УДК 621.01.357; 669.268.83

В.В. Остапович
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗМІННИХ ДЕТАЛЕЙ ПОРШНЕВИХ НАСОСІВ ДВОСТОРОННЬОЇ ДІЇ

Встановлено характер та причини руйнування втулок циліндрових і штоків поршнів, які працюють при зворотно-поступовому русі в середовищі промивної рідини, що містить у своєму складі абразивні частинки. Описано методи підвищення довговічності деталей. Відзначено переваги застосування технологічних методів, а саме – нанесення зносостійких покриттів, які використовують як при виготовленні нових, так і відновлені зношених деталей. Розроблено конструкції електрохімічних комірок для хромування в проточному електроліті втулок і штоків, а також технологічний процес зміцнення. Досліджено зміну мікротвердості по товщині шару покриттів та зносостійкість хромових і боридних покриттів в умовах тертя в парі з гумою в середовищі промивної рідини з абразивом. Показано, що боридні покриття мають вищу мікротвердість ніж хромові покриття, але нижчу зносостійкість від хромових покриттів, нанесених в проточному електроліті. Хромування в проточному електроліті забезпечує велику швидкість осадження, рівномірне нанесення покриття, яке має високу мікротвердість і зносостійкість порівняно з хромуванням у спокійному електроліті. Крім цього при нанесенні покриття в проточному електроліті забезпечується незначна зміна шорсткості поверхні.

Ключові слова: *втулка циліндрова, шток поршня, технологічний процес, хромове покриття, шорсткість, мікротвердість, зносостійкість, ресурс роботи.*

Рис. 7. Табл. 1. Літ.

В.В. Остапович

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УКРЕПЛЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СМЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОРШНЕВЫХ НАСОСОВ ДВУСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ

Установлен характер и причины разрушения втулок цилиндровых и штоков поршней, которые работают при возвратно-постепенном движении в среде промывочной жидкости, содержащей в своем составе абразивные частицы. Описаны методы повышения долговечности деталей. Отмечены преимущества применения технологических методов, а именно - нанесение износостойких покрытий, используемых как при изготовлении новых, так и восстановлении изношенных деталей. Разработаны конструкции электрохимических ячеек для хромирования в проточном электролите втулок и штоков, а также технологический процесс упрочнения. Исследовано изменение микротвердости по толщине слоя покрытий и износостойкость хромовых и боридных покрытий в условиях трения в паре с резиной в среде промывочной жидкости с абразивом. Показано, что боридные покрытия имеют микротвердость выше чем хромовые покрытия, но ниже износостойкость от хромовых покрытий, нанесенных в проточном электролите. Хромирование в проточном электролите обеспечивает большую скорость осаждения, равномерное нанесение покрытия, которое имеет высокую микротвердость и износостойкость по сравнению с хромированием в спокойном электролите. Кроме этого при нанесении покрытия в проточном электролите обеспечивается незначительное изменение шероховатости поверхности.

Ключевые слова: *втулка цилиндровая, шток поршня, технологический процесс, хромовое покрытие, шероховатость, микротвердость, износостойкость, ресурс работы.*

V. Ostapovych

THE IMPACT OF THE STRENGTHENING TECHNOLOGY AT THE QUALITY INDICATORS AND OPERATING CHARACTERISTICS OF REMOVABLE PARTS OF DOUBLE-ACTING PISTON PUMPS

There is made the analysis of the working conditions of double-acting piston pumps. There are defined the types and causes of destruction of removable parts of hydraulic pumps: cylinder sleeves and piston rods operating at the back and progressive movement in the drilling fluid medium that contains abrasive particles composed of rock. The basic methods for improving the durability of the parts are described: design, technology and performance. The benefits of applying technological methods are defined, namely, wear-resistant coatings, which are used for manufacturing new and restoring worn-out parts. There are made the designs of electrochemical cells for chroming at the flow electrolyte of cylinder sleeves and piston rods, and technological process of strengthening. The change in micro hardness at the coating thickness and durability of chrome and boron coatings in terms of reversing friction with the rubber in the drilling fluid medium with abrasive is studied. It is shown that boron coatings have higher microhardness than chromium coatings, but lower wear resistance than chromium coatings deposited in flowing electrolyte.

Keywords: *cylinder sleeve, piston rod, technological process, chrome coating, roughness, microhardness, wear resistance, service life.*

Вступ. Для забезпечення зростаючих потреб у нафті та газі необхідно збільшувати обсяги буріння, тому до надійності та ефективності бурового обладнання ставляться підвищені вимоги. Буровий поршневий насос входить до складу насосно-циркуляційної системи і забезпечує

© В.В. Остапович

неперервну подачу під тиском промивальної рідини через колону бурильних труб для очищення вибою свердловини і долота від частинок зруйнованої долотом гірської породи, винесення цієї породи на дану поверхню, охолодження та змащування бурового інструменту при роторному бурінні.

При турбінному бурінні поршневий насос крім цього забезпечує також і підведення енергії до гідравлічного вибійного двигуна, який обертає долото. Підняту із свердловини промивну рідину очищають від шламу та газів і знову подають на вхід поршневого насоса. Повністю очистити промивну рідину від абразивних частинок складно. Високі тиски нагнітання, наявність абразивних частинок та агресивність компонентів промивної рідини призводять до інтенсивного зношування деталей гідравлічної частини поршневих насосів: циліндро-поршневої групи (втулка циліндрова і поршень); штоків поршнів та їх ущільнень; клапанів (сідло і тарілка), які необхідно періодично замінювати новими.

В склад бурового обладнання входить один робочий, а другий резервний насос тому, що відмова насоса підчас буріння може спричинити аварію в результаті припинення промивання свердловин та призвести до великих матеріальних втрат.

Змінні деталі поршневих насосів працюють в умовах знакозмінних навантажень, при підвищених температурах у середовищі промивної рідини, в складі якої є корозійно-активні компоненти, а також абразивні частини гірської породи, при цьому суттєвий вплив на швидкий вихід їх з ладу мають явища зношування, хімічної та електрохімічної корозії, корозійної втоми, старіння, термодеструкції тощо.

Тому підвищення довговічності (зносостійкості) змінних деталей бурових поршневих насосів двосторонньої дії є актуальним і має важливе як наукове, так і практичне значення.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Змінні деталі гідравлічної частини насоса мають низький ресурс роботи, тому для підвищення їх довговічності використовують такі методи: конструкційні, технологічні та експлуатаційні.

Конструкційні методи ґрунтуються на раціональному виборі матеріалів (металу, пластику, гуми), застосування біметалевих втулок циліндрових [1], конфігурації ущільнень, призначенні раціональних зазорів і натягів у рухомих з’єднаннях, підведені мастила в зону тертя металево-гумової пари, розвантаження елементів пари тертя, компенсацію зношування ущільнюючих елементів, а також надання додаткових рухів деталям пари тертя при їх переміщенні, застосування гідрозахисту. Конструкційні – зазвичай можливо реалізувати на стадії проектування нових насосів.

Серед експлуатаційних методів підвищення довговічності змінних деталей поршневого бурового насоса можна виділити такі:

- ретельне очищення промивальної рідини від частинок гірської породи, які мають високу твердість (застосування вібросит, які широко розповсюджені в практиці буріння не забезпечують високої ступені очищення, тому застосовують гідроциклони, або центрифуги);
- застосування відцентрових насосів для закачування промивної рідини в поршневий насос з метою покращення його наповнення при циклі всмоктування;
- зниження частоти подвійних ходів поршнів (за рахунок використання шківів більшого діаметра на вхідному валу насоса) забезпечує покращення всмоктувальної спроможності насоса, запобігає появленню кавітації та гідравлічних ударів і зменшує швидкість зношування деталей.

Експлуатаційні методи не повною мірою задовольняють вимоги технології буріння, оскільки в процесі очищення разом із частинками гірської породи від промивної рідини відділяються обважнювачі, що призводить до додаткових витрат (потребують закупівлі обладнання для очищення промивної рідини).

Технологічні методи підвищення довговічності деталей бурового насоса базуються на ідеях підвищення твердості поверхні, створення сприятливого напруженого стану і регулярного мікрорельєфу поверхні, точності виготовлення, урахування принципів спадковості. Твердість підвищують за рахунок використання об’ємного гартування і поверхневого гартування струмами високої частоти (СВЧ), поверхневого пластичного зміцнення, формування різного роду покриттів на робочих поверхнях деталей.

Покриття формують такими основними способами:

- поверхневим пластичним деформуванням[2–4];
- хіміко-термічною обробкою (цементація, боридування, азотування тощо)[1];
- газотермічним напиленням (плазмове, електродугове тощо)[5, 6];

© В.В. Остапович

– електрохімічним осадженням із електроліту (хромування)[7–10];
– методом електроіскрового легування [11];
– комбінованими методами [12].

У поршневих бурових насосах застосовують змінні деталі, які працюють в екстремальних умовах, швидко зношуються і мають невеликий ресурс роботи, то особливу увагу звертають на технологічні методи, які є перспективними, оскільки зміцнені деталі встановлюють на насоси, які є на буровій (зазвичай один робочий, а другий – резервний). Перспективним методом електрохімічного нанесення є хромування в проточному електроліті [7] однак в технічній та патентній літературі практично відсутні відомості про застосування даного методу для зміцнення деталей поршневих насосів.

Ціль та задачі дослідження. Метою роботи є дослідження зношування втулок циліндрових і штоків поршня насоса двосторонньої дії та розробка технології зміцнення робочих поверхонь хромовими покриттями для підвищення довговічності деталей.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

– визначити довжину зони зношування втулок циліндрових і штоків поршня і обґрунтувати можливість відновлення зношених деталей;
– розробити конструкції електрохімічних комірок для хромування в проточному електроліті та технологічний процес зміцнення деталей;
– дослідити вплив зміцнення на показники якості поверхні та експлуатаційні властивості втулок циліндрових і штоків поршня.

Матеріали та методи дослідження.

Для ступеневого регулювання продуктивності (подачі) бурові поршневі насоси споряджаються втулками циліндровими (рис. 1а), які є змінними деталями. За конструкцією втулки циліндрові бувають гладкі або із буртом на зовнішній поверхні. Наприклад, для насоса УНБ-600 втулки мають зовнішню циліндричну поверхню однакового діаметру ∅230f9 по якій базуються в корпусі гідравлічної частини по посадці із зазором. Внутрішній діаметр втулки циліндрової виконаний з допуском по H11. Зазвичай насос комплектується втулками циліндровими з внутрішнім діаметром: 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200 мм. У втулці циліндровій рухається гумово-металевий поршень, який самоущільнюється і забезпечує перекачування промивної рідини. Для виготовлення втулок циліндрових використовують сталі: 15, 20, 12, 12ХН2, 12ХН3 та інші, які піддають цементуванню; сталь 45, яку піддають боруванню; сталь 70 піддають гартуванню струмами високої частоти на глибину 3 – 6 мм для забезпечення отримання твердості робочої поверхні HRC 60 – 62. Шорсткість внутрішньої поверхні втулки циліндрової становити Ra=0,32.

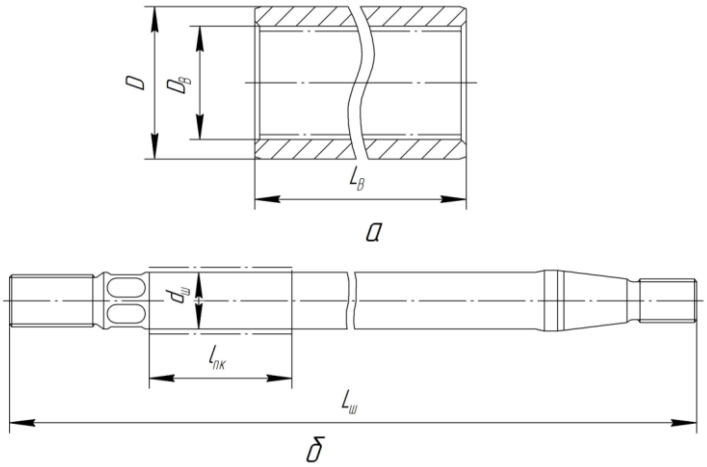


Рис. 1. **Змінні деталі гідравлічної частини поршневого насоса двосторонньої дії: а – втулка циліндрова; б – шток поршня**

Враховуючи те, що втулки циліндрові мають такий ряд типорозмірів, то зношені втулки доцільно використовувати як заготовки при їх розточуванні на більший типорозмір внутрішнього діаметру.

Шток поршня (рис. 1б) служить для передачі потужності (переміщення) від повзуна (крейцкопфа) механічної частини поршню гідравлічної частини. За будовою штоки поділяють на суцільні та складені. Перші застосовують в конструкціях малих насосів, а другі – у великих

потужних насосах. Штоки виготовляють із таких марок сталей: – легованих (12ХН2 або 20ХН3А), які піддають цементації, або із конструкційних сталей (40Х, 40ХН, 38ХМЮН), які гартують струмом високої частоти на глибину 2 – 5 мм до твердості HRC 52 – 58. Для забезпечення стійкості проти корозійно-втомного руйнування при циклічному навантаженні твердість основного перерізу (серцевини штока повинна становити НВ 280 – 320.

Місця виходу штока поршня із гідравлічної частини насоса і штока повзуна із механічної частини ущільнюють сальниковими ущільненнями. Поверхня штока поршня найбільше зношується в зоні її контактування із манжетами ущільнення гідравлічної коробки. Тут він знаходиться в корозійному середовищі під дією високих контактних тисків на поверхню тертя, напружень (стиску-розтягу) в тілі при високій температурі, а також в умовах присутності абразивних частинок гірської породи або компонентів, які служать обважнювачами промивальної рідини (барит, гематит, тощо).

Шток – це довгомірна деталь ($L_ш/d_ш$=19,2), точність виготовлення робочої поверхні ∅70е8 Шорсткість робочої зовнішньої поверхні на довжині дещо більшій від суми довжин ходу поршня насоса і довжини його сальникового ущільнення становить R_a 0,32 мкм.

При дослідженні характеру зношування штоків і циліндрових втулок (рис. 1) застосовували універсальну лімбову ділильну головку і магнітну стійку з індикатором годинникового типу. При цьому здійснювали строге орієнтування деталей аналогічно тому, як вони були встановлені у поршневому насосі при його експлуатації для встановлення впливу похибок виготовлення, складання, а також і стирання в процесі роботи деталей механічної частини (напрямних станини і напрямних крейцкопфа) на зношування деталей гідравлічної частини. Шток закріплювали в центрі ділильної головки і в центрі бабки, а циліндрову втулку – в самоцентрувальному трикулачковому патроні. За результатами вимірювань будували профілографи та круглограми зношеної робочої частини деталей. Після проведення вимірювань вздовж осі деталі її періодично повертали на 30^0 і знімали профілограми зношеної поверхні, які схематично зображені на рис. 2, а також вимірювали діаметр із кроком 15…50 мм вздовж твірної деталі.

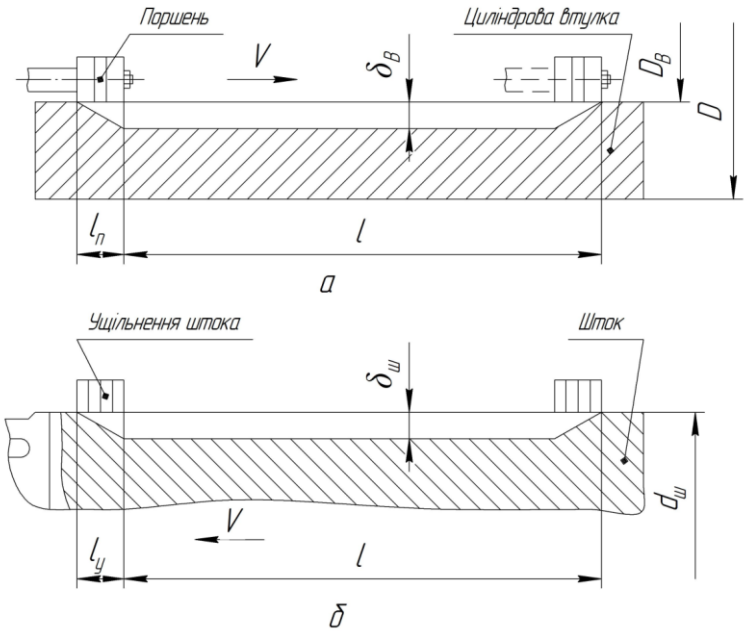


Рис. 2. **Схема зношування деталей гідравлічної частини поршневого насоса двосторонньої дії: а – втулки циліндрової; б – штока поршня**

Із рис. 2а видно, що довжина зношеної зони втулки циліндрової складається з суми довжини ходу насоса l і довжини гумово-металевого $l_п$, а довжина зношеної зони штока поршня складається з суми довжини ходу насоса l і довжини гумового ущільнення $l_у$. Ця зона має трапецевидну форму.

Зношені деталі можна використовувати як заготовки при відновленні у випадку втрати діаметрального розміру на 0,5…0,6 мм (штоки поршнів і циліндрові втулки). У випадку циліндрових втулок із діаметром 130 мм і більше їх можна переточувати і використовувати як заготовки деталей із наступним типорозміром діаметра.

© В.В. Остапович

Дослідження процесу нанесення покриттів проводили на зразках із сталей, які використовують для виготовлення деталей поршневих насосів: сталь 45, сталь 70 (ГОСТ 1050-88), сталь 40Х (ГОСТ 4543-71).

Для зміцнення робочих поверхонь деталей було розроблено технологічні процеси: борування в порошкоподібній суміші, а також електрохімічного хромування в проточному електроліті.

Вибір борування в порошкоподібній суміші був обумовлений технологічністю процесу, простотою оснащення та обладнання, доступністю компонентів і легкою реалізацією у виробничих умовах. Борування проводили в контейнерах із жаростійкої сталі з використанням плавкого затвору, який забезпечує надійну герметизацію при температурі 980 – 1000 ^{o}C на протязі 4 – 8 годин у суміші карбіду бору B_4C з бурою $Na_2B_4O_7$ та додатками хлористого натрію NaCl і хлористого амонію NH_4Cl. Після завершення процесу борування контейнер з деталями виймали з печі, охолоджували на повітрі до кімнатної температури. Після повного вистигання контейнера діставали деталі та очищали їх від залишків реакційної суміші.

Для нанесення хромового покриття в проточному електроліті на втулки циліндрові і штоки поршнів розроблено конструкції електрохімічних комірок (рис.3). Ці комірки забезпечують локальне нанесення хромового покриття на робочу зону деталі.

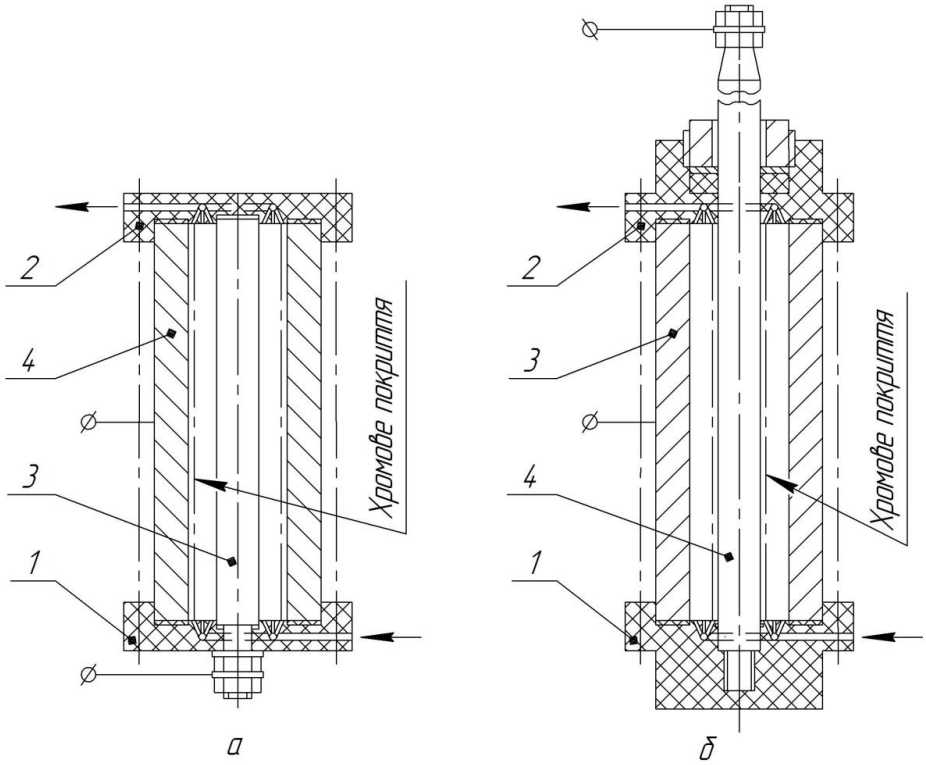


Рис. 3. **Схеми електрохімічних комірок для нанесення хромового покриття в проточному електроліті на внутрішню поверхню втулки циліндрової (а) і на зовнішню поверхню штока поршня (б): 1, 2 – нижня і верхня кришка відповідно; 3 – анод; 4 – деталь (втулка циліндрова і шток поршня відповідно)**

Електроліт прокачується насосом у порожнину, яка утворена деталлю і анодом, який виготовленим із сплаву на основі свинцю. Живлення електрохімічної комірки здійснюється від стандартного джерела постійного струму, яке застосовується у гальванічних лініях для хромування. В залежності від площі поверхні деталі, яку необхідно зміцнити комірки можуть бути індивідуальні або групові, які монтуються над гальванічною ванною хромування. Як електроліт застосовували: CrO_3 і H_2SO_4 з різним співвідношенням компонентів 20-140. Основні операції технологічного процесу хромування в проточному електроліті представлені в табл.

© В.В. Остапович

Таблиця 1

Операції технологічного процесу виготовлення або відновлення деталей електрохімічним хромуванням у проточному електроліті

Номер операції	Назва операції	Виготовлення деталей	Відновлення деталей
1	Очищення	–	+
2	Дефектоскопія	–	+
3	Зняття зношеного покриття хімічним або електрохімічним методом	–	+
4	Промивання	–	+
5	Механічна обробка	+	+
6	Термічна обробка: гартування, гартування струмами високої частоти	+	+
7	Механічна обробка	+	+
8	Магнітна або кольорова дефектоскопія	+	+
9	Обробка деталей: поверхневим пластичним деформуванням; фрикційним зміцненням; гідроструменева обробка	+	+
10	Знежирювання	+	+
11	Промивання в холодній воді	+	+
12	Встановлення деталі в електрохімічній комірці установки для хромування в проточному електроліті	+	+
13	Прогрівання	+	+
14	Анодне декапірування	+	+
15	Електрохімічне хромування деталі в проточному електроліті	+	+
16	Промивання в холодній воді	+	+
17	Промивання в гарячій воді	+	+
18	Демонтаж деталі з електрохімічної комірки	+	+
19	Пасивування	+	+
20	Сушіння	+	+
21	Контроль розмірів деталі, товщини і якості хромового покриття	+	+
22	Термічна обробка – відпуск	+	+
23	Механічна обробка хромового покриття	+	+
24	Промивання	+	+
25	Магнітний контроль	+	+
26	Термічна обробка – відпуск	+	+
27	Контроль розмірів деталі: товщини і шорсткості поверхні хромового покриття	+	+

Структуру зразків з покриттями досліджували на поперечних мікрошліфах на оптичному металографічному мікроскопі МИМ-8. Для хімічного травлення поверхні мікрошліфів використовували 4 % розчин азотної кислоти в етиловому спирті. Для виявлення структури боридного шару також проводили травлення реактивом такого складу: 0,8 г пікринової кислоти; 20 г гідроокису натрію у 50 мл дистильованої води при температурі біля 50 ^{o}C.

Вимірювання мікротвердості та товщини покриттів проводили на приладі ПМТ-3 при навантаженні на індентор 0,5 – 1,0 Н і витримці біля 15 с на поперечних мікрошліфах.

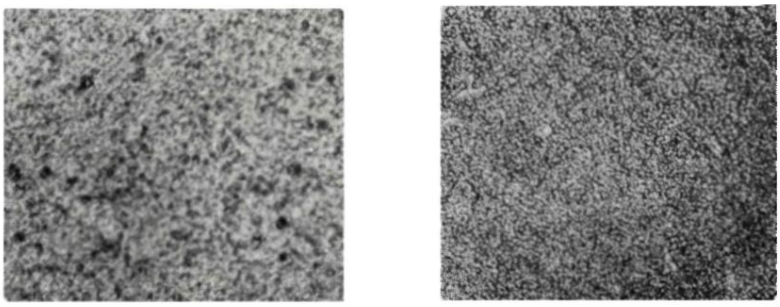
Шорсткість поверхні зразків перед нанесенням покриттів, після нанесення покриттів, а також після проведення механічної обробки покриттів визначали на модернізованому приладі профілографі-профілометрі моделі Р-201 виробництва заводу «Калибр».

Випробовування на зношування зміцнених зразків проводили на стенді для дослідження пар тертя при зворотно-поступальному русі, який відтворює умови роботи підчас експлуатації

металево-гумових пар тертя поршневих насосів: втулка циліндрова – гумово-металевий поршень; шток поршня – гумове ущільнення [13].

Результати дослідження та їх аналіз. Експлуатаційні властивості деталей машин визначаються станом поверхневого шару, оскільки їх руйнування, як правило, починається з поверхні. Від показників якості поверхневого шару залежать такі важливі експлуатаційні характеристики як корозійна стійкість, зносостійкість поверхонь, міцність деталей на втому та корозійну втому при змінному навантаженні, стійкість до корозійного розтріскування при статичному навантаженні тощо.

Хромування в проточному електроліті забезпечує отримання рівномірної товщини покриття та меншої шорсткості поверхні порівняно з хромуванням у спокійному електроліті за рахунок створення турбулентного потоку в між електродному просторі електрохімічної комірки та інтенсивного видалення газів, які утворюються в процесі електролізу на електродах (рис. 4)



а б

Рис. 4. **Вигляд поверхні хромового електрохімічного покриття нанесеного у спокійному (а) та проточному електролітах (б)**

Характерною особливістю електрохімічного хромового покриття, нанесеного в проточному електроліт на сталі, є його висока мікротвердість (біля 12 ГПа) і значно відрізняється від мікротвердості такого ж покриття нанесеного на сталі в спокійному електроліті (рис.5).

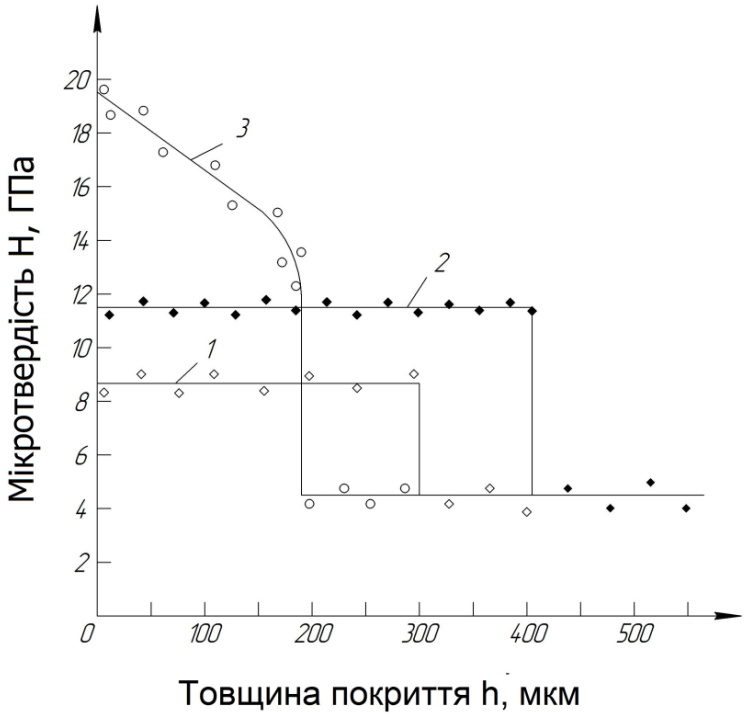


Рис. 5. **Зміна мікротвердості по товщині покриття: 1, 2 – хромове електрохімічне покриття нанесене у спокійному та проточному електролітах відповідно; 3 – боридне покриття отримане хіміко-термічною обробкою із порошкової суміші**

В роботі [8] пояснюють високу мікротвердість електрохімічного хромового покриття високими внутрішніми напруженнями, а також зв'язують високу мікротвердість хромових покриттів з величиною кристалів (або зерен) нанесеного покриття. Більш вірогідною є друга точка зору щодо впливу величини зерна, згідно якої можна пояснити більш високу мікротвердість

електрохімічних покриттів нанесених в проточному електроліті за рахунок формування дрібнозернистої структури цих осадів на сталі.

На наш погляд перша точка зору є не повною мірою аргументованою, оскільки в хромових покриттях виникають зазвичай внутрішні напруження розтягу і вони мало впливають на величину мікротвердості, тобто здатності чинити опір проникненню індентора в тіло покриття.

Зносостійкість багатьох матеріалів значною мірою залежить від їх твердості. Відомо, що сталям з більш високою твердістю притаманна вища зносостійкість.

Боровані зразки (рис. 6) при вищій мікротвердості є менш зносостійкими порівняно з хромованими, які мають нижчу мікротвердість. Показник мікротвердості свідчить про здатність матеріалу чинити опір пластичній деформації при проникненні в цього індентора (піраміди Вікерса).

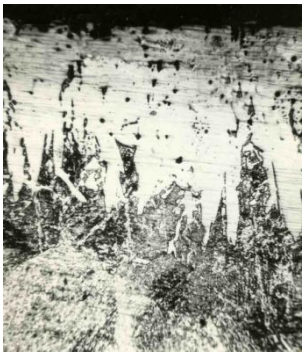


Рис. 6. **Мікроструктура боридного покриття отриманого хіміко-термічною обробкою на сталі**

Процес реверсивного зношування є досить складним явищем – результатом протікання багатьох процесів: пружного і пластичного передеформування поверхневих шарів матеріалу елементів пари тертя, зміни їх фізико-механічних і електрохімічних властивостей, зрізання, корозійно-механічного розтріскування, втоми і відколювання окремих частинок. Тому показник мікротвердості, визначений методом вдавлювання, не є достатнім при оцінюванні зносостійкості покриттів, які працюють в агресивних середовищах.

За рахунок розташування найбільш зносостійких граней кристалів електрохімічного хрому паралельно до поверхні покриття забезпечується високий ступінь досконалості структури. Поєднання високої мікротвердості, а також специфіка структури забезпечують високу зносостійкість хромових покриттів нанесених із проточного електроліту та малу величину коефіцієнта тертя (рис. 7).

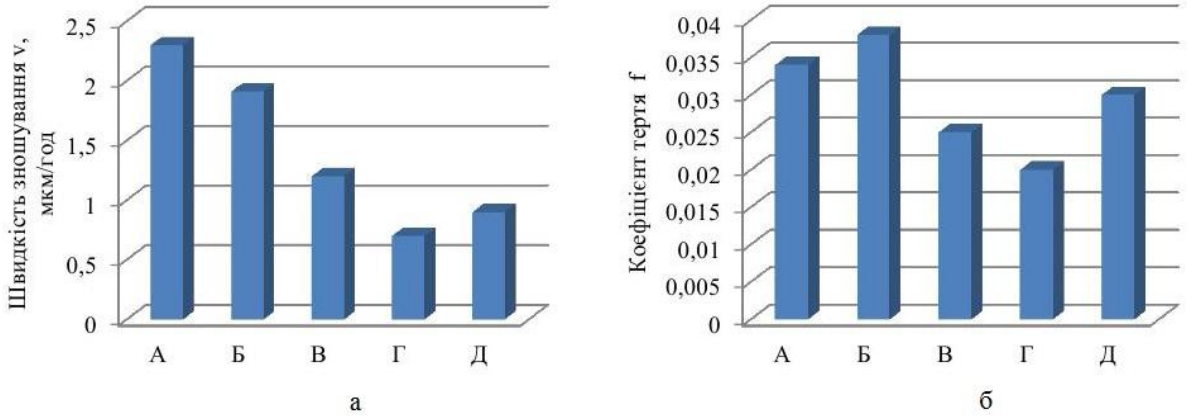


Рис. 7. **Швидкість зношування зміцнених взірців у парі тертя з гумою в середовищі промивальної рідини з абразивом(а) та коефіцієнт тертя (б): А – Сталь 40Х + СВЧ; Б – Сталь 70 + СВЧ; В – Сталь 40Х + СВЧ + Хром (спокійний електроліт) ; Г – Сталь 40Х + СВЧ + Хром (проточний електроліт); Д – Сталь 45 + Бор (хіміко-термічна обробка)**

Встановлено для пари тертя хромове покриття – гума, яка працює на чистій воді мінімальний знос забезпечується при шорсткості поверхні покриття R_a 0,40…0,25 мкм.

Висновки. Проведеними дослідженнями встановлено, що:

1. Довжина зони зношування втулок циліндрових і штоків поршня насоса двосторонньої дії рівна сумі довжини ходу насоса та довжини поршня і довжини ущільнення штока відповідно;

2. Розроблені конструкції електрохімічних комірок та технологічний процес хромування в проточному електроліті втулок циліндрових і штоків поршня забезпечує рівномірне нанесення покриття яке має малу шорсткість поверхні, високу мікротвердість і зносостійкість.

У подальших дослідженнях планується провести оптимізацію параметрів технологічного процесу хромових покриттів.

1. Концур І. Ф. Аналіз умов роботи циліндропоршневої пари та спосіб виготовлення біметалевих циліндрових втулок для бурових насосів односторонньої дії / І. Ф. Концур, В. І. Артим, Б. Д. Сторож, Т. В. Яценко, М. Я. Чичула // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2013. – № 3 (48). – С. 139 – 146.
2. Кирилів В. І. Зміцнення деталей помп методами інтенсивної пластичної деформації / В. І. Кирилів, Я. Б. Кирилів, П. Я. Сидор // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»). – 2009. – Вип. 25. – Ч. 2. – С. 109 – 113.
3. Кусій Я. М. Дослідження якості поверхні віброзміцнених деталей машин / Я. М. Кусій, В. Г. Топільницький // Вісник національного університету «Львівська політехніка» Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні . – 2013. - № 772. – С. 196- 201.
4. Петрина Ю. Д. Вплив технологічної та експлуатаційної спадковості штоків бурових насосів на їх довговічність / Ю. Д. Петрина, Р. С. Яким, А. В. Швадчак, Ю. В. Павловський // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – № 4 (21). – С. 75 – 82.
5. Похмурський В. І. Електродугові відновні та захисні покриття / В. І. Похмурський, М. М. Студент, В. М. Довгуник, Г. В. Похмурська, І. Й. Сидорак. – Львів: НАН України, ФМІ ім. Г. В. Карпенка, 2005 . – 192 + вклейка 8 с.
6. Гладкий С. І. Результати стендових досліджень та промислових випробувань зміцнених пар тертя поршневих насосів, що працюють при зворотно-поступовому русі / С. І. Гладкий // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – № 2 (27). – С. 82 – 86.
7. Каданер Л. І. Зносостійке хромування в проточному електроліті / Л. І. Каданер, Р. Ю. Гімельфарб. – К.: Техніка, 1971. – 68 с.
8. Богорад Л. Я. Хромирование / Л. Я. Богорад. – Изд. 5-е, перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 97 с.
9. Остапович В. В. Дослідження напружено-деформованого стану вкритої хромовим покривом ділянки штока поршневого насоса двосторонньої дії в умовах позаштатного навантаження / В. В. Остапович, Л. Я. Роп'як, А. С. Величкович // Методи та прилади контролю якості. – 2013. – № 2 (31). – С. 118 – 125.
10. Дехтярь Ф. А. Хромирование штоков бурових насосов/ Ф. А. Детярь // РНТС Машины и нефтяное оборудование. М.: ВНИИОЭНГ. – 1978. – №5. – С. 6 – 9.
11. Прунько І. Б. Оптимізація технологічних параметрів електроіскрового зміцнення деталей нафтогазового технологічного транспорту / І. Б. Прунько, І. М. Богатчук, С. І. Криштопа, Б. В. Долішній // Проблеми трибології. Хмельницький НУ. – 2012 . – № 4. – С. 42-51.
12. Стецько А. Є. Технологічне забезпечення ресурсу роботи виготовлених і відновлених деталей: [монографія] / А. Є. Стецько. – Львів: Видавнича компанія «АРС», 2013. – 240 с.
13. Парайко Ю. І. Фундаментальні основи надійності вузлів тертя машин та обладнання нафтогазової промисловості / Ю. І. Парайко // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. / головн. Ред.. М. В. Кіндрачук. – К.: Вид-во нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк». – 2010. – Вип. 53. – С. 12-25.

Стаття надійшла до друку 25.12.2015.

© В.В. Остапович