

**Список литературы:**

1. Акимов О.В., Анацкий Ю.П., Солошенко В.А. Анализ собственных колебаний отливки блок-картера дизеля «СМД» // Вестник ХГПУ, Вып.66, Новые решения в совр. технологиях, Харьков, 1999 г., 159с. – с.40-47. 2. О.В.Акимов. Современные системы автоматизированного проектирования, инженерного

анализа и технологической подготовки производства // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Вып. 6(12), 2004, с. 21-36. 3. О.В.Акимов. Современный САПР в литейном производстве //Металлообработка. Оборудование. Инструмент для профессионалов № 1(73), 2006, с. 32-35

УДК 621.436: 621.793/.795

**О.Д. Соколов, д-р техн. наук, О.В. Маннапова, асп., В.П. Молдаванов, д-р техн. наук, В.І. Твердохліб, інж.**

**ПОРШНЕВІ КІЛЬЦЯ ДЛЯ ФОРСОВАНИХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВЗ  
З ДОДАТКОВОЮ КОРЕКЦІЄЮ ЕПЮРИ ТИСКІВ**

**Вступ**

Поршневі ДВЗ являються сьогодні основою мобільної енергетики всіх галузей господарства, тому питання підвищення працездатності, надійності і довговічності ДВЗ, а особливо їх головного, найбільш напруженого органу - ЦПГ, у машинознавстві постійно зостається актуальним.

У рішенні цих задач досягнуто певних успіхів. Довговічність ЦПГ ДВЗ суттєво підвищена за останні сорок років застосуванням гальванічного зносостійкого хромування робочої поверхні компресійних поршневих кілець, яке постійно вдосконалюється як по конструктивним, так по технологічним і матеріалознавчим параметрам на основі наукових досліджень [1]. Проведена робота по дослідженню режимів нанесення і зносостійкості для застосування на поршневих кільцях газотермічних покриттів різноманітного складу й інших методів зміцнення поверхні [2 - 5].

Невпинне форсування дизельних двигунів по потужності, яке почалося в останні двадцять років і невпинно продовжується [6, 7], на сьогоднішньому етапі призводить до термічної і силової руйнації серійних хромових покриттів на робочій поверхні і підвищенню рівня зношування торцевої поверхні кільця, що перешкоджає збільшенню довговічності і

надійності ЦПГ ДВЗ [8]. Протидією тому можуть бути термічно стійкі плазмово напилені пористі мастилоємні покриття на робочій поверхні кільця і фінішна зміцнювальна обробка всіх поверхонь кільця. У деяких термонапружених дизельних двигунах, застосовують напилені молібденові покриття, але, по зрівнянню з гальванічними хромовими, втрачають при цьому у зносостійкості, що викликає необхідність їх зміцнення. Як показують наші дослідження, іонне азотування молібденового покриття збільшує його зносостійкість до рівня гальванічного хрому і дозволяє одночасно зміцнювати торцеві поверхні кільця [9].

Але збільшення зносостійкості покриття призводить до підвищення довговічності поршневого кільця у ЦПГ ДВЗ тільки при його рівномірному приляганні до гільзи циліндра, що досягається наданням кільцю потрібної епюри радіальних тисків у процесі виробництва [10, 11]. На відміну від низькотемпературного процесу гальванічного хромування, вплив якого не враховується у виробництві при завданні епюри, нанесення покриттів високотемпературним плазмовим струменем впливає на форму кільця [12], що викликає необхідність урахування цього впливу і проведення досліджень для його чисельного визначення.

Мета роботи – дослідити вплив процесу нанесення плазмових покриттів із наступним іонним азотуванням на епюру радіальних тисків верхнього компресійного кільця і його зносостійкість у форсованому дизельному двигуні і визначити міру і спосіб додаткового корегування епюри кільця у процесі його виробництва.

**Отримання дослідних кілець і методика проведення досліджень**

Для досліджень були застосовані серійні і дослідні верхні компресійні поршневі кільця двигуна 4Ч11/12,5, усі інші кільця були серійної комплектації. На робочій циліндричній поверхні верхніх компресійних кілець були серійні гальванічні хромові покриття товщиною 0,12 - 0,15 мм з мікротвердістю 9,5 ГПа і загальною поруватістю близько 1 %, або дослідні плазмові покриття, розташовані у канавці. Напилення покриттів із молібденового порошку, а також порошоків заліза, нікелю та хрому здійснювали на установці плазмового напилювання УМП-5-68 у азотній плазмі при напрузі 90 В, струмі 300 А, і витраті азоту – 5 м<sup>3</sup> у годину. Поршневі кільця збирали на оправки обжатими до круглої форми, проточували на них канавки для покриття, а після напилювання покриття шліфували на оправках до номінального розміру, при цьому товщина покриття складала 0,25 - 0,3 мм. Молібденові покриття мали мікротвердість 4,5 ГПа і пористість 10 - 11 % [13].

Зміцнювальна обробка готового дослідного кільця - іонне азотування, яке було проведено на кільцях у вільному стані в середовищі азоту за схемою "катод - кільця, анод - внутрішня поверхня вакуумної камери" у дві стадії: 1) стадія катодного розпилення: напруга - 800 В; густина катодного струму - 1 мА/см<sup>2</sup>; тиск - 12 - 14 Па (порядку 10<sup>-1</sup> мм рт. ст.); час - 6 хвилин. 2) стадія насичення азотом: напруга - 800 В; густина катодного струму - 6 мА/см<sup>2</sup>; тиск - 0,9 - 1 кПа (порядку 10 мм рт. ст.); час - 3 години при

температурі 500 °С для недопущення змін у структурі чавуну кілець. Мікротвердість молібденових покриттів після азотування - 7 ГПа [9].

Знос деталей циліндро-поршневої групи визначали у стендових випробуваннях двигунів 4Ч11/12,5, які проводилися впродовж 50 годин з 1,5-годинною обкаткою. Методика [14] передбачала прискорення процесу зношування усіх деталей ЦПГ у 100 разів за рахунок введення у кожний циліндр 0,3 г/час кварцової пилюки, що відповідало роботі двигуна у нормальних умовах впродовж 5000 мотогодин. За час випробувань кільце проходило шлях тертя 1656 км при середньому тиску тертя 0,75 МПа і середній швидкості ковзання 9,2 м/с. При кожному випробуванні дослідні кільця встановлювали у двигуни через циліндр із серійними комплектами кілець. У двигуні були серійні гільзи циліндрів із сірого чавуну і серійні силумінові поршні. Вимірювалися лінійні зноси усіх сполучень ЦПГ.

Дослідження впливу процесу нанесення покриття на епюру радіальних тисків кільця проводилися на спеціальному пристрої – епюромірі [11] для визначення умовного модуля пружності по периметру поршневих кілець.

**Обґрунтування розрахунків**

Найбільш суттєвою частиною розрахунку поршневого кільця є розрахунок його форми у вільному стані, по якому розраховують ливарну модель і копір копіювального верстата для механічної обробки для виготовлення заготовки кільця. Ця задача зводиться до визначення форми осьової лінії пласкої криволінійної пружини, яка у робочому стані приймає форму розрізаного кільця із заданим законом розподілу радіального тиску. Кривизна осьової лінії визначається методами опору матеріалів з рівняння

$$\frac{1}{r} - \frac{1}{\rho_{\psi}} = M_{\psi} / EJ, \quad \text{а} \quad \text{згинальний момент}$$

$$M_{\psi} = q_0 b r^2 \int_{\psi}^{\pi} \sin(\varphi - \psi) d\varphi, \text{ звідки радіус кривизни у}$$

будь-якому перетині кільця у вільному стані визначається як:

$$\rho_{\psi} = \frac{r}{1 - \frac{b r^3}{E J} \int_{\psi}^{\pi} q_{\varphi} \sin(\varphi - \psi) d\varphi}, \quad (1)$$

де  $r$  – радіус середньої лінії кільця у робочому стані,  $r = \text{const}$ ;  $b$  – висота кільця;  $E$  – умовний модуль пружності матеріалу кільця;  $J$  – момент інерції перетину кільця відносно нейтральної осі, для прямокутного кільця радіальною товщиною  $t$   $J = b t^3 / 12$ ;  $\varphi$  – кут визначення точки прикладення сили;  $\psi$  – кут визначення точки, де виникає момент від прикладеної сили;  $q_{\varphi}$  – навантаження по периметру кільця на одиницю висоти кільця;  $q_0$  – інтенсивність рівномірно розподілених по периметру напруг від зосередженої на кінцях замка ( $\psi = \pi$ ) сили  $Q$ , яка характеризує пружність кільця, при  $\psi = 0$  (на спинці кільця) максимальний згинальний момент  $M_{\text{max}} = 2q_0 b r^2 = 2Qr$ .

Рівняння (1) має аналітичне рішення тільки у випадку рівномірної епюри радіальних тисків, коли  $q_{\varphi} = q_0 = \text{const}$ , і у випадку, коли умовний модуль пружності матеріалу кільця однаковий по периметру,  $E = \text{const}$ . На практиці із-за різниці умов охолодження відливки поршневого кільця спостерігається неоднорідність властивостей чавуну по довжині окружності із зміною модуля пружності до 20 %, що призводить до появи радіальних зазорів при встановленні у гільзу кілець, розрахованих по рівнянню (1). Тому розрахунок кільця потрібно вести з урахуванням розподілення по периметру радіальних тисків, модуля пружності і залишкових формозмін, які набуває заготовка у процесі виробництва.

При цьому функція розподілу модуля пружності по периметру для розрахунку має вигляд:

$$E_{\psi} = E \left[ 1 + \frac{A \psi}{2\pi} (1 - \cos \psi + \sin \psi) \right], \quad (2)$$

де  $A$  – коефіцієнт, який характеризує інтенсивність зміни  $E_{\psi}$  по периметру від спинки ( $E$ ) до замка кільця. Для сірого спеціального чавуну він складає + (0,08 - 0,12), для високоміцного чавуну  $A = 0$  і  $E_{\psi} = E$ .

Залишкові формозміни обумовлені схильністю чавуну до пластичних деформацій навіть при малих навантаженнях. За три - чотири навантаження, які характерні для технологічного процесу обробки заготовок поршневих кілець, сумарне значення залишкової деформації складає для сірого спеціального чавуну 15 - 18 %, для високоміцного - 4 - 7 %. Розподіл залишкової деформації по периметру кільця залежить від навантаження і структури матеріалу і визначається із емпіричної залежності:

$$C = B^{2n+1} \sqrt{\pi - \psi}, \quad (3)$$

де  $C$  - коефіцієнт залишкової деформації;  $B$  - коефіцієнт пластичності матеріалу, який складає 0,12 - 0,16 для сірого чавуну і 0,06 - 0,08 для високоміцного чавуну;  $n$  - показник ступеня, який характеризує зміну кривої, для сірого чавуну  $n = 2$ , для високоміцного чавуну  $n = 1$ .

Для того, щоб поршневе кільце, маючи круглу форму при встановленні у циліндр, мало рівномірний тиск на циліндр впродовж всього процесу зношування, особливо на кінцях замка, його потрібно розрахувати і виготовити із первісно підвищеним тиском на кінцях замка. Поршневому кільцю чотиритактного швидкохідного дизельного двигуна надають у процесі виготовлення грушоподібну епюру радіальних тисків (симетричну відносно вісі  $X$ , що проходить по діаметру кільця від спинки до замка) з тиском біля замка по відношенню до середнього тиску у межах  $m = 1,4 - 1,5$ . Для урахування цього фактора вводять залежність згинального моменту  $M_{\psi}$  від  $m$ :

$$M_{\psi} = q_0 b r^2 \times \left[ 1 + (1 - \xi) \cos \psi - \frac{m - 1}{1,8613} \sum_{n=2}^{n=12} \frac{1}{n^2 - 1} \frac{q_n}{q_0} \cos n\psi \right], \quad (4)$$

де  $\xi = -\frac{m-1}{1,8613} \sum_{n=2}^{n=12} \frac{(-1)^{n+1} q_n}{n^2-1} q_0$ . Введення коефіцієнту

$m$  у формулу (4) дозволяє отримати значення моменту для потрібної корекції грушоподібної епюри радіальних тисків.

Для використання розрахунку форми кілець у їх виробництві [11] зручно використати диференціальну залежність радіуса кривизни заготовки кільця у вільному стані від куту  $\alpha$  між дотичною до точки на осьовій лінії кільця і віссю X:

$$\frac{1}{\rho_3} = -\frac{d\alpha}{rd\psi} \quad (5)$$

(по визначенні  $\alpha$  при  $\psi = 0 \alpha = \pi/2$ ).

Оскільки залишкова деформація по периметру кільця у (3) задається як відносно збільшення розрахункових радіусів кривизни по периметру готового

кільця:  $C = \frac{\rho_3 - \rho_\psi}{\rho_3 - r}$ , то з урахуванням (1) і (5) мож-

на визначити значення  $\alpha$ :

$$\alpha = -\int \frac{1 - \frac{M_\psi r}{EJ}}{1 + \frac{C}{1-C} \frac{M_\psi r}{EJ}} d\psi + \frac{\pi}{2} \quad (6)$$

Рівняння (6) є універсальним для розрахунку як форми заготовки, так і форми готового поршневого кільця. Разом з основними даними геометрії, матеріалу і пружності кільця, які вводяться у розрахунок

безрозмірним параметром  $K = \frac{q_0 br^3}{EJ}$ , особливості

розподілу по периметру модуля пружності, залишкових деформацій і корекції епюри радіальних тисків вводяться у розрахунок (6) залежностями  $E_\psi$  із (2),  $C$  із (3) і  $M_\psi$  із (4). Метод визначення форми поршневого кільця стає розрахунково-експериментальним із введенням корегувальних функцій і отриманням результату чисельним способом на комп'ютері із-за складнощів перерахунку декартових координат у полярні. Результат отримують у вигляді таблиць, по яким встановлення форми заготовки поршневого кі-

льця у вільному стані значно спрощується для виробництва, оскільки для кожного значення параметру  $K$  у характерних точках кривої від спинки до замка кільця в таблицях приводяться коефіцієнти  $\lambda$  до постійної величини  $r$ , по яким вираховують основний радіус заготовки, прирощення його по периметру і розмір замка у вільному стані.

### Дослідження впливу процесу нанесення покриття на характеристики кільця

При виготовленні дослідних партій поршневих кілець з плазовими покриттями технічним контролем готової продукції було зафіксовано зменшення пружності кілець і навіть випадки появи радіального зазору біля замка кілець при встановленні їх у калібр. Це свідчить про суттєві зміни форми заготовок поршневих кілець у процесі напилювання плазових покриттів по зрівнянню із гальванічним осаджуванням хромових покриттів на серійні кільця. Якщо при осаджуванні серійних хромових покриттів сумарна величина залишкової деформації форми поршневих кілець із сірого чавуну складає у виробництві 15 - 18%, а із високоміцного чавуну 7,5 - 8 %, то, як показують наші вимірювання, процес напилювання плазових покриттів із порошкових матеріалів збільшує залишкову деформацію кілець до 26 - 29 % для сірого чавуну і до 16 % - для високоміцного.

Виділення процесу напилювання плазового покриття із процесу механічної обробки поршневих кілець, проведене при дослідженнях, показано у таблиці 1, де приведено вплив кожної операції технологічного процесу на коефіцієнт залишкової деформації замка кільця.

Результати проведених на епюромірі досліджень зміни форми заготовок поршневих кілець при нанесенні покриттів, приведені на рис. 1, показують, що при технологічній обробці заготовок без операції нанесення покриттів спостерігаються найменші залишкові деформації форми, які мають тенденцію до

зменшення абсолютної величини у напрямку від спинки ( $\psi = 0$ ) до замка ( $\psi = 176$  град.) заготовки. При виготовленні кілець з гальванічним хромовим покриттям величина залишкової деформації становиться більше, але зостається рівномірною від спин-

ки до замка. Найбільші залишкові деформації спостерігаються при нанесенні плазмового покриття, причому їх величина збільшується від спинки до замка.

Таблиця 1. Коефіцієнт залишкової деформації замка кільця по технологічних операціях

№	Операції технологічного процесу	Коефіцієнт залишкової деформації замка, С	
		Сірий чавун	Високоміцний чавун
1	Чорнове обточування і розточування на копіювальному верстаті, вирізка і калібрування замка	0,08 – 0,10	0,02 – 0,04
2	Зборка кілець на оправки у робочому стані і обточування канавок під покриття, витримка на оправках впродовж 4 год.	0,03 – 0,04	до 0,02
3	Те ж саме, витримка 48 год.	0,03 – 0,04	до 0,02
4	Напилювання плазмового покриття на оправки з кільцями, шліфування оправок з кільцями для зняття припуску до номінального діаметру	0,15	0,10
5	Теж саме без напилювання плазмового покриття	0,03 – 0,04	до 0,02

Виміряні епюри радіальних тисків (рис. 2) явно показують, що плазмове напилювання покриття призводить до зниження корекції епюри  $m$  на 16 % для кілець із сірого чавуну і на 40 % для кілець із високоміцного чавуну. Залишкові зміни форми кільця, які викликають зменшення корекції епюри радіальних тисків, пов'язані із зміною механічних властивостей матеріалу заготовки кільця, що насамперед відбивається на зміні умовного модуля пружності  $E$ , величина якого згідно з рівнянням (2) відіграє найважливішу роль у розрахунку форми заготовки кільця.

У нашому випадку після плазмового напилювання покриття величина умовного модуля пружності  $E$  кілець із сірого чавуну знизилася в середньому з 95,6 ГПа до 88,2 ГПа, тобто на 7,7 %, а для високоміцного чавуну на 4,1 %. Для обох матеріалів зменшення умовного модуля пружності по периметру  $E_{\psi}$  від спинки до замка спостерігалось на рівні 8 – 10 %, що дає нам експериментальне визначення коефіцієнту  $A$  (коефіцієнт інтенсивності зміни  $E_{\psi}$  по периметру) у рівнянні (2):  $A = -0,10$ . Це означає, що для ви-

робництва заготовок кілець під нанесення плазмового покриття підлягають корекції коефіцієнти  $\lambda_1$  до заданого радіусу середньої лінії кільця у робочому стані  $r$  для визначення прирощення основного радіусу заготовки по периметру  $\Delta R_i$  і  $\lambda_2$  до  $r$  для визначення основного радіусу заготовки  $R_{осн}$ .

#### Урахування впливу покриття на форму заготовки кільця

Для розрахунку форми заготовок кілець з плазмовими покриттями у вільному стані розрахована таблиця 2, яка вміщує ряди коефіцієнтів  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$  для розрахунку полярних координат осьової лінії кілець з різними характеристиками параметру  $K = \frac{q_0 b r^3}{EJ}$  від 0,020 до 0,034, які охоплюють основну номенклатуру поршневих кілець автотракторних дизельних двигунів ( $m = 1,5$ ;  $A = -0,10$ ). Коефіцієнти  $\lambda_1$  розраховані з інтервалом 10 – 16 градусів, а на ділянках екстремумів кривої – частіше.

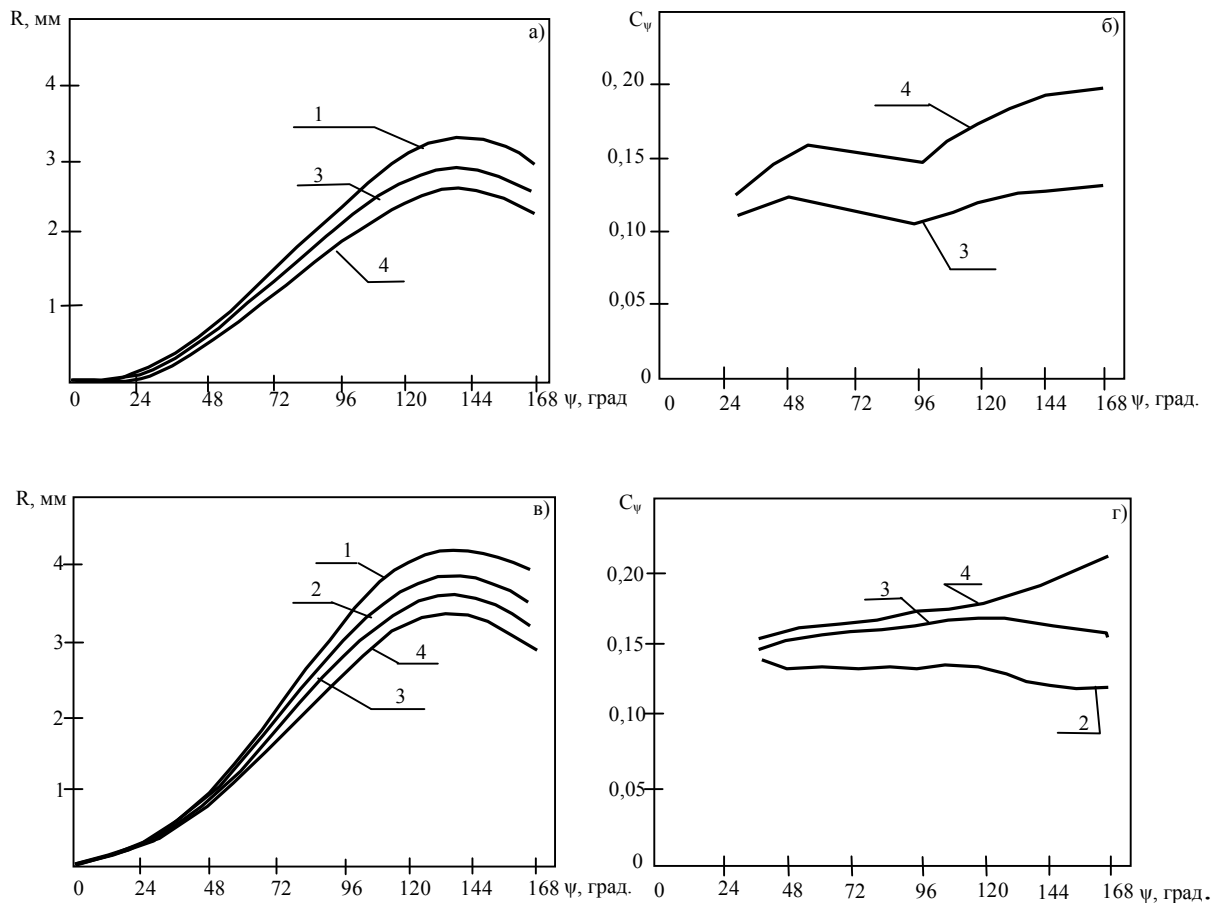


Рис. 1. Зміни форми (а, в) і коефіцієнти залишкової деформації (б, г) поришневих кілець із сірого (а, б) і високоміцного (в, г) чавуну по напрямку від спинки до замка:

1 – заготівка кільця; 2 – кільце без нанесення покриття; 3 – Cr гальванічний; 4 – Мо плазмовий.

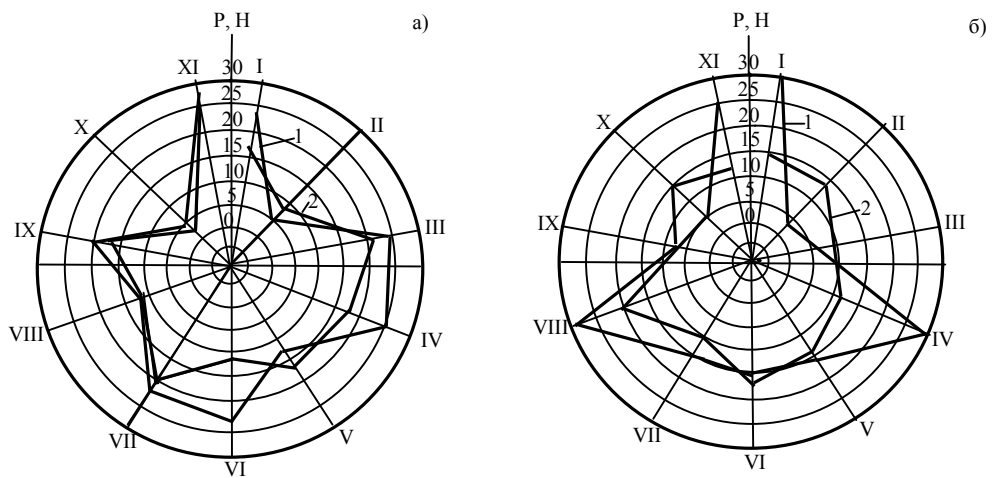


Рис. 2. Етюра радіальних тисків поришневих кілець із сірого (а) і високоміцного (б) чавуну:

1 – без покриття; 2 – із плазмовим покриттям; I – XI – радіус-вектори точок виміру тиску

Таблиця 2. Коефіцієнти для визначення форми кілець з плазовими покриттями

ψ, град.	Параметр К							
	0,020	0,022	0,024	0,026	0,028	0,030	0,032	0,034
	Коефіцієнти λ <sub>1</sub> для визначення ΔR <sub>i</sub>							
2	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
6	0,009	0,012	0,012	0,012	0,012	0,013	0,015	0,017
12	0,028	0,042	0,046	0,051	0,054	0,059	0,063	0,067
20	0,105	0,116	0,127	0,139	0,150	0,162	0,173	0,185
30	0,231	0,255	0,279	0,304	0,329	0,355	0,380	0,406
46	0,510	0,563	0,618	0,673	0,728	0,784	0,841	0,898
64	0,889	0,982	1,030	1,125	1,221	1,318	1,416	1,565
80	1,221	1,350	1,480	1,611	1,743	1,877	2,011	2,147
90	1,398	1,545	1,693	1,842	1,992	2,146	2,299	2,454
104	1,571	1,735	1,900	2,067	2,235	2,405	2,576	2,748
108	1,599	1,766	1,934	2,104	2,274	2,446	2,619	2,794
112	1,616	1,785	1,955	2,126	2,298	2,471	2,635	2,820
114	1,622	1,790	1,960	2,131	2,303	2,476	2,650	2,826
120	1,618	1,785	1,953	2,122	2,293	2,464	2,636	2,809
130	1,546	1,704	1,862	1,021	2,181	2,341	2,501	2,662
140	1,386	1,525	1,664	1,803	1,942	2,080	2,219	2,357
150	1,135	1,245	1,354	1,463	1,570	1,677	1,783	1,887
160	0,992	0,863	0,933	1,001	1,067	1,132	1,195	1,255
170	0,362	0,389	0,407	0,426	0,442	0,455	0,466	0,474
176	0,074	0,074	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073
	Коефіцієнти λ <sub>2</sub> для визначення R <sub>осн</sub>							
	4,274	4,709	5,144	5,582	6,020	6,460	6,901	7,344

Особливості методики розрахунку форми кілець з плазовими покриттями (кілець з додатково корегованою епюрою радіальних тисків) визначаються експериментальними даними, отриманими у ході дійсних досліджень. Вони полягають у наступному:

- зміни величини умовного модуля пружності по периметру враховуються значенням коефіцієнта *A* з рівняння (2), який дорівнює -0,10. Це дозволяє забезпечити задану епюру радіальних тисків і компенсувати нерівномірність *C* з рівняння (3);

- абсолютна величина коефіцієнту залишкової деформації *C* повинна визначатися дослідним шляхом (таблиця 1) в процесі конкретного виробництва кілець в залежності від матеріалу і конструкції. При розрахунку форми заготовки *C* вводиться у розрахунок через рівняння (6);

- для розрахунку форми осьової лінії заготовки поршневого кільця по таблиці 2 необхідно за початковими даними розрахувати параметр *K* для визначення

відповідної колонки коефіцієнтів λ<sub>1</sub> і λ<sub>2</sub>. Модуль пружності *E* для розрахунку *K* встановлюють в процесі конкретного виробництва кілець в залежності від матеріалу і конструкції;

- відповідно до розрахованого параметру *K* в його колонці по коефіцієнтах λ<sub>2</sub> розраховуються значення основного радіусу заготовки *R<sub>осн</sub>*, які в сумі з розрахованими по коефіцієнтах λ<sub>1</sub> прирощенням Δ*R<sub>i</sub>* дають значення полярних координат осьової лінії заготовки через вказані в таблиці кутові інтервали. При розрахунку *R<sub>осн</sub>* і Δ*R<sub>i</sub>* слід користуватися наступними формулами:

$$R_{осн} = r \left( 1 + \frac{0,5\lambda_2}{1-C} 10^{-2} \right); \Delta R_i = \frac{\lambda_1 r}{1-C} 10^{-2}.$$

**Зношення додатково корегованих поршневих кілець у двигуні**

Результати стендових випробувань двигунів із серійними і дослідними верхніми компресійними поршневими кільцями приведені у таблиці 3.

Таблиця 3. Результати стендових випробувань поршневих кілець з корегованою епюрою

№	Покриття і наявність корекції епюри	Знос кільця, мм	Знос гільзи, мм
1	Серійні кільця, розраховані по звичайно корегованій епюрі, покриття - хром гальванічний	0,12	0,08
2	Дослідні кільця, розраховані по звичайно корегованій епюрі, покриття - молібден плазмовий	0,30	0,16
3	Дослідні кільця із додатково корегованою епюрою, покриття - молібден плазмовий	0,22	0,13
4	Дослідні кільця, розраховані по звичайно корегованій епюрі, покриття - молібден плазмовий + іонне азотування	0,16	0,11
5	Дослідні кільця із додатково корегованою епюрою, покриття - молібден плазмовий + іонне азотування	0,12	0,09

Результати випробувань показують, що сумарний знос сполучення "дослідне кільце з плазмовим покриттям - гільза циліндру", який характеризує довговічність циліндро-поршневої групи дизельного двигуна, зменшується при додатковій корекції епюри радіальних тисків на 22 - 24 % і досягає рівня зношування серійних кілець із хромовим покриттям, що дає можливість застосовувати плазмово напилені кільця у форсованих двигунах, не зменшуючи їх моторесурсу.

### Висновки

Дослідженнями встановлено, що нанесення плазмових покриттів на поршневе кільце призводить до певних змін його епюри радіальних тисків, збільшення залишкових деформацій і зменшення умовного модуля пружності, тобто характеристик, які можуть визначати працездатність і довговічність кільця.

Розроблено метод урахування впливу нанесення плазмового покриття при розрахунку форми заготовки кільця, розраховано таблицю необхідних для розрахунку даних для виготовлення таких кілець в умовах підприємства - виготовлювача.

Випробуваннями двигунів показано, що використання розробленої додаткової корекції епюри поршневих кілець з плазмовими покриттями дозволяє зменшити сумарний знос сполучення "кільце - циліндр" у форсованих дизельних двигунах за раху-

нок рівномірного прилягання кільця до циліндру і довести знос до рівня зношування кілець з твердими гальванічними хромовими покриттями.

### Список літератури:

1. Соколов О.Д., Маннапова О.В., Костржицький А.І. Властивості і застосування хромових покриттів, отриманих різними методами // Проблеми техніки. – 2005. - № 3. - С. 110 – 128.
2. Александров А. Ю., Спирин Р. В. Износ и эксплуатационные характеристики высоконагруженных деталей с различными видами защиты рабочего слоя материала // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2005. - № 2. - С. 2 - 5.
3. Горбань В. Ф., Капитанский В. М., Новиков П. Т., Протасов Г. А., Подсыпанин М. Л., Ракицкий А. Н., Трефилов В. И. Разработка и опробование особоизносостойких газотермических покрытий из малолегированных сплавов хрома в дизелестроении // Сб. научн. тр. ИПМ АН УССР: Конструкционные сплавы хрома. Технологія. - Киев: Наукова думка. - 1988. – С. 102 – 106.
4. Петров С. В., Коржик В. Н., Горбань В. Ф., Демидов В. Д., Новоселов А. В. Газотермические покрытия для упрочнения тяжело нагруженных деталей мощных дизелей // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2005. - № 6. - С. 20 - 30.
5. Чернета О. Г. Влияние азотирования и лазерной обработки на формирование износостойкой структуры рабочей поверхности поршневых колец ДВС // Системні технології: Рег. міжвуз. зб. наук. пр. - Дніпропетровськ - 2001. – Вып. 4 (15). – С. 73 – 78.
6. Алехин С. А., Грицюк А. В., Краюшкин И. А., Овчаров Е. Н. Современные дизельные двигатели разработки КП "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению" // Двигатели внутреннего сгорания. - 2006. - № 1. - С. 4 - 8.
7. Грицюк А. В. Основы создания отечественного малолитражного дизельного двигателя // Двигатели внутреннего сгорания. – 2007. - № 2. С. 3 - 9.
8. Соколов О. Д. Оцінка зносостійкості та надійності хромових покриттів для розробки технології їх нанесення на деталі вузла тертя // Проблеми трибології (Problems of Tribol-



ogy). - 2003.- №2.- С. 130 – 135. 9. Маннапова О. В., Соколов О. Д., Олік А. П., Твердохліб В. І. Підвищення довговічності сполучення "кільце - поршень" електрофізичними видами обробки // *Аграрний вісник Причорномор'я. Технічні науки.* - 2007. - Вип. 40. - С. 144 - 154. 10. Гинцбург Б. Я. Теория поршневого кольца. - М.: Машиностроение, 1979. - 271 с. 11. Молдаванов В. П., Пикман А. Р., Авербух В. Х. Производство поршневых колец двигателей внутреннего сгорания. - М.: Машиностроение, 1980. - 199 с. 12. Молдаванов В. П., Соколов А. Д. Особенности фор-

мообразования поршневых колец с покрытиями, нанесенными плазменным напылением // *Двигателестроение.* – 1984. - № 2. - С. 33 – 36. 13. Соколов О. Д., Шофул І. І., Маннапова О. В. Вплив твердості покриттів на їх зносостійкість // *Проблеми техніки.* – 2005. - № 3. - с. 104 – 109. 14. Величкин И. Н., Шахназарян В. М., Чтчан Г. О., Айвазян Р. С., Оганесян Г. А., Соколов А. Д., Молдаванов В. П. Ускоренная оценка стойкости деталей дизелей против абразивного износа // *Тракторы и сельхозмашины.* - 1981. - № 10. - С. 5 – 7.

УДК 621.43

*Е.К. Гордиенко, асп., А.В. Белогуб, канд. техн. наук*

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОНКОСТЕННЫХ ПОРШНЕЙ ДВС

### Введение

Для заказчика, одним из основных требований, предъявляемых к поршню, является диаметр цилиндрической поверхности поршня –  $D_{\delta}$ . Этот размер является определяющим при сборке двигателя. Традиционно общий (суммарный) допуск  $\delta$  для поршней автомобильных двигателей составляет 40...50 мкм – 8-й квалитет – и разбит на 4...5 групп с допуском внутри группы по 10 мкм – 4-й квалитет. Требования, предъявляемые заказчиком к размерным группам различны для вторичного рынка и для сборочных предприятий. Так, если при работе на вторичный рынок заказчик предпочитает последние группы для номинального размера и первые для ремонтных, то для сборки необходим поршень, как правило, 2-х средних групп.

С существующем в ОАО «АВТРАМАТ» оборудовании и технологиями проблематично производить поршень заказанных групп для сборочных предприятий без «отходов» из поршней, не заказанных групп, что приводит к дополнительным издержкам производства, связанным с окончательным браком и накоплением поршней неходовых групп и реализацией их случайным заказчиком. В качестве

примера приведена статистика (рис.1) по поршню 21128-1004015Н, которая показывает, что при заказе поршня групп «В» и «С» в равных количествах из изготовленных по имеющейся технологии поршней, прямому заказчику отправляется 61%, еще 35% ждут реализации и 3% – в переплав.

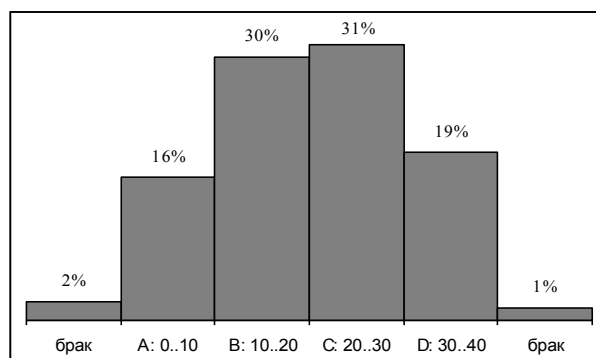


Рис. 1. Рассеяние диаметрального размера поршня ВАЗ 21128-1004015Н

В связи с вышеизложенным, предприятие имеет интерес к поиску резервов по точности обработки, связанных с пересмотром технологического процесса, выявлением причин и закономерностей, влияющих на отклонения диаметра внутри суммарного допуска и допуска внутри группы.