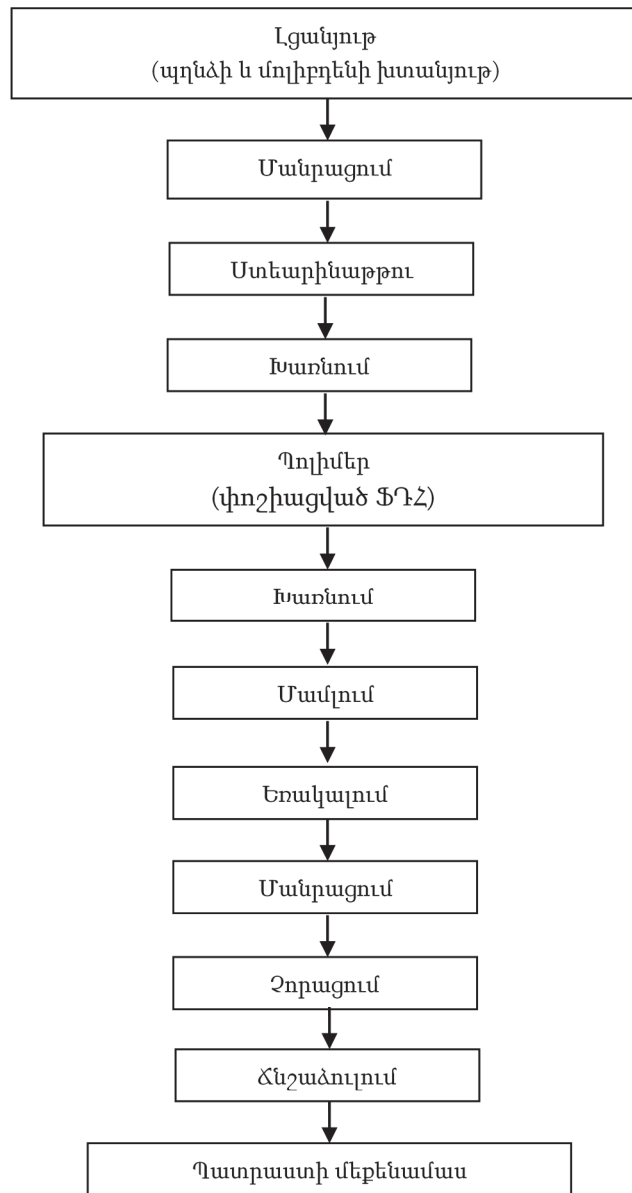
Խտանյութ	Բաղադրակազմ	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MoS ₂	CuS
Մոլիբդենի խտանյութ		9,0	1,2	0,54	-	-	-	82,0	1,6
Պղնձի խտանյութ		7,3	2,3	24,0	13,0	1,1	0,46	0,02	46,0

Լցանյութերը մանրացվել են մինչև 12...40 մկմ հատիկայնությամբ շիթային աղացում և ակտիվացվել են մակերևութային ակտիվ նյութով՝ ստեարինաթթվով՝ հակաշփական հատկությունները բարձրացնելու նպատակով: Լցանյութերի պարունակությունը կոմպոզիտներում փոփոխվել է 1...20 կշ.%. Կոմպոզիտային ինքնայուղվող պոլիմերային հիմքով նյութերի ստացման տեխնոլոգիան ներկայացված է նկ. 1-ում:

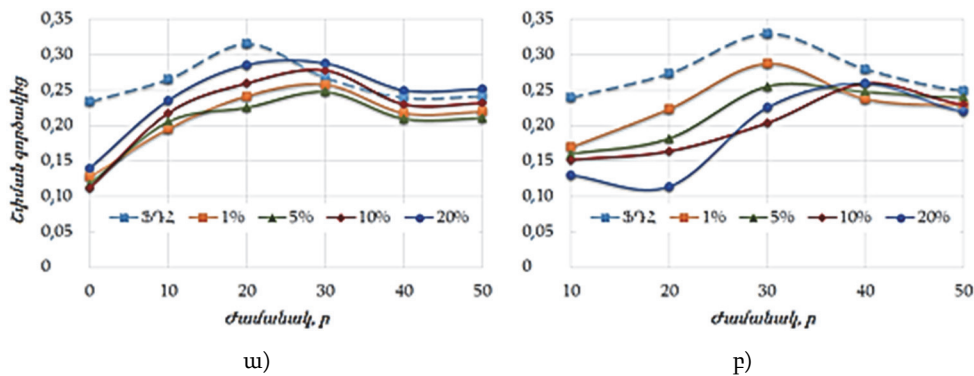
Փորձերի ընթացքում որպես հակամարմին օգտագործվել են պողպատ 45-ից պատրաստված օղակներ, որոնց կարծրությունն է 48...52 HRC, իսկ աշխատանքային մակերևույթը հղկվել է մինչև $R_a = 0,8$ մկմ խորդուբորդության չափ: Կոմպոզիտային նյութերը փորձարկվել են ՇՄ-01 շփամեքենայի վրա՝ «մատ-օղակ» շփման սխեմայով, 0,7 ՄՊա բեռնվածքի և 0,8 մ/վ սահքի արագության պայմաններում: Փորձարկման ընթացքում գրանցվել են շփման գործակցի, մաշման ուժգնության և մակերևութային ջերմաստիճանի արժեքները:

Հետազոտության արդյունքները: Պոլիմերային շփանյութերի հակաշփական հատկությունների վրա հանքանյութերի ազդեցության փորձարարական արդյունքները (նկ. 2) վկայում են, որ մոլիբդենի խտանյութի մեջ MoS₂-ի բարձր պարունակությունը նպաստել է պոլիմերային կոմպոզիտի շփման գործակցի արժեքի զգալի նվազմանը: Պղնձի խտանյութի համար դիտարկվում է մոտավորապես նույն պատկերը:

Կոմպոզիտների մաշակայունության վրա հանքանյութերի ազդեցության փորձարարական արդյունքները ցույց են տալիս, որ մոլիբդենի խտանյութը զգալիորեն բարելավում է պոլիմերի մաշակայունությունը՝ փոքրացնելով մաշվածքի չափը 8,5...9,2 անգամ (նկ. 3), անկախ լցանյութի քանակությունից:

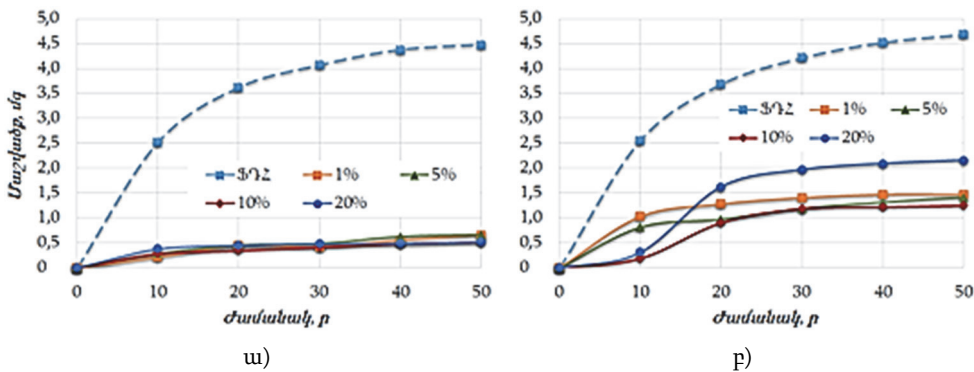


Նկ. 1. Կոմպոզիտային ինքնալուրվող պոլիմերային հիմքով նյութերի ստացման տեխնոլոգիան



Նկ. 2. Մոլիբդենի (ա) և պղնձի (բ) խտանյութերով լցված ՖՂՀ-ի շփման գործակցի կախվածությունը ժամանակից

Պղնձի խտանյութի օգտագործման պարագայում բոլոր կոմպոզիտների մաշվածքի չափը նույնպես զգալիորեն (2,5...4,1 անգամ) փոքր է բուն պոլիմերի արժեքից, սակայն նվազագույն մաշվածքը ստացվել է լցանյութի պարունակության 10 կշռ.% դեպքում: Այսպիսով, մոլիբդենի և պղնձի խտանյութերի օգտագործումը որպես լցանյութ ֆորմալդեհիդի և դիօքսոլանի համապոլիմերի դեպքում հանգեցնում է կոմպոզիտի մաշակայունության զգալի բարելավմանը՝ միաժամանակ ապահովելով շփման փոքր գործակից:



Նկ. 3. Մոլիբդենի (ա) և պղնձի (բ) խտանյութերով լցված ՖՂՀ-ի մաշվածքի չափի կախվածությունը ժամանակից

Ֆազային և ֆիզիկաքիմիական փոխակերպումները, որոնք տեղի են ունենում մետաղապոլիմերային շփահպակում, զգալի ազդեցություն են ունենում կոմպոզիտների մակերևութային շերտերի ֆիզիկամեխանիկական և շփաքիմիական հատկությունների վրա, նպաստելով բարձր ամրությամբ և մաշակայունությամբ ՇՆՓ թաղանթների ձևավորմանը [4-7]: Շփագույզի աշխատանքի արդյունավետությունը որոշվում է նյութի ոչ միայն «սկզբնական», այլև «երկրորդային» կառուց-

վածքով, որը ձևավորվում է շփման փոխազդեցության՝ շփանյութափոխանցման ընթացքում:

Ֆիզիկաքիմիական գործընթացների հիման վրա առաջարկված շփանյութափոխանցման թաղանթների ձևավորման մեխանիզմը [8,9] հնարավորություն է տալիս մշակելու և առաջարկելու թաղանթի հաստության և երկարակեցության գնահատման հաշվարկային մեթոդիկան: Ամփոփելով փորձարարական արդյունքները՝ վերլուծական եղանակով ստացվել է թաղանթների երկարակեցության հաշվարկային բանաձևը, ինչը հնարավորություն է տալիս կանխագուշակելու մետաղապոլիմերային շփահանգույցներում ձևավորված թաղանթների երկարակեցությունը:

$$T = \lambda h_{max}^{2/5} / \exp(-0,4E_a/k\theta), \quad (1)$$

որտեղ $\lambda = 0,22 \cdot 10^{-2} (h/ga^2 k\theta)^{2/5}$, h -ը Պլանկի հաստատունն է, g -ն՝ երկրաչափական գործոնը, a -ն՝ ատոմի տրամագիծը, k -ն՝ Բոլցմանի հաստատունը, θ -ն՝ մակերևութային ջերմաստիճանը, $E_a = E_0 + \beta_0 b^2 P_a^{2/3} - \alpha_0 / 2(c^2 t^2 + \sigma_s^2)$ ՝ մետաղի ատոմների ակտիվացման էներգիան, E_0 -ն՝ մինչև շփումը ակտիվացման ազատ էներգիան,

$$\alpha_0 = \frac{k_\sigma^2 V_0}{6G}, \beta_0 = \frac{k_\sigma^2}{2K} V_0, \underline{k}_\sigma \text{ -ն՝ ատոմային կապերի գերլարումը հաշվի առնող գոր-}$$

ծակիցը, V_0 -ն՝ ատոմի ծավալը, K -ն՝ ծավալային սեղմման մոդուլը, G -ն՝ սահքի մոդուլը, b , c -ն՝ նյութի առաձգական հատկությունները և շփման մակերևութային խորոգորությունների երկրաչափական պարամետրերը բնութագրող գործակիցները, P_a -ն՝ տեսակարար բեռնվածքը, σ_s -ը՝ հոսունության սահմանը, $\tau = fP_a$ ՝ տեսակարար շփման ուժը, f -ը՝ շփման գործակիցը, ρ -ն՝ պողպատի խտությունը, t -ն՝ գործընթացի տևողությունը, h_{max} -ը՝ շփանյութափոխանցման թաղանթի առավելագույն հաստությունը: Աղ. 2-ում բերված են (1) բանաձևով հաշվարկված մետաղական հակամարմնի վրա ձևավորված պոլիմերային թաղանթների երկարակեցության արժեքները:

Աղյուսակ 2

Շփանյութափոխանցման թաղանթների երկարակեցության հաշվարկային արժեքները
($t = 60$ ր, $P_a = 1,91$ ՄՊա, $v = 0,78$ մ/վ)

Նյութը	Թաղանթի երկարակեցությունը T , 10 ⁶ վ
USU-2	3,82
Էստերան-51	4,32
ՖՂՀ	4,65
ՖՂՀ+մոլիբդենի խտանյութ	6,46
ՖՂՀ+պղնձի խտանյութ	6,22

Ինչպես երևում է աղ. 2-ից, մշակված կոմպոզիտների շփման ընթացքում առաջացած թաղանթների երկարակեցությունը 1,5 անգամ ավելի մեծ է հայտնի կոմպոզիտների շփման արդյունքում առաջացած թաղանթների երկարակեցության արժեքից: Այսպիսով, խնդրի լուծումը մետաղ-պոլիմեր համակարգում շփման և մաշման պրոցեսների արդյունավետ կառավարման և դեկավարման, աշխատունակ և մաշակայուն կոմպոզիտային նյութերի հիմնավորված ընտրության հնարավորություն է ընձեռում:

Ամբողջական գործոնային փորձարկումների մեթոդով [10] իրականացվել է կոմպոզիտների բաղադրակազմերի լավարկումը, արդյունքում ստացվել են նյութեր՝ մաշման նվազագույն ուժգնությամբ և շփման փոքր գործակցի արժեքով: Որպես արձագանքի ֆունկցիա ընդունվել են հանքանյութի x_1 և ստեարինաթթվի x_2 պարունակությունները: Փորձարարական տվյալների ծրագրային մշակման արդյունքում ստացվել են ռեգրեսիոն հավասարումներ, որոնք արտացոլում են լցանյութերի ազդեցությունը կոմպոզիտների հիմնական շահագործական հատկությունների վրա.

$$I \cdot 10^{-9} = 8,03 - 0,032x_1 + 0,372x_2 - 4,09x_1x_2 + 0,348x_1^2 + 0,448x_2^2, \quad (2)$$

$$f = 0,399 - 0,032x_1x_2 + 0,0068x_1^2 + 0,016x_2^2. \quad (3)$$

Ստացված հավասարումների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ մաշման ուժգնության և շփման գործակցի վրա ավելի մեծ ազդեցություն է ունենում հանքանյութի և ստեարինաթթվի համատեղ օգտագործումը: Կոմպոզիտների բաղադրակազմի լավարկումը կատարվել է հատուկ էլեկտրոնային ծրագրով (2) և (3) հավասարումներով նկարագրված արձագանքի մակերևույթների վերլուծության արդյունքում: Մաշման նվազագույն ուժգնությամբ և շփման փոքր գործակցով օժտված են այն կոմպոզիտները, որոնց կազմում հանքանյութի պարունակությունն է $x_1 = 10 \dots 13,6$ կշռ.%, իսկ ստեարինաթթվինը՝ $x_2 = 8 \dots 10,4$ կշռ.%: Այսպիսով, հակաշփական նշանակությամբ մեքենամասեր պատրաստելու համար առաջարկվում է կոմպոզիտային նյութերի հետևյալ բաղադրակազմը՝ կապակցող պոլիմերային նյութ (ՖՂՀ)՝ 76...82 կշռ.%, հանքային լցանյութ՝ 10...13,6 կշռ.%, ստեարինաթթու՝ 8...10,4 կշռ.%: Նշված բաղադրակազմով կոմպոզիտային նյութերից պատրաստված նմուշների լավարկված մաշման ուժգնության և շփման գործակցի արժեքներն են՝ $I = 3,22 \cdot 10^{-9} \dots 5,42 \cdot 10^{-9}$, $f = 0,093 \dots 0,118$:

Եզրակացություն: Տեղական հանքանյութերի՝ մոլիբդենի և պղնձի բնական խտանյութերի օգտագործումը որպես լցանյութ ՖՂՀ համար նպաստում է ինքնալուծվող պոլիմերային հիմքով կոմպոզիտի շփագիտական հատկությունների զգալի բարելավմանը: Ստեարինաթթվով մոդիֆիկացված հանքանյութերի կիրառումը պոլիմերային հիմքով կոմպոզիտներում հանգեցնում է կոմպոզիտի մաշվածքի չափի զգալի բարելավմանը՝ միաժամանակ ապահովելով շփման փոքր գործակցից:

Ամբողջական գործոնային փորձարկումների մեթոդով իրականացված կոմպոզիտների բաղադրակազմերի լավարկման արդյունքում առաջարկվել են նյութեր՝ մաշման նվազագույն ուժգնությամբ և շփման փոքր գործակցի արժեքով: Երաշխավորվում են ինքնայուղվող պոլիմերային հիմքով կոմպոզիտային նյութեր հետևյալ բաղադրակազմով՝ կապակցող նյութ (ՖԴՀ)՝ 76...82 *կշռ. %*, հանքային լցանյութ՝ 10...13,6 *կշռ. %*, ստեարինաթթու՝ 8...10,4 *կշռ. %*: Երաշխավորվում է ստացված կոմպոզիտային նյութերի գործնական կիրառումը մեքենաների ու մեխանիզմների տարբեր նշանակությամբ շփահանգույցների մասերի՝ սահքի առանցքակալների և ուղղորդիչների, մանրամոդուլ ատամնանիվների և չոր շփման $Pv \leq 2,0$ *ՄՊա·մ/վ* պայմաններում աշխատող պոլիմերային այլ մեքենամասերի պատրաստման համար:

Առաջարկվել է շփանյութափոխանցման թաղանթների երկարակեցության գնահատման հաշվարկային բանաձևը, որը հնարավորություն է ընձեռում շփագիտական պարզ և փոքրաթիվ փորձերի արդյունքների հիման վրա կանխագուշակել մետաղապոլիմերային շփահանգույցներում ձևավորված թաղանթների երկարակեցությունը և կատարել կոմպոզիտային նյութերի հիմնավորված ընտրություն, կանխատեսելով դրանց աշխատունակությունը և մաշակայունությունը:

Հետազոտությունը կատարվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի «Շփագիտություն» բաժնի գիտահետազոտական լաբորատորիայում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Трибология: Исследования и приложения. Опыт США и стран СНГ / Под ред. **В.А. Белого, К. Лудемы, Н.К. Мышкина**. – М.: Машиностроение, 1993. – 454 с.
2. **Крагельский И.В., Добычин М.Н., Камбалов В.С.** Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 525 с.
3. Основы трибологии (трение, износ, смазка) / Под общ. ред. **А.В. Чичинадзе**. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с.
4. **Погосян А.К., Карапетян А.Н., Оганесян К.В.** Трибохимические процессы и их влияние на фрикционные свойства антифрикционных полимеров // Тр. Межд. конф. “Поликомтриб-2013”. – Гомель, 2013. – С. 184.
5. **Pogosian A.K., Karapetyan A.N., Hovhannisyan K.V.** Development of composite antifriction materials based on the thermoplastic polymers // Tribologia. – 2005. – N 5. – P. 111-119.
6. **Pogosian A.K., Bahadur S., Hovhannisyan K.V., Karapetyan A.N.** Investigation of the tribochemical and physicomechanical processes in sliding of mineral-filled formaldehyde copolymer composites against steel // Wear. – 2006. – N 260. – P. 662-668.
7. **Pogosian A.K., Hovhannisyan K.V., Isajanyan A.R.** Polymer friction transfer: Encyclopedia: Springer Science. – New-York, 2013. – P. 2585-2592.

8. Մելիքսեթյան Ն.Գ., Հովհաննիսյան Կ.Վ., Կարապետյան Ա.Ն., Սարոյան Վ.Վ. Մետաղապոլիմերային շփահանգույցներում ինքնայուղման մեխանիզմի հետազոտումը և դիֆուզիոն մոդելի մշակումը // ՀԳԱԱ և ՀՊՃՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա. – 2016. – Հատ. LXIX, N3. – էջ 228-235:
9. Карапетян А.Н., Оганесян К.В., Сароян В.В. Влияние физико-механических и трибохимических процессов на формирование пленок фрикционного переноса // Труды Межд. научн.-техн.конф. "Поликомтриб-2015". – Гомель, Беларусь, 2015. – С. 96.
10. Евдокимов Ю.А., Колесников В.И., Тетерин А.И. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа. – М.: Наука, 1980. – 228 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 21.03.2017:

Н.Г. МЕЛИКСЕТЯН, К.В. ОГАНЕСЯН, А.Н. КАРАПЕТЯН, В.В. САРОЯН
ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ
ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МЕСТНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Предложены технология получения композиционных самосмазывающихся материалов на полимерной основе с использованием местных концентратов, а также расчетная формула для оценки долговечности пленок фрикционного переноса в металлополимерном трибоконтакте. Методом планирования многофакторного эксперимента оптимизированы составы композитов, что позволяет рекомендовать материалы с минимальными значениями интенсивности изнашивания и коэффициента трения.

Ключевые слова: полимер, наполнитель, фрикционный перенос, износ, коэффициент трения, долговечность пленки.

N.G. MELIKSETYAN, K.V. HOVHANNISYAN, A.N. KARAPETYAN,
W.V. SAROYAN

TRIBOLOGICAL INVESTIGATIONS OF COMPOSITE POLYMER MATERIALS
BY USING LOCAL CONCENTRATES

A technology for obtaining composite self-lubricating materials based on polymers by using local concentrates, as well as a calculation formula for estimating the friction transfer film durability in metal-polymer tribocontact are proposed. By the method of planning of a multi-factor experiment, the composite components are optimized, that allows to recommend materials with minimum values of wear intensity and coefficient of friction.

Keywords: polymer, filler, friction transfer, wear, coefficient of friction, film durability.