

УДК 539.3:539.538

ДІАГНОСТУВАННЯ ДЕГРАДАЦІЇ ЗАМКА УЩІЛЬНЮВАЛЬНОГО КІЛЬЦЯ ЗА ВТРАТОЮ РОБОЧИХ ГАЗІВ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

О. І. БАЛИЦЬКИЙ¹, К. Ф. АБРАМЕК², Т. ШТЕК², Т. ОСІПОВІЧ²

¹ Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів;

² Західнопоморський технологічний університет, Щецин, Польща

Запропоновано оцінювати негерметичність циліндра двигуна внутрішнього згорання, яка залежить від зношування ущільнювального кільця поршня, за величиною його зазору, об'ємом та інтенсивністю продування газу до коробки колінвала. Встановлено, що нещільність замка кільця в першому наближенні лінійно залежить від швидкості продування газів.

Ключові слова: зазор замка ущільнювального кільця, зношування, система поршень–втулка–циліндр.

У двигунах внутрішнього згорання зі самозапаленням втрата кількості повітря (що міститься в робочому об'ємі) на кінцевому етапі руху поршня спричинена негерметичністю робочого об'єму та зміною надлишкового тиску. Ступінь нещільності системи поршень–втулка–циліндр можна описати як співвідношення площі, через яку втрачається газ, й поверхні поршня [1]. На витікання газу найбільше впливає зазор замка кільця [2–4]. Через нещільність замка зношується саме кільце і збільшується шершавість поверхні циліндра [3, 5].

Нижче запропоновано метод оцінювання впливу деградації матеріалу циліндричної втулки та кільця на герметичність замка ущільнювального кільця.

Методика випробувань. Досліджували експлуатовані ущільнювальні кільця шестициліндрового двигуна STAR 359 після пробігу транспорту 281 742 km. Діагностували стан кілець, вимірюючи їх ширину і пружність, а також визначаючи нещільність замка у вільному стані і в такому, що відповідає його оптимальному положенню в циліндрі. Товщину кільця в радіальному напрямку вимірювали (рис. 1а) у точці, протилежній перетину замка (3), з двох боків під кутами 90° до першого напрямку (2 і 4) та 30° до осі кільця (1 і 5). Для цього застосовували годинниковий пристрій. Щоб знайти розмір щілини в замку кільця, щіломір встановлювали на оправці діаметром, який відповідав номінальному діаметру циліндра 0,11 m. Пружність кільця вимірювали приладом, що діє за принципом його обгортання стрічкою. Дотичні сили визначали за стискання кільця аж до моменту, коли зазори в замках ставали такими, як провіти кілець, розмішених у циліндрах. Для оцінювання впливу зношування кілець (збільшення зазору замка) на інтенсивність продування газів замінили циліндричні втулки і поршні, проте залишили експлуатовані поршневі кільця.

Результати та їх обговорення. Вважали (рис. 1b, c), що номінальний діаметр циліндра D_0 , а внутрішній кільця, вмонтованого в циліндричну втулку, D_w . Нещільність замка кільця позначили як x_0 , а обвід зовнішньої його поверхні πD_0 , що прилягає до гладкої поверхні циліндра, збільшили на величину x_0 .

Контактна особа: О. І. БАЛИЦЬКИЙ, e-mail: balitski@ipm.lviv.ua

Через зношування діаметр циліндра змінюється до значень D_1 (рис. 1b), оскільки кільце під дією пружних сил натискає на гладку його поверхню. Якщо припустити, що поверхня кільця не зношується, тоді обвід його зовнішньої поверхні, що прилягає до гладкої поверхні циліндра, збільшується на величину зазору замка кільця x_1 і становить πD_1 . Збільшення нещільності замка кільця можна описати так:

$$\Delta x_{01} = \pi D_1 - \pi D_0 = \pi(D_1 - D_0). \quad (1)$$

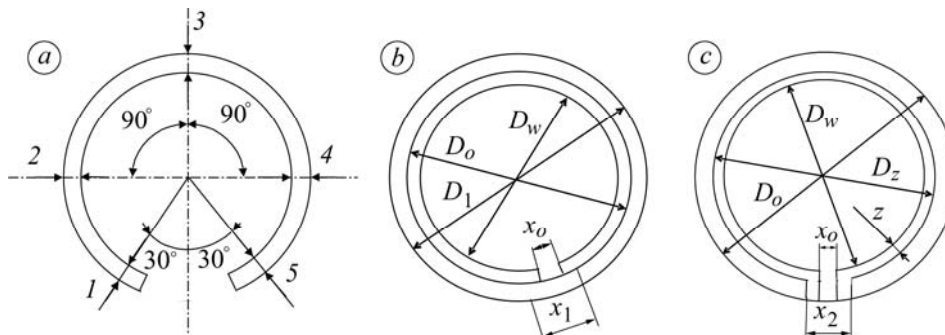


Рис. 1. Напрямки вимірювання товщини кільця (a) за припущення зношування втулки і зазору замка (b) та кільця і зазору замка без зносу втулки (c).

Fig. 1. Direction of ring thickness measurements (a) under assumption of wear of bushes and lock gape (b) and ring and lock gape with no bush wear (c).

Якщо вважати, що під час експлуатації двигуна зношується тільки ущільнювальне кільце, а діаметр втулки D_0 залишається без змін, тоді збільшення зазору замка Δx_{02} залежатиме від зношування ширини кільця z (рис. 1c):

$$\Delta x_{02} = \pi D_z - \pi D_w = \pi(D_z - D_w); \quad (2)$$

$$D_z - D_w = 2z; \quad (3)$$

$$\Delta x_{02} = \pi(D_z - D_w) = 2 \cdot \pi \cdot z. \quad (4)$$

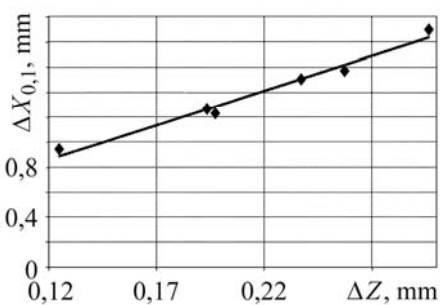


Рис. 2. Fig. 2.

Рис. 2. Залежність нещільності кільця ΔX_{01} від зношування його ширини ΔZ .

Fig. 2. Dependence of ring nonhermeticity ΔX_{01} on its width ΔZ wear.

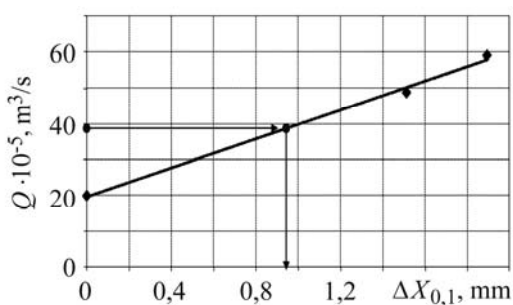


Рис. 3. Fig. 3.

Рис. 3. Вплив нещільності ΔX_{01} ущільнювального кільця на потужність Q продувань газів до коробки колінвала.

Fig. 3. Influence of ring nonhermeticity ΔX_{01} of a seal ring on the intensity of gases blow-through Q to automotive combustion engine.

Після замірів (номери кілець відраховували від дна поршня) встановили середні (з максимальних) величини зношувань кілець: для перших 0,296 mm; для

других 0,257 mm; для третіх 0,197 mm. Середнє зношування кілець: для перших – 0,253 mm; для других – 0,214 mm; для третіх – 0,175 mm. Середній розмір щілини замка перевищує вихідний розмір щілин на 1,89 mm для перших кілець; 1,58 mm – для других; 1,24 mm – для третіх. Пружність перших кілець зменшується в середньому на 11,9 N; других – на 8,7 N; третіх – на 5,6 N.

Побудовано (рис. 2) залежність зазору замка кілець від зношування їх ширини. Результати є середнім арифметичним зі шести вимірів вісімнадцяти кілець. Усереднювали по чергово для перших, других та третіх кілець. Виявлено (рис. 3) вплив розмірів замка кільця на потужність продування газів до коробки колінвала двигуна. Ці закономірності можна використовувати для діагностування ступеня деградації ущільнювального замка за втратою робочих газів двигуна внутрішнього згорання.

ВИСНОВКИ

Запропоновано за розміром зазору ущільнювального кільця, об'ємом, інтенсивністю продувань газу до коробки колінвала двигуна 359 оцінювати ступінь їх деградації. Якщо інтенсивність продувань газу становить $3,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, то кільце зменшується на 0,95 mm. Приріст нещільності замка кільця в першому наближенні є лінійною залежністю інтенсивності продувань газів до коробки колінвала.

РЕЗЮМЕ. Предложено оценивать негерметичность цилиндра двигателя внутреннего сгорания, которая зависит от изнашивания уплотняющего кольца поршня, за величиной его зазора, объемом и интенсивностью продувания газа к коробке коленвала. Установлено, что неплотность замка кольца в первом приближении линейно зависит от скорости продувания газов.

SUMMARY. It is proposed to estimate nonhermeticity of the automotive combustion engine cylinder, which depends on wear of the piston seal ring, by its gap value, volume and intensity of gas blow-through in the crankshaft box. It is established, that nonhermeticity of the seal ring in the first approximation is a linear dependence of the gas blow-through velocity.

1. *Балицький О. І., Абрамек К. Ф.* Діагностичний параметр зношування системи поршень–втулка–циліндр // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2013. – **49**, № 2. – С. 89–91.
(*Balytskyi O. I., Abramek K. F.* Diagnostic parameter of wear of a piston–bush–cylinder system // *Materials Science.* – 2013. – **49**, № 2. – P. 154–155).
2. *Abramek K. F.* Studium wpływu parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych tłokowego silnika spalinowego na stratę ładunku. – Szczecin: Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego, 2010. – 110 s.
3. *Chang H., Zhang Y., and Chen L.* Gray forecast of Diesel engine performance based on wear // *Appl. Thermal Engng.* – 2003. – **23**. – P. 2285–2292.
4. *Hennessy M. and Barber G. C.* The effects of cylinder wall surface roughness and bore distortion on blow-by in automotive engines // *Tribology Transactions.* – 1995. – **38**, № 4. – P. 966–972.
5. *Wannatong K., Chanchaona S., and Sanitjai S.* Simulation algorithm for piston ring dynamics // *Simulation Modelling Practice and Theory.* – 2008. – **16**, № 1. – P. 127–146.

Одержано 03.07.2013