

- щук, Н.Н. Лободко, А.В. Поліщук // Сборник научных трудов SWorld. – Иваново: Маркова АД, 2013. – Вып. 4. – Т.15.– ЦИТ. 413-0995. – С. 12–19.
2. Эдер Б. Биогазовые установки / Барбара Эдер, Хайнц Шульц. – М.: Колос, 2006. – 240 с.
3. Поліщук В.М. Біотехнологічні основи виробництва біогазу / В.М. Поліщук, М.М. Лободко, О.В. Дубровіна // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2013. – Вып. 185. – Ч. 2 – С. 289–296.
4. Поліщук В.М. Вплив режимів метанового бродіння на ефективність виробництва біогазу / В.М. Поліщук, М.М. Лободко, О.В. Сидорчук, О.В. Поліщук // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2013. – Вып. 185. – Ч. 3. – С. 180–191.
5. Поліщук В.М. Експрес-метод визначення теплотворної здатності біогазу / В.М. Поліщук, В.Є. Василенков, М.М. Лободко, В.С. Волошин // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2012. – Вып. 174. – Ч. 2 – С. 258–263.
6. СОУ 24.14-37-561:2007. Ефіри метилові жирних кислот для дизельних двигунів: – [Чинний від 2007-03-21] – Офіц. вид. – К.: Мінагрополітики України, 2007. – 14 с. – (Стандарт організації України).

Приведены результаты экспериментальных исследований производства биогаза при постепенной загрузке субстрата. Определена зависимость среднего выхода биогаза при постепенной подаче субстрата от процента обновляемого субстрата.

Биогаз, метантенк, косубстрат, постепенная загрузка, сырой глицерин, навоз КРС, биогазовый реактор.

The results of experimental studies of production of biogas at gradual loading of substrate. Determining the dependence of average yield of biogas at gradual supply of substrate from substrate percent updated.

Biogas digester, cosubstrate, progressive loading, crude glycerin, cattle manure, biogas reactor.

УДК 631.51.4

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПЛУНЖЕРНИХ ПАР ПАЛИВНИХ НАСОСІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

І.Л. Роговський, Л.Л. Роговський, кандидати технічних наук

Наведено результати досліджень властивостей і розмірів деталей плунжерних пар після відновлення азотуванням, оксидуванням, карбонітруванням і роторним хромуванням.

Плунжерні пари, способи відновлення, властивості, приріст розмірів.

© І.Л. Роговський, Л.Л. Роговський, 2015

Постановка проблеми. До 50% несправностей дизельних двигунів приходяться на паливну апаратуру. У найважчих умовах працюють плунжерні пари паливних насосів, зумовлених динамічними навантаженнями і високим тиском, наявністю агресивних компонентів і абразивних частин у паливі, зношуванням.

У зв'язку з великою кількістю плунжерних пар і трудомісткістю їх виготовлення доцільно відновлювати їх деталі, забезпечивши необхідними за технічними умовами їх властивості.

Аналіз останніх досліджень. При відновленні прецизійних плуженних пар, знос яких вимірюється десятками мікрометрів, є реальна можливість використати приріст розмірів деталей при хіміко-термічних методів зміцнення.

Так у роботі [1] встановлено, що газове азотування забезпечило приріст розмірів для сталі СК45 від 5 до 13 мкм, а сталі 41Cr4-10...28 мкм. При цьому азотування після поліпшення дало більший приріст ніж після нормалізації. Мікротвердість поверхні досягала 6000...11000 МПа залежно від складу сталей. Карбонітрування за температури 570°C, 6 год. збільшує діаметр зразків для сталі СК45 на 26...29 мкм, а легованої сталі 41Cr4 на 14...18 мкм.

Цементация [2] також призводить до приросту розмірів деталей. Так пластини із низько-вуглецевої сталі завтовшки 10мм після цементации за температури 910°C протягом 8 год. дали приріст розміру на 50 мкм, після наступного високого відпуску – 60 мкм, а після гартування і низького відпуску – 75 мкм. У стержнів із хромонікельмолібденової сталі діаметром 10 мм збільшення діаметра склало відповідно 35, 50, 55 мкм.

Істотне збільшення розмірів деталей забезпечує борування. Встановлено [3], що борування сталі 25Х5М5А в розплавах бури з карбідом бору за температур 950 і 1000°C протягом 2, 4 і 6 год. дало діаметральний приріст розмірів зразків на 28...56 мкм. Найбільший приріст (56...58 мкм) дає борування протягом 6 год. Борування за температури 1050°C протягом 6 год. дає значний приріст діаметра до 108 мкм. Однак після борування за температури 950°C з наступною термообробкою приріст розмірів зразків із сталі 25Х5МА менший і складає 18...24 мкм, а після борування за температур 1000 і 1050°C такий приріст ще менший – всього 4...18 мкм. Математичні залежності приросту розмірів сталевих і чавунних деталей після борування сталей 10, 30, У8, ШХ15, ХВГ залежно від температури процесу наведено в роботі [4]. Борування також збільшує зносостійкість сталі 25Х5МА в 2...3 рази, а наступне, після борування, гартування підвищує зносостійкість у 3,5...5 раз. Крім хіміко-термічних методів відновлення використовувалися залізнення, гальванічне електронапирання, хімічне нікелювання [5], які не рекомендовані через низьку

їх зносостійкість. Гальванічне хромування один із ефективних методів відновлення плунжерних пар, який забезпечує зносостійкість деталей вищу ніж для нових [6].

Вибір способів відновлення плунжерних пар визначається не лише досягненням необхідних розмірів але й забезпеченням підвищеної зносостійкості за рахунок твердості (мікротвердості), дисперсності карбідів, боридів та ін. твердих складових структури поверхневого шару.

Зносостійкість плунжерних пар залежить також від оптимального поєднання складу і властивостей матеріалу спряжених деталей, і в першу чергу їх поверхневих шарів [7]. Найвища зносостійкість досягається поєднанням різнойменних матеріалів, наприклад, електротехнічний хром і азотована сталь, що запобігає схвачуванню поверхонь тертя. Для забезпечення оптимального поєднання властивостей матеріалів деталей твердість (мікротвердість) спряжених поверхонь має відрізнятись на НВ 50...100.

Таким чином необхідно перевірити можливість відновлення плунжерних пар азотуванням, боруванням та іншими способами хіміко-термічної обробки та використання електролітичного хромування однієї з деталей пари спряження.

Мета досліджень. Порівняння властивостей деталей плунжерних пар паливних насосів дизельних двигунів після азотування, оксидитрування, карбонітрування і роторного хромування для вибору найефективніших способів і їх режимів, які забезпечують необхідні механічні властивості і розмірні характеристики відновлювальних деталей.

Результати досліджень. Було проведені дослідження зносу плунжерних пар паливних насосів ТНВД СМД-60, які поступають на капітальний ремонт (табл. 1).

1. Знос деталей плунжерних пар насосів.

Деталь	Спрацювання до капітального ремонту, мкм	
	максимальний	середній
Плунжер	10	8
Втулка	14	12
Дозатор	5	5

Деталі плунжерної пари насосів ТНВД СМД-60 виготовляються із сталі 25Х5М. У процесі виготовлення ці деталі піддаються азотуванню у дві стадії: 1-а стадія 510...520°C, 30 год ступінь дисоціації 20-35%; 2-а стадія – 550...560°C, 31 год, Ступінь дисоціації 40...60%, охолодження аміаком при 150°C, потім на повітрі. Після азотування твердість поверхні NV 8500; серцевини HRC 20...26, глибина азотованого шару 0,25...0,50 мм. Наведені дані (табл. 1) свідчать, що ма-

ксимальний знос деталей плунжерних пар насосів ТНВД СМД-60 досягають 5...14 мкм, при високій твердості поверхонь тертя.

Таким чином з точки зору зносостійкості плунжерних пар доцільно використовувати методи відновлення, які забезпечують високу твердість поверхневих шарів і приріст розмірів деталей більших за їх знос, що забезпечує їх відновлення. Дослідження були виконанні на зношених деталях плунжерних пар насоса ТНВД СМД-60, які піддавались газовому і рідкому азотуванню, карбонітруванню, оксикарбонітруванню з метою забезпечення ефективності і якості відновлення. Плунжери насосів ТНВД СМД-60 піддавались також роторному хромуванню. Після відновлення деталей наведеними способами зміна їх основних розмірів, наведена в табл. 2.

2. Зміна розмірів відновлених деталей плунжерних пар, мкм.

№ досл	Спосіб і режим відновлення	Збільшення діаметра плунжера	Зменшення діаметра отвору	
			корпуса (втулки)	дозатора
1	2	3	4	5
1	Заводський режим	12...19	11...21	8...12
2	Азотування за темп ератури 500...520 °С; ступінь дисоціації аміаку 20...40%; тривалість – 26 год	3...6	9...14	12...16
3	Ті ж умови; тривалість – 52 год.	8...10	9...18	5...18
4	Ті ж умови; тривалість – 78 год.	10...18	10...24	10...11
5	Азотування за темп ератури 590...610°С; ступінь дисоціації аміаку 40...60%; тривалість – 5 год; охолодження в оливі	20...45	26...37	18...45
6	Ті ж умови; тривалість – 6 год	30...36	20...32	10...37
7	Ціанування в розплаві 32% NaCNO, 38% KCl і 30% Na ₂ CO ₃ за т-ри 560...580°С – 5 год	9		
8	Ті ж умови тривалість 8 год	12		
9	Ті ж умови тривалість 10 год	10		
10	Оксикарбонітрування в аміаку, вуглекислому газі і продування парою за т-ри 620...640°С – 7 год. Охолодження в оливі	18...30	51...54	13...16

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5
11	Карбонітрування в аміаку і вуглекислому газі за т-ри 600...620°C – 8 год. Охолодження з піччю. Ступінь дисоціації аміаку 40...60%	37...38	40...53	15...18
12	Роторне хромування плунжера за т-ри 57...58°C; I=50А/дм ² , U=6...12В; тривалість – 60 хв.	48...50		

За даними табл. 2 азотування деталей плунжерних пар за заводським режимом забезпечує приріст діаметра плунжера 12...19 мкм, зменшення діаметра отвору корпусу до 11...21, дозатора до 8...12 мкм, що незначно перевищує їх допустимий знос при надходженні в ремонт (до 14 мкм).

Азотування за температури 500...520°C із збільшенням тривалості процесу з 26 до 78 год. дає незначний приріст діаметра плунжера в середньому від 4 до 14 мкм, зменшення діаметра отворів корпусу на 12...15 і дозатора на 10...12 мкм. Враховуючи наступне механічне оброблення азотування за заводським режимом і за температури 500...520°C не забезпечить відновлення деталей плунжерних пар.

Ціанування плунжерів тривалістю від 5 до 10 год дало приріст діаметра плунжера лише на 9...12 мкм, що менше ніж граничний знос і також не придатне для їх відновлення.

Серед досліджених способів відновлення деталей плунжерних пар найефективнішими є азотування деталей за температури 590...610°C тривалістю 5 год, оксикарбонітрування і карбонітруванні, а для плунжерів і роторне хромування.

Перевищення приросту розмірів деталей після цих способів відновлення над їх максимальним зносом до капітального ремонту наведено в табл. 3.

3. Різниця між зміною діаметра деталей плунжерних пар насоса ТНВД СМД-60 і максимальним їх зносом до капітального ремонту, мкм.

Спосіб відновлення	Приріст діаметра плунжера	Зменшення діаметра	
		корпуса	дозатора
Азотування за температури 590...610°C, 5 год.	10...35	12...23	13...30
оксикарбонітрування	8...20	37...40	8...11
карбонітрування	27...28	26...29	10...13
Роторне хромування	38...40		

Дані табл. 3 свідчать про достатній запас приросту діаметрів спряжених поверхонь деталей плунжерних пар паливних насосів дизельних двигунів для відновлення їх після капітального ремонту.

Для оцінки якості відновлення деталей плунжерних пар вимірювали мікротвердість їх робочих поверхонь, які наведені в табл. 4.

4. Мікротвердість робочих поверхонь плунжерних пар.

Спосіб відновлення (зміцнення)	Назва деталі	Мікротвердість, МПа
Азотування за заводським режимом	Плунжер новий	7930
Азотування за заводським режимом	Плунжер зношений	8350
Азотування за заводським режимом зношеного плунжер	Плунжер відновлений	7930
Азотування за температури 590...610°C, 5 год	Плунжер	5720
Аксикарбонітування	Корпус	5530
	Плунжер	6770
Карбонітування	Корпус	7180
	Плунжер	6110
Роторне хромування	Корпус	8240
	Плунжер	9560

За даними досліджень (табл. 4) нові, зношені і плунжери відновлені по заводському режиму мають мікротвердість поверхні 7930...8350 МПа. Відновлення азотуванням за температури 590...610°C забезпечує дещо меншу мікротвердість поверхонь плунжера і корпусу, яка складає 5530...5720 МПа.

Це зумовлено вищою температурою процесу азотування. Але як свідчать дослідження [1], виконані на азотованих сталях 28ХМЮА і 40Х, що азотування за вищих температур (620°C) значно перевершують зносостійкість цих сталей, азотованих за температури 560°C, хоч і мають меншу твердість.

Оксикарбонітування забезпечує мікротвердість робочих поверхонь плунжера і корпусу близьку до азотованих за заводським режимом деталей.

Карбонітування плунжера дало меншу мікротвердість 6110 МПа робочої поверхні, тоді як поверхня корпусу мала досить високу мікротвердість 8240 МПа.

Найвищу мікротвердість 9560 МПа відновленої поверхні плунжера було досягнуто після роторного хромування.

Для оцінки властивостей відновлених деталей у поверхневому шарі проведені вимірювання мікротвердості в їх перерізі.

Результати вимірювання мікротвердості в перерізі відновлених деталей подані на рис. 1 і рис. 2.

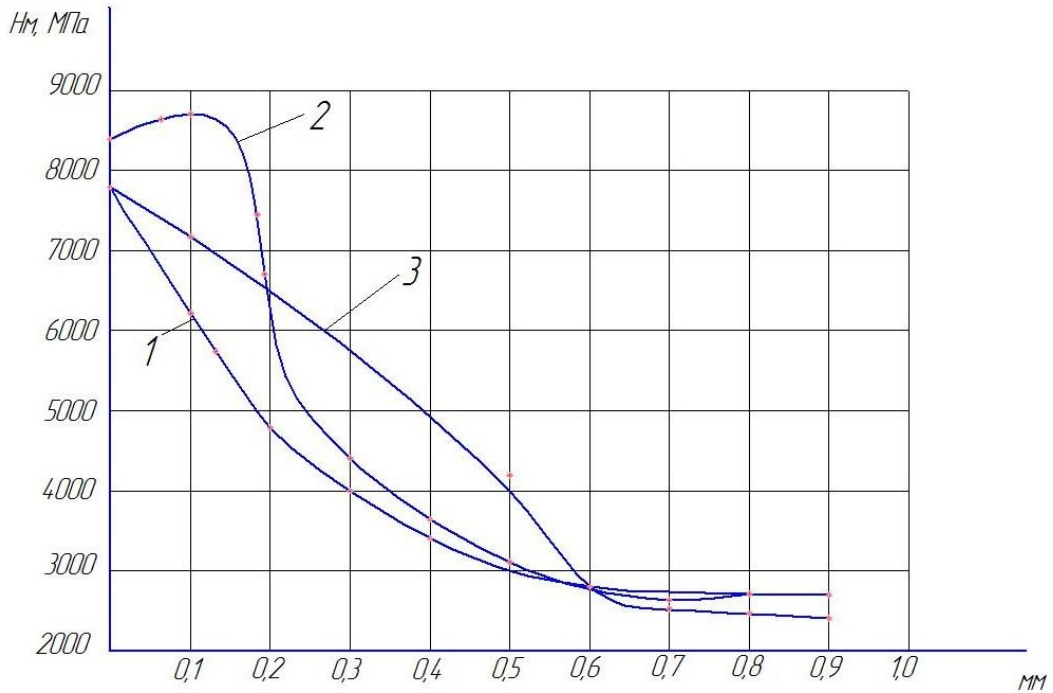


Рис. 1. Мікротвердість у перерізі плунжерів насоса ТНВД СМД-60; 1 – новий плунжер; 2 – зношений плунжер; 3 – плунжер відновлений азотуванням за заводським режимом.

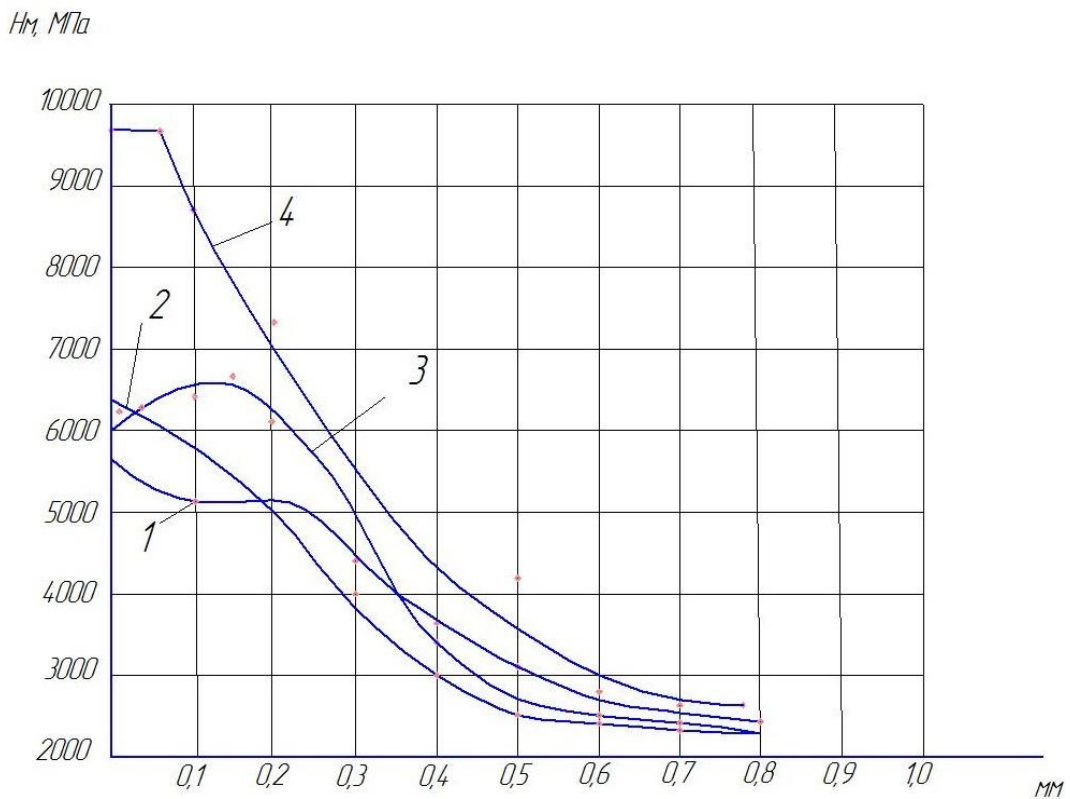


Рис. 2. Мікротвердість у перерізі плунжерів відновлених: 1 – азотуванням за 590...610°C; 2 – карбонітруванням; 3 – оксинітруванням; 4 – роторним хромуванням.

Встановлено, що мікротвердість нового (рис. 1, крива 1) і відновленого (рис. 1, крива 3) плунжерів на глибині до 0,1 мм складає 7200...7930 МПа. При цьому глибина азотованого (зміцненого) шару складала 0,2...0,3 мм для нового і зношеного плунжерів. Зношені плунжери навіть мали більшу до 8350...8590 МПа мікротвердість. Товщина зміцненого шару відновленого за заводським режимом плунжера (рис. 1, крива 3) досягала до 0,35...0,45 мм за більшої (4710...6370 МПа) мікротвердості на такій глибині.

Дослідження мікроструктури нових, зношених і відновлених за заводським режимом плунжерів засвідчило, що зміцнені шари мають структуру азотистого сорбіту, а серцевини сорбіту, не відрізняються між собою.

Як засвідчили дослідження відновлення зношених плунжерів азотуванням за температури 590...610°C, 7 год (рис. 2, крива 1) забезпечує дещо меншу мікротвердість 5210...5720 МПа на глибині до 0,15 мм, за дещо більшої глибини азотованого шару 0,35...0,4 мм.

Карбонітрування дає вищу 5350...6110 МПа (рис. 2, крива 2) мікротвердість поверхневого шару на глибині до 0,15 мм ніж азотування за температури 590...610°C (рис. 2, крива 1) при глибині зміцненого шару 0,2...0,3 мм.

Оксікарбонітрування (рис. 2, крива 3) забезпечує ще вищу мікротвердість поверхневого шару ніж карбонітрування, яка на глибині 0,1...0,2 мм складає 6370...6770 МПа за глибини зміцненого шару 0,25...0,35 мм.

Найбільшу мікротвердість 9560...10150 МПа поверхневого шару плунжера забезпечує роторне хромування (рис. 2, крива 4). Товщина шару хрому досягає до 50 мкм. Значного вища мікротвердість 7180...8380 МПа поверхневого шару на глибині до 0,2 мм порівняно з іншими способами відновлення. Крім того загальна товщина зміцненого шару більша і досягає 0,3...0,4 мм.

Мікроструктура серцевини відновлених цими способами плунжерів істотно не відрізняються порівняно із азотуванням за заводським режимом.

Висновки

За результатами виконаних досліджень ефективності способів відновлення деталей плунжерних пар паливних насосів ТНВД СМД-60 можна зробити такі висновки.

1. Деталі плунжерних пар паливних насосів не можна відновити азотуванням за заводським режимом, бо зміна (приріст) діаметрів їх робочих поверхонь складає: для плунжера 12...19 мкм, корпусу 11...21 мкм, дозатора 8...12 мкм, що є недостатнім тому, що максимальний знос складає для плунжера – 10 мкм, корпусу – 14 мкм, дозатора 5 мкм і необхідне шліфування та притирання цих деталей.

2. Азотування за температури 500...520°C і тривалості 26, 52 і 78 год забезпечує збільшення діаметра плунжера на 3...18 мкм, зменшення діаметрів отвору корпусу на 9...24 мкм і дозатора на 5...18 мкм, що недостатньо для відновлення цих деталей.

3. Ціанування плунжерів тривалістю 5,8 і 10 год дає прирість його діаметра лише на 9...12 мкм, що недостатньо для відновлення.

4. Деталі плунжерних пар можна відновити азотуванням за температури 590...610°C протягом 5 год, оксикарбонітруванням, карбонітруванням і роторним хромуванням.

5. Азотування за температури 590...610°C, 5 год, оксикарбонітрування і карбонітрування забезпечують приріст розмірів відновлених деталей: для плунжера, відповідно, 20...45 мкм, 18...30 мкм і 37...38 мкм; для корпусу, відповідно, 26...37 мкм; 51...54 мкм і 40...53 мкм; для дозатора, відповідно, 18...45 мкм; 13...16 мкм і 15...18 мкм, що значно перевершує максимальний знос цих деталей.

6. Перевищення приросту розмірів робочих поверхонь деталей плунжерних пар над їх зносом складає:

- після азотування за температури 590...610°C, 5 год для плунжера 10...35 мкм; корпусу – 12...23 мкм і дозатора 13...30 мкм;

- після оксикарбонітрування: для плунжерів 8...20 мкм, корпусу 37...40 мкм, дозатора 13...30 мкм;

- після карбонітрування: для плунжера 27...28 мкм, корпусу 26...29 мкм, дозатора 13-30 мкм;

- після роторного хромування плунжера 38...40 мкм.

7. Мікротвердість поверхні відновлених деталей складає після:

- азотування плунжера за заводським режимом ту ж, що й для нового – 7930 МПа;

- азотування плунжера і корпусу за температури 590...610°C, 5 год значно менша – 5530...5720 МПа;

- оксикарбонітрування – 6770...7180 МПа, а карбонітрування – 6110...8240 МПа;

- роторного хромування плунжера – 9560 МПа.

8. Товщина зміцненого шару відновлених деталей склала після:

- азотування за заводським режимом 0,35...0,45 мм при мікротвердості 4710...6370 МПа;

- азотування за температури 590...610°C – 0,35...0,4 мм при мікротвердості 5210...5720 МПа;

- карбонітрування 0,2...0,3 мм при мікротвердості 5350...6110 МПа;

- оксикарбонітрування – 0,25...0,35 мм при мікротвердості 6370...6670 МПа;

- роторного хромування до 50 мкм при мікротвердості шару 9560...10150 МПа.

Список літератури

1. *Роговський І.Л.* Фактори впливу на надійність сільськогосподарських машин в системі технічного обслуговування / *І.Л. Роговський* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2011. – Вип. 166, ч. 2. – С. 244–253.
2. *Роговський І.Л.* Стандартизація оцінки технічного рівня сільськогосподарських машин / *І.Л. Роговський, О.В. Дубровіна* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2012. – Вип. 170, ч. 1. – С. 236–246.
3. *Роговський Іван.* Методика прогнозування остаточного ресурса механізмів сільськогосподарських машин / *Іван Роговський, Ольга Дубровіна* // *Motrol: Motorization and power industry in agriculture.* – 2012. – Том 14, №3. – Р. 200–205.
4. *Роговський І.Л.* Пристрої для перевірки прецизійних пар паливних насосів і системи паливободачі низького тиску сільськогосподарських машин / *І.Л. Роговський, Д.Ю. Калініченко, В.Л. Кушлянський* // Збірник тез доповідей XIII всеукраїнської конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування» (11-15 березня 2013 року) / Навчально-науковий технічний інститут Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2013. – С. 121–122.
5. *Большаков В.Н.* Необхідність моніторингу в інноваційній діяльності АПК України в межах правового регулювання / *В.Н. Большаков, І.Л. Роговський* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2013. – Вип. 185, ч. 2. – С. 384–390.
6. *Большаков В.Н.* Моніторинг техніки – джерело інноваційної політики в АПК України в межах правового регулювання / *В.Н. Большаков, І.Л. Роговський* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2013. – Вип. 185, ч. 3. – С. 334–338.
7. *Мельник В.І.* Функціонування ринків в проєкті інженерно-технічного забезпечення агропромислового комплексу / *В.І. Мельник, З.В. Ружилю, І.Л. Роговський, С.З. Хмельовська* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2014. – Вип. 196, ч. 1. – С. 366–376.
8. *Роговський І.Л.* Стохастичність забезпечення працездатності сільськогосподарських машин / *І.Л. Роговський* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2014. – Вип. 196, ч. 3. – С. 226–232.

Приведены результаты исследования свойств и изменения размеров деталей плунжерных пар топливных насосов после восстановления азотированием, оксикарбонитрированием, карбонитрированием и роторным хромированием.

Плунжерные пары, восстановление, способы, свойства.

Results of research of properties and change of sizes of details of plunger pairs of fuel pumps after restoration are given by nitriding, an oxidized carbon nitridation, carbon nitridation and chromium of rotor plating.

Plunger couples, restoration, ways, properties.