

Л.Н. Болдар, доц., канд. техн. наук, О.С. Білогуров, В.В. Рибас, бакалаври  
Луганський національний аграрний університет, м. Луганськ

## Вплив конструкційних і технологічних чинників на напружено-деформований стан поршневих кілець і якість відремонтованих тракторних двигунів

В статті наводяться результати досліджень впливу на напружено-деформований стан поршневих кілець конструктивних і технологічних чинників – форми, площі поперечного перерізу кілець, шорсткості поверхонь, мікроструктури чавуну і режимів обкатки. **компресійні поршневі кільця, напружено-деформований стан, шорсткість поверхні кілець, будова чавуну, режими обкатки двигунів, вигорання оливи**

**Стан питання.** Як відомо, занепад виробництва і ремонту комбайнових і автотракторних двигунів допущений державою в результаті системних помилок в економічній та технічній політиці [1]. Моніторинг ситуації свідчить про активний пошук комплексних або загальних показників якості продукції [2,3], які б чітко – періодично або безперервно дозволяли визначати «технічний стан» виробів. У зв'язку з цим, все частіше, показниками якості виробів, зокрема ДВЗ, приймаються відгуки, які йдуть від структури матеріалів[4-6]. Разом з тим, слід зазначити, що про це йшлося ще в середині минулого сторіччя. А.А. Бочвар, А.Ф. Іоффе, А.І. Селиванов вели мову про те, що для розкриття причин зношуваності і старіння матеріалів правильним було б використовувати загальновідомі відгуки таких властивостей, як пружність, пластичність, твердість та ін. [7]. У той же час, і закордонні вчені пов'язували питання підвищення зносостійкості найбільш швидкозношуваних деталей (у двигунах – це поршневі кільця, гільзи циліндрів, вкладиші підшипників ковзання) із будовою їх матеріалів та співвідношеннями показників твердості (Н) і пружності (Е). Так, Розен і Оберле наголошували, що, зносостійкості деталей можна досягати лише коли їх поверхні перебувають у пружному стані. Для цього твердість матеріалів повинна бути максимальною, а модуль пружності мінімальним. Для зменшення модуля пружності Оберле пропонував застосовувати в поверхневих шарах пористу структуру, а Брендель вів мову про відкритість структури [8]. У той час ці ідеї були успішно реалізовані за рахунок електрохімічного і хімічного розчинення поверхонь гільз циліндрів, поршневих кілець, шийок колінчастого вала і вкладишів [9,10].

І на сьогоднішній день такий підхід застосовується при виготовленні поршневих кілець[11], а також при розробці нових технологій та конструкційних матеріалів [12]. В контексті цих розробок ми запропонували спосіб взаємного доведення (ВД) деталей КШМ і ЦПГ під час збирання двигунів із вузлів[13]. Нижче викладаються результати досліджень впливу ВД деталей ЦПГ та скороченої обкатки відремонтованих двигунів СМД-14НГ на напружено-деформований стан (НДС) поршневих кілець.

**Обґрунтування методики досліджень.** НДС поршневих кілець визначався після ремонту та стендових випробувань двигунів, які проводилися в обкаточній лабораторії

ЛНАУ. Контрольні двигуни обкатувались у відповідності з рекомендаціями ДержНДТГ [14], а дослідні – за скороченою програмою (табл. 1) [15].

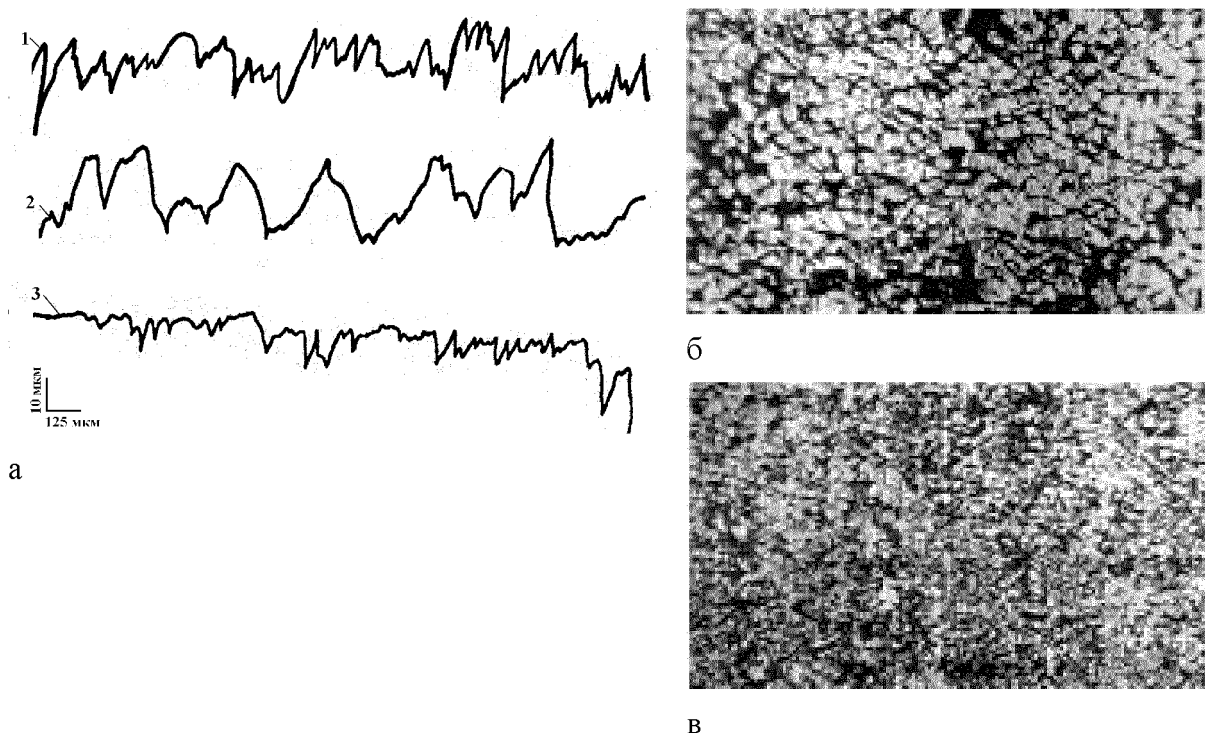
Таблиця 1 – Режими обкатки двигунів СМД-14НГ

Етап випробувань	Контрольний	Дослідні	
	150 хв.	40 хв.	80 хв.
Холодна обкатка	50	5	5
Холостій хід	20	10	10
Обкатка з навантаженням	80	25	65
Стендові випробування, год.	60,0	60,5	60,5
Випробування на вигоряння оливи, год.	5,0	5,0	10,0

Обкатка контрольного двигуна закінчувалася при навантаженні  $60\%N_e$ , а дослідних двигунів – при навантаженні  $100\%N_e$ . Один дослідний двигун був обкатаний на протязі 60-ти хв., але через значний знос кілець, до стендових випробувань він не залучався

Під час комплектування деталей ЦПГ для контрольного двигуна були використані поршневі кільця 4-ї групи якості [16] – з тонким шаром олова на їх хромованому покритті робочої поверхні. Шар олова забезпечував їм повне початкове прилягання до стінок гільз циліндрів.

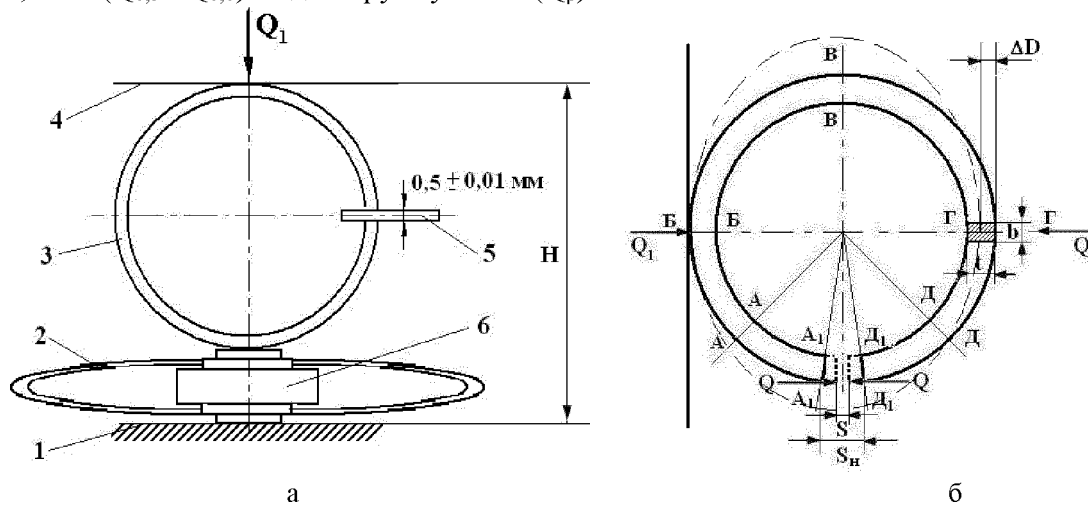
У дослідних двигунів кут неприлягання поршневих кілець становив, у середньому,  $100^\circ$ . Перші компресійні кільця з точковою пористістю хромового покриття (мікропрофіль 1, рис. 1а) встановлювалися у двигун, який обкатувався 40 хв., а кільця 2 і 3-ї груп якості – з не роз'ятреним при декапіруванні хромом (див. мікропрофіль 2, рис. 1а), встановлювалися у двигуни, які обкатувалися 60 і 80 хв.



1, 2 – відповідно, 1-ї і 3-ї групи, на початку випробувань; 3 – після скороченої обкатки; б), в) – поверхні, відповідно, кільця 1 і 2, після скороченої обкатки

Рисунок 1 – Мікропрофілі (а) та вигляд(б, в) робочої поверхні хромованих поршневих кілець (x130)

60-ти годинні стендові випробування двигунів і визначення втрат оливи на вигорання проводилися у відповідності з вимогами стандартів 18508 і 18509. Основними відгуками НДС кілець приймалися: 1) відстань між краями кілець у вільному стані  $S_H$  (рис. 2б); 2) сила стиснення ( $Q_1$ ) до теплового зазору  $S = 1,0; 0,5$  і  $0,0$  мм ( $Q_{0,5}$  і  $Q_{0,0}$ ) та до їх руйнування ( $Q_p$ ).



1 – стіл приладу С-201; 2- динамометр; 3 – кільце; 4 – каретка прибору; 5 – кінцева міра довжини (плитка Йогансона); 6 – індикатор динамометра; 7 – калібр;  $t, b$  – відповідно, товщина і висота кільця

Рисунок 2 – Схеми навантаження кільця: а) – конструктивна; б) – умовна (форма кільця при навантаженні показана пунктирною лінією)

Сила стиснення визначалася за допомогою зразкового динамометра ДОСМ 3-2. Висота  $H$  та деформація кільця  $\Delta D$  (рис. 2б) визначалися, відповідно, за допомогою штангенрейсмуса та індикатора б. Інші особливості методики викладені у роботах [17,18].

Відносна деформація кільця в момент його зламу  $\gamma_3$  визначалася за формулою:

$$\gamma_3 = \frac{\Delta D}{D} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де  $D$  – номінальний діаметр кільця (120 мм).

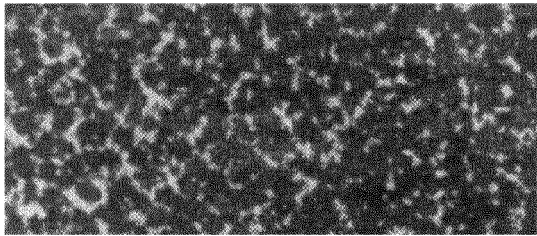
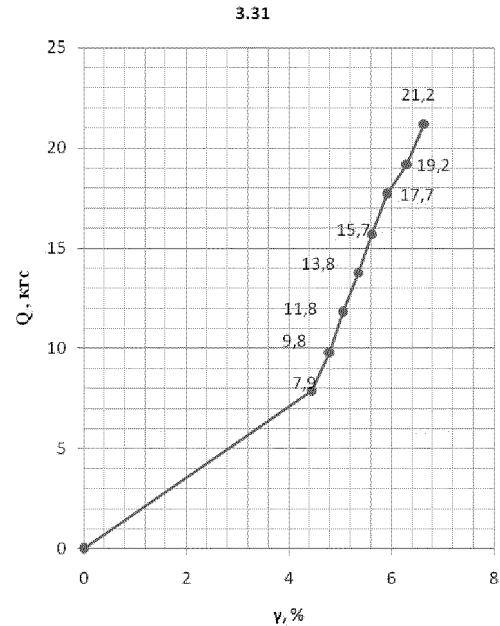
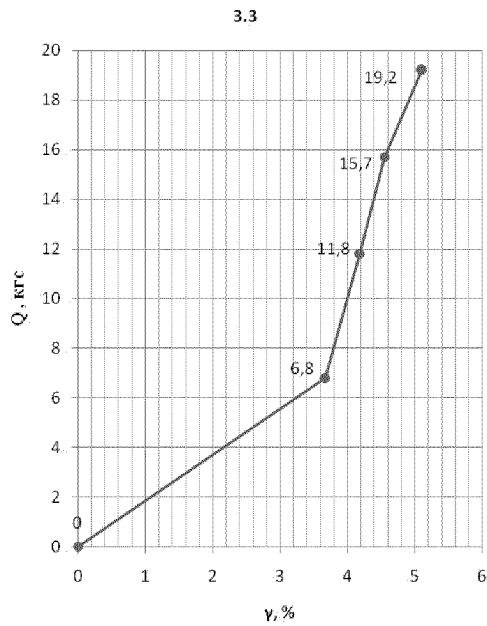
Будова чавуну у площині злому кільця визначалася за допомогою мікроскопа МИМ-7 [18]. Мікроструктури порівнювалися з даними джерела [8].

Результати досліджень. Інтервал зносу хромованих поршневіх кілець за час обкатки дослідних двигунів СМД–14НГ, їх конструктивні дані та показники НДС після стендових випробувань, наведені в табл. 1. З таблиці видно, що за час випробувань кільце 3.31 втратило запас міцності  $n$ . Металографічні дослідження показали, що основною причиною цього слід вважати крупнозернисту (площа фосфідної ґратки становила  $50 - 115 \cdot 10^3 \text{ мк}^2$ ) структуру чавуну цих кілець (рис.1).

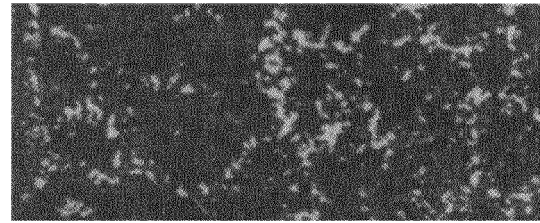
Таблиця 1 – Характеристики хромованих кілець дослідних двигунів

№ кільця	Площа в перерізі В – В, мм <sup>2</sup>	$S_H$ , мм	$Q_p$ , Н	$E \cdot 10^3$ , МПа	$\sigma_{роб}$ , МПа	$n$	$N$	$\gamma$ , %	$\frac{\sigma_{роб}}{E_f} \cdot 10^{-3}$	$\frac{E_f}{\sigma_{роб}} \cdot 10^3$
3.3	13,87	16,0	190,3	115,9	284	1,4	2 <sub>3</sub>	1,4	2,45	0,408
3.31	13,87	19,3	209,0	101,7	320	1,2	2 <sub>7</sub>	2,2	3,14	0,318

Примітка. В нижньому індексі числа  $N$  вказана кількість ступенів навантаження



а



б

Рисунок 3 – Діаграми навантаження кілець 3.3 (а) і 3.31 (в) (мікроструктури з джерела [8], x20)

Як видно з рис. 3, величина відносної деформації кілець  $\gamma$  у значній мірі, залежала від тривалості навантаження (кількості ступенів). При швидкості навантаження 0,2-0,8МПа/с і витримці навантаження на кожній ступені на протязі 3-х с, кільце 3.3 зруйнувалося при силі  $Q_p$  190,3Н, а кільце 3.31- з меншим запасом міцності, але при більш повільному навантаженні, витримало силу 209,0Н.

На граничну силу кільце також впливала шорсткість хромового покриття. У кільця 3.3 (1-ї групи якості) була пористою і відкритою, а у кільця 3.31 (3-ї групи) – майже дзеркальною, і із слідами від абразивного зношування.

Конструктивні дані, показники міцності нижніх компресійних кілець дослідних і контрольного двигунів та характерні діаграми навантаження кілець дослідних двигунів, що пройшли випробування після 40 і 80-ти хв. обкатки, наведені, відповідно, в табл. 2 і на рис.4.

З даних табл. 2 видно, що більш жорстке (за модулем пружності) кільце 3.9 характеризувалося найменшим зазором  $S_n$ . При цьому, на його робочій поверхні спостерігався досить нерівномірний поясок, як по висоті  $b$  (див. рис.2б), так і по периметру. По цьому показнику, кільце слід було б віднести до 2-ї групи якості.

Менш жорстке кільце 3.6 характеризувалося більшим зазором  $S_n$  та рівномірним пояском контакту. У порівнянні з кільцем 3.9, кільце 3.6 мало кращі показники пристосовуваності (пластичності) і пружності ( $\sigma_{роб}/E_f$ ,  $E_f/\sigma_{роб}$ ). Разом з тим його чавун мав крупнозернисту будову (рис. 4а) і тому воно руйнувалося по крихкому механізму ( $N = 3$ ).

Таблиця 2 – Характеристики нижніх компресійних поршневих кілець

№ кільця	Площа в перерізі В-В, мм <sup>2</sup>	S <sub>н</sub> , мм	Q <sub>р</sub> , Н	E·10 <sup>3</sup> , МПа	σ <sub>роб</sub> , МПа	n	N	γ, %	σ <sub>роб</sub> /E <sub>ф</sub> ·10 <sup>-3</sup>	E <sub>ф</sub> /σ <sub>роб</sub> ·10 <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
40 хв. обкатки										
3.9	14,40	15,0	275,7	121,2	300	1,3	2 <sub>7</sub>	2,7	2,480	0,404
3.6	14,40	19,9	275,7	91,3	302	1,3	3 <sub>6</sub>	3,2	3,300	0,302
60 хв. обкатки										
1.1	14,18	16,5	263	124	308	1,3	4 <sub>13</sub>	2,2	2,483	0,403
1.27	14,79	17,8	302	100	299	1,3	4 <sub>15</sub>	3,4	2,990	0,334
80 хв. Обкатки										
3.5	14,55	19,0	222,7	95,3	312	1,3	2 <sub>6</sub>	2,4	3,274	0,305
3.30	13,87	19,5	147,2	109,2	326	1,2	2 <sub>4</sub>	1,0	2,985	0,335
150 хв. обкатки										
3.14	13,54	20,0	237,4	117	361	1,1	2 <sub>9</sub>	2,0	3,078	0,325
3.21	14,25	20,4	188,4	100	329	1,2	2 <sub>8</sub>	2,1	3,267	0,306

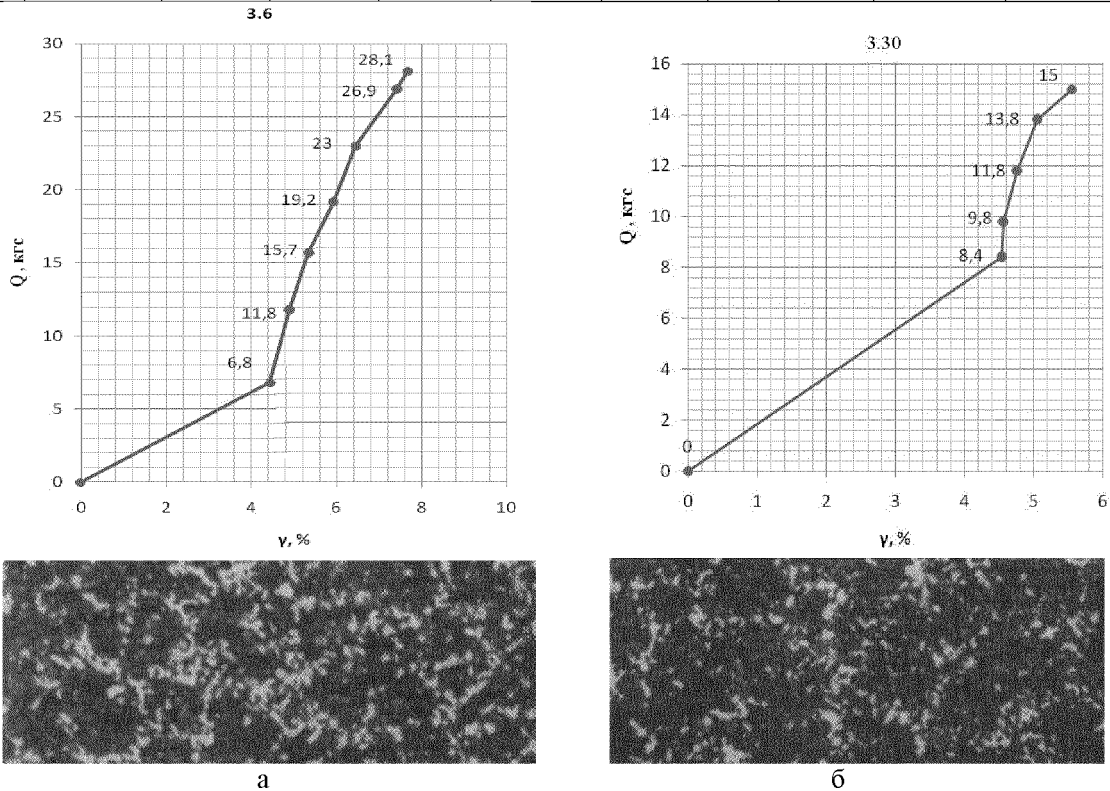


Рисунок 4 – Діаграма навантаження кілець 3.6 (а) і 3.30 (б) (мікроструктури з джерела [8], x20)

Як видно з рис. 4, нижні компресійні кільця витримували більші навантаження ніж хромовані кільця. Очевидно, зносостійке, але тверде і крихке покриття хрому порушувало комплекс відомих позитивних властивостей чавуну. За таких умов, поверхнєве зміцнення, локальні руйнування або глибинні недосконалості будови покриття і самого чавуну (наприклад, його крупнозернистість), слід вважати не допустимими. Наприклад, поверхнєве зміцнення кілець, у двигуна після 60хв. обкатки, призводило до того, що при досить повільному навантаженні кільця витримували значну силу (рис. 5), але в момент зламу вони руйнувалися на чотири частини ( див. табл. 2, N = 4).

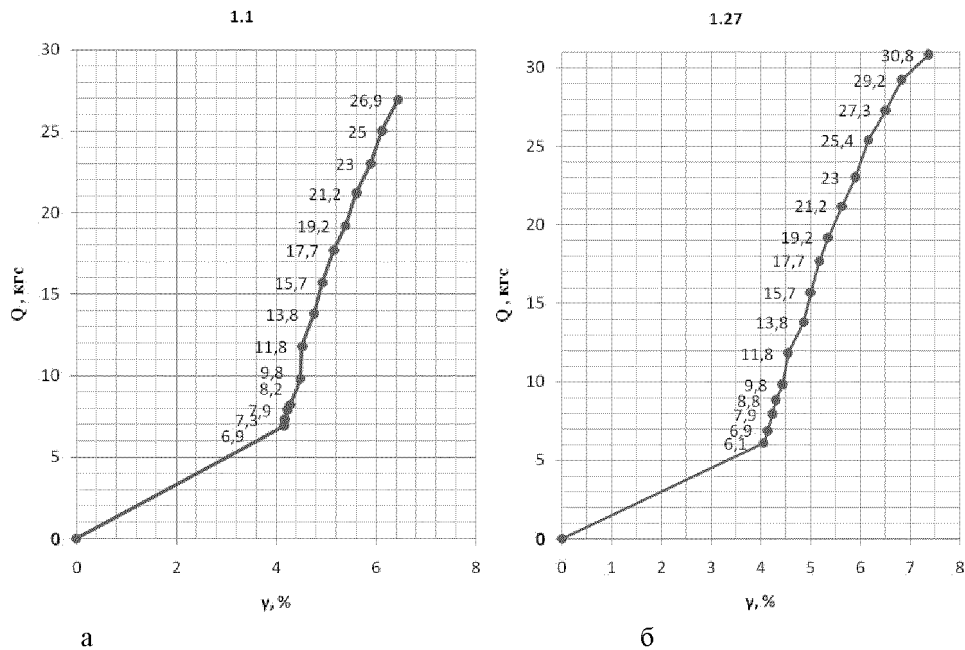


Рисунок 5 – Діаграми навантаження кілець: 1.1 (а) і 1.27(б)

Отже, як підсумок, можна рекомендувати встановлювати у більш напружені верхні канавки поршнів кілець з порівняно малим зазором  $S_n$  (у межах, що наводяться у джерелах [20,21], та з широким пояском  $b_0$ , а в нижні канавки - з великим зазором  $S_n$ , та з вузьким пояском. Тоді верхні кільця будуть працювати за призначенням, а нижні - стримувати вихід картерної оливи до камери згоряння – зчищати його вниз за рахунок, дещо, більшого тиску їх на стінку гільзи.

Кільце 3.5 двигуна після 80 хв. обкатки характеризувалося достатнім запасом міцності, а кільце 3.30 втратило його. За відсутністю запасу міцності кільце 3.30 зруйнувалося вже на 4-му ступені (див. рис. 4б). Будова чавуну у цього кільця характеризувалася крупною фосфідною граткою.

З цих результатів був зроблений висновок, що двигуни з кільцями 2 і 3 груп недоцільно завантажувати під час технологічної обкатки на номінальну потужність. В кінцевому рахунку було рекомендовано закінчувати обкатку двигунів з навантаженням 60% від номінальної потужності (як і для контрольних двигунів), а тривалість обкатки скоротити до 75хв.

З даних табл. 2 видно, що за час випробувань поршневі кільця контрольного двигуна втратили запас міцності. На робочій поверхні кілець був зформований досить нерівномірний циліндричний пояс. Такий стан унеможлилював перехід спряжень ЦПГ на режим нормального зношування. У зв'язку з цим, кільця 4-ї групи якості було рекомендовано використовувати лише за особливих умов доведення [16].

Функціональні властивості двигунів у значній мірі залежали від НДС кілець: у двигуна після 40 хв. обкатки і стендових випробувань вигорання оливи по відношенню до витраченого палива становило 0,71 %, у двигуна після 80 хв. обкатки – 0,85 %, а у контрольного двигуна - 0,91 %.

### Висновки:

1. Для визначення технічного стану поршневих кілець достатньо встановити відстань між краями у замку у вільному стані кільця та силу їх стиснення до робочого зазору між краями замка. Мала відстань свідчить про значну жорсткість кілець, а велика – про велику ймовірність швидко втратити запас міцності. Після визначення

сили стиснення, за методикою [17], можна визначити рівень пружності і пристосовуваності кілець.

2. Спосіб ВД деталей КШМ і ЦПГ дозволяє покращити функціональні властивості ДВЗ, зокрема підвищити зносостійкість цих деталей і зменшити втрати оливи на вигорання. Для покращення поверхневої і об'ємної будови та НДС чавуну і хромового покриття кілець необхідні металографічні дослідження та не традиційні заходи технологічного і металургійного характеру.

## Список літератури

1. Гуков Я.С., Грицишин Н.І. Наукові основи технічної політики в аграрному секторі в Україні / «Механізація та електрифікація сільського господарства». Між від. темат. наук. зб. – Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2006. – Вип. 90. – С.4-15.
2. Канарчук В.Є., Полянський С.К., Дмитрієв М.М. Надійність машин: Підручник. – К: Либідь, 2003. – 424 с.
3. Гречихин Л.И. Двигатели внутреннего сгорания. Физические основы технической диагностики и оптимального управления. – Мн.: Наука и техника, 1995. – 270 с.
4. Машков О.В., Семашко Н.А. Акустическая эмиссия при смене механизмов деформации пластических конструкционных материалов // Физическая мезомеханика. – 2004. – Т. 7. №6. – С.59-62.
5. Гречихин Л.И., Шумский И.П. Непрерывный автоматический контроль надежности и долговечности отдельных конструкций сложной механической системы / «Прогресивні технології і системи машинобудування» Міжнародн. зб. наук. пр. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – Вип. 32. – С.99-103.
6. Кушлянський В.Л., Клименко Т.В. Методика дифектації колінчастих валів двигунів / «Механізація та електрифікація сільського господарства». Між від. темат. наук. зб. – Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2004. – Вип. 88. – С. 120-127.
7. Селиванов А.И. Основы теории старения машин. – М.: Машиностроение, 1970. – 408 с.
8. К. Энглиш. Поршневые кольца / Пер. с нем. Под ред. В.К. Житомирского. – М.: Машгиз, 1963. – Т.2. – 368 с.
9. Шаронов Г.П. Применение присадок к маслам для ускорения приработки двигателей. – М.-Л.: Химия, 1965. – 223 с.
10. Венцель С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания. – М.: Химия, 1979. – 240 с.
11. Молдаванов В.П. и др. Производство поршневых колец двигателей внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1980. – 199 с.
12. Горбань В.Ф., Мамека Н.А., Печковский Э.П., Фирстов С.А. Идентификация структурного состояния материалов методом автоматического индентирования / Сб. докл. 2-го Международн. н.-т. симпозиума «Наноструктурные функциональные покрытия и материалы в промышленности». – Харьков: ННЦ «ХФТИ». – 2007. – С.52-55.
13. Патент 1811449, СССР, МКИ Б 23 Н9/12. Способ электрохимико-механической приработки деталей ЦПГ / В.П. Алексеев, Л.Н. Болдарь. – 1993. - Бюлл. № 15. – С.8.
14. Дизели тракторные СНД-14НГ и др. Технические требования на капитальный ремонт. ТК10-0.5.0001.018.-87. – М.: ГОСНИТИ, 1989. – 136 с.
15. Производственные испытания и внедрение в производство электрохимико-механической приработки сопряжений гильзы цилиндров – поршневые кольца и коленчатый вал – подшипники скольжения. Отчет о НИР № 11/81, № ГР 01.84.0.065090. – Ворошиловград: ВСХИ, 1984. – 393 с.
16. Розробка технології прискореної обкатки тракторних двигунів з використанням ЕХМП основних з'єднань: Звіт по НДР / Луганський сільськогосподарський інститут. – Луганськ: ЛСГІ, 1994. – 97 с.
17. Болдар Л.Н., Буйкін С.О., Константин О.В. Взаємне доведення деталей ЦПГ відремонтованих д.в.з. Напружено-деформований стан поршневих кілець / Зб. наук. праць ЛНАУ. Серія «Технічні наук». – Луганськ: Вид. ЛНАУ, 2006. - № 68(91). – С.27-35.
18. Болдар Л.Н., Буйкін С.О., Константин О.В. Вплив електрофізикохімічного доведення (макроприпрацювання) поршневих кілець на їх напружено-деформований стан / «Конструювання, виробництво та експлуатація с.г. машин». Загальнодерж. між від. н.-т. зб. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – С.198-204.
19. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1989. – 456 с.

20. Тракторные дизели: Справочник /Под общ. ред. Б.А. Взорова. – М.: Машиностроение, 1981. – 535 с.
21. Молдаванов В.П. Поршневые кольца ДВС.–М.: Россельхозиздат, 1985. –158с.

*Л. Болдар, О. Білогуров, В. Рибас*

**Влияние конструктивных и технологических факторов на напряженно-деформированное состояние поршневых колец и качество отремонтированных тракторных двигателей**

В статье приведены результаты исследований влияния на напряженно-деформированное состояние поршневых колец конструктивных и технологических факторов – формы, площади поперечного сечения, шероховатости поверхностей, микроструктуры чугуна и режимов обкатки.

*L. Boldar, O. Bilogurov, V. Rybas*

**The influence of constructions and technological factors on the tensely-deformed state of piston-rings and quality of repaired tractors engines**

The results of researches of influence on the tensely-deformed state of piston-rings of structural and technological factors – forms, areas of cross-sectional, roughness of surfaces, microstructure of cast-iron and modes of rolling are resulted in the article .

Одержано 07.09.09