

Ремонтні роботи будуть використовуватись залежно від своєї складності і тривалості. При ТО<sub>1</sub> роботи виконувались у зоні В, ТО<sub>2</sub> – в зоні С, ТО<sub>3</sub> – в зоні А.

Криві надійності основних вузлів та деталей газомотокомпресора МК-8М були побудовані з використанням ЕОМ за допомогою програми BASIC на основі закону розподілу Вейбула. При побудові цих кривих отримано середній наробіток всіх вузлів та деталей, а також розрахункові параметри закону розподілу Вейбула  $\beta$  та  $\eta$ .

Криві для різних вузлів компресора показані на рис. 2.

Отримані результати можуть лягти в основу розробки заходів з підвищення надійності газомотокомпресорів.

### Література

1. Копей Б.В., Бучинський М.Я., Палиця Є.І. Оцінка надійності та вибір стратегій технічного обслуговування газомотокомпресорів 10ГК на основі аналізу АВС // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Розробка н/г родовищ. – 1999. – №36(том 3). – С. 218-222.

2. Копей Б.В., Крижанівський Є.І., Бобошко Ю.О. Оптимізація проектів дотискних компресорних станцій // Матеріали 3-ей Міжнародної конференції «Динамика роторних машин і вібраційних процесів», 12-19 грудня 2004г. – Хургада (Єгипет). – С.47-56.

3. Храпач Г.К. Надійність роботи поршневих газоперекачуючих агрегатів. – М.: Недра, 1978. – 192 с.

УДК 622. 242. 6 + 658. 511

## ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ СПАДКОВОСТІ ШТОКІВ БУРОВИХ НАСОСІВ НА ЇХ ДОВГОВІЧНІСТЬ

<sup>1</sup>Ю.Д.Петрина, <sup>2</sup>Р.С.Яким, <sup>1</sup>А.В.Швадчак, <sup>2</sup>Ю.В.Павловський

<sup>1</sup>ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 43024  
e-mail: public@nung.edu.ua

<sup>2</sup>Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка,  
82100, Львівська обл., м. Дрогобич, вул. І.Франка, 24, e-mail: tsmots@drogobych.net

*Поверхностное индукционное закаливание и шлифование перед электрохимическим хромированием не обеспечивает стабильной среднестатистической наработки штоков буровых насосов двухстороннего действия из-за недостаточной прочности приповерхностных шаров рабочих поверхностей и отрицательной технологической наследственности окончательных операций. Замена термической обработки и шлифования на механоультразвуковое упрочнение дает возможность повысить долговечность штока приблизительно в 2,3 раза. Для устранения возникновения дефектов необходимо осуществлять размерное хромирование. Экономическая эффективность от внедрения (589,0 тыс. грн.) позволяет уменьшить растраты на шлифование, а также устранить брак, который свойственен термической обработке и шлифованию.*

*The surfacing induction hardening and grinding before electro-chemical chromes plating does not guarantee the stable average work-out of the rods of the dual action boring pumps because of the insufficient strength of the surfacing layers and negative technological heredity of the finishing operations. The replacement of thermal treatment and grinding to ultrasonic hardening gives opportunity to increase durability of the rod approximately in 2.3 times. For determination of the possible defects it is necessary to make measured chromes plating. Economical efficacy of inculcate (589 000 grn.) gives opportunity to decrease grinding expenses and determinate the defective articles of the thermal treatment and grinding.*

Однією з основних проблем в експлуатації бурових насосів двосторонньої дії є низькі показники напрацювання штоків поршнів, які, працюючи у важких умовах, швидко виходять з ладу, що призводить до прямих збитків. Особливо актуальними питання довговічності штоків стають в умовах збільшення глибини буріння та перенавантаження бурових насосів [1, 2]. Вирішення даної проблеми є неможливим без раціонального застосування матеріалів для виготовлення деталей, а також обґрунтованого вибору ефективної маршрутної технології як на стадії механічної обробки, так і при зміцнюючих й викінчувальних обробках. В роботах

Аверченкова В.І., Дальського А.М., Маталіна А.А., Рижова Є.В., Ящеріцина П.І. та ін. [3-8] представлено вагомий досвід щодо вдосконалення технології в даному напрямку. Встановлено, що взаємодія окремих технологічних факторів має місце не тільки на стадії виготовлення деталі, де проявляється технологічна спадковість, але й при її експлуатації. Зокрема, під час тертя в поверхневому шарі створюється наклеп, який взаємодіє з технологічними дефектами. Відтак мікротріщини, що виникають під час обробки, зумовлюють утворення втомних тріщин і т.д. Однак можливості сучасної технології у вирішенні даної проблеми стримуються

відсутністю необхідних теоретичних даних про процеси, що протікають в контактуючих поверхнях еластометричної пари, яка працює у гідроабразивному середовищі при значних перевантаженнях. Також практично відсутній теоретичний опис процесів утворення дефектів, спричинених технологічною спадковістю. Це унеможливило науковий підхід до обґрунтованості ефективності використання тої чи іншої технологічної операції обробки чи зміцнення в структурі технологічного процесу. Це в свою чергу не дає можливості з високою точністю прогнозувати експлуатаційні характеристики деталей. Що стосується впливу технологічної та експлуатаційної спадковості штоків бурових насосів двосторонньої дії на їх експлуатаційні властивості, то такі дослідження перебувають на початковому етапі розвитку. Перші дослідження стосуються загальних питань впливу тої чи іншої зміцнюючої обробки штока на його довговічність, що загалом не розв'язує проблему.

Зокрема, в [9] запропоновано поверхневу пластичну деформацію хромового покриття, хоч автори визнають часте відшарування покриття в процесі вигладжування. Проте не розглядається вплив фізико-механічних властивостей сталей, які піддавалися хромуванню.

В роботі [10] згадується, що хромове покриття зазнає пошкодження, але не показано механізм цього пошкодження.

При статистичному аналізі значень напрацювань хромованих штоків насоса У8-6МА автори [11] спостерігали порушення стабільності середньостатистичного напрацювання в корозійних середовищах з підвищеною концентрацією абразиву та високих значеннях швидкостей реверсивного тертя і втомних навантажень. Крім цього, дані експериментів засвідчили, що штоки схильні до утворення вм'ятин, вибоїн, які сприяють швидкому виходу їх з ладу. Припускалося, що це могло бути пов'язано з низькою твердістю основного матеріалу штока, а також недостатньою величиною його межі міцності при розтягу. Проте в роботі відсутній аналіз фізико-механічних властивостей поверхневих та приповерхневих шарів основного матеріалу штоків.

В дослідженні [12] зроблена спроба аналізу технологічних шляхів виготовлення штока бурового насоса двосторонньої дії. Встановлено зв'язки між експлуатаційними, економічними показниками та вибраною маршрутною технологією виготовлення штока. Потенційно ефективними методами обробки штока виявився технологічний процес з електрохімічним хромовим покриттям та з механоультразвуковим зміцненням. Проте в роботі не розглядаються питання технологічної спадковості та їх вплив на експлуатаційні показники штоків.

Відповідності до викладеного метою даного дослідження є виявлення зв'язків між технологічною спадковістю і експлуатаційними властивостями штоків бурових насосів двосторонньої дії.

Згідно з метою було поставлено завдання виділити та проаналізувати стадії і причини

руйнування штоків, а також внести обґрунтовані зміни в існуючий типовий технологічний процес виготовлення штока.

Для проведення аналізу використовувалися штоки зношені на різних стадіях. Аналіз експлуатаційної спадковості проводився на штоках, які використовувалися при бурінні свердловин на глибину 1200-4550м., густина бурового розчину, що перекачується насосом, становила  $1,14-1,69\text{г/см}^3$ , вміст абразиву в розчині по об'єму становив 1-3%.

Оцінка дефектів поверхні здійснювалася з використанням мікроскопа МИМ-10 на сегментних зразках, вирізаних зі штоків.

Штоки виготовляли зі сталі 40Х, яка відповідає існуючим типовим технічним умовам. Для зміцнення використовували електрохімічне хромування „хромоном” згідно з типовими технічними умовами на глибину 0,6 мм до твердості 57HRC з викінчувальною операцією шліфуванням на шорсткість  $R_a = 0,4$  мкм. Твердість серцевини штока становила 280-320НВ.

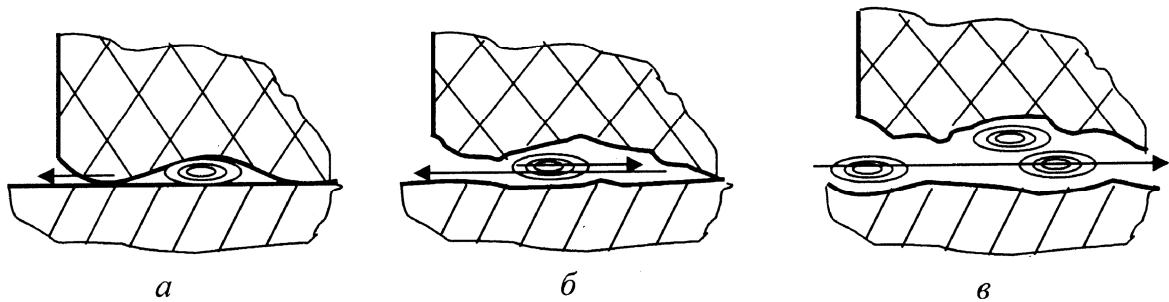
Мікротвердість зміцнених поверхонь визначали за допомогою приладу ПМТ-3 на косих шліфах від поверхні зразка у глибину, а також на поверхні шліфа вздовж його осі. Заміри мікротвердості здійснювали в десяти різних точках шліфа для кожної зони. Глибину поверхневого шару, зміненого в результаті видів обробки, що вивчаються, а також відстань від поверхні зразка до точки відбитку при вимірюванні мікротвердості визначали згідно з методикою, представленою в [13].

Наявність у зразках пластичної деформації виявляли 3% розчином азотної кислоти в етиловому спирті і електролітичним травленням.

Для проведення гідроабразивного зношування досліджуваних зразків використовували рекомендації Хрушова і Бабічева [14], застосувавши схему Веллінгера і Уетца. Абразивним середовищем слугував буровий розчин густиною  $1,14-1,69\text{г/см}^3$ , склад якого розроблений авторами [15]. Даний вибір був обґрунтований тим, що цей розчин досить точно імітує властивості відомих бурових розчинів. Швидкість абразиву на поверхні рідини складала 2-3 м/с. Тривалість досліджень становила: 6, 12, 24 год. Величину зношування визначали шляхом зважування після просушування зразків.

Для експериментів виготовляли циліндричні зразки діаметром 10 мм, довжиною 75 мм. Зразки зміцнювали за допомогою СВЧ гартування при  $t = 850^\circ\text{C}$  в масло з низьким відпуском  $t = 180^\circ\text{C}$ . Шліфування зразків після обробки для одержання заданих розмірів проводили на круглошліфувальному верстаті моделі 3Б12 кругом ЭВ25СМ1К при сильному охолодженні водною емульсією за режимами: швидкість обертання круга  $V_{кр} = 39,5$  м/с, швидкість обертання деталі  $V_о = 31$  м/хв, поздовжня подача  $S_{нд} = 0,2$  м/хв, поперечна подача  $S_{по} = 0,006$  мм/дв.хід.

Механоультразвукову обробку проводили відповідно до рекомендацій [16]. Призначали частоту ультразвукових коливань – 20кГц, навантаження на зразок  $P = 1000\text{Н}$ , припуск на



*а – стадія втомного викривування, передформування контактуючих поверхонь;  
б – стадія інтенсивного гідроабразивного впливу на контактуючі поверхні;  
в – стадія локального наскрізного прориву ущільнення і катастрофічного зношування пари.*

**Рисунок 1 – Стадії руйнування пари шток-манжета  
(стрілкою вказано основні рухи бурового розчину)**

обробку 0,02мм, частоту обертання зразка  $n = 630$  об/хв, подачу  $S = 0,11$  мм/об. Як технологічне середовище використовували оливу И-20.

Електрохімічне хромування проводили відповідно до рекомендацій [17, 18].

Під час експлуатаційних випробувань було встановлено, що при утворенні задири, ризок, борізд на робочій поверхні штока довговічність ущільнюючої манжети суттєво падає. Зношування спряжених пар має своєрідну динаміку: при утворенні навіть незначних за розмірами ризок, задири, борізд на робочій поверхні штока манжета відносно швидко виходить з ладу.

Відомо [19], що зношування пари ущільнення – шток здійснюється під дією абразиву що потрапляє на границю тертя і спричинює мікрорізання поверхонь пари. Встановлено, що під дією перепаду тисків у процесі поступального переміщення штока матеріал ущільнення манжети, з однієї сторони, підминається, а з другої, витискається. При перевантаженнях та стрімкому зростанні швидкості руху штока відбувається втомне мікротріскування країв ущільнення. Однак в роботі відсутній аналіз умов, за яких утворюються пітінги крихкого руйнування, старт задири, мікросколювання, що є важливим в прогнозуванні довговічності штока.

У результаті проведеного нами аналізу роботи пари шток-манжета можна простежити три фази виходу з ладу штоків. Отже, при терті штока об манжету спостерігається гідрозащемлення деякого об'єму рідини, яка перекачується насосом. При русі штока цей об'єм рідини з великою швидкістю витісняється через найкоротшу відстань з під деформованої манжети назовні. При цьому інтенсифікуються процеси мікрорізання, деформації, що спричинює зародження пітінгів, подряпин, вм'ятин робочої поверхні штока.

На другій стадії руйнування штока процеси різання, мікросколювання, пластичної деформації ускладнюються інтенсивним впливом гідроабразивного середовища. При цьому від-

бувається одночасне збільшення зазора в зоні контакту пари і об'єму порожнини в манжеті; на штоці спостерігаються незначні подряпини, вм'ятини, ривчаки, задири.

В момент наскрізного прориву манжети настає лавиноподібне зношування за рахунок утворення потужних гідроабразивних струменів в зоні тертя пари. На цій стадії відбувається швидка втрата працездатності штока.

Відомо [20, 21,], що при турбулентному переносі має місце неперервне чергування випадкових миттєвих швидкостей полів. Це спричинює утворення невеликих вихрів коло обмежених потік нерівностей стінок. При розпаданні вихрів відбувається викид мас рідини та абразиву. Це явище є причиною ударного впливу абразивних частинок на робочу поверхню. Тверді частинки, які містяться в потоці, вдаряють під різними кутами поверхні, що обмежують рух потоку, тим самим спричинюючи зношування. Загальне зношування відбувається як за рахунок тертя частинок по поверхні, так і за рахунок їх ударного впливу. Крім цього, причиною інтенсивного місцевого гідроабразивного зношування при розвитку кавітації може бути наявність швидкісних гідроабразивних струменів, які виникають при заповненні кавітаційних каверн гідроабразивним потоком в момент їх поділу, знищення, чи втрати стійкості.

Отже, процес руйнування пари шток-манжета має три стадії (рис. 1):

I. Наклеп поверхні, зародження мікротріщин.

II. Об'єми металу починають відділятися від поверхні, утворення пітінгів, каверн, мікросколів.

III. Інтенсифікація процесу відділення елементів об'єму.

Зношування робочих поверхонь штока проходить як в результаті зрізання мікростружок металу, так і за рахунок вибивання окремих його об'ємів. Кавітаційний вплив носить втомний характер, за рахунок чого відбувається наклеп та передформація мікрооб'ємів робочих поверхонь. При дії абразиву відбуваються процеси різання, в результаті чого робоча поверхня „розпушується”, втрачаючи суттєві мікрооб'єми.

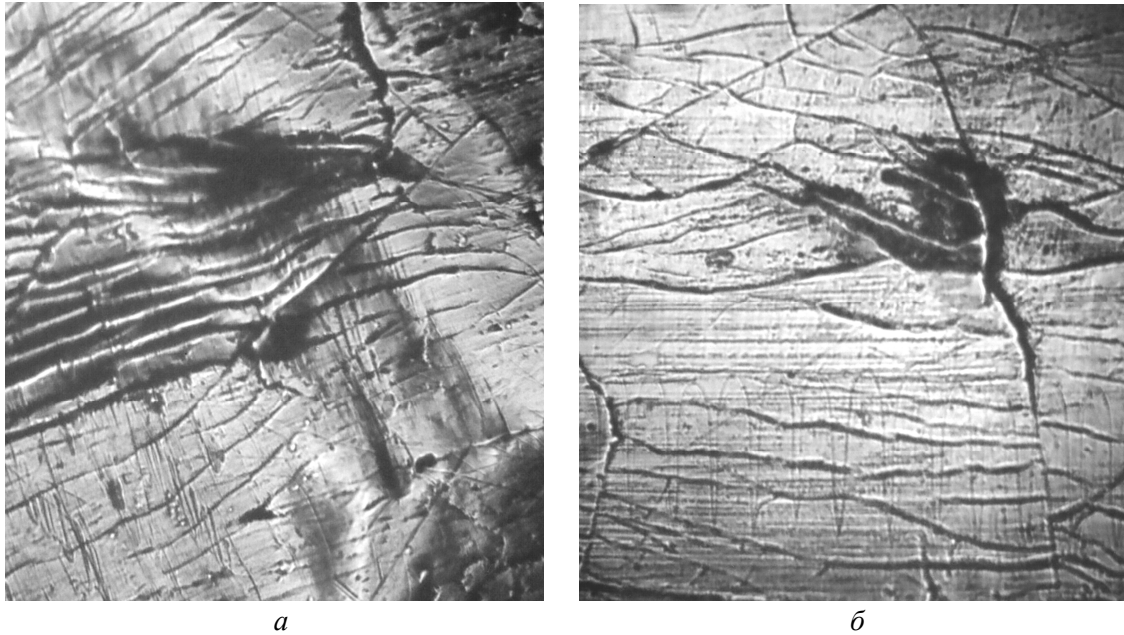
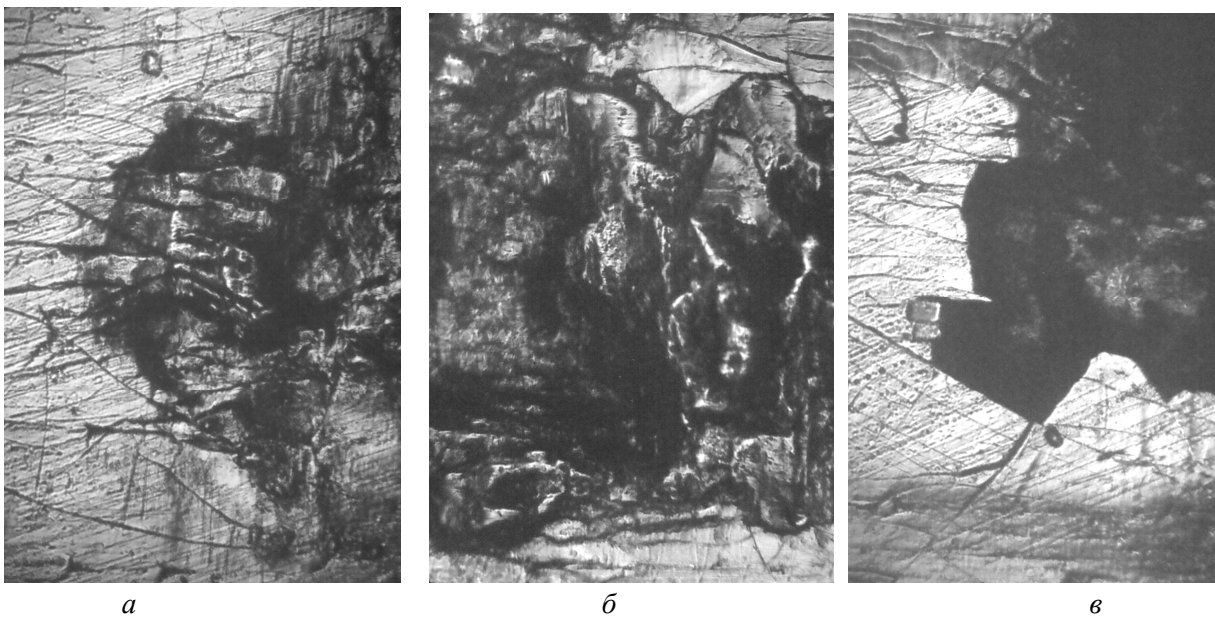


Рисунок 2 – Руйнування хромового покриття штока під дією втомних навантажень в процесі припрацювання,  $\times 30$  р.



*a* – утворення мікросколів та подряпин і ривчаків;  
*б* – гідроабразивна ерозія та утворення кавітаційних каверн;  
*в* – сколювання хромового покриття, задир та ерозійне вимивання основного матеріалу штока

Рисунок 3 – Руйнування хромового покриття та приповерхневих шарів штока на другій стадії,  $\times 30$  р.

При проведенні аналізу пошкоджень робочих поверхонь хромованих штоків спостерігали зародження та розвиток крихкого руйнування покриття (рис. 2). Зустрічаються два характерні випадки: один спричинений недостатньою міцністю приповерхневих шарів основного матеріалу (рис. 2 а), та зумовлений дефектом покриття (рис. 2 б).

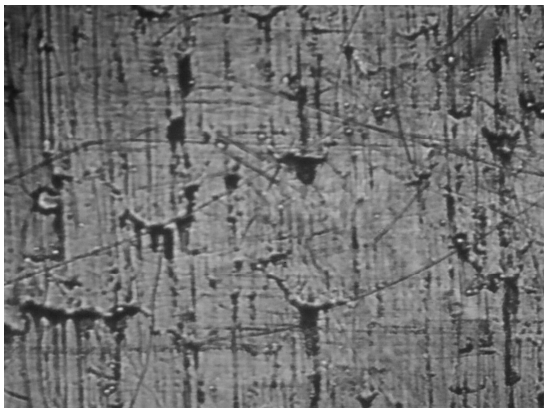
Механізм руйнування хромового покриття в даному випадку подібний до заїдання. Встановлено [22], що, будучи частковим проявом

тертя твердих тіл, заїдання визначається композицією двох різних, але взаємопов'язаних явищ – фізичної взаємодії поверхонь і процесів пластичного течіння приповерхневого металу. Поверхневий шар в силу малої товщини безпосереднього впливу на протікання руйнування підповерхневого шару не здійснює. Отже, заїдання розвивається в підповерхневому шарі. Для його виникнення необхідне „схоплювання” підповерхневих шарів спряжених поверхонь. Це підтверджує недостатню міцність приповерх-

рхневих шарів. Вказані руйнування спостерігали на першій стадії, в момент припрацювання.

На другій стадії руйнування хромованого штока відбувається інтенсифікація мікросколювання покриття, передформування приповерхневих шарів. В подальшому місцева гідроабразивна ерозія призводить до остаточного руйнування покриття та приповерхневих шарів, спричинюючи задир (рис. 3).

Для встановлення впливу технологічної обробки на утворення пошкоджень поверхні був проведений огляд нових штоків. У результаті цього було виявлено дефекти робочих поверхонь штоків як після гартування СВЧ з шліфуванням (рис. 4), так і після хромування з подальшим шліфуванням (рис. 5).



**Рисунок 4 – Дефекти поверхні штока після гартування СВЧ та шліфування,  $\times 30$  р.**

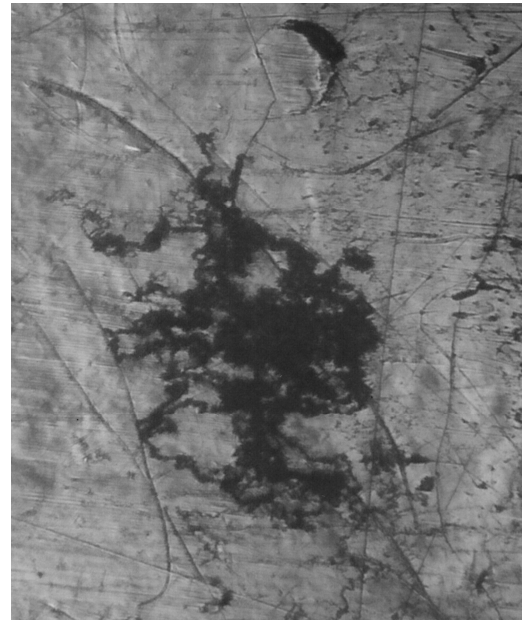


**Рисунок 5 – Характерні дефекти хромового покриття штока після фінішної обробки,  $\times 30$  р.**

Згадувані дефекти хромового покриття після шліфування призводять до утворення корозійного руйнування приповерхневих шарів штока (рис. 6). Це можна пояснити заводженням приповерхневих шарів основного матеріалу та електрохімічними процесами в зоні тріщини.

Встановлено [23], що повністю усунути утворення тріщин та дефектів при шліфуванні не вдається. Механізм руйнування за умов виявленої негативної технологічної спадковості має характер крихкого низькоенергетичного руйнування, тобто руйнування має транскристалітний характер. Отже, необхідне усунення

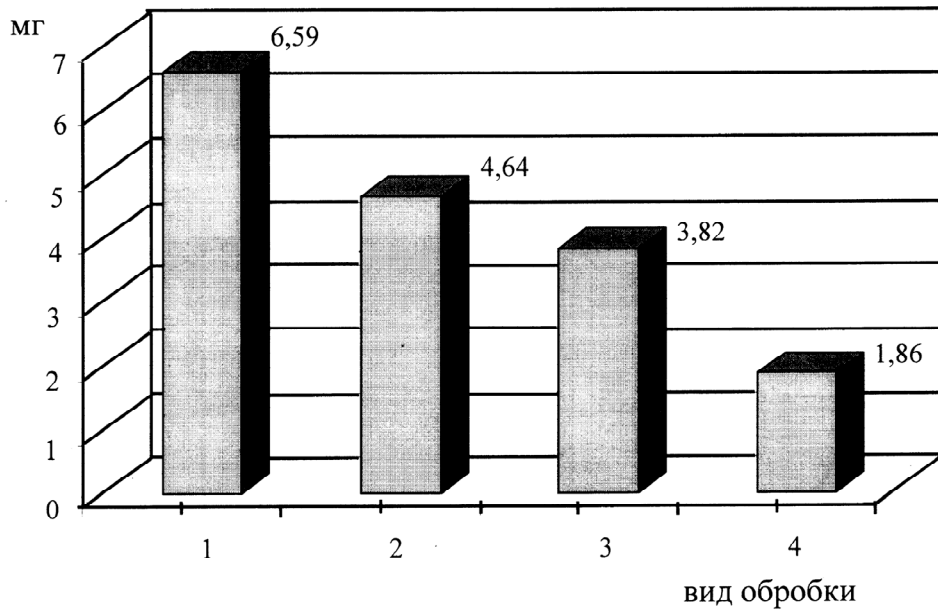
шліфування, яке несе виявлену негативну технологічну спадковість.



**Рисунок 6 – Корозійне розтріскування, що розповсюджується по мікротріщинах дефекту хромового покриття,  $\times 30$  р.**

З метою підвищення довговічності штоків в роботах [15, 24] було проведено низку досліджень, що обґрунтували використання механоультразвукового зміцнення робочих поверхонь штоків. Тому було вирішено провести порівняльні випробування на зносостійкість зразків зі сталі 40Х після гартування СВЧ та низького відпуску з різними зміцнюючими та викінчувальними обробками.

Отримані дані (рис. 7) засвідчили найкращі результати (найменша втрата маси) в зразках, зміцнених механоультразвуковою обробкою з подальшим розмірним хромуванням. Це зумовлено тим, що механоультразвукова обробка дає можливість отримувати необхідну чистоту та точність поверхні перед хромуванням. Позитивний вплив механоультразвукової обробки на підвищення зносостійкості досліджуваних зразків [24] здійснюють специфічна структура білих шарів, отриманих пластичною деформацією, і наявність твердих складових впорядкованих ультразвуковим впливом, які сприймають основне навантаження. Фізико-механічні властивості основного матеріалу, сформовані впливом ультразвукової обробки, утруднюють ріст дислокації і чинять опір зрізові, який визначає інтенсивність процесу гідроабразивного зношування в досліджуваних умовах. Крім цього, отримана мозаїкова структура, що порушує регулярність решітки і рівноважну взаємодію між атомами, перешкоджає переміщенню дислокацій і сприяє підвищенню міцності металу. При повному руйнуванні хромового покриття фізико-механічні властивості приповерхневих шарів, зміцнених механоультразвуковою обробкою, мають суттєві переваги перед структура-



1 – шліфування; 2 – механоультразвукова обробка; 3 – шліфування + хромування + шліфування; 4 – механоультразвукова обробка + хромування

Рисунок 7 – Втрати маси зразків з гартованої СВЧ та низьковідпущеної сталі 40X при гідроабразивному зношуванні залежно від видів обробок

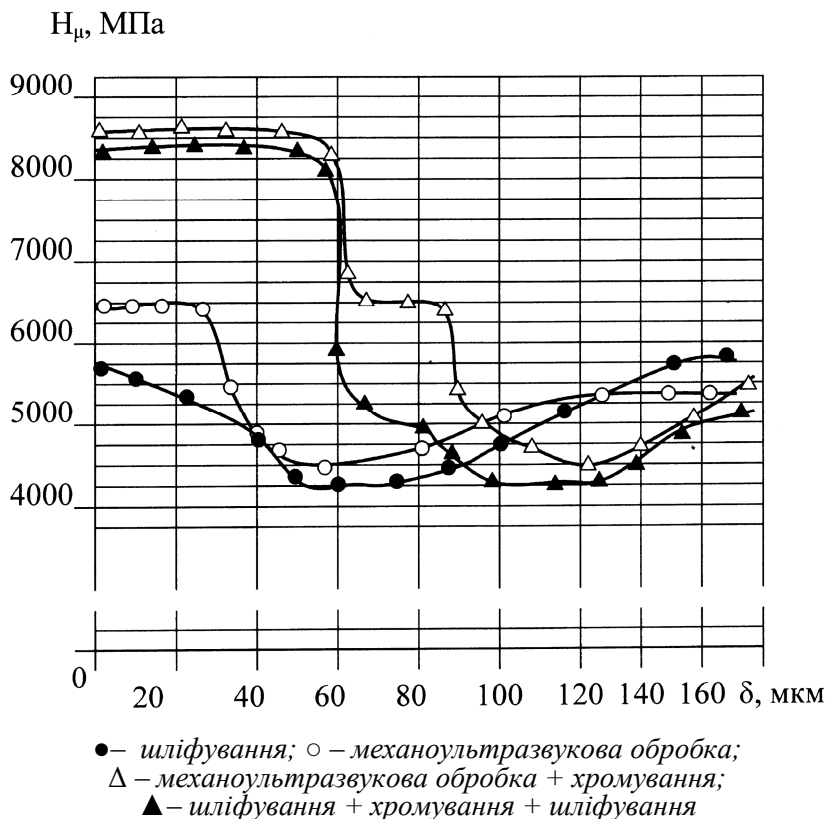


Рисунок 8 – Розподіл мікротвердості зміцнених шарів сталі 40X після СВЧ гартування та низького відпуску

ми, що містять залишковий аустеніт, який володіє нижчою твердістю і зносостійкістю порівняно з мартенситом.

Аналіз розподілу мікротвердості в досліджуваних зразках (рис. 8) дає можливість зро-

бити висновок, що структури, отримані при механоультразвуковій обробці, за даних умов зношування мають суттєві переваги порівняно з гартуванням СВЧ та шліфуванням. Використання механоультразвукової обробки дає мож-

лівість отримати більш однорідний розподіл мікротвердості, уникнути високого перепаду між пластично-деформованими та загартованими поверхневими і приповерхневими шарами робочих поверхонь штока. Зокрема, перехідна зона пластичної деформації, що утворена механоультразвуковою обробкою, позитивно впливає на міцнісні властивості приповерхневих шарів.

Проведені дослідження засвідчили доцільність внесення змін в технологічний процес виготовлення штока поршня. Поверхнєве СВЧ гартування і шліфування перед хромуванням не забезпечують сталого середньостатистичного напрацювання через недостатню міцність приповерхневих шарів робочих поверхонь штока та негативну технологічну спадковість викінчувальних операцій. Заміна термічної обробки та шліфування на механоультразвукове зміцнення дає можливість підвищувати довговічність штока приблизно у 2,3 рази.

Для усунення виникнення технологічних дефектів необхідно проводити розмірне хромування (температура електроліту 330-332 К, густина струму 30-50 А/дм<sup>2</sup>). Це дає можливість економити хромовий ангідрид. Результати досліджень впроваджені в технологічний процес на ВАТ „Дрогобицький машинобудівний завод”. Впровадження дає змогу зменшити витрати на шліфування, а також усунути брак, властивий при термічній обробці та шліфуванні в типовому технологічному процесі. Економічна ефективність від впровадження становить 589,0 тис. грн.

В подальшому актуальним є побудова моделі прогнозування зносостійкості матеріалів, зміцнених різними методами, для прогнозування довговічності деталей машин нафтогазової промисловості.

### Література

1. Толстов Ю.С., Шлыков Б.И. Анализ работоспособности основных быстроизнашивающихся деталей буровых насосов. // Нефть и газ. – 1976. – №5. – С.101-103.
2. Николич А.С. Основания модернизации насосного комплекса буровых установок // Нефтепромысловое машиностроение. Обзорная информация: Серия ХМ-3. Центральный институт научно-технической информации и технико-экономических исследований по химическому и нефтяному машиностроению. – 1990. – С. 24-32.
3. Рыжов Э.В., Суслов А.Г., Федоров В.П. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. – М.: Машиностроение, 1979. – 176 с.
4. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. – К.: Наукова думка, 1984. – 272 с.
5. Дальский А.М. Технологическое обеспечение надежности высокопрочных деталей машин. – М.: Машиностроение, 1975. – 223 с.
6. Маталин А.А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин. – К.: Техніка, 1971. – 144 с.
7. Ящерицын П.И., Рыжов Э.В., Аверченков В.И. Технологическая наследственность в машиностроении. – Мн.: Наука и техника, 1977. – 256 с.
8. Ящерицын П.И., Скорынин Ю.В. Технологическая и эксплуатационная наследственность и ее влияние на долговечность машин. – Мн.: Наука и техника, 1978. – 120 с.
9. Хворостухин Л.А., Торпачев В.А., Шумилов В.П., Тольский Ю.К. Об абразивном выглаживании поверхностей трения деталей, работающих в паре с эластомером в абразивных средах // Машиностроение и нефтяное оборудование – 1979. – №11. – С.12-16
10. Чернявський А.М., Несторенко М.П., Пронь О.Г. Підвищення довговічності роботи штоків бурових насосів двосторонньої дії // Нафта і газ України: Зб. наук. праць (матеріали 6-ї міжнародної науково-практичної конференції „Нафта і газ України – 2000”. Івано-Франківськ, 31 жовтня – 3 листопада). Т.2. – Івано-Франківськ: Факел, 2000. – С.344-345.
11. Петрина Ю.Д., Швадчак А.В., Яким Р.С., Аналіз умов виготовлення штоків бурових насосів та їх експлуатаційні характеристики // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2005. – № 1 (14). – С.64-68.
12. Петрина Ю.Д., Швадчак А.В., Яким Р.С., Борушак Б.О. Аналіз технологічних шляхів виготовлення штоків бурового насоса // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2005. – № 1 (10). – С.46-52.
13. Карпенко Г.В., Гутман Э.М., Замостяник Гавриленко Л.М. Исследование микроэлектронхимической гетерогенности структуры металла // Физико-химическая механика материалов. – 1969. – №3. – С.280-286.
14. Хрущов М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. – М.: Недра, 1970. – 252 с.
15. Северинчик Н.А., Маснык О.Т., Копей Б.В. Коррозия и коррозионная усталость подземного бурового оборудования. – Львов: Вища школа, 1981. – 143 с.
16. Петрина Ю., Яким Р., Швадчак А. Оптимізація параметрів механоультразвукової зміцнюючої обробки деталей насосів та компресорів нафтогазової промисловості // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2005. – Том 10. – № 3. – С.65-71.
17. Степуренко В.Т. Опір втомі сталених деталей в різних середовищах і шляхи його підвищення: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.02.02. / Одеський державний політехнічний університет. – Одеса, 1994. – 26 с.
18. Хромирование в машиностроении (режимы хромирования) // Мир техники и технологий. – 2005. – № 3(40). – С. 46-48.
19. Гладкий С.І. Шляхи підвищення довговічності пар тертя бурових і нафтопромислових насосів // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтогазпромислове об-

ладнання. Вип. № 33. – Івано-Франківськ 1996. – С.160-165.

20. Козырев С.П. Гидроабразивный износ металлов при кавитации. – М.: Машиностроение, 1964. – 140 с.

21. Ханин М.В. Механическое изнашивание материалов. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 152 с.

22. Алексеев И.М. Закономерности пластического течения и разрушения металлов при заедании трущихся поверхностей: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.02.04 / Московский ордена октябрьской революции и ордена трудового красного знамени институт нефтехимической и газовой промышленности им. И.М.Губкина. – М., 1983. – 31 с.

вання  $r$  всіх факторів приймається постійним і мінімально можливим ( $r=2$ ).

При складанні матриці планування ПФЕ переходять до кодованих значень кожного фактора, що дозволяє здійснювати лінійне перенесення координат факторного простору з перенесенням початку координат в центр дослідження якості поверхневого шару роликів витяжних механізмів: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Одеський національний політехнічний університет. – Одеса, 2002. – 20 с.

23. Зелений А.М. Технологічне забезпечення якості поверхневого шару роликів витяжних механізмів: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Одеський національний політехнічний університет. – Одеса, 2002. – 20 с.

24. Петрина Ю.Д., Яким Р.С., Швадчак А.В. Підвищення довговічності деталей насосів та компресорів нафтогазової промисловості ультразвуковим зміцненням. // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2005. – №3 (12). – С.36-41.

УДК 622.24.058

## АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ ІЗ ВСТАВНИМ ВИТКОМ ЗА УМОВ МІЦНОСТІ ТА НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ

В.Я.Василишин

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 43024  
e-mail: public@nuing.edu.ua

*Предложен графоаналитический алгоритм оптимизации геометрических параметров резьбовых соединений со вставным витком. Для исследования выбраны такие геометрические параметры: диаметр проволоки вставного витка, шаг резьбы, длина нарезки резьбы, длина образующих гладких конических уплотняющих поверхностей.*

*Graphic and analytic optimization algorithm of geometric parameters for thread joins with a insert turn has been developed. The following geometric parameters have been chosen for research: wire diameter for a insert turn; thread pitch; length for threading; length for generating smooth conical compaction surfaces.*

При дослідженні роботоздатності різьбового з'єднання із вставним витком стараються знайти таке поєднання його геометричних параметрів, щоб при найменших затратах матеріальних засобів отримати найбільш точну і повну інформацію про вплив кожного параметра, що досліджується, на функцію  $\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ .

Тому на першому етапі дослідження перевіряється можливість описати область зміни незалежних змінних за допомогою лінійної моделі, яка може бути використана для передбачення значення досліджуваної функції в різних точках факторного простору (інтерполяційна модель). Для знаходження лінійної моделі застосовуються плани першого порядку.

Найбільш поширеним планом цієї групи є повний факторний експеримент (ПФЕ) типу  $2^k$ , де  $k$  – число досліджуваних факторів, в якому кожний рівень одного фактора комбінується з усіма рівнями решти факторів. Для отримання лінійної моделі число рівнів варію-

ваної області і вибором масштабів по нових осях в одиницях інтервалів варіювання факторів. Для цього використовується залежність

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{0i}}{\Delta x_i},$$

де:  $x_i$  – кодоване значення фактора, тобто його безрозмірна величина;

$\tilde{x}_i$  – натуральне значення фактора на верхньому або нижньому рівнях варіювання;

$\tilde{x}_{0i}$  – натуральне значення фактора на нульовому рівні;

$\Delta \tilde{x}_i$  – натуральне значення інтервалу варіювання фактора

$$\Delta \tilde{x}_i = 0,5(\tilde{x}_{i_{max}} - \tilde{x}_{i_{min}}).$$

Для дослідження вибрані такі геометричні параметри різьбових з'єднань із вставним витком:

$d_g$  – діаметр дроту вставного витка;