

НАФТОГАЗОПРОМИСЛОВЕ ОБЛАДНАННЯ

УДК 622.24.051

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ШТОКІВ БУРОВИХ НАСОСІВ

Ю.Д. Петрина, М.І. Квас, Р.С. Яким

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42342,
e-mail: public@nuing.edu.ua

Здійснені випробовування штоків, зміцнених електрохімічним хромуванням, об'ємним та СВЧ гартуванням. Результати випробовувань засвідчили, що зміцнення хромуванням за кращих показників напрацювання не гарантує стабільності середньостатистичного напрацювання штоків у корозійно-втомних середовищах з підвищеною концентрацією абразиву. Показано, що ефективним зміцненням, яке максимально відповідає умовам експлуатації штоків, є механоультразвукове оброблення. Визначені оптимальні параметри такого процесу.

Ключові слова: шток, механоультразвукове оброблення, буровий насос, довговічність.

Проведены испытания штоков, упрочнённых электрохимическим хромированием, объёмным и ТВЧ закаливанием. Результаты испытаний показали, что упрочнение хромированием при лучших показателях наработки не гарантирует стабильности среднестатистической наработки штоков в коррозионно-усталостных средах с повышенной концентрацией абразива. Показано, что эффективным упрочнением, максимально отвечающим условиям эксплуатации штоков является механоультразвуковая обработка. Определены оптимальные параметры такого процесса.

Ключевые слова: шток, механоультразвуковая обработка, буровой насос, долговечность.

The tests of the rods hardened by induction voltage, volumetric hardening and electro-chemical chrome plating were made. It is shown that chrome plating have the best uptime parameters that other treatments, but it doesn't guarantee the stability of the average statistical operating time of the rods in corrosive fatigue environments with heighten concentration of abrasive. It is shown that the most effective and maximal conform to the exploitation conditions of the rods is mechanical ultra-sonic treatment. The optimal parameters for the rod's ultra-sonic treatment are set.

Keywords: rod, mechanical ultra-sonic treatment, boring pump, durability.

Шток бурового насоса У8-6М часто виходить з ладу і належить до деталей, що обмежують роботу бурового і нафтопромислового обладнання. Потреба в штоках по країнах СНГ обчислюється десятками тисяч штук.

Оскільки штоки бурових насосів працюють в агресивних середовищах за умов знакозмінних навантажень, то на їх працездатність істотно впливають явища втоми, спрацювання, корозії, старіння і деградації. Тому актуальним є питання підвищення довговічності штока за рахунок стійкості до впливів згаданих явищ.

Підвищенню довговічності штоків бурових насосів присвячені праці Ніколіча А.С., Романова А.З., Шишова В.В., Ільського А.Л., Літвінова В.М., Петрини Ю.Д. та інших. Зокрема, встановлено, що збільшення довговічності штока можна досягнути шляхом вдосконалення фізико-хімічних і, відповідно, експлуатаційних властивостей його робочих поверхонь. Проте, в літе-

ратурі є деяка суперечність щодо використання різних сталей та методів їх зміцнення.

Автори [1] рекомендують виготовляти штоки з легованих сталей марок 12ХН4, 20ХН3А, 34ХН1М, підданих цементації, або 40Х, 40ХН, 38ХНЮА, що гартуються. Гартування здійснюють струмами високої частоти на глибину 2–5 мм до твердості 52–58 HRC з твердістю серцевини 280–320 НВ.

У [2] вказано, що з метою зменшення інтенсивності впливу абразиву, що міститься в промивальному розчині, та істотного збільшення довговічності, шток слід виготовляти з середньовуглецевої хромонікелевої сталі. Метою зміцнювального оброблення повинно бути підвищення вмісту вуглецю на робочих поверхнях до 1,5–2,5% та формування твердості 60–64 HRC. Для зменшення корозії шток покривають хромом товщиною 0,1–0,2 мм для отримання поверхневої твердості 10000 МПа. Серцевина

штока повинна володіти підвищеною циклічною міцністю з $\sigma_B = 840$ МПа.

У працях [3, 4] показано, що штоки бурового насоса У8-6М, зміцнені алмазним вібровиладжуванням, мали в 1,4–2,2 рази вищі показники напрацювання порівняно із серійними. Проте не розглядалося питання впливу умов роботи штока на його довговічність, а також не подано умов зміцнення серійних штоків.

Фірма “National” для зміцнення штоків насосів двосторонньої дії використовує газопопелуменеве напилення хромоборнікелевим сплавом з наступним точним поліруванням, отримуючи на робочих поверхнях твердість HRC 60. Фірма “Oilwell” використовує для зміцнення штоків газопопелуменеве напилення з оплавленням покриття на основі нікелю. Фірма “Harrisburg” для штока використовує поковки з високоякісної легованої сталі. Для зміцнення використовується гартування струмами високої частоти, багатоелементне покриття, напилення (процес Colmonoy Spray) тонкого порошку Colmonoy з отриманням гладкої поверхні твердістю HRC 60–62. Фінішними операціями є прецизійне механічне оброблення і поверхневе шліфування до чистої суперфінішу. Є також варіант заміни сплаву Colmonoy на цементацію та азотування поверхневого шару в електропечі на твердість HRC 60 з наступним суперфінішуванням.

Фірма “Reed American” для виготовлення штоків використовує сталь з мінімальною схильністю до утворення волосовин і розшарування. Для зміцнення наносять порошок нікель-хромового сплаву на термооброблену заготовку і наплавлення при 1090°C з кінцевим шліфуванням до дзеркального блиску.

Фірма “TRW Mission” для штоків використовує леговані сталі. Для зміцнення штоків Supremе наносять покриття сплавом нікель-хром-бор у вигляді порошку з наступним механічним обробленням як для штоків фірми “Harris-burg”. Для зміцнення штока “Super Service” використовують індукційне гартування на глибину 1,5 мм при ретельному контролі процесу. Добиваються твердості HRC 59. Отже, основною тенденцією закордонних фірм є використання високоякісних легованих сталей. Зміцнювальне оброблення повинно забезпечувати високі показники стійкості до абразивного спрацювання та корозії [5, 6].

Вибір методу зміцнення для конкретних деталей машин нафтогазової промисловості неможливий без ґрунтового аналізу умов, в яких вони працюють, вимог, що ставляться до їхньої працездатності. Тому була поставлена задача: на основі аналізу умов роботи штоків бурового насоса У8-6МА, встановити найімовірніші причини втрати їхньої працездатності і відповідно до цього розробити рекомендації з підвищення довговічності. З цією метою були проведені експлуатаційні дослідження штоків, виготовлених зі сталі 40Х ГОСТ 4543-71, яка відповідає існуючим типовим технічним умовам ТУ У 0153362-011-98. Твердість серцевини штока становила 280–320 НВ. Штоки зміцню-

вали різними способами, які допускаються вказаними технічними умовами, з викінчувальною операцією — шліфуванням на шорсткість $R_a = 0,4$ мкм: нагрівання СВЧ і гартування робочих поверхонь на глибину 2–5 мм до твердості 50–55 HRC; об'ємне гартування до твердості 47–51 HRC; електрохімічне хромування „хроміном” за ТУ6-02-788-79 на глибину 0,6 мм до твердості 57HRC.

Контроль твердості поверхні контролювали твердоміром відповідно до ГОСТ 9012-59. Контроль однорідності глибини зміцненого шару здійснювали на мікрошліфах, виготовлених за допомогою окулярного гвинтового мікроскопа [7]. Шорсткість поверхні перевіряли за допомогою профілографа-профілометра моделі 201 відповідно до методики [8]. При плануванні експериментів, а також оброблянні отриманих даних використовували методи математичної статистики та теорії планування експерименту [9] з використанням програмних продуктів Mathcad та електронних таблиць Excel.

Випробовування проводили спільно з Бориславським управлінням бурових робіт Відкритого акціонерного товариства „Україна”, Стрийським відділенням бурових робіт Бурового управління „Укргаз” дочірній компанії „Укргаз-видобування” Національної акціонерної компанії „Нафтогаз України”, Долинським управлінням бурових робіт Відкритого акціонерного товариства „Укрнафта”.

Експерименти засвідчили, що об'ємно гартовані деталі більш схильні до корозійно-механічного крихкого руйнування, їхнє напрацювання складало приблизно 180 год.

Деталі, зміцнені СВЧ гартуванням, мають неоднорідності в зміцненій поверхні, що спричинене недогріванням чи перегріванням зони термічного впливу. Через це робочі поверхні мають ділянки з неоднорідною твердістю. В зонах з меншою твердістю спостерігається інтенсифікація різальної дії абразиву. У зонах з надлишковою твердістю зафіксовані пітинги крихкого руйнування. На межі ділянок з різним перепадом твердості спостерігаються задирки чи мікросколювання. Напрацювання штоків, зміцнених СВЧ-гартуванням, становило пересічно 210 год.

Для штоків, зміцнених хромуванням, власне утворення волосовин, задирок і розшарування, що призводить до швидших виходів з ладу у разі утворенні пітингів порівняно зі штоками, зміцненими іншими методами. При цьому штоки, зміцнені хромуванням, показали найкращі значення середнього напрацювання — 242 год. Це пояснюється вищою стійкістю зміцненого хромуванням поверхневого шару до абразивного та корозійно-механічного руйнування. Проте, було виявлено порушення стабільності середньостатистичного напрацювання штоків насосів у корозійно-втомних середовищах з підвищеною концентрацією абразиву. Зокрема, при вмісті абразиву 1 — 3% напрацювання штоків може сягати приблизно 190 год (Бориславське управління бурових робіт Відкритого акціонерного

Таблиця 1 – Режими оброблення зразків

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
n, об/хв	330	360	490	420	450	480	510	540	570	600	630	660	690	720
S, хв/об	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14

товариства „Україна”). Це зумовлено тим, що в умовах абразивного спрацювання електрохімічне покриття хромом забезпечує високі показники довговічності деталей тоді, коли глибина допустимого абразивного спрацювання не перевищує значення товщини шару хрому [10].

На основі виявлених і систематизованих авторами [10–13] видів спрацювання деталей машин, а також проведених нами досліджень, можна проаналізувати умови роботи штока і встановити найімовірніші причини втрати його працездатності та систематизувати основні види й групи спрацювання штока бурового насоса.

Отже, при високому вмісті абразивної фази в буровому розчині (3% і більше) відбувається абразивне спрацювання. На робочій поверхні штока спостерігаються подряпини та рвані риси, задирки. При зростанні швидкості реверсивного руху штока до 1,6–1,8 м/с і тиску бурового розчину в гідравлічній частині насоса до 25 МПа і більше яскраво вираженим є гідроабразивне спрацювання. Дія мастильної плівки бурового розчину, що містить абразивні частинки, сприяє утворенню на робочій поверхні гладких рівчаків. При зменшенні тиску в гідравлічній частині насоса до 16 МПа на поверхнях спостерігаються рвані рівчаки, виступи, задирки, тобто основним є ударно-абразивне спрацювання. Вплив водяного та, особливо, мінералізованого середовища, яке перекачується насосами, і мастила, що використовується в системі охолодження, сприяє корозійно-механічному і окислювальному руйнуванню штока. В результаті впливу циклічних навантажень стиску та розтягу, реверсивного тертя у парі з ущільнювальною манжетою в присутності плівки бурового розчину, багатократної пластичної деформації виникають втомні явища в тонких поверхневих шарах штоків. Результатом гідравлічних ударів та дії турбулентного потоку бурового розчину є кавітаційно-ерозійне спрацювання окремих зерен металу, що сприяє утворенню пітингів на робочій поверхні штока.

При огляді відпрацьованих штоків було виявлено як загальне спрацювання робочої поверхні, так і локальне, у вигляді рисок, подряпин, рівчаків глибиною 2–5 мм і більше, що істотно перевищує товщину хромового покриття. Взаємодія абразивної частинки дрібної фракції (10–15 мкм) мікротвердістю до 12500 МПа (кварц) з поверхнею спрацювання має два етапи: пряме проникнення і наступне ковзання по ній. Якщо усунути перший етап за рахунок більшої твердості поверхні, то другого не буде [14].

Оскільки поверхнево-активні речовини (ПАВ) середовища, в якому працюють деталі бурового насоса, здійснюють інгібуючу дію протікання анодних і катодних процесів [15], то при

повторно-змінному шаржуванні абразиву після кожного дряпання створюються ділянки поверхні металу, які стають анодами, тоді як решта поверхні, блокована адсорбованими ПАВ, є катодом. Це сприяє інтенсифікації розчинення металу на дні субмікродфектів поверхні. За таких умов експлуатації штока ефективним зміцненням його може бути механоультразвукове оброблення [16].

Дослідження на корозійну стійкість зразків, зміцнених механоультразвуковим зміцненням [18, 19], показали, що опір корозійному розтріскуванню зразків у 20% розчині сірчаної кислоти збільшується в 1,8 рази порівняно зі шліфованими. При роботі деталей при температурах 150–200°C спостерігалось підвищення корозійної витривалості до 18%, що пояснюється виділенням дрібнодисперсних карбідів та інтенсивним розпадом метастабільного залишкового аустеніту, великою гомогенізацією структури. Все це дає можливість твердити про достатньо високу стабільність експлуатаційних характеристик деталей, зміцнених механоультразвуковим обробленням.

Оскільки вибір режимів зміцнення здійснюється в залежності від конкретних умов і технічних вимог до деталей та їхнього матеріалу, рекомендації щодо вибору режимів механоультразвукового оброблення є суперечливими. Враховуючи також те, що для деталей, які працюють в умовах втомного навантаження, визначальним параметром є шорсткість поверхні, а при корозійних — фізико-механічні властивості матеріалу [20], то виникає суперечність у встановленні оптимальних показників поверхні штока, що працює в умовах корозійно-втомних впливів. Тому були проведені дослідження для встановлення впливу технологічних параметрів механоультразвукового зміцнення на шорсткість та мікротвердість поверхні і глибину зміцненого шару при обробленні сталі 40Х, з якої виготовляють штоки.

Механоультразвукове оброблення зразків проводили на токарно-гвинторізальному верстаті моделі 1К62, використовуючи магнетострикційний перетворювач ультразвукових коливань згідно з [21]. Джерелом ультразвукових коливань був генератор УЗГ 10-22. Використовуючи рекомендації [22], призначали частоту ультразвукових коливань 20 кГц, навантаження на зразок P=1000Н, припуск на оброблення становив 0,02мм. В якості технологічного середовища використовували мастило И-20. Виготовили 14 партій зразків при зміні швидкості обертання зразка та подачі (див. табл.1).

У результаті математичного оброблення результатів експерименту були встановлені залежності, що описують вплив зміни швидкості обер-

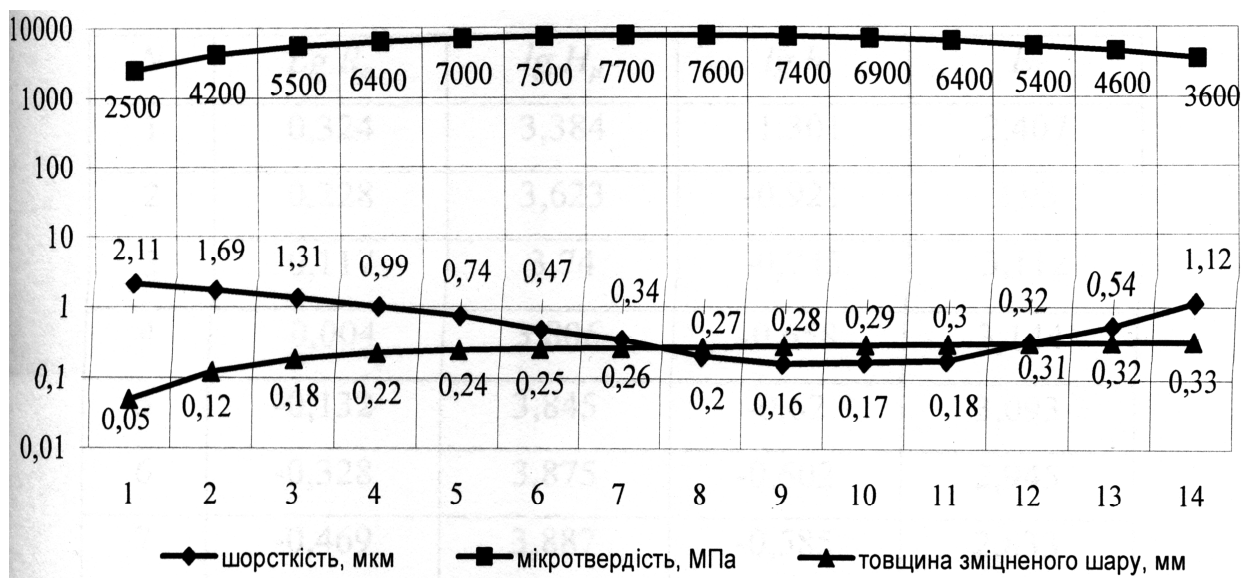


Рисунок 1 – Вплив зміни параметрів обробки на шорсткість, мікротвердість та товщину зміцненого шару

тання заготовки і поперечної подачі інструмента, які характеризують параметри n -го виду оброблення на шорсткість поверхні, поверхневу мікротвердість, товщину зміцненого шару (рис. 1).

З отриманих залежностей видно, що при збільшенні параметрів швидкості обертання заготовки та поперечної подачі відбуваються не однакові зміни характеристик технологічної спадковості. Шорсткість спадає і, досягнувши $R_a = 0,16$ мкм, зростає за квадратичною залежністю. Поверхнева мікротвердість плавно зростає до 7700 МПа, а потім спадає також за квадратичною залежністю. Глибина зміцненого шару плавно зростає за експоненціальною залежністю.

Оскільки в процесі експлуатації шток піддається корозійно-втомному навантаженню, оптимальними будуть параметри 11 варіанту оброблення, оскільки краще поєднують фізико-механічні характеристики та високі показники товщини зміцненого шару, він відповідає режиму оброблення при частоті обертання зразка $n = 630$ об/хв, подачі $S = 0,1$ хв/об. Дослідження штоків, зміцнених механо-ультразвуковим обробленням, показали збільшення довговічності в 2,3 рази порівняно зі штоками, зміцненими хромуванням. Отже, механоультразвукове зміцнювальне оброблення можна рекомендувати для промислового впровадження.

У подальшому є перспективним здійснити порівняльні оцінки довговічності штоків, оброблених механоультразвуковим та іншими прогресивними методами.

Література

1 Ильский А.Л. Расчет и конструирование бурового оборудования / А.Л. Ильский, Ю.В. Миронов, А.Г. Чернобыльский. — М.: Недра, 1985. — 452 с.

2 Николич А.С. Поршневые буровые насосы / А.С. Николич. — М.: Недра. — 1973. — 224 с.

3 Шишов В.В. Результаты применения алмазного вибровыглаживания при производстве штоков бурового насоса / В.В. Шишов, В.Г. Никитченко // Машины и нефтяное оборудование. — 1979. — №7. — С. 23–25.

4 Шишов В.В. Повышение качества бурового и нефтепромыслового оборудования с помощью технологических методов формирования поверхностного слоя деталей / В.В. Шишов, А.С. Леснин // Технол. хим. и нефт. машиностр. и новые матер. Серия ХМ-9. — М.: ЦИНТИ и техн.-экон. исслед. по хим. и нефт. машиностр., 1981. — 61 с.

5 Романов А.З. Зарубежные буровые насосы и сменные детали их гидравлической части / А.З. Романов, И.Б. Малкин, И.Е. Рудавский // Обзорн. инф. Нефтепромысловое машиностроение. Сер. ХМ-3. — М.: ЦИНТИ и техн.-экон. исслед. по хим. и нефт. машиностр., 1985. — 44 с.

6 Composit Catalog, 1980—1981.

7 Вашуль Х. Практическая металлография. Методы изготовления образцов; пер. с нем. / Х. Вашуль. — М.: Металлургия, 1988. — 320 с.

8 Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / Э.В. Рыжов. — К.: Наук. думка, 1984. — 272 с.

9 Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. — К.: Техніка, 1975. — 168 с.

10 Костецкий Б.И. Надежность и долговечность машин / Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, Л.И. Бершадский, А.К. Караулов. — К.: Техніка, 1975. — 408 с.

11 Мкртычан Я.С. Повышение эффективности эксплуатации буровых насосных установок / Я.С. Мкртычан. — М.: Недра, 1987. — 207 с.

12 Хрущов М.М. Абразивное изнашивание / М.М. Хрущов, М.А. Бабичев. — М.: Недра, 1970. — 252 с.

13 Бегачаен Н.А. Бурильные машины / Н.А. Бегачаен, А.Г. Дядюра, А.И. Бажал. — М.: Недра, 1972. — С. 258–259.

14 Виноградов В.Н. Абразивное изнашивание / В.Н. Виноградов, Г.М. Сорокин, М.Г. Колокольников. — М.: Машиностроение, 1990. — 224 с.

15 Северинчик Н.А. Усталостная прочность сталей в средах, содержащих ПАВ / Н.А. Северинчик, Б.В. Копей, О.Н. Чапля. // ФХММ. — 1980. — № 1. — С. 114–115.

16 Петрина Ю.Д. Шляхи підвищення довговічності деталей машин насосів і компресорів нафтогазової промисловості / Ю.Д. Петрина, Р.С. Яким, А.В. Швадчак // Нафта і газ України: Матеріали 8-ї міжнародної науково-практичної конференції „Нафта і газ України 2004”. — Судак, 2004. — Т.2. — С. 223–225.

17 Влияние шлифования на свойства поверхностных слоев стали / В.Ф. Безязычный, Б.М. Драпкин, М.А. Прокофьев, М.В. Тимофеев // Физика и химия обработки материалов. — 2003. — № 6. — С. 51–55.

18 Стоцкий И.М. Влияние механоультразвуковой обработки на сопротивление стали коррозионному растрескиванию / И.М. Стоцкий // ФХММ. — 1980. — № 6. — С. 101–103.

19 Петрина Ю.Д. Вплив механоультразвукової обробки на опір корозійному розтріскуванню деталей нафтогазової промисловості / Ю.Д. Петрина, А.В. Швадчак, І.М. Стоцький, С.І. Тарасівський // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. — 2004. — №3 (12). — С. 87–90.

20 Бабей Ю.И. Защита стали от коррозионно-механического разрушения / Ю.И. Бабей, Н.Г. Сопрунок. — К.: Техніка, 1981. — 126 с.

21 Марков Л.И. Ультразвуковая обработка материалов / Л.И. Марков. — М.: Машиностроение, 1980. — 237 с.

22 Бабей Ю.И. Физические основы импульсного упрочнения стали и чугуна / Ю.И. Бабей. — К.: Наук. думка, 1988. — 240 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії

19.10.10

Рекомендована до друку професором

Я. А. Крилем