

УДК 622.24.051

Р.С. Яким, д-р техн. наук, проф.  
Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І.Франка, Україна  
Тел. 0679070484; E-mail: [Jakym.r@online.ua](mailto:Jakym.r@online.ua)

## ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НАФТОГАЗОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ ДІЇ АБРАЗИВУ

Запропоновано застосовувати для виготовлення відповідальних деталей машин нафтогазової промисловості, що працюють в умовах дії гідроабразивного середовища, сталь 40X, яка у технологічному процесі повинна пройти гартування з низьким відпуском та зміцнення механоультразвуковим обробленням.

**Ключові слова:** зносостійкість, гідроабразивний знос, механоультразвукове зміцнення.

### 1. Вступ

Деталі машин нафтогазової промисловості працюють у важких умовах дії гідроабразивного середовища. Зокрема, деталі гідравлічної частини насосів, гвинтових конвеєрів тощо недопрацьовують через недостатню зносостійкість. Тому в нафтогазовому машинобудуванні організовується масовий випуск змінних вузлів і деталей для машин і обладнання. Наприклад, для найбільш відповідальних машин, які відіграють ключову роль у забезпеченні безперебійного процесу буріння, промисловістю випускаються: штоки поршнів, циліндрові втулки, поршні, ущільнення штока, клапанні вузли тощо. Тому актуальним є не тільки вдосконалення технології виготовлення таких деталей, а й розробка ефективних технологічних способів підвищення їх якості і довговічності. Особливо проблематичними у виготовленні є штоки двосторонньої дії для бурових насосів. Вони швидко виходять з ладу через інтенсивне зношування та вплив поверхнево активних речовин бурового розчину (рис. 1). На робочій ділянці штока виникають глибокі подряпини і борозенки, що прискорює руйнування манжети та знижує ефективність роботи бурового насоса. Відтак існує проблема ефективного забезпечення зносостійкості таких штоків. Для цього низкою провідних фірм застосовується комплекс заходів підвищення зносостійкості змінних деталей до бурових насосів, що включає підбір високоякісних і високоміцних сталей, точне механічне оброблення, а також найважливіше – сучасні методи зміцнення [1-3].



Рис. 1. Загальний вигляд відпрацьованого штока бурового насоса

Зокрема, фірма “National” для зміцнення штоків насосів двосторонньої дії використовує газополум’яне напилення хромоборнікелевим сплавом з наступним точним поліруванням, отримуючи на робочих поверхнях твердість HRC60. Фірма “Oilwell” використовує для зміцнення штоків газополум’яне 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 HRC60-62. Фінішними операціями є прецизійна механічна обробка і поверхневе шліфування до чистоти суперфінішу. Є також варіант заміни сплаву Colmonoy на цементацію та азотування поверхневого шару в електропечі на твердість HRC60 з наступним суперфінішуванням. Фірма „Reed American” для виготовлення штоків використовує сталь з мінімальною схильністю до утворення волосин і розшарування. Для зміцнення здійснюється нанесення порошку нікельхромового сплаву на термооброблену заготовку і наплавлення при 1090°C з остаточним шліфуванням до дзеркального блиску. Фірма “TRW Mission” для штоків використовує леговані сталі. Для зміцнення штоків Supreme наносять покриття сплавом нікель-хром-бор у вигляді порошку з наступною механічною обробкою як для штоків фірми „Harrisburg”. Для зміцнення штока Super Service використовують індукційне гартування на глибину 1,5 мм при ретельному контролі процесу. Добиваються твердості HRC 59 [1]. Низка зарубіжних фірм широко використовує хромування штоків виготовлених з легованої середньовуглецевої сталі, наприклад, фірма „Ostroj” [2] здійснює хромування штоків на 20-80 мкм у відповідності до вимог Німецького інституту стандартів (згідно DIN8556), для забезпечення твердості до HV1100. Викінчувальною операцією поліруванням добиваються шорсткості поверхні до  $R_a,0,4\text{мкм}$ . Відома індустриальна група „Parker Hannifin European” [3] виготовляє шток поршня з вуглецевих легованих сталей, що мають високі показники границі міцності до розриву. Штоки хромують і полірують з дотриманням високої точності. Перед хромуванням здійснюють зміцнення за допомогою СВЧ добиваючись мінімальної поверхневої твердості HRC54.

Отже, основною тенденцією закордонних фірм є використання високоякісних легованих сталей. Зміцнююча обробка повинна забезпечувати високі показники стійкості до абразивного зношування та корозії.

Оскільки процеси руйнування штока започатковуються в поверхневих шарах робочих поверхонь, тому стан та якість при поверхневих шарів металу тут мають вагомое значення, бо вони визначають стійкість поверхні до зародження піттингів. Отже, першочергового значення набуває сформований технологічними операціями виготовлення штока напружено-деформований стан матеріалу та шорсткість поверхні.

Отже шток повинен виготовлятися із сталі, який матиме комплексні властивості: високу ударно-абразивну та гідроабразивну стійкість, опір корозійно-втомному руйнуванню та корозійному розтріскуванню, кавітаційно-ерозійну витривалість. Звичайні серійні марки сталей – середньовуглецеві і низьковуглецеві, леговані не мають водночас увесь комплекс необхідних властивостей. Тому стоїть питання про використання більш прогресивних методів поверхневого зміцнення робочих поверхонь штока, які би підвищували довговічність його роботи. Серед таких методів зміцнення добре зарекомендувало себе механоультразукове оброблення [4]. Однак сьогодні гостро відчувається брак даних про динаміку зносу оброблених таким чином деталей, що не дозволяє з високою достовірністю прогнозувати довговічність відповідальних деталей. Тому в роботі поставлено завдання усунення цієї прогалини.

Аналізу довговічності піддано партію штоків для насоса У8-6МА. Ці штоки виготовляються зі сталі 40Х, яка відповідає існуючим типовим технічним умовам ТУУ 0153362-011-98. Твердість серцевини штока становила 280-32НВ. Штоки піддавали різним обробкам зміцнення, які допускаються вказаними технічними умовами з викінчувальною операцією шліфування на шорсткість  $R_a,0,4\text{мкм}$ : партія №1 (нагрів СВЧ і гартування робочих поверхонь на глибину 2-5 мм до твердості HRC50-55); партія

№2 (об'ємне гартування здійснювали до твердості HRC47-51); партія №3 (хромування „хроміном” за ТУ6-02-788-79 на глибину 0,6 мм до твердості HRC57). При експлуатаційних випробовуваннях робочий тиск бурового розчину насосів становив 16-25МПа.

Для експериментів виготовляли зразки зі сталі 40Х та піддавали зміцненню механоультразвуковим обробленням: частота ультразвукових коливань – 20кГц, частота обертання зразка  $n=630$ об/хв, подача  $S=0,11$ мм/об, навантаження на індентор  $P=1000$ Н, припуск на оброблення 0,02мм. Такі параметри обґрунтовані в [4], що дозволило здійснювати порівняння зносостійкості зміцнених зразків за різними способами.

Випробовування на зносостійкість лабораторних зразків здійснювали згідно запатентованої методики (Пат. 34651 Україна, МПК G01N 3/56. Спосіб випробовування матеріалів і покриттів на гідроабразивне зношення. / Ю.Д.Петрина, Р.С.Яким (Україна).; – № 2005 060659; заявл. 07.07.2005; опубл. 26.08.2008, Бюл. № 16.).

## 2. Основний зміст і результати роботи

Встановлені напрацювання штоків бурових насосів подані в табл. 1. У цілому, відмінність між середнім значенням напрацювання штоків зміцнених СВЧ гартуванням і об'ємним гартуванням є незначною (гартування СВЧ дає приблизно на 10% більше напрацювання). Середнє значення напрацювання хромованих штоків складає 255 год, тобто на 19,4% більше від штоків загартованих СВЧ.

Таблиця 1. Результати напрацювань штоків бурових насосів У8-6МА

№	Вид зміцнення	Параметри бурового розчину	Напрацювання штоків		
			год.	$\bar{X}$	s
1	Гартування СВЧ	1,08–1,12 г/см <sup>3</sup> , 282-323К	188, 198, 222	202,7	10,1
	Об'ємне гартування		166, 178, 185	176,3	5,5
	Хромування		201, 234, 268	234,3	19,3
2	Гартування СВЧ	1,16–1,24 г/см <sup>3</sup> , 283-332К	211, 233, 263	235,7	15,1
	Об'ємне гартування		195, 221, 270	228,7	21,9
	Хромування		224, 282, 325	277	29,3
3	Гартування СВЧ	1,18–1,31 г/см <sup>3</sup> , 281-342К	183, 193, 231	202,3	14,6
	Об'ємне гартування		162, 165, 202	176,3	12,9
	Хромування		205, 235, 321	263,7	34,8

Аналізом встановлено, що об'ємно гартовані штоки більш схильні до корозійно-механічного крихкого руйнування. Зміцнення гартуванням СВЧ мають неоднорідності в зміцненій поверхні, що спричинене недогрівом чи перегрівом зони термічного впливу. Відтак робоча поверхня штока вкрита подряпинами, глибокими задирами, слідами від різальної дії абразиву. Для штоків зміцнених хромуванням властиве утворення волосовин, задилок і розшарування, що веде до швидших виходів з ладу при утворенні пітінгів у порівнянні з штоками зміцненими іншими методами.

Незважаючи на високі експлуатаційні показники штоків зміцнених хромуванням сьогодні більшість підприємств відмовляється здійснювати хромування. Це пов'язано із значними затратами та негативним впливом цього процесу на екологію. Тому сьогодні стоїть питання у пошуку альтернативних методів підвищення зносостійкості цих деталей. З цією метою запропоновано механоультразвукове оброблення [4].

Результати порівняльних випробовувань на втрату маси при гідроабразивному зношуванні представлені на рис. 2. Аналіз отриманих даних засвідчує найбільшу стійкі-

сть зразків, зміцнених лазерним гартуванням та механоультразвуковою обробками. При цьому перевага у зносостійкості на стороні механоультразвукового методу зміцнення.

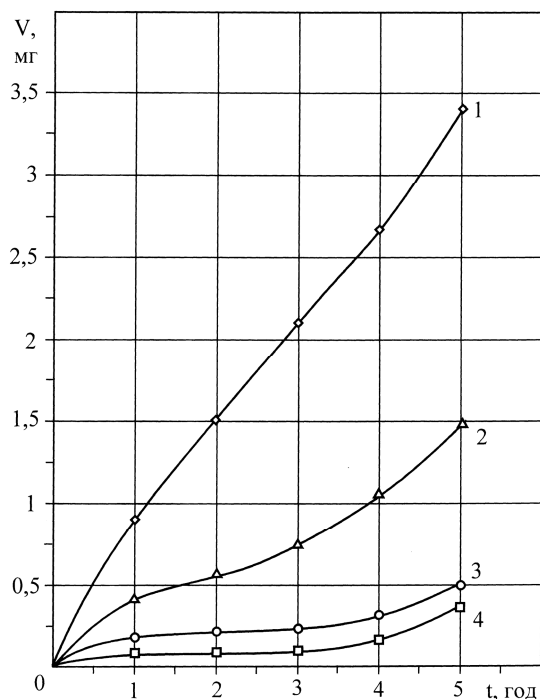


Рис. 1. Динаміка втрати маси при гідро абразивному зношуванні зразків зі сталі 40X: 1 – без зміцнення (сталь у стані поставки); 2 – гартування + відпуск + механічне оброблення точінням; 3 – нормалізація + механічне оброблення точінням + гартування лазерним нагрівом; 4 – гартування + відпуск + механоультразвукового оброблення

Позитивний вплив механоультразвукового оброблення на підвищення зносостійкості досліджуваних зразків здійснюють специфічна структура білих шарів, отриманих пластичною деформацією, і наявність твердих складових, впорядкованих ультразвуковим впливом, які сприймають основне навантаження. Взаємна орієнтація міжатомних площин кристалів, на глибину ультразвукового впливу, утруднює ріст дислокації і чинять опір зрізові, який визначає інтенсивність процесу гідроабразивного зношення в досліджуваних умовах. Крім цього, отримана ультразвуковим впливом орієнтація площин створює мозаїкову структуру, що порушує регулярність решітки і рівноважну взаємодію між атомами, перешкоджає переміщенню дислокацій і сприяє підвищенню міцності металу. Отримані дані про підвищення зносостійкості та втомної міцності поверхневих шарів досліджуваних зразків зміцнених механоультразвуковим обробленням узгоджуються з даними [5, 6].

Рентгеноструктурними дослідженнями зміцнених механоультразвуковим обробленням зразків зі сталі 40X засвідчили незначне збільшення вмісту залишкового аустеніту порівняно з незміцненими (до 5%). Старіння зміцненого шару, отриманого механоультразвуковим обробленням після гартування, низького відпуску чи покращення приводить до появи на рентгенограмах ліній карбідів, яких немає в зразках у вихідному стані. Також на фоні аустеніту спостерігалася присутність мартенситу.

Таким чином, лабораторні дослідження показали, що зміцнення механоультразвуковим обробленням є ефективним способом поверхневого зміцнення деталей зі сталі

40X, які працюють в гідроабразивному середовищі. Це пояснюється отриманням кращого технологічного спадку завдяки досягненню більш однорідного розподілу мікротвердості (у середньому поверхнева мікротвердість становить 7100МПа, а на глибині 40мкм – 4200МПа), уникненням високого перепаду між пластично деформованими та загартованими поверхневими і приповерхневими зміцненими шарами.

### 3. Заключення

Таким чином, виконані дослідження дозволили встановити наступне. Для виготовлення відповідальних деталей машин нафтогазової промисловості, що працюють в умовах дії гідроабразивного середовища, слід застосовувати сталь 40X яка у технологічному процесі повинна пройти гартування з низьким відпуском та зміцнення механоультразвуковим обробленням. Тим не менше надалі залишаються актуальними питання розробки технологічних процесів адаптованих до виготовлення не тільки штоків, а й клапанів та інших деталей з складною робочою поверхнею, що піддається значному зносу.

### Список літератури:

1. Романов А. З. Зарубежные буровые насосы и сменные детали их гидравлической части: обзорная инф. Сер. ХМ-3 Нефтепромысловое машиностроение / А. З. Романов, И. Б. Малкин, И. Е. Рудаковский. – М.: ЦИНТИ и ТЭИ по химическому и нефтяному машиностроению, 1985. – 44 с.
2. Surfaces Piston rod [Електронний Ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ostroj.cz>.
3. Piston rods – a suitable case for [Електронний Ресурс]. – Режим доступу: <http://www.engineertalk.com>.
4. Забезпечення експлуатаційних показників деталей бурового обладнання механоультразвуковим зміцнюючим обробленням / Р. С. Яким, Ю. Д. Петрина, І. С. Яким, Ю. В. Павловський // Прогресивні технології і системи машинобудування: міжнародний зб. наукових праць. – 2013. – Вип. 1,2 (46). – С. 309 – 314.
5. Righman R. H. and Mc Naughton W.P. Correlation of cavitation erosion behavior with mechanical properties of metals / R. H. Righman // Wear. –1990. –№140. – p.63-82.
6. Study on mechanism of combined action of abrasion and cavitation erosion on some engineering steels / Z.Kang, G.Chenqing, S.Fusan, L. Bingzhe // Wear. – 1993. – №162-164. – PP. 811-819.

Надійшла до редакції 16.02.2014

**Р.С. Яким**

### **ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ АБРАЗИВА**

*Предложено использовать для изготовления ответственных деталей машин нефтегазовой промышленности, работающей в условиях воздействия гидроабразивной среды, сталь 40X, которая в технологическом процессе должна пройти закалку с низким отпуском и упрочнение механоультразвуковой обработкой.*

*Ключевые слова:* износостойкость, гидроабразивный износ, механоультразвуковое упрочнение.

**R.S.Yakym**

### **INCREASE OF OIL-AND-GAS INDUSTRY MACHINE PARTS WEAR RESISTANCE UNDER CONDITIONS OF ABRASIVE ACTION**

*It is suggested to use 40X steel, which must be subjected to hardening with low tempering and strengthening by mechanical-ultrasonic treatment during the technological process, for manufacturing of important machine parts of oil-and-gas industry which work under conditions of action of hydro-abrasive medium.*

*Key words:* wear resistance, hydro-abrasive wear, mechanical-ultrasonic strengthening.