

UOT 621.762-03

BİMETAL SÜRTÜNMƏ CÜTLƏRİ ÜÇÜN ANTİFRİKSİON MATERIALIN SEÇİMİNİN ƏSASLANDIRILMASI

¹Məmmədov A.T., ²Məcnunov E.E.

¹Azərbaycan Texniki Universiteti

AZ1073, Bakı şəh., H.Cavid pr., 25

²«Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası” PHŞ

AZ1000, Bakı şəh., Z. Əliyeva küç., 18

E-mail: ariff-1947@mail.ru, elsenmecnunov43@gmail.com

Xülasə. Məqalədə bimetal sürtünmə cütlərində antifriksion materialın seçimi barədə mülahizələr yürüdülür. Belə materialların seçimində ovuntu materialları daha effektiv hesab olunur. Ovuntu materialları içərisində ən geniş yayılmış və ucuz başa gələn qrup dəmir əsaslı ovuntu materiallarıdır. Bunlardan sənayedə geniş tətbiq olunanı dəmir-qrafitlərdir. Bimetal sürtünmə cütünün işçi hissəsinin alınması üçün şixtə tərkiblərinin seçimi vacib əhəmiyyət kəsb edir. Onların çuqunla müqayisədə fiziki-mexaniki xassələri və quru sürtünmədə sürtünmə əmsalının və yeyilməsinə dair məlumatlar verilir. Bimetal yastıqlarda antifriksion materialların yeyilmə intensivliyinin müxtəlif amillərdən asılılıqları əsaslandırılmışdır.

Abstract. The article discusses the selection of antifriction material in bimetallic friction pairs. When choosing such materials, powder materials are considered more effective. The most common and least expensive group of powder materials are iron-based powder materials. Iron-graphites are most widely used in industry. The choice of the charge composition is of great importance for obtaining the working part of a bimetallic friction pair. Information is provided on their physical and mechanical properties in comparison with cast iron, as well as data on the friction factor and wear during dry friction. The dependence of the wear rate of antifriction materials of bimetallic bearings on various factors is substantiated.

Аннотация. В статье рассматривается выбор антифрикционного материала в биметаллических парах трения. При выборе таких материалов более эффективными считаются порошковые материалы. Наиболее распространенной и наименее дорогой группой антифрикционных материалов являются порошковые материалы на основе железа. Наиболее широко в промышленности из них используются железографиты. Для получения рабочей части биметаллической пары трения большое значение имеет выбор состава шихты. Приведены сведения об их физико-механических свойствах по сравнению с чугуном, а также данные о коэффициенте трения и износе при сухом трении. Обоснована зависимость интенсивности изнашивания антифрикционных материалов биметаллических подшипников от различных факторов.

Açar sözlər: sürtünmə cütü, antifriksion materiallar, sürtünmə əmsalı, yeyilmə, amillər

Key words: friction pair, antifriction materials, friction factor, wear, rationale

Ключевые слова: пары трения, антифрикционные материалы, коэффициент трения, износ, факторы

Giriş. Məsaməli dəmir antifriksion materialların ən sadə növüdür. Məsamələrin yağla doldurulması tribotexniki cütün ən kiçik sürtünmə əmsalını təmin edir, metalı korroziyadan qoruyur və özünü yağlama effekti yaradır, yağ materialının kənardan verilməsinə ehtiyac qalmı [1,2].

Yüksək olmayan sürüşmə sürətlərində, sürtünmə səthində yastığın cisminin həcmində məsamələrlə yaranmış kapillyarlardan yağın daxil olunmasında yaranan yağ qatı meydana çıxır.

Sürüşmə qüvvəsi nə qədər böyükdürsə, sürtünmə səthi bir o qədər böyük dərəcədə qızır, bu halda ora yağlayıcı material bol-bol daxil olur.

Kiçik sürüşmə sürətlərində məsaməli yastıqlar tökmə yastıqlara nisbətən daha yüksək yüklənmə qabiliyyətinə malikdirlər. Sürətləri artırıqda tökmə yastıqlarda buraxıla bilən yüklər artır, məsamələrdə isə azalır. Lakin məsaməli yastıqlara kənardan yağ verildisə, onda sürətləri artırıqda buraxıla bilən yüklərin qiymətləri yüksəlir [2].

Yağın stabil verilməsində məsaməli dəmirin işləmə qabiliyyəti 2,0 – 2,5 MPa-dək yüklərdə və 1 – 2 m/s ($PV=2,5 - 5,0 \text{ MPa}\cdot\text{m/s}$) təmin olunur. Özü yağlama rejimində sürüşmə sürətini artırıqda yükün qiyməti azalır və PV -nin qiyməti $0,7 \div 1,6 \text{ MPa}\cdot\text{m/s}$ – ni üstələyir. Belə materialın normal işində temperatur 70 – 80°C – ni üstələməməlidir [3].

Ona görə də ən geniş sərgilənən dəmir əsaslı antifriksion ovuntu materialları dəmirqrafitdir. Onu həm özünü yağlama rejimində, həm də yağın əlavə verilməsində istifadə etmək olar. Bu amili nəzərə alaraq tədqiqatlarımızı bimetal sürtünmə qovşaqları üçün dəmirqrafit ovuntu materiallarının xassələrinin və işləmə qabiliyyətinin təhlilinə yönəldirik.

Tədqiqatların müzakirəsi. Dəmirqrafit, dəmir əsaslı ən geniş sərgilənən antifriksion ovuntu materialıdır. Onu həm öz-özünü yağlama rejimində və həm də yağın əlavə verilməsində istifadə edirlər. Bu materialın strukturu adətən ferrit-perlitdən (ferrit – 50%-dən az olmaqla) ibarət olur [4,5].

Lakin dəmirqrafitə alternativ olaraq dəmir-mis-qrafitlər də geniş tətbiq olunur. Onların mexaniki və antifriksion xassələri dəmirqrafitə nisbətən daha yüksək olur. Ona görə də bimetal cütlərdə antifriksion ovuntu materialı kimi aşağıdakı dörd tərkibdə şixtə materialı təklif edirik (cədvəl 1).

Cədvəl 1

Dəmir əsaslı antifriksion işçi hissənin alınması üçün şixtələrin tərkibi

Şixtələrin adları	Materialın əsası	Daxil edilən əlavələr			
		Karbon	Mis	Kükürd	Xrom
Tərkib 1	ПЖ2М	1,5	3,0	0,45	1,1
Tərkib 2	ПЖ2М	1,5	2,7	0,5	1,2
Tərkib 3	ППЛ – 18XCHD	1,5	2,8	0,55	1,0
Tərkib 4	ППЛ - ППХ	1,5	1,5	0,52	0,9

Legirləyici elementlərin ən böyük miqdarı №3 tərkibli (7,0 %) və minimal miqdar isə №4 tərkibli (4,70%) materialda alınmışdır. Bişirilmiş materialların strukturu xırdadənəli perlitdən, ferritdən (4 – 28%), dağınıq sementit torundan, az miqdarda qrafitdən, bərk karbid ünsürlərindən, struktur sərbəst misdən və oksidlərdən ibarətdir.

Bişirilmiş materiallarda perlitin mikrobərəkliyi 1800 – 3200 MPa, ferritin 800-dən 1400 MPa-dək, karbid ünsürlərininki isə 7000 – 13000 MPa təşkil edir [6, 8].

Struktur təşkilədicilərinin faza analizilə müəyyən olunmuşdur ki, bişirilmiş materiallarda karbidlər legirli sementiti özündə əks etdirir. Xromun böyük hissəsi (90%-ə yaxın) karbid şəklində, qalanı isə oksidlər və bərk məhlulda olur.

Materiallarda oksidlərin ümumi miqdarı 3,4%-i üstələmir. Bişirilmiş materiallarda nikel həll olmuş vəziyyətdə, mis isə həm sərbəst vəziyyətdə (0,3 – 0,6%) həm də bərk məhlullar və sulfidlər şəklində olur. Kükürd dəmirə və mislə birləşmələr yaradır.

Tədqiqatlarımızda tərpənməz matrissada ikitərəfli soyuq presləmə pəstahlarda təpədən mərkəzə doğru (10% hədlərində dəyişən) simmetrik fiziki-mexaniki xarakteristikaların alınmasını təmin etmişdir.

Təbii – legirlənmiş ovuntular əsasında materiallarda fiziki-mexaniki xassələr (dartılmada, əyilmədə, kəsilmədə möhkəmlik həddi və bərklik) 15 – 20% legirlənməmiş materiallara nisbətən yüksək olmuşdur (cədvəl 2). Standart ПЖ2М ovuntusu əsasında materialların kontreisimlə uyuşması

8 saat ərzində baş vermişdir ki, bu, 30 – 50% tökmə ilə modifikasiya olunmuş çuqundan davamiyyətlidir. №4 – li tərkibli materialda tutuşmayadək xüsusi təzyiq 1600-dən 1700 H/mm², sürtünmə əmsalı isə – 0,028 təşkil etmişdir. №4 – li tərkibli materialda yeyilmənin minimal kəmiyyəti 300 N/mm²-da və 1,5 m/s sürüşmə sürətində 0,02 – 0.03 mkm/saat olmuşdur. Bu 2,8 – 3,0 dəfə çuqunun və 1,2 – 1,4 dəfə isə ПЖ2М ovuntusu əsasında materialların yeyilmə intensivliyindən aşağıdır. Verilən materialların 400°C-də 20 H/mm² yüklə və 1,0 m/s sürüşmə sürətində aparılmış laboratoriya tədqiqatları tətbiq etdiyimiz çuqunlarla müqayisədə 1,9 – 2,0 dəfə aşağı yeyilmə göstərmişdir (cədvəl 3).

Cədvəl 2

Bişirilmiş materiallar və çuqunun fiziki – mexaniki xassələri

Materialların adları	Dartılmada möhkəmlilik həddi, σ_d , MPa	Sıxılmada möhkəmlilik həddi, σ_s , MPa	Əyilmədə möhkəmlilik həddi, σ_{ay} , MPa	Zərbə özlülüyü, a_n , kqm/mm ²	Orta bərklik, HB
Tərkib № 1	332	961	452	73,5	88
Tərkib № 2	363	1148	585	75,5	87
Tərkib № 3	362	1193	542	78,5	92
Tərkib № 4	401	1352	675	88,5	94

Cədvəl 3

Bişirilmiş materialların və çuqunun quru sürtünmədə laboratoriya sınaqlarının nəticələri

Materialların adları	Materialın əsası	15 saat ərzində yeyilmə, mkm	Çuqunun yeyilməsinə nisbətə yeyilmə, %	Sürtünmə əmsalı	Sürtünmə qovşağında temperatur
Tərkib № 1	ПЖ2М	106,5	66,5	0,30	300
Tərkib № 2	ПЖ2М	119,7	74,6	0,37	300
Tərkib № 3	ППЛ – 18XCHD	93,4	58,3	0,26	300
Tərkib № 4	ППЛ – ППХ	82,8	51,6	0,22	300

Quru sürtünmədə 20 N/mm² – da, 1 m/s sürüşmə sürətində və 300°C sınaq temperaturunda quru sürtünmədə bişirilmiş materialların və çuqunun laboratoriya sınaqlarının tədqiqinin nəticələri göstərir ki, təbii – legirlənmiş ППЛ – ППХ ovuntusu əsasında olan №4 tərkibli materiallar 15 saat ərzində işdə 76,8–dan 82,1 mkm–dək yeyilməyə, çuqundan olan materiallar isə 162-dən 166 mkm–dək yeyilməyə malik olmuşdur [9,10].

Bu tədqiqatların davamı kimi azlegirlənmiş dəmirçuqun materialın alınma prosesi tədqiq olunmuşdur. Tərkibində 10% və 50%-dək çuqun ovuntusu və uyğun olaraq 90% və 50% dəmir ovuntusu olan şixtlər hazırlanmışdır. Şixtlərin xassələrinə çuqun ovuntusunun təsirinin tədqiqi göstərir ki, çuqun ovuntusunu tərkibdə artırıdıda şixtlərin axıcılığı yaxşılaşır, onların səpilmə sıxlığı yüksəldir. Tərkibində 30 – 40% çuqun ovuntusu olan prespəstahların 700 MPa presləmə təzyiqində sıxlaşma qabiliyyəti kifayət qədər yüksəkdir və 6,40–dan 6,5 q/sm³–dək təşkil edir. Çuqun ovuntusunun səpilmə sıxlığını artırıdıda şixtlərin sıxlaşma qabiliyyəti yüksəlir. Bu, soyuq presləmə metodu ilə kifayət qədər sıx prespəstahlar almağa imkan verir [11,12].

Prespəstahların bişirilmə prosesini 1150 - 1250°C temperaturlar intervalında və bu temperaturda 1,0 saat izotermiki saxlama şəraitində aparılmışdır.

Bişirmə 750-800°C temperaturda dəmir matrissanın yaranmasından başlayır. Prespəstahların 900°C–dək qızdırılmasından sonra çuqun hissəciklərin ətrafında perlitin sahələri yaranır, onun miqdarı əsasən 6,0 dəq ərzində artır, bu karbonun əsasən bişirmənin başlanğıcında diffuziyasına dəlalət edir. Xromnikel ovuntusunun hissəciklərinin əhəmiyyətli həll olması 1150°C–dən yuxarıda başlayır. 1200°C–də diametri 75 mkm–dək olan hissəciklər 40 dəq bişirmədən sonra həll olurlar, 100 mkm ölçüdən böyük olan hissəciklər isə həll olmur. Buradan belə nəticə çıxır ki, polidispers

tərkibli ovuntu istifadə etdikdə fraksiyalar bişirmədə həll olaraq dəmir matrisinin bərabər legirlənməsinə kömək edir, iri hissəciklərin natamam həll olması isə heterogen mikrostrukturlu materiallar almağa imkan verir.

Bimetal səthlərin yaradılmasında dəmirqrafit və dəmirmisqrafit ovuntu materiallarının fiziki – mexaniki, texnoloji və istismar xarakteristikalarının əhəmiyyətli yaxşılaşdırılmasına kükürd və metalların sulfidləri ilə əlavə legirləməklə nail oluna bilər (cədvəl 4). Kükürdün tərkibə əlavə olunması sürüşmə sürətini artırıqda yastıqların yükötürmə qabiliyyətini artırır. Çuqun oymaqların əvəzinə Fe-Cu-C-S tipli kompozisiyaların tətbiqi onların xidmət müddətini 10 dəfələrlə artırmağa və mövsümdə bir dəfəyədək sürtünmə yastıqlarının yağlanması məhdudlaşdırmağa imkan verir [13 – 14].

Cədvəl 4

Sulfidləşdirilmiş dəmirqrafit materialların xarakteristikası

Material	Elementlərin miqdarı, %				Yoxlama şəraiti	Buraxıla bilən həddi	
	C	S	P	Cu		P, MPa	V, m/s
1	1	0,8-1,0	0	0	Məhdud yağlama	4,9-24,5	2,4
2	1,5	0,4-0,8	0	2,5-3,0	Həmçinin	4,9-7,85	2,8
3	1,3-2,0	0,4	0	3,0-10	Həmçinin	14,7-18,6	0,1
4	1,5	0,7-0,1	0,5-0,7	0	Məhdud (M=18-20%) Yağsız (M=0%)	14	-

Material №1 traktorlar oymaqlarında, sürətlər qutusunun dişli çarxlarında, tənzimləyicinin disk və qapağında, yağlama mexanizmlərinin dişli çarxlarında tuncların əvəzləyicisi kimi tətbiq olunur.

Material №2 avtomobillərin istiqamətləndirici oymağında klapanın, dəmiryol vaqonlarının riçaq-tormoz ötürücüsünün oymaqlarında, toxuculuq istehsalatının avadanlığının oymaqlarında, transporterlərin oymaqlarında, yemvericilərdə və s. 200°C-də tətbiq olunur.

Material №3 bucurğadların və yük avtomobillərinin qapı ilgəhlərinin diyircəklərində, kingpinlərin yuyucularında və dönən yumruqların menteşələrində, artırılmış temperaturlarda (500°C-dək) avtomobillərin klapanlarının istiqamətləndirici oymaqlarında istifadə edilir.

Material №4 – dən isə torna – vintkəsici dəzgahların detallarını hazırlayırlar.

Sink sulfidi ilə legirlədikdə materialın artırılmış yeyilməyə dözümlülüyü, yükdaşıyırma qabiliyyəti və uyuşma qabiliyyəti ilə incə dispers perlitin strukturu yaranır. Bu həm yağlayıcı materiallarla həm də əlavə yağlayıcısız şəraitdə artırılmış həddi parametrlərə nail olmaqla əlaqədar dəmirqrafit materialların tətbiq sahəsini xeyli genişləndirməyə imkan verir. Belə materiallara 1%-dək qalayın əlavə olunması onların antifriksion xassələrini əhəmiyyətli artırır.

Dəmir əsaslı sulfidləşdirilmiş materiallarla təchiz olunmuş sürtünmə qovşaqları tunc, babbitt, habelə tunc əsasında ovuntu materiallarının işləmə qabiliyyətini bir neçə dəfə üstələyən işləmə qabiliyyətinə malik olurlar.

Nəzərə almaq lazımdır ki, tərkibində sulfidlər olan ovuntu materialları dəmirqrafitlə müqayisədə artırılmış istidən genişlənmə əmsalına, bir qədər aşağı korroziyaya dözümlülüyə malik olurlar. Bu amilə əsasən qeyd etmək olar ki, dəmirqrafit materialların bimetal qovşaqlarda istifadəsi perspektivlidir. Lakin müxtəlif legirləyici elementlərdən istifadə etməklə onların işçi qabiliyyətini daha da yüksəltmək olar [14,16].

Nəticə. Aparılmış elmi-texnoloji təhlil göstərir ki, bimetal sürtünmə cütlərində dəmirqrafit əsaslı ovuntu materialların istifadəsi perspektivlidir. Lakin bu materialların işçi qabiliyyətini artırmaq üçün müxtəlif yanaşmalar, o cümlədən legirli dəmir ovuntularının istifadəsini, kükürdlə, fosforla və s. elementlərlə əlavə legirləmə texnologiyasını təklik etməklə tədqiqatları davam etdirmək olar.

Bu iş Azərbaycan Elm Fondunun maliyyə dəstəyi ilə yerinə yetirilmişdir – Qrant № AEF-MCG-2023-1(43)-13/01/1-M-01

Ədəbiyyat

1. Пасовец В.Н., Ковтун Б.А. Сравнительный анализ триботехнических и физико-механических характеристик антифрикционных порошковых самосмазывающихся композиционных материалов // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого, №4, 2022, с-33-41
2. Мамедов А.Т. Конструкционные и антифрикционные порошковые материалы. – Баку, ЭЛМ, 2006, 458с.
3. Chung, D.D.L. Composite materials / D.D.L. Chung. – Berlin : Springer, 2010. – 368p.
4. Hutchings, I. Tribology: friction and wear of engineering materials / I. Hutchings, Ph. Shipway. – Oxford : Butterworth – Heinemann, 2017. – 412 p.
5. Kostornov, A.G. Sintered antifriction materials / A.G. Kostornov, O.I. Fushchich // Powder metallurgy and metal ceramics. – 2007. – Vol. 46, N9. – P. 503-512.
<https://doi.org/10.1007/s11106-007-0078-5>
6. Metallurgical aspects of self-lubricating composites containing graphite and MoS₂ / K.P. Furlan [et al.] // Journal of materials engineering
7. Tribotechnical characteristics of superhard boron nitride materials in contact with hard alloys / Yu. V. Naidich [et al.] // Powder metallurgy and metal ceramics. - 2011. - Vol. 50, N 5/6. – P.331-342. <https://doi.org/10.1007/s11106-011-9336-7>
8. Lightweight composite materials for automotive - a review / M. Patel [et al.] // International research journal of engineering and technology. – 2018. – Vol. 5, N 11. – P. 41-47.
9. Mansoor, M. Carbon nanotube-reinforced aluminum composite produced by induction melting / M. Mansoor, M. Shahid // Journal of applied research and technology. JART. - 2016. - Vol. 14, N 4. – P. 215-224. <https://doi.org/10.1016/j.jart.2016.05.002>
10. Highly wear-resistant composites based on copper powder mixture with onion carbon nanostructures for self-lubricating friction units / V. A. Kovtun [et al.] // Journal of friction and wear. – 2010. – Vol. 31, N 2. – P. 128– 132.
11. Pleskachevsky, Y.M. Tribological coatings formed by electrocontact sintering of powder systems / Y. M. Pleskachevsky, V. A. Kovtun, Y. E. Kirpichenko // Wear. – 1997. – Vol. 203–204. – P. 679-684. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(96\)07433-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(96)07433-9)
12. Research of the interaction energy of carbon nanotubes in the agglomeration process / V. Kovtun [et al.] // International journal "NDT Days". -2020. – Vol. 3, iss. 2. – P. 72-79.
13. Modeling and investigation of influence of the formation regimes of wear-resistant nano-filled metal-polymer composites on a stress state of areas contact interaction of structural components / V. Kovtun [et al.] // International journal "NDT Days". 2018.Vol. 1, iss. 3.-P. 322-329.
14. Microstructure and properties of copper-graphite composites fabricated by spark plasma sintering based on two-step mixing / J. Liu [et al] // Metals.-2020. – Vol. 10, N 11.-P. 1506-1519. <https://doi.org/10.3390/met10111506>
15. Dyachkova, L. N. Structure and properties of composite powder copper-based materials / L. N. Dyachkova // Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus. - 2020. - Vol. 64, № 4.- P. 488-494. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-4-488-494>
16. Effect of CaF₂, surface layers on the friction behavior of copper-based composite / K. Konopka [et al.] // Powder metallurgy and metal ceramics. - 2012. - Vol. 51 N 5/6. - P. 363-367. <https://doi.org/10.1007/s11106-012-9441-2>

Мəqalə qəbul olunub: 16.04.25
Təvsiyə edib: dos. Xankişiyev İ.A.