

УДК 621.431.7/436+621.004.61/01-19:631.33

## **ВИСОКА ЯКІСТЬ ХРОМОВАНИХ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ – ЗАПОРУКА НАДІЙНОЇ РОБОТИ ВІДРЕМОНТОВАНИХ КОМБАЙНОВИХ І АВТОТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ.**

**Л. Болдар**, канд. техн. наук, **Г. Глущенко**, **М. Можасєв**,  
*Луганський національний аграрний університет*

*Досліджено можливість застосування ЕХО для покращення шорскості гальванічного хрому на перших компресійних кільцях комбайнових і автотракторних двигунів вітчизняного виробництва і виправлення хибного розміщення покриття на фасках між циліндричною і торцевими поверхнями.*

**Ключові слова:** ремонт двигунів, надійність, електрохімічна обробка, гальванічний хром, поршневе кільце, уривчастість дії чинників, нежорсткі складові електроду.

**Стан питання.** Відомо, що якість нових вітчизняних комбайнових і автотракторних двигунів (КіАТД) суттєво нижча, від якості закордонних. Порівнювати відремонтовані вітчизняні двигуни із закордонними взагалі не можна – хоча близько 75% всієї закордонної техніки є вторинною, тобто багаторазово відремонтованою. Вона надійно працює тому, що виробник відповідає за якість її складових протягом всього життєвого циклу. Як відомо, надійність – це властивість об'єкта виконувати задані виробником функції у межах, що задовольняють користувача. Елемент невизначеності при прогнозуванні, розрахунку і оцінюванні надійності з метою встановлення ширини цих меж має бути зведений до нуля. Разом з тим, в загальному вигляді, надійність розглядається як функція часу (рис. 1).



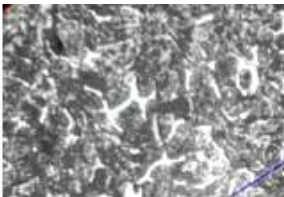
Рисунок 1 – Зміна лямбда-характеристики:

При цьому, період I, під час якого проявляються виробничі дефекти і слабкі елементи конструкції, і період III, в який відбувається зростання інтенсивності відмов у результаті старіння і зношування деталей, не

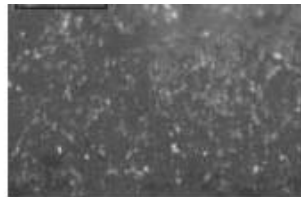
правомірно відносяться до експлуатації. Ці періоди не повинні приносити збитків користувачам, а моменти, коли вироби слід передавати їм і доцільно ремонтувати, або замінювати їх окремі складові, повинні визначатися виробниками. Для цього, виробники повинні постійно накопичувати досвід експлуатації техніки, вдосконалювати конструкцію її складових і поліпшувати технологічні процеси виготовлення та відновлення деталей. Зокрема, так діють кращі фірми розвинених країн. Цей принцип підкріплюється законами, за якими забороняється продавати техніку без організації її повного технічного обслуговування – перед продажем, в період гарантійного і післягарантійного використання. Спостереження за станом машин здійснюється у рамках планово-запобіжної системи обслуговування шляхом періодичного аналізу мастила. За таких умов використання і обслуговування, загальні витрати на виробництво техніки зменшуються у 4 – 5 разів. Такі підходи визначаються ООН, як «рециклінгова технологія» і рекомендуються до застосування в усіх країнах.

До «рециклінгової технології» на теренах країн СНД можна віднести альтернативні технологічні процеси (АТП) обособленого ремонту КіАТД, які розроблені у ЛНАУ. АТП дозволяють покращувати початкові показники макро і мікрогеометрії деталей, змінювати об'ємну і поверхневу мікроструктуру матеріалів, оптимізувати хід першого контактування деталей та початкові умови використання двигунів [1, 2].

**Проблеми та шляхи їх вирішення.** Відомо, що при знеособленому ремонті двигунів не вирішеною проблемою залишається забезпечення однакової швидкості спрацювання деталей у багатьох спряженнях. Справа у тому, що у відремонтованих двигунах використовуються відновлені різними методами деталі, не завжди якісні деталі із запасних частин [3] та деталі із значним залишковим ресурсом, матеріали яких раніше пристосувалися до дії робочих чинників, але після ремонту мають знову проходити цей шлях, вже за нових умов. Перш за все, це стосується стану поверхневих шарів і глибинних структур таких деталей, як поршневі кільця, гільзи циліндрів і вкладиші підшипників ковзання. Наприклад, якщо у ЦПГ працюють разом лише зовні однакові, але зовсім різні за будовою чавуну поршневі кільця (рис. 1), то годі чекати від них однакової працездатності.



а



б

Рисунок 2 – Будова чавуну у жосткого (а) і пружного (б) кілець, x500 [4]

Якщо після нанесення хрому на циліндричну поверхню 1-х поршневих кілець, покриття виходить аж на торцеві поверхні (рис. 2, а, в), то в двигуні це призводить до інтенсивного зношування, перш за все, канавок поршнів, а потім і всіх спряжень.

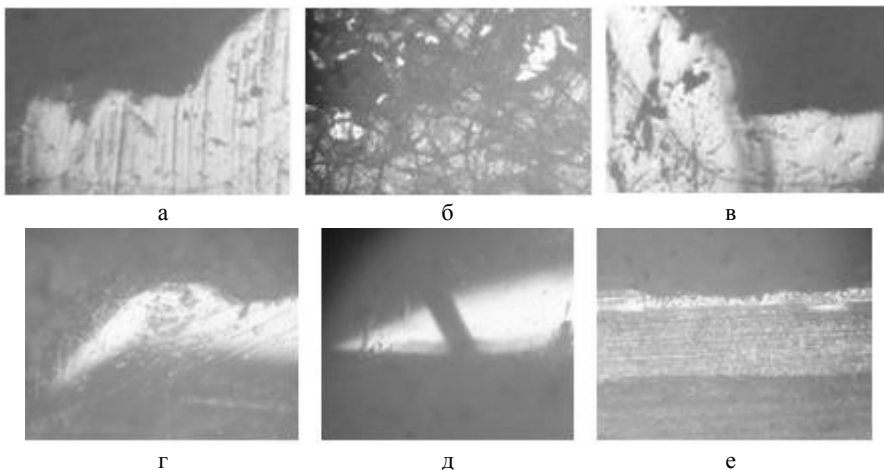


Рисунок 3 – Розміщення хрому на робочих поверхнях кільця вітчизняного (а – в) і закордонного виробництва (г – е) [5]

Однак, те що частинки хрому і окису алюмінію (сілуміни завжди вкриті надтвердою і тугоплавною плівкою  $Al_2O_3$ ) швидко поступали з оливою до всіх спряжень двигуна багато років вважалося «корисним» притиранням не точних деталей. Такими ж корисними вважалися і металовмісні присадки до олив, які нібито зводили знос деталей до нуля [6]. На рис. 2, б видно, що навіть після притирання кілець вітчизняного виробництва в умовах заводу-виробника, не якісний гальванічний хром на циліндричній поверхні кілець не ставав кращим. Часто, в середній частині кілець (по висоті), замість випуклості, спостерігається корсетність. При цьому, лише окремі глобули мають контактні плями.

У зв'язку з тим, що багато рекомендацій вчених стосовно початкової якості складових КіАТД ігнорувалося, вони не включалися до технічних умов на їх контролювання, з'явився висновок про те, що «даже полное выполнение действующих технических условий и процессов не гарантирует необходимого качества отремонтированных машин...» [7].

Якщо дослідити стан гальванічного покриття у кілець закордонного виробництва, то виявляється, що воно закриває лише кромки між циліндричною поверхнею і фасками (див. рис. 2, г) або ж поступово тонким шаром підходить до кромок (див. рис. 2, д) [5]. На циліндричній поверхні

гальванічний хром дуже вирівняний, в середній частині кільця покриття дещо випукле, а поверх нього розміщується тонкий захисний шар (див. рис. 2, е). На поверхні покриття не було помітно слідів від дії лезового інструменту. Очевидно, що при виготовленні цих кілець, використовувалися безконтактні методи обробки, наприклад, просторова електрохімічна обробка (ЕХО).

У зв'язку з цим, для розв'язання названих вище проблем, у рамках обособленого ремонту КіАТД та вимог «рециклінгової технології», нами були проведені дослідження з метою виявлення можливості застосування ЕХО для виправлення хибної форми перших компресійних кілець вітчизняного виробництва (ОЗПК), як нових, так і тих, які мають значний залишковий ресурс та покращення шоркості гальванічного хрому на їх циліндричній поверхні (ЦП).

**Обґрунтування методики досліджень.** Сформульоване завдання може бути розв'язаним на мікро і нано метрових рівнях лише за умов великого числа уривчастості дії основних чинників процесу ЕХО – електричного струму, електроліту та режиму його руху у міжелектродному зазорі (МЕЗ) [8]. Знімання хрому на фасках між ЦіТП та на ЦП має відбуватися без розвитку дифузійних, поляризаційних, концентраційних і інших обмежень, які, при використанні традиційних електролітів і режимів ЕХО, призводять до зниження точності обробки та погіршення якості поверхонь. Зокрема, без цих обмежень відбувається взаємне ЕХ доведення поршневих кілець з гільзами циліндрів і шийок колінчастого вала з вкладишами в корінних підшипниках ковзання, коли завдяки значному числу уривчастості дії напруги і сили струму у щільному і слабо електропровідному електроліті, відбувається миттєве розповсюдження плям електрохімічного контакту по номінальній площі деталей та стримування розвитку турбулентного режиму (рис. 4, а), який, за звичай, супроводжується глибинним струменевим розчиненням матеріалів.



а



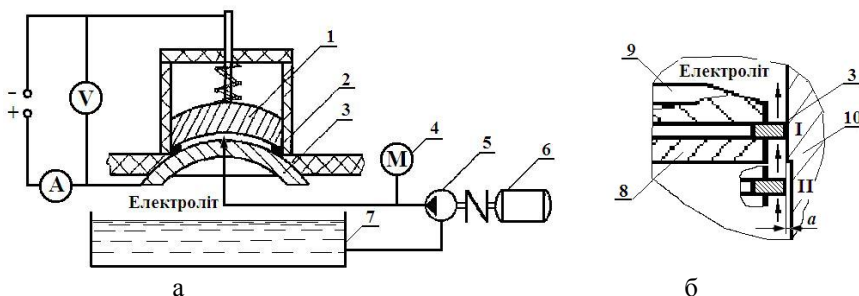
б

*а) на поверхні вкладиша підшипника; б) за умов плоскої течії рідини*

**Рисунок 4 – Турбулентні лінії і плями [3, 9]**

У найбільшій мірі, розвиток локального електрохімічного розчинення алюмінієвого сплаву вкладишів і хромового покриття на ЦП кільце стримувався сіткою ланцюгових молекул гліцерину [10]. Як відомо, вплив гліцерину на електролізні процеси вивчався ще у 40-х роках минулого століття (школа М.П.Федотьєва). Зокрема, у 50-х роках Ю.М. Петров встановив позитивний вплив гліцерину на дисперсність гальванічного заліза. У 70-х роках, дослідженнями М.О. Кишиневського і О.І. Дікусара (АН Молдови) було визначено, що при просторовій ЕХО деталей, сітка з ланцюгових молекул сприяє затуханню турбулентних пульсацій (див. рис. 4, б). Ці дослідження підтвердили гіпотезу Л.Д. Ландау і Ханретті (США) стосовно такої дії ланцюгових молекул.

Тож, з урахуванням цих даних, у наших дослідженнях був використаний електроліт, що складався з 40 об'ємних відсотків 20% розчину солі  $\text{NaNO}_3$  у воді і 60 об'ємних відсотків гліцерину марки «ч» [1]. Для рівномірного електрохімічного розчинення хрому, електроліт подавався в зазор між електродом 1 (рис. 5, а) і кільцем 3 з дуже малою витратою – від 10 мл/хв (це майже стоячий електроліт) до 100 мл/хв.



1 – катод; 2 – прокладка; 3 – кільце (анод); 4 – манометр;

5 – шестеренний насос; 6 – електродвигун постійного струму;

7 – бак; 8, 9 – відповідно, нижня і верхня пластини; 10 – чавунна гільза (катод)

Рисунок 5 – Установки для ЕХО покриття хрому на ЦП і на фасці кільця [11]: а) на обмеженій ділянці; б) по периметру

В комірці, що показана на рис. 5, а, кільце діаметром 110 мм охоплювалося катодом на ділянці довжиною 8 – 10 мм. Для забезпечення ідентичності умов (шорсткості хромового покриття), у кожній серії дослідів використовувалося одне і те ж кільце. Тривалість дослідів становила 6 хвилин, а повторність 3 – 5.

Початковий зазор у межах 10 – 30 мкм встановлювався між катодом 1 і кільцем 3 за допомогою діелектричних прокладок 2. Катод виготовлявся із чавунної гільзи з внутрішнім діаметром 110 мм. Продуктивність насоса (кількість і тиск електроліту) змінювалася за допомогою двигуна постійного

струму 5. Кількість електроліту, який прокачувався через комірку (через МЕЗ і через надкатодний простір) визначалася об'ємним методом.

В якості джерела струму використовувався випрямляч типу У-24. Сила струму та напруга вимірювалися, відповідно, амперметром і вольтметром кл. 0,5. Напруга змінювалася в межах від 4-х до 20 В.

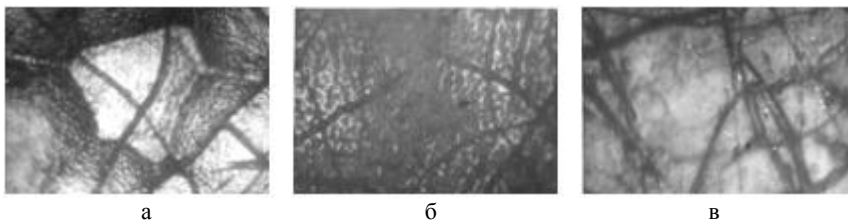
Шорсткість покриття на ЦП оцінювалася за допомогою профілографа-профілометра моделі 201. При оцінюванні стану покриття і його розміщення на робочих поверхнях використовувалися мікроскопи типу МБС - 10 і МИМ - 7.

Обробка хрому по всьому периметру кільця 3 (див. рис. 5, б) проводилася в технологічній гільзі 10. Спочатку кільце вільно розміщувалося в поз. I. Далі воно затискалося між пластинами 8 і 9 і разом з ними переміщалося вниз по вертикальній напрямній в поз. II (на рис. 5, б, напрямна не показана). Після подачі електроліту в зазор *a* (МЕЗ), пластинам надавалося обертання з частотою 50 хв<sup>-1</sup>. Глибина кругової проточки *a* дорівнювала  $110 \pm 10$  мкм. Електроліт подавався в МЕЗ з нижньої частини гільзи, з розходом від 400 мл/хв до 1600 мл/хв та з підпором 0,01 – 0,07 МПа.

Струм до кільця подавався через пластини 8 і 9, а до пластин – за допомогою щітково-колекторного вузла. Загальна тривалість дослідів становила 60 с. У одних дослідах показники струму були незмінними, а в інших – перші 30 або 50 секунд напруга і сила струму були дещо меншими, ніж під час слідуючих 30 або 10 секунд.

Два кільця перед дослідом були оброблені алмазно-абразивним шліфуванням і алмазно-абразивним поліруванням. При оцінюванні стану покриття використовувався мікроскоп типу МИМ – 7 і профілограф-профілометр моделі 201. Маса кілець визначалася за допомогою лабораторних терезів типу WA-31 (точність відліку – 0,1мг).

**Результати досліджень.** ЭХО кілець у окремій комірці (див. рис. 5, б) при нарузі 4 – 6 В, щільності струму 0,2 – 0,3 А/см<sup>2</sup> та при розходженні електроліту в межах 10 – 30 мл/хв, призводила лише до точкового та строчкового розчинення глобулів покриття (рис. 6, б).

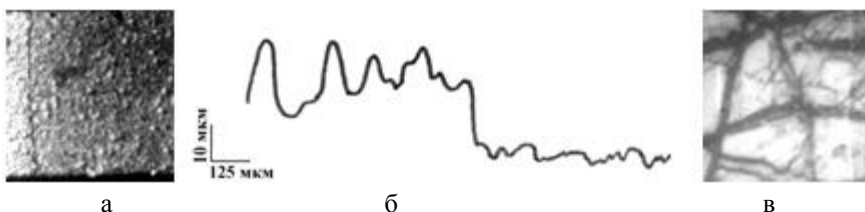


а) до ЭХО; б), в) після ЭХО, х500

Рисунок 6 – Поверхня покриття

При тій же напрузі і щільності струму, але із більшою витратою електроліту (80 – 100 мл/хв), глобулі покриття розчинилися на рівні мікшоршорсткості (див. рис. 6, в).

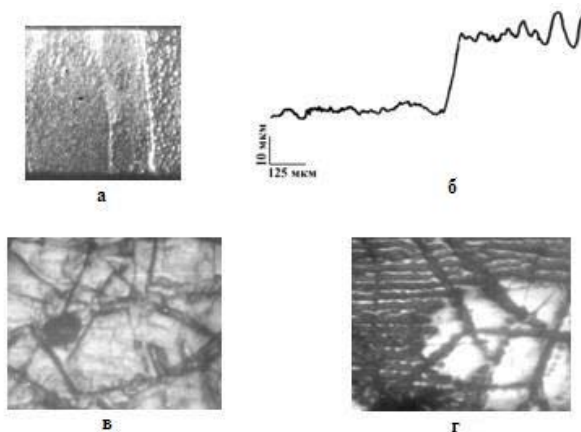
При напрузі 8 В і щільності струму 0,4 – 0,5 А/см<sup>2</sup>, та при розходуванні електроліту в межах 10 – 30 мл/хв, покриття розчинялося на глибину до 20 мкм (рис. 7, а, б), але окремі глобулі на поверхні і на кромці кільця залишалися незнятими (див. рис. 7, а, в).



а) загальний вигляд,  $\times 20$ ; б) мікропрофіль МЕЗ; в) після ЕХО,  $\times 500$

Рисунок 7 – Поверхня покриття

При напрузі 12 В і щільності струму 0,6 – 0,7 А/см<sup>2</sup> та розходуванні електроліту 80 – 100 мл/хв, відбувалося зняття значної кількості глобулів, особливо на вході в МЕЗ (рис. 8), однак далі, в середній частині кільця і на виході із МЕЗ, глобулі залишалися нерозчиненими.

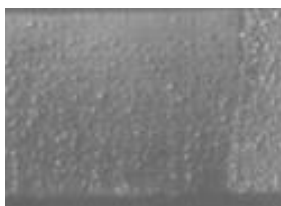


а) загальний вигляд,  $\times 20$ ; б) мікропрофіль МЕЗ; в) після ЕХО на вході електроліту в МЕЗ,  $\times 500$ ; г) після ЕХО на виході електроліту в МЕЗ,  $\times 500$

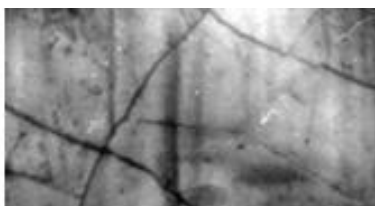
Рисунок 8 – Поверхня покриття

Основною причиною такого нерівномірного зняття хрому, очевидно, слід вважати газ, який завжди супроводжує процес ЕХО. Він поступово заповняв МЕЗ, відділяв кільце (анод) від катоду і, в кінцевому рахунку, призвів до локального строчкового розчинення хрому (див. рис. 8, г).

При збільшенні напруги і щільності струму, відповідно, до 20 В і до 1,0 – 1,2 А/см<sup>2</sup> та при витратах електроліту в межах 10 – 30 мл/хв, зняття глобулів супроводжувалося полірувальним ефектом (рис. 9, б).



а



б

а) загальний вигляд,  $\times 20$ ; б) після ЕХО,  $\times 500$

Рисунок 9 – Поверхня покриття

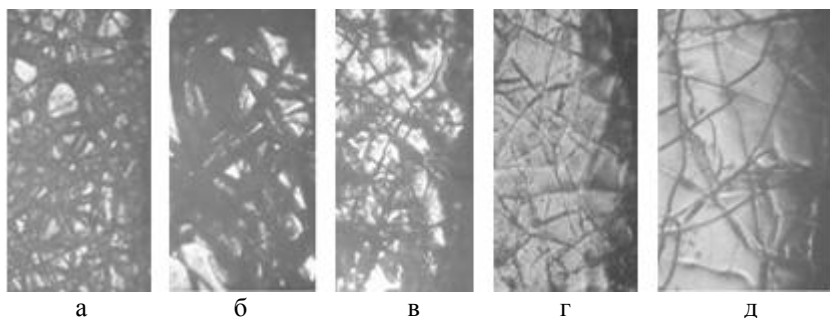
Наскільки збільшується ефективність обробки покриття по всій циліндричній поверхні кільця в спеціальній установці (див. рис. 5, б), при зростанні напруги від 6 до 12 В і при збільшенні витрат електроліту в межах від 400 до 1600 мл/хв, показано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати ЕХО циліндричної поверхні кільця

Дослід (кільце)	Розход електроліту, мл/хв / тиск, МПа	Тривалість дослід, с	Напруга, В / сила струму, А	Зняття хрому, мг
1 (19)	1500/0,02	30 + 30	6/15 - 10/30	184,7
2 (15)	600/0,01	30 + 30	8/20 - 12/30	188,2
3 (22)	600/0,01	60	12/30	195,5
4 (11)	600/0,01	50 + 10	12/28 - 12/25	210,3
5 (14)	(400-1600)/0,07	30 + 30	12/30 - 12/32	330,5

Так, у досліді 1, при розходуванні електроліту 1500 мл/хв і при його тискові 0,02 МПа, силі струму 15 і 30 А (щільність 0,15 і 0,30 А/см<sup>2</sup>) та при напрузі 6 і 10 В, зняття хрому становило 184,7 мг, а у досліді 5, при збільшенні тиску електроліту до 0,07 МПа, і сили струму до 30 і 32 А, зняття хрому становило 330,5 мг. При цьому у всіх кільцях глобулі хрому розчинялися з поліруючим ефектом (рис. 10).

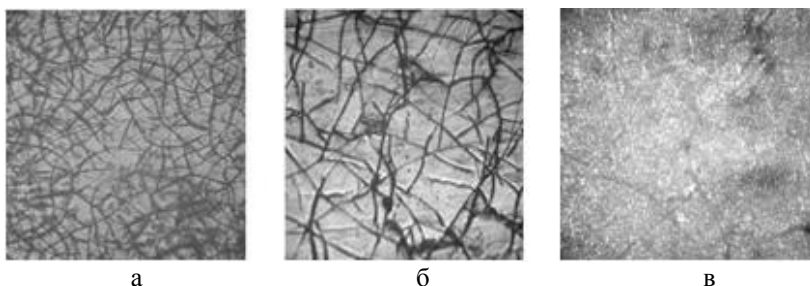




*а) 19; б) 22; в) 11; г) 14; д) 15, x300*

**Рисунок 10 – Вигляд гальванічного хрому на циліндричній поверхні поблизу правої кромки (перехід на праву фаску) у кільці**

У кільці 14 і 15 зняття хрому відбувалося і на кромках між циліндричною поверхнею і фасками (див. рис. 10, г і д). До ЕХО, покриття у кільця 14 характеризувалося дрібнозернистими глобулями і густою сіткою канавок, а покриття на циліндричній поверхні у кільця 15 було попередньо прошліфованим. Не зважаючи на полірування поверхні покриття, сітка канавок у цих кільці повністю збереглася (рис. 11, а і б).



*а) 14; б) 15; в) 17, x300*

**Рисунок 11 – Вигляд гальванічного хрому в середній частині циліндричної поверхні у кільці**

Покриття кільця 17 до ЕХО було прошліфоване і відполіроване. Після ЕХО, окрім каналів пористості і площинних ділянок між ними (див. рис. 11, в), на поверхні спостерігалася нанощорсткість, яка могла утворитися за рахунок ламінарного руху нежорстких ланцюгових складових електроліту [12]. Досить імовірно, що такий же ефект нанощорсткості може досягатися і у відполірованих у двигуні кільці, які мають значний залишковий ресурс і доводяться разом з поршнем і з новою або частково зношеною гільзою (у складі двигуна) [2].

### **Висновки:**

1. Показано, що тільки за умов залучення виробників до проведення повного технічного обслуговування і обособленого ремонту КіАТД можна забезпечити їм необхідну надійність і заощадити значні кошти при відновленні їх деталей.

2. Для розв'язання проблеми забезпечення однаково низької швидкості зношування деталей ЦПГ запропоновано застосувати ЕХО гальванічного покриття на робочих поверхнях однопоршневих кілець у електролітах із гліцеріном.

3. Випробувані режими ЕХО гальванічного покриття однопоршневих кілець двигуна Д-240, які, у подальшому дозволять виправляти хибну форму як нових, так і частково зношених кілець та покращувати шорсткість покриття на мікро- і нано-рівнях. Разом з тим, після електрохімічної правки кілець на зазорі, передбачається їх доведення з гільзами та поршнями у складі двигуна.

### **Література**

1. А.с. № 1045049 МКИ G 01M15/00. Способ приработки деталей / В.П. Алексеев, Л.Н. Болдарь, В.Д. Михалев (СССР) – № 3449488 / 25-06. Заявлено 09.06.82. Опубл. 30.09.83. – Бюл. № 36. – 2 с.

2. Пат. 1811449 СССР, МКИ G01M1500. Способ электрохимико-механической приработки деталей ЦПГ / В.П. Алексеев, Л.Н. Болдарь (СССР) - № 4927110/08. Заявл. 12.04.91. Опубл. 23.04.93. – Бюл. № 15. – 8 с.

3. Производственные испытания и внедрение в производство ЭХМП сопряженной гильзы цилиндров – поршневые кольца и коленчатый вал – подшипники скольжения [Текст]: отчет о НИР / Ворошиловградский сельскохозяйственный институт – №11/81; № ГР 0184.0.065090. – Ворошиловград: ВСХИ, 1984. – 393 с.

4. Розробка системи технічного сервісу сільськогосподарської техніки в АПК та технологічних процесів обробки деталей і технологічного середовища електрофізичними і електрохімічними методами [Текст]: звіт про НДР (заключний) / Луганський НАУ; кер. Л.Н. Болдар. № Держ. реєстр. 0109U000996. – Луганськ: ЛНАУ. – 2012. – 189 с.

5. Болдарь Л.Н. Исходно высокое качество деталей, сохраняемость свойств материалов и ремонтпригодность конструкции – основы надежности техники [Текст] / Л.Н. Болдарь, Г.М. Глущенко // Міжнародн. зб. наук. праць «Прогресивні технології і системи машинобудування». – Донецьк: ДонНТУ, 2013. – Вип. 3, 4 (45).

6. Караулов А.К. Актуальные вопросы теории и практического использования эффекта избирательного переноса (обзор) [Текст] / А.К.Караулов // Тезисы докл. Всесоюзн. н-т. конф. «Прогрессивные методы и средства защиты металлов и изделий от коррозии». – 1988. – Ч. III.

7. Баев А.С. Адаптивная сборка двигателей при ремонте [Текст] /А.С. Баев // Двигателестроение. – 1989. – №5. – С. 7–10.

8. Основы повышения точности электрохимического формообразования. [Текст] / Ю.Н. Петров, Г.Н. Корчагин, Г.Н. Зайдман, Б.П.Саушкин. – Кишинев: «Штиинца», 1978. – 152 с.

9. Турбулентность. [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_physics/2648](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/2648).

10. Болдар Л.Н. Наукові, теоретичні і технологічні основи обособленого ремонту складної сільськогосподарської техніки [Текст] / Л.Н. Болдар // Наук. вісник Луганського НАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Вид. ЛНАУ, 2013.

11. Алексеев В.П. Исследование возможности сглаживания хромированной поверхности поршневых колец электрохимическим способом. [Текст] / В.П. Алексеев, Л.Н. Болдарь, М.А. Можаяев // Зб. наук. праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки . – Луганськ: Вид-во ЛНАУ. – 1998. – Вып. 2 (4). – С.13-17.

12. Болдарь Л.Н. Структурная жесткость составляющих среды при электрофизикохимической доводке сопряжений деталей ДВС [Текст]/ Л.Н. Болдарь // Міжнародн. зб. наук. праць «Прогресивні технології і системи машинобудування». – Донецьк: ДонНТУ, 2007. – Вип. 34. – С. 18-25.

### **Аннотация**

*Исследована возможность применения ЭХО для улучшения шероховатости гальванического хрома на первых компрессионных кольцах комбайновых и автотракторных двигателей отечественного производства и исправления дефектов размещения покрытия на фасках между цилиндрической и торцевыми поверхностями.*

### **Summary**

*The possibility of EXO using to increase the roughness of chrome plating on the first compression rings of harvester and automotive engines of domestic production and defects correcting in the coating on facets between the cylindrical and end surfaces is studied.*