

ОСОБЕННОСТИ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

*Днепродзержинский государственный технический университет
Днепродзержинск, Украина*

Давление на поршневое кольцо со стороны цилиндра двигателя является определяющим силовым фактором при формировании режима нагружения в этой паре. Так в рамках равномерной контактной задачи [1] на основе теории изгиба бруса малой кривизны можно предположить, что кольцо не будет плотно соприкасаться с поверхностью цилиндра по всей окружности. На участке 1-2 и 5-4 (Рисунок 1.) имеет место неплотное прилегание поршневого кольца к поверхности цилиндра. На участках 2-3 и 4-3 имеется плотное прилегание, что объясняется невозможностью выравнивания кривизны кольца и цилиндра из-за ограниченной степени свободы в кольцевых зонах.

В точках 1 и 5 со стороны поверхности цилиндра действуют сосредоточенные силы P , а по части контура 4-3 и 2-3 действуют контактные давления или равномерно распределенная нагрузка q . Такая схема формирования контактного давления рассматривается в работе [1]. Давление на поршневое кольцо со стороны цилиндра двигателя является определяющим силовым фактором при формировании нагружения в этой паре и в общем случае распределяется по сложному закону [1].

В точках 1 и 5 со стороны поверхности цилиндра действуют сосредоточенные силы P , а по части контура 4-3 и 2-3 действуют контактные давления или равномерно распределенная нагрузка q . Такая схема формирования контактного давления рассматривается в работе [1]. Давление на поршневое кольцо со стороны цилиндра двигателя является определяющим силовым фактором при формировании нагружения в этой паре и в общем случае распределяется по сложному закону [1].

Для решения этой задачи воспользуемся некоторой схематизацией нагружения кольца

В этом случае в точках 1' и 1' со стороны поверхности цилиндра действуют сосредоточенные силы P , а на части контура 2-3(2-3) – контактное давление (равномерно распределенная нагрузка интенсивностью q). Такая схема формирования контактного давления не рассматривается в ряде известных работ [2-6].

В соответствии с принятой схемой определяем контактное давление q исходя из условия равенства сближения концов кольца, принимая цилиндр абсолютно жестким в радиальном направлении:

$$\Delta = 2\pi(r_k - r_{ц}), \quad (1)$$

где Δ - разность зазоров кольца в свободном состоянии и в сборе, м ;

r_k - наружный радиус кольца в свободном состоянии, м ;

$r_{ц}$ - внутренний радиус цилиндра, м.

Из условия равновесия определяем сосредоточенную силу P , H , действующую в торцевом сечении поршневого кольца:

$$P = q r \sin \alpha, \quad (2)$$

где α - угол, определяющий длину участков разной кривизны, рад.

Далее определяем сближение концов кольца Δ как функцию от q с помощью интеграла Мора [1]

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \int \frac{M_{zi}(\varphi) \overline{M}_{zi}(\varphi)}{EI_t} r d\varphi, \quad (3)$$

где n - число участков кольца;

ℓ_i - длина i -го участка, м ;

$M_{zi}(\varphi)$ - функция изгибающего момента на i -ом участке, Н м;

$\bar{M}_{zi}(\varphi)$ - функция изгибающего момента от единичной силы, м;

EI_t - изгибная жесткость кольца, Н м².

После получения математической зависимости для определения изгибающих моментов $M_{zi}(\varphi)$ и $\bar{M}_{zi}(\varphi)$ раскрываем сумму (3):

$$\Delta = \frac{2}{EI_t} \int_0^\alpha Pr \sin \varphi [r(1 - \cos \varphi)] r d\varphi + \frac{2}{EI_t} \int_0^{\pi-\alpha} [Pr \sin(\alpha + \varphi) + qr^2(1 - \cos \varphi)] (1 - \cos(\alpha + \varphi)) r d\varphi \quad (4)$$

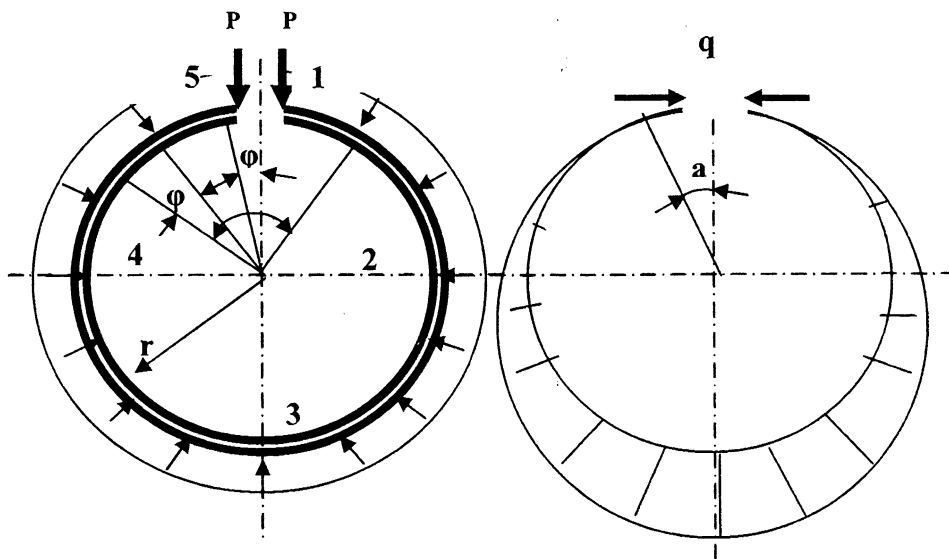


Рисунок 1 - Схема и эпюра нагружения поршневого кольца

После интегрирования выражения (4) получим:

$$\Delta = \frac{qr^4}{EI_t} [\sin \alpha + (\pi - \alpha)(2 + \cos \alpha)]. \quad (5)$$

Из уравнения (5) получаем величину контактного давления:

$$q = \frac{EI_t \Delta}{r^4 [3 \sin \alpha + (\pi - \alpha)(2 + \cos \alpha)]}. \quad (6)$$

Выражение (6) является общим. В частном случае при $\alpha = 0$ получаем известную формулу [1]:

$$q = \frac{EI_t \Delta}{3\pi r^4}. \quad (7)$$

Записываем условие выравнивания кривизны кольца и цилиндра в точке 2 :

$$Pr_{\text{ц}} \sin \alpha = EI_t \left(\frac{1}{r_k} - \frac{1}{r_{\text{ц}}} \right). \quad (8)$$

Или после выражения силы P через q получим зависимость:

$$qr_{\text{ц}}^2 \sin^2 \alpha = EI_t \left(\frac{1}{r_k} - \frac{1}{r_{\text{ц}}} \right), \quad (9)$$

где $\frac{1}{r_k} - \frac{1}{r_{\text{ц}}}$ - приращение кривизны кольца.

Выражаем приращение кривизны кольца через разность зазоров Δ из формулы (1):

$$\frac{1}{r_k} - \frac{1}{r_{\Pi}} = -\frac{1}{r_{\Pi} \left(1 + \frac{2\pi r_{\Pi}}{\Delta}\right)}. \quad (10)$$

Перепишем выражение (5.9) с учетом (5.6) и (10):

$$\frac{EI_t \Delta r_{\Pi}^2 \sin^2 \alpha}{r_{\Pi}^2 [3 \sin \alpha + (\pi - \alpha)(2 + \cos \alpha)]} = \frac{EI_t}{r_{\Pi} \left(1 + \frac{2\pi r_{\Pi}}{\Delta}\right)}. \quad (11)$$

После сокращения получим выражение:

$$\frac{\sin^2 \alpha}{r_{\Pi} [3 \sin \alpha + (\pi - \alpha)(2 + \cos \alpha)]} = \frac{1}{\Delta + 2\pi r_{\Pi}}. \quad (12)$$

Откуда получаем следующее тригонометрическое выражение:

$$(\Delta + 2\pi r_{\Pi}) \sin^2 \alpha - 3r_{\Pi} \sin \alpha - 2\pi r_{\Pi} + 3r_{\Pi} \alpha + r_{\Pi} \alpha \cos \alpha - \pi r_{\Pi} \cos \alpha = 0. \quad (13)$$

Аналитическое решение уравнения (5.13) затруднительно. Полученные численные решения для ряда поршневых колец сведены в таблицу 1. На участке 2-3-2 в силу постоянства величины кривизны кольца действует постоянный, (расчетный) изгибающий момент, который с учетом выражения (2) принимает следующий вид:

$$M_z = q r_{\Pi}^2 \sin^2 \alpha, \quad (14)$$

где контактное давление q определяется по формуле (5.6). Тогда можно записать формулу для определения максимальных нормальных напряжений:

$$\sigma_n = \frac{6EI_t \Delta \sin^2 \alpha}{r_{\Pi}^2 [3 \sin \alpha + (\pi - \alpha)(2 + \cos \alpha)] h \delta^2}, \quad (15)$$

где σ - максимальное нормальное напряжение, Па;

h - осевая высота кольца, м ;

δ - радиальная толщина кольца, м.

Расчеты, выполненные для исследуемых двигателей ряда базовых автомобилей с помощью формул (14) и (15), представлены в таблице 1. Как следует из приведенных результатов, угол выравнивания кривизны кольца и цилиндра является существенным и находится в пределах $71.8^\circ - 72.6^\circ$ и практически не зависит от размеров поршневой группы.

Таблица 1 - Основные характеристики нагружения поршневых колец ДВС

Двигатель	r , мм	Δ , мм	α , град	M_z , Н м	σ_n , МПа
1	2	3	4	5	6
Москвич 412-Э	41	9.7	72.3	387.4	262.7
ЗИЛ-130	50	16.3	71.8	1506.3	424.8
КамАЗ 5430	60	12	72.6	807.3	211.6

Этим можно объяснить наличие области неплотного прилегания и превалирующий износ на участках, примыкающих к зазору кольца. Таким образом, разработана новая более точная математическая модель контактного взаимодействия между поршневым кольцом и стенкой цилиндра, которая, в отличие от существующих моделей нагружения, учитывает неравномерность контактного взаимодействия трибологического сопряжения пары «поршневое кольцо- гильза цилиндра», ее изменение в зависимости от угла положения локальных точек кольца и удаления их по радиусу от замка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биргер, И.А., Шорр, Б.Ф., Шнейдерович, Р.М. Расчет на прочность деталей машин. - М.: Машиностроение, 1966.-С.263.
2. Горячева, И.Г., Добычин, М.Н. Контактные задачи в трибологии.-М.: Машиностроение, 1988.-С.256.
3. Солдатенков, И.А. Контактные задачи при наличии износа поршневого кольца в условиях нестационарного нагружения. Трение и износ.- М.-1989.-Т10-№3-С.422-427.
4. Солдатенков, И.А. Задачи об изнашивании поршневого кольца с расширителем при действии внешнего давления. Трение и износ.- М.-1991.-Т.12.- №1.-С.39-45.
5. Писаренко, Г.С., Яковлев, А.П., Матвеев, В.В. Справочник по сопротивлению материалов.-2-е изд.-Киев: Наукова думка, 1988.-С.736.
6. Федосеев, В.И. Избранные задачи и вопросы по сопротивлению материалов.-М.: Наука, 1967.-С.376.

UDK 621.791.92

Shaduya V.L., Kozhuro S.L., Zelentsov A.G.

WEAR-RESISTEMENT AND TIREDNESS DURABILITY OF COVERINGS OBTAINED BY SURFACING OF POWDERS FROM HIGH-SPEED STEELS IN AN ELECTROMAGNETIC FIELD

*Belarusian national technical university
Minsk, Belarus*

Different ways of drawing of coverings that allow to receive a working surface with required operational properties are applied to restore and harden the details of machines. Every way of drawing of coverings due to its features has rational sphere of application and not always solves tasks caused by necessity of restoration and increasing of durability of details of machines. Therefore, in line with the improving of known ways of drawing of coverings it is necessary to develop the new ways to add already known and to expand their technological possibilities. To combine the ways of the restoration and hardening of articles using combined influence of flows of different kinds of energy on a processable surface is urgent. It allows to receive the qualitatively new operational characteristics of surfaces of details, and also to raise productivity, to reduce power consumption and cost of price of processes.

It is necessary to note, that many details of machines coming to the restoration, have a significant stock of residual durability, the using of which makes the basic source of an economical efficiency of machines repairing. So Japan satisfies its requirement of spare details on 40 % by restoration of worn out details, the USA, Germany, Austria - on 30...35 %, and the former USSR satisfied this requirement on 18% in 1990 [1].

Recently the electromagnetic surfacing (EMS) using the energy of magnetic and electric fields has been widely investigated and received practical application. It allows to change the conditions of restoration and hardening of the details of machines [2].

The combined method of electromagnetic surfacing with the superficial plastic deformation (EMS with SPD) developed by the Technology of metals department of the Belarusian State Agrarian and Technical University together with State Enterprise "MAF" has increased a resource of details such as bodies of rotation working in conditions of hard work and intensive abrasive wear process in 1,3 ... 1,4 times. Such result has been received because of a new method of hardening of details. This method combines the drawing, heat treatment and hardening deformation of a covering, reducing attrition of a surface at the expense of formation of structure of a superficial layer. The operational characteristics of the combined method are defined by electromagnetic and deformation influences on the hardening surface. Electromagnetic surfacing with SPD has high durability of joint of surfacing covering with the base, improved wear-resistement and