

Porşenli maşınlarda sürtünmə prosesinin analizi və porşen halqaların materiallarının seçilməsi üsullarının işlənməsi

V.İ. Baxşəliyev, t.e.d., İ.A. İsmayıl
Azərbaycan Texniki Universiteti

Açar sözlər: porşenli maşın, mexaniki itki, sürtünmə qüvvəsi, materiallar.

e-mail: v.bakhshali@aztu.edu.az

Анализ процессов трения в поршневых машинах и разработка методов выбора материалов поршневых колец

V.İ. Baxşəliyev, d.t.n., İ.A. İsmayıl
Azərbaycan Texniki Universiteti

Ключевые слова: поршневая машина, механические потери, сила трения, материалы.

Рассмотрено математическое моделирование механических потерь в кинематических парах поршневых машин и их оптимальная механическая эффективность. Разработана методика определения технических требований для материалов, используемых в трущихся частях кинематических пар. Приведены методы увеличения надежности и долговечности поршневых колец. Результаты исследования могут быть полезными при разработке и эксплуатации поршневых машин, применяемых в нефтяной и газовой промышленности.

The friction analysis in piston machines and development of selection methods for piston rings materials

V.İ. Bakhshaliyev, Dr. in Tech. Sc., İ.A. İsmail
Azerbaijan Technical University

Keywords: piston machine, mechanical loss, friction force, materials.

The paper deals with the mathematical modelling of mechanical losses in kinematic vapors of piston machines and their optimum mechanical efficiency. The service life of piston machines and productivity improvement, increase quality indexes depend on the correct and optimum selection of the materials for their certain details. The technical requirements for the materials used in interacting parts of kinematic vapors have been studied and a methodology for improvement the resistance of piston rings, as well as increase of their service life properties developed. Obtained results have been applied for selection of materials used in piston rings and provide their normal operation. The research results may be useful in the development and operation of piston machines applied in oil and gas industry.

Giriş

Porşenli maşınlar (PM) sənayenin bir çox sahələrində geniş tətbiq olunur. Porşenli mühərriklərin və kompressorların əsas sifarişçiləri aviasiya, yol, dəmiryolu nəqliyyatı, neft-qaz, energetika, maşınqayırma sənayesi, soyutma, metallurqiya, mədənçilik, tikinti, kimya sənayesi və digərləridir. PM-dən neft və qaz sənayesində geniş istifadə edilir. Bu maşınlar sənayenin istifadəsi üçün lazım olan sıxılmış texniki hava (qaz) istehsal edir, həmçinin təbii qazın nəqli və istehlakı üçün karbohidrogen istehsalı və istismarında geniş istifadə olunur. Eyni zamanda PM-lər sıxılmış hava və qaz istehsal edən kompressor-nasos stansiyalarının əsasını təşkil edir [1, 2].

Hazırda ölkəmizdə porşenli kompressorlar soyuducu və qaz-türbin qurğuları, reaktiv mühərriklər, təbii qazın və neftin çıxarılması, emalı və nəql edilməsində, kimya sənayesi, maşınqayırma, yeyinti sənayesi, inşaat və sənayenin digər sahələrində çox geniş istifadə olunur. Regionda həyata keçirilən beynəlxalq layihələrin (BTC, TANAP, TAP və s.) fəaliyyətində PM-lərin (kompressor və nasosların) mühüm əhəmiyyəti vardır. Bu maşınların keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsi üçün onların hissələrinin mexaniki xassələrinin tədqiqi aktualdır. Odur ki, onların sürtünən kinematik cütlərindəki hissələrin materiallarının mexaniki xassələrinin tədqiqi və bu xassələrin daha da təkmilləşdirilməsi böyük əhəmiyyətə malikdir [3, 4].

Məlumdur ki, neft sənayesində nasosların geniş tətbiq olunma dövrünə qədər kompressor üsulundan daha çox istifadə olunurdu. Hazırda maşınqayırma sənayesi sahəsində qaza olan tələbat daha da artmışdır, xüsusilə də neft və qaz sənayesində sıxılmış qaza daha çox ehtiyac vardır. Açıq

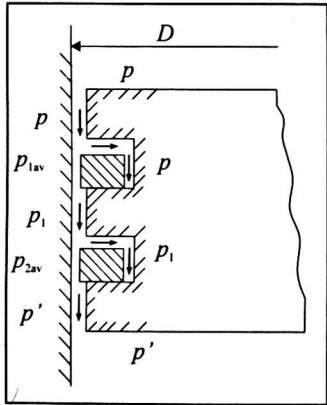
qazıxırma yataqlarında qazın çıxarılması və lazımı məntəqələrə çatdırılması üçün kompressorlar mühüm rol oynayır. Kompressor stansiyasının qaz boru kəmərləri üzərində hər 100–150 km-dən bir quraşdırılması lazım gəlir ki, bu da qazın sutkada bir neçə milyon kubmetr həcmdə nəql olunmasına şərait yaradır [5, 6].

Porşenli kompressorlar sənayedə əsasən aşağıdakı istiqamətlərdə tətbiq olunur. Maşınqayırma sənayesində kompressor vasitəsilə sıxılmış qazdan alınan enerjinin ötürülməsi müxtəlif maşınların hərəkətə gətirilməsi üçün istifadə edilir. Magistral boru kəmərləri ilə qazın nəql olunması üçün kompressor maşınlarının istifadəsi lazımı təzyiqlin yaradılması şərtini ödəyir [7, 8].

Porşenli maşınların kinematik cütlərinin mexaniki itkilərin hesablanması

Porşenli kompressorların uzunömürlüliyünün artırılması, onların məhsuldarlığının yüksəldilməsi bilavasitə bu maşınların müxtəlif hissələrinin materiallarının düzgün və optimal seçilməsindən asılıdır. Bu maşınların hərəkətli hissələrinin materialları temperatur, sürtünmə və yeyilməyə davamlı olmalı, həmçinin texnoloji cəhətdən az vəsait tələb etməlidir. Porşenli kompressorların çarxqolu-sürüngəc mexanizminin aşağıdakı hissələrinin mexaniki xassələrinin yüksəldilməsi və bu hissələrin materiallarının seçilməsi praktiki əhəmiyyətə malikdir [9, 10].

PM-lərdə silindr divarı ilə sürüngəc halqaları arasında sürtünmə nəticəsində yaranan mexaniki itki xeyli vəsait sərfinə gətirib çıxarır. Silindrin divarı ilə sürüngəc halqaları arasındakı yüksək təzyiqlə nəticəsində yaranan sürtünmə qüvvələri porşenli kompressorların mexaniki xassələrinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. Bu qüvvələr sürüngəc halqaları və PM-in silindr divarının yeyil-



Şəkil 1. Porşen qrupunda qaz axınının sxemi

məsinə səbəb olur. Eyni zamanda porşen halqaları silindrə zərərli təzyiqlə itkilərinin azaldılmasına şərait yaratmalıdır.

Silindrin yuxarı və aşağı boşluğundakı qazın təzyiqini p və p' işarə edək və $p > p'$ olduğunu qəbul edək. Şəkil 1-dən görünür ki, silindrin divarına doğru sıxılmış təzyiqlə sürüngəc halqalarının yuxarı və aşağı hissələrində fərqlidir. Halqanın üzərindəki qaz təzyiqi bu halqanın sonundakı təzyiqlə bərabər qəbul edilə bilər. Halqanın altındakı qaz təzyiqi halqanın əvvəl və sonrakı qaz təzyiqinin orta qiymətinə bərabər olmalıdır.

Aparılan analitik tədqiqatlar zamanı dörd sürüngəc halqası ilə silindr divarı arasındakı sürtünmə qüvvəsini tapmaq üçün porşen kameralarındakı qaz təzyiqi, halqaların elastiklik və porşen qrupunun ağırlıq qüvvələri nəzərə alınmışdır. Bu halda sürüngəc halqalarının sürtünmə qüvvəsinin tapılması üçün aşağıdakı ifadə müəyyənləşdirilmişdir:

$$F_p^* = \mu_a \left[2\pi b a \left(2.242 p + 0.933 \frac{(p')^{2.5}}{p^{1.5}} - 0.242 \frac{(p')^5}{p^4} + 0.057 \frac{(p')^{7.5}}{p^{6.5}} - 0.016 \frac{(p')^{10}}{p^9} \right) + \pi b (0.5D - a) p - 0.5\pi b (D - 2a) p' + 4\pi b D p_a + \mu_p g \right], \quad (1)$$

burada a – sürüngəc halqasının qalınlığı, m; b – halqanın hündürlüyü, m; D – silindrin diametri, m; p_{el} – silindr divarı ilə hərəkət edən sürüngəc halqasının elastiklik qüvvəsi, N; μ_p – silindrə sürtünmə əmsəlidir.

PM-lərin məhsuldarlığı onların mexaniki faydalı iş əmsalından (FİƏ) asılıdır. Mexaniki FİƏ əldə olunan faydalı enerjinin sərf edilən enerjiyə nisbətən ifadə olunur. PM-in mexaniki FİƏ-si aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir:

$$\eta_M = \frac{L_i}{L_i + L_{sr}} = 1 - \frac{L_{sr}}{L_i + L_{sr}} = 1 - \Phi_M, \quad (2)$$

burada L_i – PM-in indikator işi, C; L_{sr} – sürtünmə qüvvələrinin işi, C; Φ_M – maşının itki əmsəlidir.

Mexaniki FİƏ PM-in hissələrinin materialı, onların texnoloji dəqiqliyi, konstruktiv parametrləri və s. asılıdır [11, 12].

Sürtünmə qüvvələrinin işi maşının bütün kinematik cütlərindəki sürtünmə qüvvələrinin gördüyü işlərin cəmindən ibarətdir:

$$L_{sr} = L_{i1} + L_{i2} + L_{i3} + L_{i4} + L_{i5} + L_{i6}, \quad (3)$$

burada $L_{i1}, L_{i2}, L_{i3}, L_{i4}, L_{i5}, L_{i6}$ – silindr,

kipləşdiricilər, kreyskopf, sürgüqolu-porşen oynaqı cütü, dirsaklı val-sürgüqolu cütüyü və PM-in baş yastığındakı mexaniki itkilərdir, C.

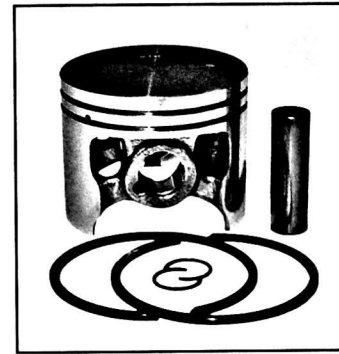
PM-in uzunömürlüüyü əsasən onların hissələrindəki sürtünmə və yeyilmədən, həmçinin buradakı gərilmə, materialların mexaniki xassələrindən asılıdır.

PM-in hərəkətli hissələrinin (1), (2) və (3) ifadələri əsasən araşdırılması və onların keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsi praktiki əhəmiyyətə malikdir.

Porşen halqalarının materiallarının seçilməsi metodikasının işlənməsi

Yuxarıda qeyd olunan analitik araşdırmaların nəticələrində istifadə edərək, porşen halqalarının texnoloji əsaslarına və onların materiallarının seçilmə üsullarına nəzər salaq.

Hazırda porşen halqaları daha çox yeyilmə və sürtünməyə davamlı, keyfiyyətli plastik, metal, o cümlədən xüsusi çuqun və bürünc materiallardan hazırlanır. Mühərrik və kompressor hissələrinin hazırlanmasında xüsusi polad və çuqundan istifadə olunur (şəkil 2) [13].



Şəkil 2. Porşen və onun halqaları

Müasir porşen halqalarına qoyulan tələblər aşağıdakılardır:

- müasir PM-in porşen halqalarına, əvvəlkilərə nisbətən, daha yüksək tələblər verilir;
 - dövrlərin sayı və nisbi sıxma ədədinin artması, zərərli qazların məhdudlaşdırılması üzrə normaların sərtləşdirilməsi köhnə materialdan daha möhkəm və dayanıqlı olan yeni materialların tətbiqi zərurətini yaradır;
 - daha etibarlı sıxma zamanı və yüksək yükləmələrdə dağılma və yeyilməyə davamlı materiallara – polada ehtiyac vardır.
- Tədqiqatlar göstərir ki, silindrin oxu üzrə polad halqaların nisbətən az hündürlüyə malik olmaları onların porşenin korpusuna daha sıx yerləşdiril-

məsinə imkan verir və bununla, zərərli qaz sızmalarının azaldılmasına nail olunur. Xüsusi polad materialların tətbiqi halqanın radius üzrə qalınlığının azalmasına gətirir. Nəticədə polad halqanın elastikliyi çuquna nisbətən daha yüksək olur və yüngülləşmiş polad halqa kanalı daha yaxşı kipləşdirməyə şərait yaradır.

Porşen halqalarının xidmət müddəti və yeyilməyə davamlılığının artırılması üçün onların işi səthinə xrom örtüyünün çəkilməsi məqsədəuyğundur. Xrom örtüyü çox yüksək bərkliyi (BH 900... 1000), istilik, dağılma və yeyilməyə davamlılığı, eləcə də aşağı sürtünmə əmsalı ilə fərqlənir.

Qeyd etmək lazımdır ki, qalvanik bərk xromlaşdırılma kiçik halqalara 0.1...0.2, böyük halqalar üçün isə 0.6 mm-dək qalınlığında xrom çəkilməsi məqsədəuyğundur. Xromlaşdırmadan sonra qalın örtüklü halqalardakı qeyri-bərabərliyi aradan qaldırmaq üçün onlar yenidən emal edilir.

Məsələn xromlaşmış halqanın yeyilməyə davamlılığı əlavə prosesin düzgünlüyünü təmin edən məsələni qatın quruluşundan asılıdır. Tədqiqatlar göstərir ki, ən yaxşı nəticə 0.03...0.08 mm² ölçülü məsələlərdə olur. Düzgün aparılmış əlavə prosədə xromlaşmış üzlüklü halqalar adi çuqun üzlüklülərə nisbətən 10–15 dəfə çox yeyilməyə davamlı olur.

Porşen halqalarının yeyilməyə davamlılığının artırılması üçün oksidləşdirmə (Fe₃O₄ oksidəmir maqnit qatı 500...550 °C temperaturda atmosferdə yaranır), fosfatlaşdırma (Fe, Mn, Zn elementlərindən istifadə edərək, halqa səthində yağı yaxşı udan fosfatlardan ibarət məsələli kristal qatın yaradılması) və digər üsullar praktikada özünü doğruldur. Porşen halqaları diffuziya silisiumlaşdırma (1000 °C-yə yaxın temperaturda SiC ovuntusu) vasitəsilə səthin zənginləşdirilməsi, diffuziya xromlaşdırılması (üst qatın xrom-xlorlaşdırılması CrCl₂ və ya 1000 °C temperaturda xrom-xloridli qaz mühitində səthin xrom təbəqəsi ilə doymasının təmin edilməsi), alüminiumlaşdırma (1000 °C-yə yaxın temperaturda Al₂O₃ maddəsilə halqanın dayanıqlılığının artırılması), sulfidləşdirmə (halqanın NaOH, NaCl, Na₂SO₄ isti məhlulunda halqanın dayanıqlılığının artırılması) üsulları ilə səthin keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsi həyata keçirilir. Sulfidləşmiş qat sıxılmaya və yeyilməyə xüsusi dayanıqlığı ilə seçilir və kadmiyumlama və ya misləşdirmə, qalvanik qalaylaşdırma halqanın əlavə örtüyünün keyfiyyətinin yüksəlməsinə gətirib çıxarır. Qeyd etmək lazımdır ki, burada qalaylama üsulundan daha yaxşı nəticə əldə olunur.

Qalvanik qalaylama qalay turşulu natrium duz-

lu vannada 75 °C temperaturda istehsal olunur. Qalay qatının qalınlığının 0.003...0.008 mm olması tövsiyə edilir. Bundan başqa müəyyən temperaturda işləyən halqaların flüoroplast, qrafit və metallik ovuntu və sintetik qatranla örtülməsi praktiki əhəmiyyətə malikdir.

Nəticə

Beləliklə, aparılan tədqiqatlar nəticəsində PM-lərin mexaniki itkilərinin hesablanması üçün ifadələr çıxarılmış, onların keyfiyyət göstəricilərinin yüksəl-

dilməsi metodları işlənmişdir. Bu maşınların sürülmə cütlərindəki hissələrə qoyulan texniki tələblər öyrənilmiş, onların etibarlı və uzunömürlü iş rejiminin yaradılması üçün tövsiyələr hazırlanmışdır. Alınan nəticələr porşen halqalarının materiallarının seçilməsi və onların normal iş rejiminin təmin edilməsi üçün tətbiq olunmuşdur.

Aparılan araşdırmaların nəticələri neft və qaz sənaye sahəsində tətbiq edilən PM-lərin hesablanması, istehsalı və istismarı zamanı faydalı ola bilər.

Ədəbiyyat siyahısı

1. *Frenkel M.H.* Поршневые компрессоры. – М.: Машиностроение, 1969, 744 с.
2. *Rangwala A.S.* Reciprocating Machinery Dynamics, New Age International, 2006, 531 p.
3. *Davitashvili N., Bakhsaliev V.* Dynamics of crank - piston mechanisms. Springer publishing, 2016, 242 p.
4. *Bakhsaliev V.I.* Mechanics of Piston Machines. Lambert Academic Publishing, Berlin, Germany, 2011, 320 p.
5. *Мирзəджəнзadə А.Х., Керимов З.Г., Копейкис М.Г.* Теория колебаний в нефтепромысловом деле. – Баку: Maarif, 1981, 366 с.
6. *Burstein L., Ingman D.* Pore Ensemble Statistics in Application to Lubrication Under Reciprocate Motion. Tribology Transactions, 2000, v. 43, No 2, pp. 205-212.
7. *Brown E.D., Bushe N.A. etc.* Fundamentals of trybology (friction, wear, lubrication). II edition, Moscow, "Engineering" publishing, 2001, 664 p.
8. *Bakhsaliev 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, v. 2, No 4, pp. 43-48
9. *Graunke K., Ronnert J.* Dynamic Behavior of Labyrinth Seals in Oilfree Labyrinth-Piston Compressors // International Compressor Engineering Conference, Purdue University, 1984, pp. 7-15.
10. *Tang H.N., Yao H., Wang S.J., Meng X.S., Qiao H.T., Qiao J.H.* Numerical simulation of leakage rates of labyrinth seal in reciprocating compressor. 5th Global Conference on Materials Science and Engineering, 2017, pp. 1-8.
11. *Kadirov N.B., Bakhsaliev V.I.* On stability of compressor piston rod operation. Transactions of Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, 1998, v. VIII, No 3-4, pp. 230-235.
12. *Bakhsaliev V.I., Aslan-zada F.E., Ismail I.A.* Development of innovative methods of fuzzy logic for increase of durability and reliability of piston machines used in oil industry. Seventh International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control – ICSCCW-2013, Izmir, Turkey, September 2-3, 2013, pp. 101-110.
13. <http://www.trbl.es/es/cilindros-y-pistones/2917-piston-motosierra-stihl-361-47mm.html>

References

1. *Frenkel M.I.* Porshnevye kompressory. – M.: Mashinostroenie, 1969, 744 p.
2. *Rangwala A.S.* Reciprocating Machinery Dynamics, New Age International, 2006, 531 p.
3. *Davitashvili N., Bakhsaliev V.* Dynamics of crank - piston mechanisms. Springer publishing, 2016, 242 p.
4. *Bakhsaliev V.I.* Mechanics of Piston Machines. Lambert Academic Publishing, Berlin, Germany, 2011, 320 p.
5. *Мирзəджəнзadə А.Х., Керимов З.Г., Копейкис М.Г.* Теория колебаний в нефтепромысловом деле. – Баку: Maarif, 1981, 366 с.
6. *Burstein L., Ingman D.* Pore Ensemble Statistics in Application to Lubrication Under Reciprocate Motion. Tribology Transactions, 2000, v.43, No 2, pp. 205-212.
7. *Brown E.D., Bushe N.A. etc.* Fundamentals of trybology (friction, wear, lubrication). II edition, Moscow, "Engineering" publishing, 2001, 664 p.
8. *Bakhsaliev 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, v. 2, No 4, pp. 43-48.
9. *Graunke K., Ronnert J.* Dynamic Behavior of Labyrinth Seals in Oilfree Labyrinth-Piston Compressors // International Compressor Engineering Conference, Purdue University, 1984, pp. 7-15.
10. *Tang H.N., Yao H., Wang S.J., Meng X.S., Qiao H.T., Qiao J.H.* Numerical simulation of leakage rates of labyrinth seal in reciprocating compressor. 5th Global Conference on Materials Science and Engineering, 2017, pp. 1-8.
11. *Kadirov N.B., Bakhsaliev V.I.* On stability of compressor piston rod operation. Transactions of Academy of Sciences of Azerbaijan, V. VIII, No 3-4, Baku, 1998, pp. 230-235.
12. *Bakhsaliev V.I., Aslan-zada F.E., Ismail I.A.* Development of innovative methods of fuzzy logic for increase of durability and reliability of piston machines used in oil industry. Seventh International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control – ICSCCW-2013, Izmir, Turkey, September 2-3, 2013, pp. 101-110.
13. <http://www.trbl.es/es/cilindros-y-pistones/2917-piston-motosierra-stihl-361-47mm.html>