

*Артим В.І., д.т.н., професор  
Яценко Т.В., аспірант  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Пенц В.Ф., к.т.н., доцент  
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

## **ПІДХІД ДО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛЕВИХ ЦИЛІНДРОВИХ ВТУЛОК БУРОВОГО НАСОСА ТА ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

*На основі експлуатаційних випробувань циліндрових втулок бурових насосів було встановлено, що втулки циліндрові бурових насосів, виготовлені за типовими технічними умовами, виходять з ладу не тільки внаслідок гідроабразивного зношування, але й при впливі корозійного розтріскування робочих поверхонь, яке інтенсифікується кавітацією в зоні переходу «втулка – поршень». Порівнянням даних випробувань доведено, що використання біметалевих втулок збільшить міжремонтний період і відповідно знизить ремонтні витрати. Аналізом типового технологічного процесу виготовлення втулок засвідчено необхідність застосування біметалевих циліндрових втулок бурових насосів.*

**Ключові слова:** *буровий насос, циліндропоршнева пара, поршень, біметалева втулка.*

*Артым В.И., д.т.н., профессор  
Яценко Т.В., аспирант  
Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа  
Пенц В.Ф., к.т.н., доцент  
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

## **ПОДХОД К ПРОЦЕССУ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЦИЛИНДРОВЫХ ВТУЛОК БУРОВОГО НАСОСА И ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

*На основе эксплуатационных испытаний цилиндрических втулок буровых насосов было установлено, что втулки цилиндрических буровых насосов, изготовленные по типовым техническим условиям, выходят из строя не только вследствие гидроабразивного износа, но и при воздействии коррозионного растрескивания рабочих поверхностей, которое интенсифицируется кавитацией в области перехода «втулка – поршень». Сравнение данных испытаний показали, что использование биметаллических втулок увеличит межремонтный период и соответственно снизит ремонтные расходы. Анализ типового технологического процесса изготовления втулок показал необходимость применения биметаллических цилиндрических втулок буровых насосов.*

**Ключевые слова:** *буровой насос, циліндропоршнева пара, поршень, биметаллическая втулка.*

Artym V., ScD, Professor  
Yatsenko T., post-graduate  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas  
Pents V., PhD, Associate Professor  
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

## APPROACH TO THE PROCESS OF MANUFACTURING OF THE MUD-PUMP BIMETAL LINERS AND THEIR OPERATIONAL CHARACTERISTICS

*On the ground of the operation test of the mud-pump bimetal liners, it was estimated that the mud-pump bimetal liners, manufactured under the typical technical conditions, break down not only because of the hydroabrasive wear, but also because of the influence of the working surface corrosion cracking which is intensified by the cavitation in the «bushing – piston» junction area. Due to the comparison of the data of the examination it was demonstrated that the usage of the bimetal liners will increase the overhaul life and decrease the repair costs. The analysis of the typical technical conditions of the liners' manufacturing has proved that there is a necessity to use the mud-pump bimetal liners.*

*The article reveals the damage mechanism of the Piston and Cylinder Unit of the mud-pumps applied in the global practice while drilling to extract oil and gas.*

*It was found out that the damage of the Piston and Cylinder Unit by the abrasive jet happens either when the abnormal fluid leakage from the decreasing space of the cylinder into the increasing space, which is formed after the wear of the unit by the abrasive layer, takes place or as a result of the alternative displacement of the layer from one piston cup to another by the lubricating fluid. A specific feature of the second damage subtype is the fact that it generally takes place at the high pressure pumps.*

*The role of the technological heredity in the formation of the performance characteristics and the reliability coefficients was established.*

*The failure causes of the mud-pump liners as well as the techniques for producing of the existing mud-pumps were analyzed.*

*The main types and groups of the mud-pump bimetal liner wear were systematized and summarized in the table. The cyclic influence of the hydrodynamic loads and the existence of the corrosion environment lead to considerable decrease of the long-term strength of the corrosion cracking of the liner working surface.*

*It was defined that besides the stress-strain properties of the working surfaces, topography of the surface has the great influence on the liner's resistance to wear as it determines the possibility of the penetration of abrasive and the drilling mud inhibitors into the area of contact and as a result, the abrasion process is intensified by the propping action of the drilling mud.*

*The above mentioned facts give the evidence of the inadequacy of the usage of the typical technical conditions of the mud-pump bimetal liners' manufacturing.*

*The contrastive table for the comparison of the steel and bimetal liners was designed. It demonstrates that the main economic effect caused by the usage of the high-resource bimetal liners is obtained due to the increase of the overhaul life and decrease of the repair costs correspondingly.*

*The results of the experimental research were illustrated, the findings were analyzed and the ways of the follow-up study were indicated.*

**Keywords:** *mud-pump, Piston and Cylinder Unit, piston, bimetal liner.*

**Вступ.** Більшість відмов виробу пов'язані з недосконалістю технології його виготовлення, оскільки саме вона визначає рівень якості та всі властивості, отримані в процесі виготовлення деталей і складання вузлів. Технологічний процес виготовлення, складання та контролю виробу повинен з найменшими витратами часу і засобів забезпечити необхідний рівень якості продукції, зокрема і надійність. При виконанні бурових робіт широко використовують двопоршневі насоси двосторонньої дії та три-, чотирипоршневі односторонньої дії. Однією з основних проблем в експлуатації бурових насосів є низькі показники напрацювання змінних деталей – втулок циліндрових, поршнів, клапанів, штоків. Тому є проблема підвищення їх довговічності.

**Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій.** У розв'язання цієї проблеми суттєвий внесок зробили такі вчені, як Я.С. Мкртичан, А.С. Ніколіч, В.М. Литвинов, А.З. Романов, Г.Г. Ахадов та інші.

Було встановлено [1 – 6], що в процесі роботи бурового насоса гідравлічна частина зазнає значного навантаження, зі збільшенням подачі розчину воно зростає, й однією зі слабких ланок у цій частині є циліндропоршнева пара. Вихід її з ладу викликаний втратою стійкості внаслідок зношення робочих поверхонь. Таку проблему може бути розв'язано прямим використанням досягнутих за останні роки результатів удосконалення технології машинобудування.

Однак завдання подолання абразивного зношення і створення зносостійких та довговічних компонентів не може бути розв'язано без ґрунтового аналізу конкретних умов виготовлення циліндрових втулок, оскільки умови виготовлення деталей машин визначають їх експлуатаційні характеристики.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Питання впливу умов виготовлення втулок циліндрових бурових насосів на їх експлуатаційні характеристики вивчено явно недостатньо. Тому для заповнення цієї прогалини було поставлено завдання проаналізувати вплив типових технічних умов виготовлення циліндрових втулок бурових насосів на їх середнє напрацювання та запропоновано використовувати біметалеві циліндрові втулки.

**Метою дослідження** є проведення аналізу умови роботи циліндрової втулки й установлення найбільш імовірних причин втрати її працездатності.

**Основний матеріал і результати.** Нині для подачі та приведення в рух промивальної рідини в насосно-циркуляційних системах використовуються бурові насоси, в основному двопоршневі двосторонньої дії й трипоршневі односторонньої дії.

З урахуванням того, що, з одного боку, умови роботи основного робочого органу в трипоршневому буровому насосі односторонньої дії полегшені внаслідок подачі змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР) в зону тертя, а з другого – стали важчими через збільшення частоти циклів прикладання навантаження, доцільним є проведення аналізу довговічності переважаючих видів зношування й особливостей руйнування деталей циліндропоршневої пари (ЦПП).

Слід зауважити безперервний розвиток уявлень про руйнування ЦПП у напрямі їх поглиблення і розширення. Механізм руйнування пари є дуже складним (табл. 1). По-перше, це абразивне зношування, а по друге – втомне руйнування манжет поршня від циклічних напружень, яке підсилюється термохімічними процесами.

Руйнування ЦПП абразивним струменем, яке виникає після зношування пари абразивним прошарком, відбувається або при надзвичайних витіканнях рідини з порожнини нагнітання циліндра в порожнину всмоктування, або в результаті почергового витіснення мастильною рідиною прошарка від однієї манжети поршня до другої. Характерною особливістю другого підтипу руйнування абразивним струменем є те, що він має місце здебільшого в насосах високого тиску. Із цією метою ми систематизували основні види та групи зношення циліндрової втулки бурового насоса.

**Таблиця 1 – Основні види зношення циліндрових втулок бурових насосів**

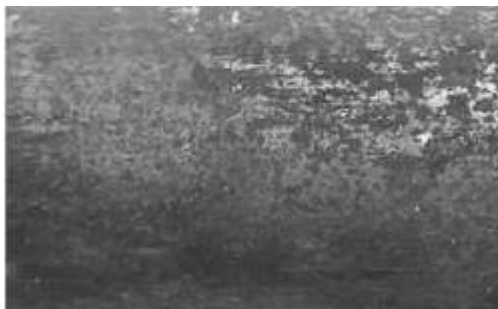
Основні види зношення	Характерні ознаки	Основні фактори, що спричинюють зношення	Умови інтенсивного прояву видів зношення
Абразивне	Подряпини та гострі риси на поверхні тертя	Вплив абразивних частинок бурового розчину, защемлених між циліндровою втулкою та рухомим поршнем	При роботі насосів на високоабразивних розчинах
Гідроабразивне	Гладкі рівчаки, місцеві промиви на поверхнях, що контактують	Дія потоку чи змащувальної плівки бурового розчину, що містить абразивні частинки	При швидкостях високоабразивного струменя чи плівки бурового розчину, що перевищує 10 м/с
Ударноабразивне	Рвані рівчаки, виступи, задирки	Удар при заклинюванні абразиву між контактуючими поверхнями	При роботі насосів на середніх і високоабразивних розчинах і швидкостях потоку, менших 10 м/с
Корозійно-механічне й окиснювальне	Сліди корозії на робочій поверхні	Вплив водяного та особливо мінералізованого середовища, що перекачується насосами, і мастила, яке використовується в системі охолодження	При роботі насосів на технічній воді, водяних і особливо мінералізованих розчинах, а також при довготривалих зупинках насосів
Механічне, втомне	Деформація, викривлення, зародження і розвиток тріщин	Вплив високих змінних напружень від тиску. Вплив високих пульсуючих навантажень під дією сил тиску, удару, тертя	При роботі насосів на середніх і особливо високих тисках

Огляд циліндрових втулок, які втратили працездатність, засвідчив, що вони схильні до корозійно-механічного, гідроабразивного зношення (табл. 2). У циліндрових втулках бурового насоса механізм зношення складніший: крім корозійно-механічного, гідроабразивного, спостерігається кавітаційне зношення, а також унаслідок реверсивного тертя поршня й ущільнювальних манжет по поверхні циліндрової втулки (рис. 1).

Кавітаційне зношення виникає в процесі зворотно-поступального руху поршня, про що свідчать пітінги, каверни, ерозія поверхні втулки у місці контактного з'єднання з поршнем. Є частими випадки, коли неможливо від'єднати від втулки відпрацьований поршень. Деталі, виготовлені за різними технологічними умовами (поверхневе зміцнення), показали, що об'ємно гартовані більш схильні до корозійно-механічного крихкого руйнування.

**Таблиця 2 – Групи зношення та явища, що характеризують зношення**

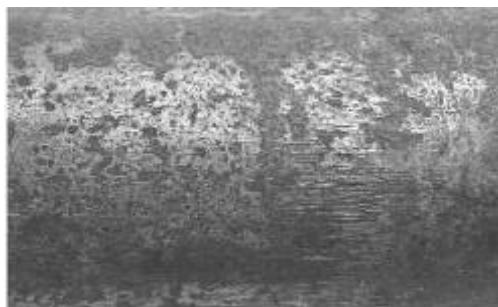
Групи зношення	Зношення	Явища, що характеризують зношення
Механічна	Абразивне	Різання чи дряпання з відділенням стружки, передеформування поверхневих шарів під дією абразиву чи твердих продуктів зношення, що відокремилися в процесі роботи, під дією ударних напружень
	Втомне	Викришування під дією поверхневих контактних напружень
	У результаті диспергування	Втомне руйнування контактуючих поверхонь у результаті повторно-пластичного деформування
	У результаті кавітаційно-ерозійної дії	Відрив і зношення окремих зерен металу внаслідок гідравлічних ударів при кавітації рідини
Молекулярно-механічна	У результаті схоплення металів	Молекулярне схоплення поверхонь із глибинним вириванням частинок металу
Корозійно-механічна	Окиснювання	Окиснення поверхневих шарів металу киснем повітря
	Корозійне	Утворення продуктів хімічної взаємодії металу з агресивними агентами середовища і їх відділення



1



2



3



4

**Рисунок 1 – Види зношення циліндрової втулки бурового насоса:  
1 – абразивно-втомне; 2 – абразивне; 3 – гідроабразивне;  
4 – корозійно-механічне, ускладнене кавітаційним зношенням**

Деталі, зміцнені СВЧ-гартуванням, мають неоднорідності в зміцненій поверхні, що спричинено недогрівом чи перегрівом зони термічного впливу. Унаслідок цього робочі поверхні мають ділянки з неоднорідною твердістю. У зонах з меншою твердістю спостерігається інтенсифікація різальної дії абразиву. У зонах з надлишковою твердістю спостерігаються пітінги крихкого руйнування. По границях ділянок з різним перепадом твердості спостерігаються задирки чи мікросколювання.

Для втулок циліндрових, зміцнених хромуванням, властиве утворення волосовин, задирок і розшарування, що призводить до швидших виходів з ладу при утворенні пітінгів порівняно з втулками, зміцненими іншими методами. Необхідно відзначити, що втулки, зміцнені хромуванням, показали найкращі характеристики при їх експлуатації. Це пояснюється вищою стійкістю зміцненого хромуванням поверхневого шару до корозійно-механічного руйнування.

Однак порівняльні випробовування [7] засвідчують, що зміцнення хромуванням не забезпечує гарантованого стабільного середньостатистичного напрацювання втулок насосів у корозійно-втомних умовах, у середовищах з підвищеною концентрацією абразиву. Це пояснюється тим, що в умовах абразивного зношення електрохімічне покриття хромом забезпечує високі показники довговічності деталей тоді, коли глибина допустимого абразивного зношення не перевищує значення товщини шару хрому.

При огляді відпрацьованих циліндрових втулок бурового насоса було виявлено як загальне зношення робочої поверхні, так і локальне у вигляді рисок, подряпин, рівчаків глибиною 2 – 5 мм та більше, що значно перевищує товщину хромового покриття.

Необхідно зауважити, що втрата корозійної стійкості деталей зумовлена утворенням дефектів не тільки через експлуатаційну, але й технологічну спадковість. Аналіз типового технологічного процесу хромування втулок засвідчив, що не завжди можна добитися рівномірного розподілу хрому, а також товщини та щільності покриття (див. рис. 1), що у свою чергу знижує корозійну стійкість [8].

Аналіз втрати працездатності досліджуваних деталей показав, що втулки насосів зазнають гідроабразивного впливу, працюють в умовах реверсивного тертя за присутності абразиву, а також зазнають крихкого руйнування внаслідок зниження корозійної витривалості сталі, оскільки при зростанні інгібіторів загальної корозії в буровому розчині знижується циклічна міцність деталей зі сталі [9].

Незважаючи на систему фільтрації й очищення бурового розчину, тверді частинки гірської породи неминуче залишаються в глинистому розчині, який є робочим середовищем для деталей гідравлічної частини бурового насоса. Виходячи із цього, циліндрова втулка повинна тривалий час працювати при визначеному мінімальному вмісті твердих частин дрібної фракції (10 – 15 мкм). Це сприяє інтенсивному зношенню втулки, оскільки мікротвердість абразиву в буровому розчині сягає до 12500 МПа (кварц).

На зносостійкість втулки, крім механічних властивостей робочих поверхонь, великий вплив має мікрорельєф поверхні, оскільки він визначає можливість попадання в зону контакту абразиву, інгібіторів бурового розчину, в результаті чого процес дряпання інтенсифікується розклинювальною дією бурового розчину.

Отже, циклічна дія гідродинамічних навантажень, присутність корозійного середовища призводять до значного спаду довготривалої міцності – корозійного розтріскування робочих поверхонь втулки. У ділянці переходу «втулка – поршень» відбувається інтенсифікація руйнування поверхні втулки дією кавітації.

Наведені факти засвідчують недосконалість типових технічних умов виготовлення втулок до бурових насосів. Тому стоїть питання внесення якісних обґрунтованих змін у технологічний процес виготовлення цих деталей.

Із цією метою перелічуємо можливі методи виготовлення біметалевих втулок:

- відцентрового горизонтального або вертикального литва;
- еластичного пресування;
- електрошлакового зварювання;
- автоматичного зварювання тиском;
- електродугового (холодне, гаряче, напівгаряче) зварювання;
- електрошлакового переплавлення;
- гарячої посадки.

Надалі необхідно дослідити перспективні методи виготовлення біметалевих втулок бурового насоса.

З наведених результатів [11 – 13] (табл. 3) видно, що основний економічний ефект від застосування високоресурсних біметалевих втулок досягається за рахунок збільшення міжремонтного періоду і відповідно зниження ремонтних витрат.

**Таблиця 3 – Порівняльна характеристика сталевих і біметалічних втулок**

Втулка циліндрова		Біметалічна	Сталева
Гарантований ресурс втулки, годин		600	200
Необхідна кількість втулок при бурінні тривалістю 600 годин	двопоршневий	2	6
	трипоршневий	3	9
Витрати часу на кожну заміну комплекту втулок із 3 шт., годин	двопоршневий	0	4
	трипоршневий	0	12
Загальні витрати часу на заміну втулок, годин	двопоршневий	0	8
	трипоршневий	0	24

**Висновки.** Таким чином, циклічна дія гідродинамічних навантажень, наявність корозійного середовища призводять до значного спаду довготривалої міцності – корозійного розтріскування робочих поверхонь циліндрової втулки. У ділянці переходу «шток – поршень» відбувається інтенсифікація руйнування поверхні циліндрової втулки під дією кавітації.

Проведені дослідження засвідчують недосконалість типових технічних умов виготовлення циліндрових втулок бурового насоса. Тому стоїть питання внесення якісних обґрунтованих змін у технологічний процес виготовлення цих деталей. Із цією метою надалі необхідно дослідити перспективні методи виготовлення біметалевих циліндрових втулок та оптимізувати технологічний процес відповідно до експлуатаційних вимог, які ставляться до циліндрових втулок бурових насосів. Варто також відзначити, що іноземні компанії вже десятки років використовують тільки біметалічні втулки.

### *Література*

1. Литвинов В. М. *Повышение надежности нефтепромысловых насосов* / В. М. Литвинов. – М. : Недра, 1978. – 191 с.
2. Романов А. З. *Зарубежные буровые насосы и сменные детали их гидравлической части* / А. З. Романов, И. Б. Малкин, И. Е. Рудаковский // *Нефтепромысловое машиностроение. Обзорная информация. Серия: ХМ-3. Центральный институт научно-технической информации и технико-экономических исследований по химическому и нефтяному машиностроению.* – 1985. – 44 с.

3. Мкртычан Я. С. *Повышение надежности эксплуатации буровых насосных установок* / Я. С. Мкртычан. – М. : Недра, 1978.
4. Николич А. С. *Основаи модернизации насосного комплекса буровых установок* / А. С. Николич // *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.
5. Ахадов Г. Г. *Повышение износостойкости деталей нефтепромышленного оборудования* / Г. Г. Ахадов // *Химическое и нефтяное машиностроение.* – 1992. – № 6. – С. 30 – 32.
6. Вашуль Х. *Практическая металлография: методы изготовления образцов* / пер. с нем. В. А. Федоровича. – М. : Металлургия, 1988. – 320 с.
7. Хрущев М.М. *Абразивное изнашивание* / М. М. Хрущев, М. А. Бабичев. – М. : Наука, 1970. – 252 с.
8. Бегагоен И. А. *Бурильные машины* / И. А. Бегагоен, А. Г. Дядюра, А. И. Бажал. – М. : Недра, 1972. – 368 с.
9. *Надежность и долговечность машин* / Б. И. Костецкий, И. Г. Носовский, Л. И. Бернадский и др. – К. : Техника, 1975. – 480 с.
10. *Термическая обработка в машиностроении: справочник* / Под ред. Ю. М. Лахтина, А. Т. Рахитадта. – М. : Машиностроение, 1980. – 783 с.
11. Северинчик Н. А. *Долговечность и надёжность геологоразведочных бурильных труб* / Н. А. Северинчик, Б. В. Коней. – М. : Недра, 1979. – С. 114 – 115.
12. Jiang J. S. *Research on the Industrialization of the Bimetal Syylinder Liners for Mud Pump* / J. S. Jiang, L. Lin. // *Applied Mechanics and Materials.* – Mar. 2011. – Vol. 52 – 54. – P. 893 – 898.
13. Schmidt G. J. *Mud Pump Liner Size and the SCR Rig* / G. J. Schmidt, W. J. Broussard // *SPE/IADC Drilling Conference.* – 28 February – 2 March, Dallas, Texas.
14. Sanyuan Yinda Petroleum Machinery Co. Ltd [Electronic resource]. – 2015. – Access mode: <http://www.globalsources.com/si/AS/Sanyuan-Yinda/6008849863819/pdtl/Bimetal-liner-is/1117203604.htm>.

© Артим В.І., Яценко Т.В., Пенц В.Ф.  
Надійшла до редакції 11.12.2015