



Neft və qaz sənayesində istifadə olunan materialların tribotexniki xassələrinin yüksəldilməsi metodlarının işlənməsinə dair

Mexanika və maşınqayırma

Qəhrəmanov F.Q., Baxşəliyev V.İ., Cəfərov Y.Ə.

Azərbaycan Texniki Universiteti
E-mail: v.bakhshali@aztu.edu.az

Materialların normal temperaturda sürüşmə sürətindən asılı olaraq tribotexniki parametrlərinin tapılmasına baxılmışdır. Burada yeyilmənin intensivliyi ilə materialın mexaniki xassələrinin arasında funksional asılılıqlar müəyyən edilmişdir. Baxılan materialların tribotexniki xassələri araşdırılmış, təmiz volframın və onun əsasındakı ərintilərin sürüşmə sürətinin onların sürtünmə və yeyilməsinin intensivliyinə təsirinin diaqramları qurulmuşdur. Tədqiqatın nəticələri neft və qaz sənayesində istifadə olunan maşın və avadanlıqların friksion hissələrinin materiallarının seçilməsində istifadə oluna bilər.

Açar sözlər: materiallar, mexaniki xassələr, tribotexnika, sürtünmə və yeyilmə prosesi.

Giriş

Səthi sürtünmə şəraitində işləyən sürüşmə yastıqları üçün materialın seçilməsində tribotexniki xassələr olan yeyilməyə davamlılığın və uzunömürlülüğün daha böyük əhəmiyyətə malik olması artıq bəllidir. Buna görə də materialın fiziki-mexaniki xassələri yüksək yeyilməyə davamlılığı və sürtünmə zamanı elastik kontakt toxunmanı təmin etməlidir. Bundan əlavə material kifayət qədər yüksək mexaniki möhkəmliyə, texnolojiyə və həmçinin ətraf mühitin təsirinə qarşı davamlılığa malik olmalıdır. Yastıqların təmasda olan səthlərinin buraxıla bilən qiymətdən çox yeyilməsi nəticəsində yaranan ara boşluqları valın işlək hissələrlə və gövdə ilə qarşılıqlı yerləşməsindəki dəqiqliyi pozur. Bu isə öz növbəsində yastığın vaxtından əvvəl dağılmasına səbəb ola bilər dinamik dayanıqsızlığa, zərbəyə və titrəməyə gətirib çıxarır. Toxunma səthlərindəki təzyiq artdıqca, yeyilmə də buna uyğun şəkildə artır. Səth qatının yeyilmə sürəti isə birbaşa uzunömürlülüyə təsir edir [1, 2, 3].

Məsələnin qoyuluşu

Neft və qaz sənayesində keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsi aşağı temperaturda, korroziya mühitində, vakuum şəraitində istismar oluna bilən yeni konstruksiyalı maşın və avadanlıqların və həmçinin xüsusi növ yastıqların istehsalının genişləndirilməsi kimi tələbləri ortaya çıxarır. Quru və sərhəd sürtünmə şəraitində işləyə bilən yastıqlar mexaniki itkiləri az olan və ağır istehsalat şəraitində işləyən sadə konstruksiyası olan etibarlı və uzunömürlü

maşın və avadanlıqların yaradılmasına imkan verir. Bu isə öz növbəsində iqtisadi səmərəliliyin yüksəlməsinə səbəb olur.

Sürtünmə cütlərində yağsız şəraitdə istifadə oluna bilən yeni öz-özünə yağlanan materialların tətbiqi onların quru sürtünmə yastıqlarında istifadə olunmasına imkan verir [4, 5, 6].

Maye yağ təbəqəsi ilə ayrılmayan səthlərin qarşılıqlı təsiri sayəsində quru sürtünmə meydana gəlir. Sürtünən səthlər arasında çox nazik yağ təbəqəsi ($\leq 0.1 \text{mk}$) və yaxud qarşılıqlı təsir zamanı yağ damcıları absorbsiya olunmuş vəziyyətdə olan və yağ təbəqəsinin tədricən böyüməsi sayəsində yarımmaye hala keçən vəziyyətdəki sürtünmə sərhəd və ya səthi sürtünmə halına keçir. Yarımmaye yağlama zamanı sürtünən səthlər bir-birindən tam ayrılmayaraq, nahamar səthlərdəki çıxıntılar vasitəsilə qarşılıqlı təmasda olur. Yağ təbəqəsinin, qalınlığının tədricən böyüməsi sürtünmə cütlərinin bir-birindən tam ayrılmasına gətirib çıxarır. Sürtünən səthlər arasına dolmuş yağ təbəqəsinin özlülüyü ilə bağlı olan belə sürtünmə mayeli sürtünmə olur.

Müasir texnikanın maşın və avadanlıqları böyük sürət və təzyiqdə, vakuumba, yüksək və aşağı temperaturalarda və s. işləməli olur. Etibarlığa və uzunömürlülüyə qoyulan tələblərin artması, sadə və ucuz konstruksiyalı daha məhsuldar maşınların yaradılmasını zəruri edir [7, 8].

Bir çox tədqiqatçılar tərəfindən təmiz metal və ərintilər üçün normal temperaturda sürüşmə sürətinin materialın sürtünmə və yeyilmə xarakteristikalarına təsiri öyrənilmişdir. Tədqiqatlar quru sürtünmə şəraitində aparılmış və alınmış nəticələr müxtəlif müəlliflər tərəfindən şərh edilmişdir. Belə ki, sürüşmə sürətinin artması sayəsində sürtünmə əmsalının maksimum qiymət alması materialın özlü elastik xassəsi ilə izah edilir. Elmi tədqiqat işlərində sürtünmə əmsalının maksimum qiymətdən aşağı düşməsi səbəbləri araşdırılmışdır. Kiçik sürünmə sürətində səthdəki kələ-kötürlüklər hesabına ilişmənin baş verməsi və sürüşmə sürətinin sonrakı artması zamanı onların sıradan çıxması baş verir. Sürüşmə sürətinin böyüməsi zamanı sürtünmə əmsalının qiymətinin aşağı düşməsi müxtəlif mexanizmlərdə müşahidə olunur [9, 10].

Tədqiqatlar göstərir ki, sürtünmə əmsalı sürüşmə sürətindən asılı olaraq dəyişir. Belə ki, sürtünmə sürətinin 0,6-6,0 m/san qiymətlərində sürtünmə əmsalının qiyməti qismən sabit qalır. Yuxarıda qeyd olunanlardan belə nəticəyə gəlmək olar ki, fərqli mülahizələr təcrübələrin aparıldığı üsulların müxtəlifliyi ilə bağlıdır. Bu üsullar seçilmiş sürətdən, materiallardan, ətraf mühitin təsirindən və s. asılıdır. Beləliklə, qeyd etmək lazımdır ki, hazırda quru sürtünmə şəraitində metalların sürtünmə xarakterinin sürtünmə sürətindən asılılığını izah edə biləcək aydın və dəqiq nəzəriyyə yoxdur.

Yuxarıdakıları nəzərə alaraq volframın, volfram əsaslı ərintilərin və onun birləşmələrinin yağsız sürtünmə şəraitində sürtünmə və yeyilmə parametrlərini tədqiq etmək məqsədəuyğun hesab edilir.

Həll üsulları

Sürüşmə sürətinin sürtünmə və yeyilmənin xarakterinə təsirinin araşdırılması. Quru sürtünmə yastıqlarının normal işləməsi üçün toxunma sahəsindəki sürüşmə (sürtünmə) sürətinin (u) və təzyiqin (p) aşağıdakı şərtlərini nəzərə almaq lazımdır.

$$u \leq [u], \quad p \leq [p], \quad p \cdot u \leq [p \cdot u], \quad (1)$$

burada $[u]$ və $[p]$ uyğun olaraq sürtünmə sürətinin və seçilmiş yastıq materialı üzrə kontakt təzyiqinin buraxılabilən həddinin qiymətidir.

Hər bir material üçün təzyiqin buraxılabilən qiyməti $[p]$ təcrübi yolla təyin edilir və o, qəbul edilmiş sabit sürüşmə sürətində baş verən yeyilmədəki katastrofik dağılmanın başlanğıcını xarakterizə edir. Tədqiqatlar (yoxlamalar) nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, sürüşmə sürəti böyüdükcə təzyiqin qiymətinin buraxılabilən həddi aşağı düşür. Bunu

toxunma səthində sürtünmə nəticəsində yaranan istilik hesabına materialın fiziki-mexaniki xassələrinin dəyişməsi ilə izah etmək olar.

Hər bir materialın sürüşmə sürətinin buraxılabilən qiyməti [u], həmçinin təzyiqin buraxılabilən qiyməti [p] təcrübi olaraq təyin edilir və onlar materialın antifraksiyon xassəsini xarakterizə edir.

Əvvəlki tədqiqatların nəticəsində kontakt səthinin γ yeyilmə sürətinin aşağıdakı ifadəsi alınmışdır [9]:

$$\gamma = \frac{di}{dt} = (a_1 \cos \varphi - a_2 \sin \varphi + 2a_3 \cos 2\varphi - 2a_4 \sin 2\varphi) \cdot \frac{1}{\rho} u, \quad (2)$$

burada i – xətti yeyilmə; φ – sürüşmə yastıqlarında kontakt səthinin sürüşmə bucağı; ρ – kontakt nöqtəsinin radius-vektoru; u – kontakt səthinin sürüşmə sürəti; a_1, a_2, a_3, a_4 – kontakt səthinin triboloji və elastiklik xassələrini nəzərə alan əmsallardır.

Valın rəqsi hərəkəti nəzərə alınarsa (1) və (2) ifadələrinə daxil olan u səthin nöqtələrinin sürüşmə sürəti aşağıdakı ifadədən tapılır:

$$u = v_a \cdot \sin \omega t \quad (3)$$

burada v_a – sürüşmə sürətinin amplitud qiyməti; ω – rəqsin (vibrasiyanın) tezliyi-bucaq sürətidir (rad/san).

Sürüşmə sürətinin amplitudundan asılı olan qiyməti nəzəri və təcrübi yolla təyin edilir. Adətən, verilmiş sürtünmə cütünün yeyilmə intensivliyi (3) ifadəsi nəzərə alınmaqla xüsusi sürtünmə maşınlarının köməyi ilə təcrübi yolla təyin edilir. Bu zaman ilk növbədə nəzərə almaq lazımdır ki, seçilmiş təcrübi yoxlamalar istismar şəraitinə, avadanlığın yoxlanması isə sənaye şəraitinə mümkün qədər yaxın olsun. Mühəndis metodikası ilə uzunömürlülüyün hesablanması yeyilmənin zamandan asılı olaraq dəyişməsindən və materialın yeyilməsinin fiziki qanunauyğunluqlarından istifadə olunur.

Normal istismar müddətində yeyilmə sürəti sabit qalır. Verilmiş sürüşmə sürətində (u) yeyilmə sürəti əsasən təzyiqdən asılı olaraq dəyişir. Praktikada abraziv yeyilmə zamanı xətti yeyilmə (i) sürtünmə səthindəki təzyiqlə (p) və sürüşmə sürtünmə sürəti (u) ilə düz mütənasib olub, aşağıdakı funksional asılılıq şəklində ifadə oluna bilər [1, 6, 12].

$$i = k p^m u^n, \quad (4)$$

burada k – materialın yeyilməyə davamlılığını və sürtünmə cütünün iş şəraitini xarakterizə edən əmsal; m və n – təzyiqin və sürüşmə sürətinin göstəriciləridir.

Yeyilmə hesabları yeyilmənin qiymətinə və yeyilən səthin formasına görə aparılır. Yeyilən səthin forması hər bir hal üzrə yeyilən cütlərin həndəsi nisbətindən istifadə edərək ayrıca (4) ifadəsi ilə hesablanır. Xətti yeyilmənin intensivliyi – sürəti (I) isə P kontakt təzyiqindən asılı olaraq aşağıdakı kimi tapılır [3, 4]:

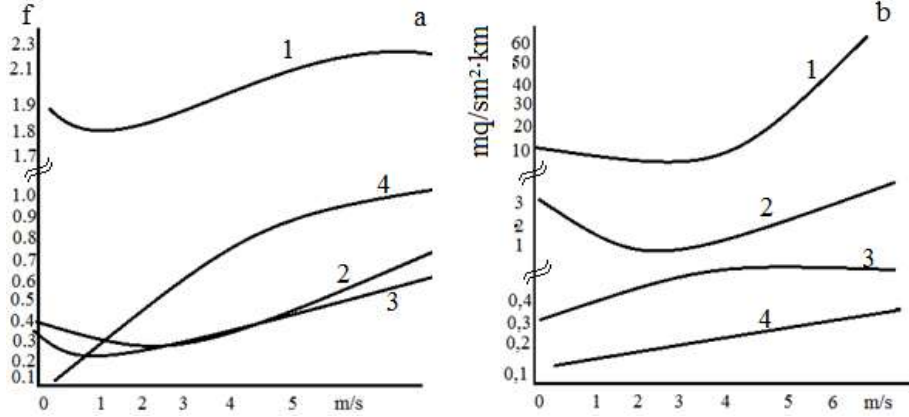
$$I = c P^d, \quad (5)$$

burada c və d – materialın mexaniki xassələrini xarakterizə edən parametrlərdir.

Göründüyü kimi, (5) ifadəsinə əsasən yeyilmənin intensivliyi kontakt təzyiqinin qiyməti ilə düz mütənasibdir.

Maşınqayırma, neft və qaz sənayesində istifadə olunan bir sıra materialların mexaniki xassələrinin tədqiqi praktiki əhəmiyyətə malikdir. Bu materiallar neft və qazın çıxarılması, emalı və nəqli zamanı tətbiq edilir: 1) W; 2) W + 8% BN; 3) W + 16% BN; 4) W + 24% BN.

Aparılan tədqiqat işlərində baxılan materialların normal temperaturda sürüşmə sürətindən asılı olaraq tribotexniki xassələrinin dəyişməsi öz əksini tapmışdır. Sürüşmə sürətinin təmiz volframın və onun əsasındakı ərintilərin sürtünmə əmsalına və gətirilmiş yeyilməyə təsiri aşağıdakı diaqramda göstərilmişdir (şəklə bax).



Şəkil. Sürüşmə sürətinin (u) sürtünmə əmsalına (a) və gətirilmiş yeyilməyə (b) təsiri:
 1 – W; 2 – W+8%BN; 3 – W+16%BN; 4 – W+24%BN.
 1 – 0.4 MN/m²; 2, 3 – 0.3 MN/m²; 4 – 0.2 MN/m²; $T_{\text{isd}} = 20^{\circ}\text{C}$

Məsələn, sürüşmə sürətinin eyni qiymətində (2,5 m/san) və xüsusi təzyiqin 0,4 və 0,3 MN/m² qiymətlərində təmiz volframın və W+10%BN tərkibli kompozisiya materialının sürtünmə əmsalı uyğun olaraq 1,79 və 0,31 olmuşdur. Bu zaman gətirilmiş yeyilmə uyğun olaraq 10 mq/ sm²·km və 0,6 mq/sm²·km olmuşdur. Baxmayaraq ki, bütün əyriyələrin dəyişmə xarakteri təqribən eynidir. Sürtünməni xarakterizə edən qiymətlərin azalmasını bir neçə səbəblərlə bağlamaq olar. Bunlardan birincisi isti presləmədən sonra volfram boridin bərk fazasının əmələ gəlməsi, ikincisi isə nitrid borun bərk yağlayıcı rolunu oynamasıdır.

Sürüşmə sürətinin 2.25 m/san qiymətində, sürtünmə əmsalının minimum qiymət alması görünür ki, sürtünən səthdə nitrid borun bərk yağlayıcı kimi iştirak etməsi ilə bağlıdır. Sürüşmə sürətinin tədricən 5,5 m/san qiymətinə çatdırılması bor nitridin səthə pis yapışması ucbatından sürtünmə əmsalının qiymətinə elə də təsir etmir. Sürtünmə sürətinin maksimal qiymətində W+10% BN tərkibli kompozisiya materialının sürtünmə əmsalının və gətirilmiş yeyilmənin qiyməti uyğun olaraq 0.8 və 1,57 mq/sm²·km təşkil edir.

Toxunma sahəsində yüksək temperaturun yaranmasına səbəb olan böyük sürətlərdə nitrid borun oksidləşməsi sayəsində nümunənin səthi zədələnmə bildiyindən sürtünmə əmsalının qiyməti böyüyə bilər. Sürtünmə səthi yaxınlığında temperaturun ölçülməsi göstərdi ki, sürtünmə sürətinin yüksəlməsi temperaturun 5 dəfədən çox artmasına səbəb olur. Sürtünmə sürətindən asılı olaraq səth qatında temperaturun ölçülmüş qiymətləri cədvəldə verilmişdir.

Cədvəl. Sürtünmə sürətindən asılı olaraq səth qatında temperaturun ölçülmüş qiymətləri

Tərkib	Sürtünmə sürəti, m/san				
	0.6	1.5	2.25	3.5	5.5
	Temperatur C ⁰				
W	-	75	120	200	310
W+8%BN	-	100	160	285	390

Yeyilməyə müqavimət və antifriksion xassə baxımından daha yaxşı nəticələr W+18%BN tərkibli nümunədə alınmışdır. W+24%BN tərkibli nümunədə gətirilmiş yeyilmə aşağı olsa da, sürtünmə əmsalı yüksək olmuşdur. W+16%BN tərkibli kompozisiya materialının səthi güzgü, W+24%BN tərkibli kompozisiya materialının səthi isə parlaq alınmışdır.

Volframın və onun əsasında yaradılmış kompozisiya materiallarının normal temperaturda sürtünmə əmsalının və yeyilməsinin qiymətlərinin sürüşmə sürətindən asılı olaraq dəyişməsi qrafikindən görüldüyü kimi təmiz volfram W+8%BN kompoziti ilə, W+16%BN kompoziti isə W+24%BN ilə tamamilə oxşardır. Sürüşmə sürətinin 2,25m/san sürətinə qədər yüksəldilməsi zamanı volframın səth qatının aşağı temperaturda bərkliyinin 4300 MN/m² çatması müşahidə edilirdi halda, sürüşmə sürətinin sonrakı artımında temperatur yüksəlir və nəticədə metalın yumşalması nəticəsində metalın əks cismə sürtünən səthinə yapışması müşahidə olunur.

Nəticə

Təmiz volframın və onun əsasında hazırlanmış nanokompozitlərin tribotexniki xassələri öyrənilmiş və onların keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsi üçün metodika işlənmişdir. Baxılan materialların sürüşmə sürətindən asılı olaraq onların sürtünmə əmsalının və yeyilmə intensivliyinin diaqramları qurulmuşdur. Tədqiqatın nəticələri neft və qaz sənayesində istifadə olunan maşın və avadanlıqların friksion hissələrinin materiallarının seçilməsində istifadə oluna bilər.

Ədəbiyyat

1. Боуден Ф.П., Тейбор Д. Трение и смазка твердых тел. / Пер с немец. – М.: Машиностроение, 1968. – 543 с.
2. Браун Э.Д., Буше Н.А. и др. Основы трибологии (трение, износ, смазка). // Издание второе. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с.
3. Браун, Э.Д. и др. Трение, износ и смазка. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.
4. Френкель М.И. Поршневые компрессоры. – М.: Машиностроение, 1969. – 744 с.
5. Энгелиш К. Поршневые кольца. / Пер. с немец. – М., 1962. – Т.1. – 583с.
6. Крагельский И.В., Михин Н.М. Узлы трения машин. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
7. Bakhshaliev V.I. Mechanics of Piston Machines. // Lambert Academic Publishing. – Berlin, Germany, 2011. – 320 p.
8. Bakhshaliev V., Kahramanov F., İsmail İ. Development of methods of calculation the mechanical losses and increase the efficiency of the piston machines. // Inter. scien. J. of IFToMM “Problems of Mechanics”, special issue of the International Conference “Mechanics-2014”. – Tbilisi, Georgia, 2014, №2 (55). – Pp.61-67.
9. Bakhshaliev V.I. Mathematical Modelling of the Wear Process of the Nanosurface of Sliding Bearings Made of Self-Lubricating Materials. // Scientific & Academic Publishing, USA, International Journal of Mechanics and Applications. – 2012. – Vol.2, №4. – Pp.43-48.
10. Wong V., Tian T., Takata R., Jocsak J. Low-engine-friction technology for advanced natural-gas reciprocating engines. // Report, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts. – USA, 2006.
11. Bloch H.P. Compressors and Modern Process Applications. // John Wiley & Sons, Inc., Hoboken. – New Jersey, 2006.
12. Дерягин Б.В. К теории граничного трения: развитие теории трения и изнашивания. – М., 1957.

Резюме

Гахраманов Ф.Г., Бахшалиев В.И., Джафаров Я.А.

К вопросу разработки методов повышения триботехнических свойств материалов, применяемых в нефтяной и газовой промышленности

Рассмотрены триботехнические параметры материалов в зависимости от скорости скольжения при нормальных температурах. Определены зависимости интенсивности изнашивания от механических характеристик материала. Исследованы триботехнические характеристики конкретных материалов, построены диаграммы интенсивности трения и изнашивания в зависимости от скорости скольжения чистого вольфрама и его сплавов. Результаты исследования могут быть полезными при разработке и эксплуатации машин и оборудования, применяемых в нефтяной и газовой промышленности.

Ключевые слова: материалы, механические свойства, триботехника, процессы трения и изнашивания.

Summary

Gahramanov F.G., Bakhshaliev V.I., Jafarov Y.A.

To the problems of development of methods for increase the tribotechnical properties of the materials used in the oil and gas industry

Tribotechnical parameters of materials depending on sliding speed at the normal temperatures have been considered. The relationship of intensity of wear depends on mechanical characteristics of material is determined. The tribotechnical characteristics of concrete materials are investigated, the diagrams of intensity of friction and wear depending on the sliding speed of pluraly tungsten and its alloy are constructed. Results of the researches can be useful for developing and operation of the machines and equipments, used in the oil and gas industry.

Key words: materials, mechanical properties, tribotechnics, friction and wear processes.