

622.24.6
Л 45

Івано-Франківській національній технічній університет нафти і газу

Яким Роман Степанович



2.6(04)
УДК 622.24.05+
Л 45

**ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ
КЛАПАНА БУРОВОГО НАСОСА**

Спеціальність 05.05.12 - Машини нафтової і газової промисловості.

н/к

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2001

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Петрина Юрій Дмитрович,

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

декан механіко-технологічного факультету, завідувач кафедри "Технологія нафтогазового машинобудування".

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Копей Богдан Володимирович,

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, професор кафедри "Нафтове обладнання"

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Цирульник Олександр Тимофійович

Фізико-механічний інститут НАН України,

старший науковий співробітник відділу корозійно – водневої деградації та захисту металів (м. Львів)

Провідна установа: ВАТ "Український нафтогазовий інститут" Міністерства енергетики України, м.Київ

Захист відбудеться "22" 01 2002р. о "10" год. на засіданні

спеціалізованої вченої ради Д.20.052.04 у Івано-Франківському національному

техніч
Карпа

Франк
76019

вськ, вул.

ці Івано-
адресою:

					7	Опозитивное учебное мендованное программой й (авторы, название пособий, год издания)	
					8	всего необхо- димо учебных пособий	Данні

чех

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Вирішення важливої державної проблеми забезпечення паливно-енергетичного комплексу сировиною вимагає для цієї галузі розробки і впровадження високоефективного устаткування а також розвитку наукових методів його оптимальної експлуатації. Однією з основних проблем у вдосконаленні бурових насосів є збільшення довговічності змінних вузлів та деталей, а також зниження трудових і ресурсних затрат при виготовленні запасних частин до них. Підвищення напрацювання деталей гідравлічної частини бурового насоса суттєво впливає на роботу бурового комплексу, зменшення затрат енергії при бурінні, що є важливою проблемою, адже бурові насоси є основними споживачами енергії на буровій. Високі показники напрацювання змінних деталей бурового насоса, зокрема клапана, сприяють високим виробничим показникам, зменшенню кількості змінних деталей.

Таким чином дисертаційна робота, спрямована на встановлення основних закономірностей втрати працездатності деталей клапанного вузла бурового насоса а також підвищення довговічності їх роботи, має не тільки наукову актуальність, але й важливе народно-господарське значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами темами. Тематика роботи є частиною планових державних науково-дослідних програм з розвитку нафтопромислового комплексу України і базується на результатах держбюджетних науково-дослідних робіт “Наукові обґрунтування раціональних режимів роботи та вибір основних параметрів бурового обладнання”, номер державної реєстрації № 0195 U026337, які входять в координаційний план Міністерства освіти “Наукові основи розробки нових технологій видобутку нафти і газу, газопромислового обладнання, поглибленої переробки нафти і газу з метою одержання високоякісних моторних палив, мастильних матеріалів, допоміжних продуктів і нафтохімічної сировини”. Цей план входить в національну програму “Нафта і газ України до 2010 року”.

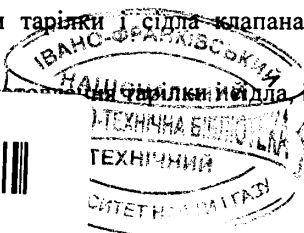
Мета і задачі дослідження. Мета роботи полягає у підвищенні довговічності клапанного вузла бурового насоса шляхом обґрунтованого вибору конструктивно-технологічних факторів з урахуванням комплексу функціональних параметрів.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

1. Дослідити умови роботи тарілки і сідала клапана бурового насоса і основні причини виходу їх з ладу.
2. Вибрати поверхню і метод зміцнення їх робочих



as1064



3. Встановити технологічні параметри вибраного методу зміцнення і розробити його режими для зміцнення тарілки і сідла.
4. Проаналізувати вплив умов виготовлення тарілки на її тріщиностійкість і запас втомливої міцності.
5. Розробити технологію виготовлення тарілки на базі лазерного зміцнення.
6. Встановити вплив технологічних і економічних факторів виготовлення тарілки на її експлуатаційні параметри роботи.
7. Провести порівняльні промислові випробовування серійного та експериментально-дослідного зразка клапанних вузлів

Об'єкт дослідження: Пара тарілка-сідло клапана бурового насоса.

Предмет дослідження: Методи та засоби підвищення довговічності деталей клапанного вузла бурового насоса.

Методи дослідження: Постановка задач обумовила широке застосування експериментальних досліджень з використанням сучасних методів і обладнання для механічних випробовувань, металографічних, рентгеноструктурних досліджень, випробовувань на гідро-абразивне та ударно-абразивне зношення з дотриманням стандартних методик. В роботі використовувалось сучасне технологічне устаткування для поверхневого зміцнення деталей клапанного вузла. Новий спосіб оцінювання тріщиностійкості оброблених лазером деталей клапанів базується на основних положеннях лінійної механіки руйнування. Експериментальні дослідження проводились з використанням математичної статистики та планування експерименту. Математичне забезпечення вирішення послідовності розробки технологічного процесу виготовлення клапана здійснено на основі матричного аналізу.

Наукова новизна. Автором самостійно вперше:

- виділено цикл роботи клапана бурового насоса і встановлено вплив різних видів зношення в кожній фазі циклу на довговічність клапанного вузла;
- виявлено закономірності впливу тиску та швидкості бурового розчину на величину напрацювання клапанного вузла;
- досліджено вплив різних видів зміцнення на зносостійкість робочих поверхонь тарілки і сідла клапана;
- досліджено вплив режимів лазерного гартування робочих поверхонь деталей клапанного вузла на зносостійкість та встановлено їх раціональні значення;
- запропоновано методiku оцінки тріщиностійкості зміцнених лазером деталей клапанів;
- розроблено інженерну методiku проектування оптимального технологічного процесу виготовлення тарілки клапана з поверхневим зміцненням;

Практичне значення одержаних результатів. Теоретичні та експериментальні дослідження використані для розробки методики поверхневого зміцнення деталей клапанного вузла як на стадії його виготовлення, так і ремонту. З метою підвищення запасу втомливої міцності та опору крихкому руйнуванню тарілки клапана в технічну документацію клапана К9 на ВАТ “Дрогобицький машинобудівний завод” запропоновано внести зміни: радіус галтели збільшити з 2 до 5мм, а висотний параметр шорсткості зменшити з R_a80 до R_a20 . Дана рекомендація втілена в практику підприємства. Розроблений оптимальний технологічний маршрут виготовлення тарілки клапана з поверхневим лазерним гартуванням, яке водночас є викінчувальною обробкою тарілки. Виготовлена за даним маршрутом експериментальна партія клапанів при промислових випробовуваннях показала напрацювання в 1,2рази більші, ніж серійно виготовленні клапани. На основі цього лазерне гартування рекомендовано до впровадження у виробництво.

Особистий внесок здобувача. Основні результати роботи отримані автором самостійно. Ним встановлено вплив тиску та швидкості бурового розчину на напрацювання тарілок бурового насоса [1], запропонована методика нанесення аморфізованих покриттів на робочі поверхні деталей клапанного вузла бурових насосів, розроблені режими плазмово-дугового напилення [2, 3, 11], запропонована і розроблена технологія лазерного поверхневого гартування [4, 5, 6, 12, 13], встановлені оптимальні режими лазерної обробки [11, 13], проведені дослідження на зносостійкість [3, 6], вивчені механічні властивості та структура зміцнених поверхневих шарів деталей клапана [5, 6, 7, 10, 13, 14], досліджені технологічні шляхи забезпечення надійності та ефективності роботи тарілки клапана бурового насоса [8], встановлено вплив методів зміцнення тарілок клапанів на їх тріщиностійкість [9, 14].

Постановка задач, аналіз та трактування результатів проведено спільно з науковим керівником та, частково, із співавторами публікацій.

Автор приймав безпосередню участь у впровадженні розробок у виробництво та промислових випробовуваннях клапанних вузлів.

Автор висловлює вдячність та засвідчує своє визнання доктору технічних наук, професору Петрині Юрію Дмитровичу, та кандидатам технічних наук: Одосію Зіновію Михайловичу, Борушаку Богдану Онуфрійовичу, у яких він отримав консультації під час виконання дисертаційної роботи.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися на: науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу технічного університету нафти і газу (Івано-Франківськ, ІФДТУНГ, 1998,

1999, 2000), в міжнародній школі-семінарі “Методи і засоби технічної діагностики”(Івано-Франківськ, 1999), міжнародній науково-технічній конференції “Надійність машин та прогнозування їх ресурсу” (Івано-Франківськ – Яремча, 2000).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 14 наукових праць, зокрема 9 статей у фахових виданнях України. (серед них одна одноосібна)

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел із 119 назв, додатків. Загальний обсяг роботи 145 сторінок, в т. ч. 45 рисунків і 20 таблиць, 6 додатків

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність запропонованих нових шляхів підвищення довговічності роботи клапанного вузла за допомогою вдосконалення конструкції тарілки та методами зміцнення. Сформульовано мету, об'єкт, предмет, задачі і методи досліджень, окреслено наукову новизну й практичне значення отриманих результатів і їх апробацію.

У *першому розділі* “Стан питання і задачі досліджень” проаналізовано умови роботи та причини втрати працездатності пари тарілка-сідло клапана бурового насоса (рис.1)

Виділено цикл роботи клапана і показано що на фазі відкривання, зависання тарілки та закривання клапана має місце гідро-абразивне зношення робочих поверхонь деталей клапанного вузла. В момент відриву тарілки від сідла крім гідро-абразивного, має місце кавітаційне зношення контактуючих поверхонь. В момент посадки тарілки на сідло превалюючим є ударно-абразивне зношення робочих поверхонь, яке ускладнюється гідро-абразивним зношенням і втомними навантаженнями (табл. 1).

Показано, що слабкою ланкою в клапанному вузлі є тарілка і що найбільш істотний вплив на неї чинять ударно-абразивне та гідро-абразивне зношення і втомні навантаження. Вивчено властивості матеріалів, які використовують для виготовлення клапанного вузла. Проведено огляд сучасних методів зміцнення деталей машин нафтової та газової промисловості. Зроблено аналіз умов виготовлення тарілки і сідла на ВАТ “Дрогобицький Машинобудівний завод” та їх вплив на експлуатаційні

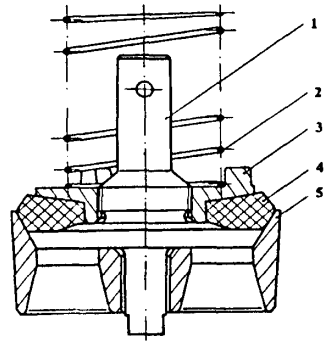
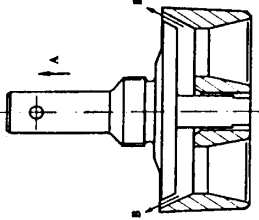
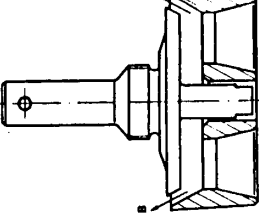
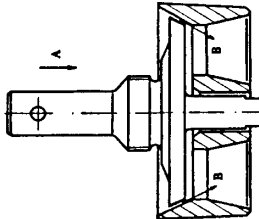
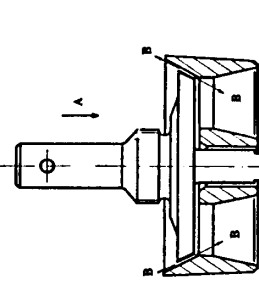


Рис.1. Загальний вигляд клапанного вузла К9 бурового насоса НБ600:

- 1- тарілка, 2- пружина, 3- гайка,
- 4- ущільнююча манжета, 5- сідло.

Таблиця 1.

Домінуючі види зношення в кожній фазі циклу роботи клапана

Відкривання $P_{пр} < S_0 P_k - G_k$	Зависання $P_{пр} = S_0 P_k - G_k$	Закривання $P_{пр} > S_0 P_k - G_k$	Момент закривання $P_{пр} \gg S_0 P_k - G_k$
			
Гідро-абразивне, в момент відриву ускладнюється кавітацією	Гідро-абразивне	Гідро-абразивне	Ударно-абразивне, що ускладнюється гідро-абразивним зношенням і втомними навантаженнями

А – напрям руху тарілки,

Б – напрям потоку бурового розчину,

 $P_{пр}$ – навантаження на пружину, Н, S_0 – площа прохідного перерізу сідала клапана, м², P_k – тиск на виході насоса, Па, G_k – вага клапана Н.

характеристики. Вибрано і обґрунтовано задачі досліджень в напрямку підвищення довговічності клапанного вузла за рахунок збільшення зносостійкості тарілки та сідла шляхом нанесення аморфізованих покриттів і лазерним гартуванням, необхідність вивчення впливу поверхневих зміцнюючих обробок деталей клапанів на рівень опору поширенню тріщини та внесенням змін у конструкцію тарілки.

В літературному огляді також вказано, що великі значення висотних параметрів шорсткості поверхні диску тарілки, яка пройшла об'ємне гартування, знижують її границю витривалості та підвищують значення коефіцієнта чутливості до асиметричності циклу і ефективного коефіцієнту концентрації напружень. В той же час вплив на ці параметри шорсткості поверхні диску тарілки, яка пройшла поверхнєве лазерне зміцнення, зовсім не вивчений.

У *другому розділі* "Методика і обладнання досліджень" проведено обґрунтування вибору досліджуваного матеріалу (сталь 45Х, гартування в маслі при температурі 1113К і відпуску при температурі 793К, твердість поверхонь зразків 48-50HRC), приведено методику та обладнання газотермічного нанесення аморфізованих покриттів і лазерного поверхневого зміцнення. Для газотермічного нанесення аморфізованих покриттів були обґрунтовано вибрані порошки згідно ТУ ІЕЗ 733-89: ПГ-Ж1, ПГ-Ж5 та ПГ-Н3, хімічні формули сплавів яких відповідно: $Fe_{55}Mo_{13}Cr_8Ni_7V_{17}$, $Fe_{80}V_{20}$, $Fe_{40}Ni_{40}V_{20}$. Покриття наносили методом плазмово-дугового напилення на установці 15-ВБ (повітря + пропан - бутан), товщиною 0,5...0,6мм. Розроблені режими нанесення покриттів. (табл. 2).

Таблиця. 2

Режими плазмово-дугового напилення аморфізованих покриттів на установці 15-ВБ.

Показники	Одиниці виміру	Параметри
Сила струму	А	170
Напруга	В	180
Розхід плазмоутворюючого газу	м ³ /год.	5,5
Об'ємна доля пропан-бутану в суміші	%	1,2
Дистанція напилення	мм.	150
Розхід порошку	кг/год.	6,0
Швидкість переміщення плазмотрону відносно деталі	10 ⁻³ м/с.	83,3

Встановлено, що матеріал основи суттєво не впливає на аморфізацію як окремої напиленої частки, так і покриття в цілому. Тому за матеріал основи були взяті зношені деталі клапана К9 бурового насоса НБ600 тарілку і сідло. Перед нанесенням покриття деталі відпускали нагрівом СВЧ до твердості HRC30...35.

Після цього робочі поверхні деталей піддавались абразивно-струменевій обробці крихтами з електрокорунду фракцією 160-200мкм. Розроблено режими нанесення аморфізованих покриттів.

Металографічні дослідження покриттів проводили на оптичних мікроскопах МЦМ-8, Neophot-23, електронних мікроскопах РЕМ-200 та ЭМ-200, рентгеноструктурні дослідження здійснювали на дифрактометрах ДРОН-2,0 і ДРОН-3,0 в $K_{\alpha}Fe$ – випромінюванні. Об'ємний вміст аморфної фази в покриттях у випадку аморфно-кристалічної (аморфізованої) структури визначали по методиці Б.К.Вайнштейна, мікротвердість покриттів досліджували на приладі ПМТ-3

В якості параметра міцності зчеплення $\sigma_{зч}$ використовували величину напруження руйнування з'єднання системи “покриття-основа” на зразках-свідках, яке визначали по методиці кінцевого штифта.

Випробовування на втомливу міцність проводили на установці фірми “Шенк” типу РІН. Механічна система устаткування забезпечує отримання постійного моменту згину на вимірювальній частині зразків.

Запропоноване обладнання і технічна характеристика лазерного технологічного комплексу для лазерного методу зміцнення (табл. 3) .

Таблиця. 3

Технічна характеристика лазерного технологічного комплексу:

Показники	Одиниці виміру	Параметри
Максимальна робоча потужність випромінювання.	Вт	1000
Довжина хвилі випромінювання.	мкм	10,6
Мінімальний діаметр сфокусованого променя.	мм	0,4
Діапазон регулювання швидкості обертання деталі	хв ⁻¹	3,2-64

Проаналізовано схеми лазерного гартування і обґрунтовано використання обробки сфокусованим променем лазерного випромінювання. На основі вимог, що ставляться до поверхонь тарілки і сідла клапана бурового насоса, які зміцнюються, було вибрано термічне зміцнення без фазового переходу. При цьому шорсткість поверхні після обробки не змінюється. Лазерна обробка проводилася при діаметрі променя лазерного випромінювання рівним 4мм при його максимальній потужності 1000Вт, та густині $\omega=63\text{Вт}/\text{мм}^2$. Для забезпечення рівномірності зміцненої поверхні по глибині вибирали крок обробки $S=0,7d_n=2,8\text{мм}$. Час впливу лазерного випромінювання τ регулювався за допомогою зміни швидкості обробки, яка змінювалася в межах $v_0=10-50\text{мм}/\text{с}$.

Оцінку параметра руйнування K_{IC} проводили на балкових зразках прямокутного перерізу з односторонньою тріщиною при їх випробуваннях за схемою чотирьохточкового згину. Механічне навантаження балкових зразків із записом діаграми “навантаження P – зміщення Δ ” проводили на стандартній розривній машині УМ-5А. Величину K_{IC} оцінювали методом послідовних наближень за наступною формулою (1):

$$K_{IC} = \frac{PL}{B} \sqrt{\frac{34,7 \frac{l}{w} - 55,2 \left(\frac{l}{w}\right)^2 + 196 \left(\frac{l}{w}\right)^3}{w^3 (1 - \mu^2)}} \quad (1)$$

де $l = l_0 + \frac{l - \mu^2}{6\pi} \left(\frac{K_{IC}}{\sigma_{0,2}}\right)^2$ - довжина втомної тріщини зразка з поправкою на пластичну деформацію в її вершині; l_0 - довжина вихідної втомної тріщини; w - висота зразка; B - ширина зразка; L - половина відстані між опорами; P - навантаження, що відповідає утворенню стрибка на діаграмі (або навантаження P_5 у випадку відсутності стрибка); $\sigma_{0,2}$ - границя текучості; μ - коефіцієнт Пуасона.

Для оцінки ефективності лазерної обробки сталі 45Х крім зразків зі сталі у вихідному стані використовувалися і зразки, які піддавались поверхневому зміцненню найбільш розповсюдженими методами (дифузійному насиченню бором, бромохромуванню і насиченню сумішшю Al+Cr+Ti).

Випробування на стійкість до ударно-абразивного зношення проводили за рекомендаціями М.М.Хрущова, М.Б.Бабічева та Г.М.Сорокіна на машині У-1-АС.

Для проведення досліджень гідро-абразивного зношення використовували рекомендації Хрущова і Бабічева, застосувавши схему Веллінгера і Уетца. Абразивним середовищем слугував буровий розчин густиною 1,14-1,69г/см². Швидкість абразиву на поверхні рідини складала 6,4м/с.

У *третьому розділі* “Дослідження зміцнених поверхонь деталей клапанного вузла” розроблена методика нанесення аморфізованих покриттів порошками ПГ-Ж1, ПГ-Ж5 і ПГ-Н3 (згідно ТУ ІЕЗ 733-89) на зношені робочі поверхні деталей клапанного вузла К9 бурового насоса НБ600. Показано, що аморфізовані покриття на основі Fe-B підвищують довговічність роботи деталей зі сталі 45Х при знакозмінних навантаженнях. Досліджувані покриття приблизно на 10% переважають за довговічністю деталі, зміцнені гартуванням за базовим технологічним процесом. Напрацювання відновлених деталей складало 60-80% величини напрацювання деталей до відмови. Показано, що газотермічні аморфізовані покриття є ефективними не тільки для зміцнення робочих поверхонь тарілки і сідла клапана бурового насоса, але і для їх відновлення. Основним

недоліком використання плазмових покриттів є недостатня міцність зчеплення їх з основою, що негативно впливає на стійкість деталей до ударно-абразивного зношення. Значення $\sigma_{\text{ч}}$ суттєво залежить від залишкових напружень.

Досліджено вплив методу зміцнення на зносостійкість. В експерименті використовували зразки зі сталі 45X у вихідному стані, а також зміцнені за допомогою насичення В, насичення Al+Cr+Ti, лазерного гартування, насичення В+Cr. Результати випробовувань представлені на рисунках 2 а, б.

Встановлено, що лазерна обробка є ефективним способом поверхневого зміцнення деталей зі сталі 45X, які працюють в гідро-абразивному і ударно-абразивному середовищі. В результаті підвищення механічних характеристик поверхневого шару зменшуються мікрооб'єми матеріалу, втягнутого в пластичне переддеформування, отже і якість окремих продуктів зношення в кожному елементарному акті руйнування.

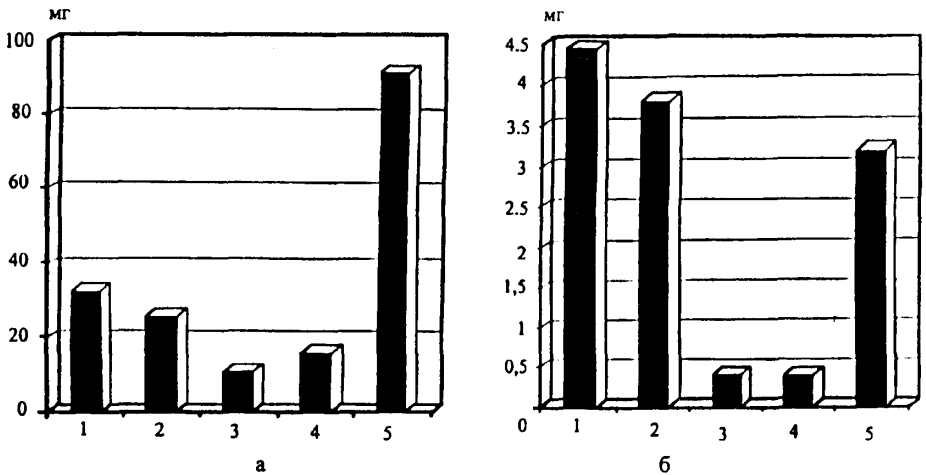


Рис.2. Втрати маси при ударно-абразивному (а) та гідро-абразивному (б) зношеннях зразків, зміцнених за допомогою: 1 – насичення В, 2 – насичення Al+Cr+Ti, 3 – лазерне гартування, 4 – насичення В+Cr, 5 – у вихідному стані.

Досліджено вплив методу зміцнення на тріщиностійкість тарілок. Випробувані зразки (товщиною 10мм), підлягали об'ємному гартуванню, поверхневому гартуванню СВЧ, дифузійному насиченню В+Cr і лазерному гартуванню. Результати випробовувань приведені в табл.4.

Запропонована методика оцінки тріщиностійкості зміцнених лазером деталей клапанів бурового насоса через осереднене значення критичного коефіцієнту

інтенсивності напружень K_{IC}^{oc} , що дає можливість враховувати вплив зміни структури приповерхневих шарів в результаті поверхневої обробки та експлуатаційних навантажень на їх схильність до крихкого руйнування.

Таблиця. 4

Значення K_{IC}^{oc} при вибраних видах зміцнення.

№	Вид зміцнення	K_{IC}^{oc} , МПа м ^{1/2}
1	Об'ємне гартування	30
2	Гартування СВЧ	43
3	Дифузійне насичення В+Сг	52
4	Лазерне гартування	57

Враховуючи те, що поряд з високим опором до гідро-абразивного та ударно-абразивного спрацювання зразки після лазерного гартування мали й високу тріщиностійкість, даний вид обробки може бути рекомендований до широкого використання в практиці.

Оскільки співвідношення площі не зміцненої серцевини до всієї площі зразка в площині руйнування суттєво впливає на тріщиностійкість виробу, змінювали товщину зразків, зміцнених лазерним гартуванням, від 10 до 16 мм. Товщина загартованого шару скрізь була однаковою (~0,48мм). Результати випробовувань приведені на рисунку 3. Одержані дані вказують на те, що із збільшенням розмірів зразків в'язкість руйнування зростає. Отже, із збільшенням розмірів тарілок клапана ефект від їх поверхневого лазерного гартування зростає.

Встановлено, що залежність K_{IC}^{oc} зразків, які пройшли поверхневе лазерне гартування, від їх товщини має лінійний характер в межах проведеного експерименту (рис. 3)

З метою підвищення запасу втомливої міцності та опору крихкому руйнуванню тарілки клапана на основі аналізу напруженого стану в конструкторську документацію клапана К9 на ВАТ "Дрогобицький до машинобудівний

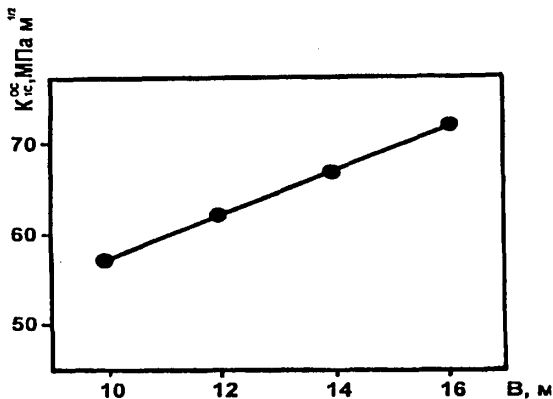


Рис.3. Залежність K_{IC}^{oc} зміцнених лазерним гартуванням зразків від їх товщини.

завод” запропоновано внести зміни: радіус галтели збільшити з 2 до 5мм, а висотний параметр шорсткості поверхні зменшити з R_a80 до R_a20 . (рис.4) Дана пропозиція впроваджена у виробництво.

Експериментальним шляхом встановлено закономірності впливу швидкості переміщення лазерного променя по зміцнюючій поверхні на розподіл мікротвердості по глибині зміцненого шару для тарілки клапана бурового насоса. На рис.5. наведено графік зміни мікротвердості і глибини зміцненого шару тарілки клапана з сталі 45Х від швидкості лазерної обробки.

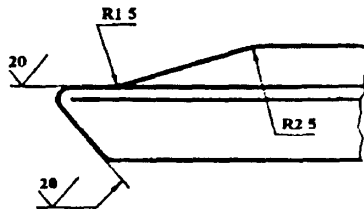


Рис. 4 Зміни внесені в конструкторську документацію клапана К9

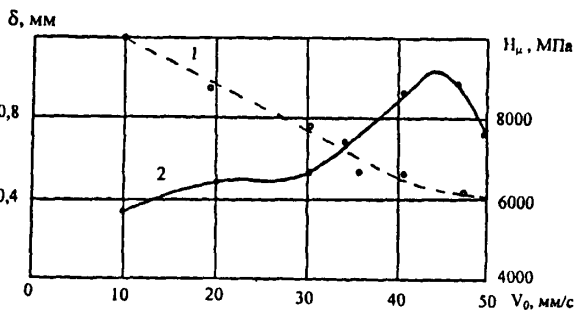


Рис.5. Зміна глибини (1) і мікротвердості (2) зміцненого шару тарілки клапана з сталі 45Х від швидкості лазерної обробки.

шення глибини зміцненого шару.

Мікротвердість при збільшенні швидкості переміщення лазерного променя по поверхні заготовки зростає, але до певної межі (45мм/с), а потім зменшується. При цьому спостерігається обернено-пропорційна залежність зміни мікротвердості зміцненого шару від його глибини в межах від 10 до 45мм/с швидкості переміщення по поверхні заготовки. Це пояснюється тим, що при зменшенні об'єму прогрітого лазерним променем металу підвищується швидкість його охолодження, що веде до збільшення твердості. При збільшенні швидкості переміщення променя понад 45мм/с час його дії на поверхню заготовки скорочується на стільки, що метал прогривається до температур нижчих, ніж при швидкості переміщення лазерного променя до 45мм/с. Починаючи зі швидкості 40мм/с ознак оплавлення поверхні не спостерігалось. Виходячи з встановлених обмежень дослідженню підлягають зразки, оброблені з швидкістю переміщення лазерного променя від 40 до 50мм/с.

Розроблена методика лазерної обробки робочих поверхонь тарілки та сідла зі сталі 45Х клапана К9 бурового насоса НБ 600. Встановлено, що високі показники працездатності деталей клапана досягаються при швидкості обробки 40-45мм/с, максимальній робочій потужності випромінювання $W=1000\text{Вт}$, діаметрі сфокусованого променя $d_n=4\text{мм}$, кроці обробки $S=2,8\text{мм}$. Також запропоноване лазерне технологічне устаткування для зміцнення поверхонь деталей клапанного вузла.

У четвертому розділі “Вплив технологічних і економічних факторів виготовлення тарілки клапана на її експлуатаційні показники” побудовані принципово нові технологічні маршрути виготовлення тарілки клапана з поверхневим лазерним гартуванням, яке водночас є викінчувальною обробкою тарілки клапана. Згідно розробленого технологічного маршруту, який базується на поверхневому зміцненні лазерним гартуванням, виготовлена дослідно-експериментальна партія тарілок клапанів і проведені порівняльні натурні експерименти з серійними тарілками, виготовлених за діючою на Дрогобицькому машинобудівному заводі технологією, яка базується на гартуванні СВЧ.

Результати досліджень, що проводились над тарілками клапанів К9 бурових насосів НБ 600 при бурінні свердловин при глибині буріння 1200-4550м, густині бурового розчину, що перекачується, $1,14-1,69\text{г/см}^3$ і вмісті абразиву в розчині 1-3%, дали можливість встановити вплив режимів роботи бурового насоса на величину напрацювання тарілок клапанів. Аналіз промислових результатів дозволив отримати оцінки залежності середнього значення напрацювання тарілок як зміцнених гартуванням СВЧ, так і лазерним гартуванням від тиску P і швидкостей протікання бурового розчину в клапані V .

Оцінка залежності середнього значення логарифму напрацювання тарілок зміцнених гартуванням СВЧ від тиску і швидкості рідини в клапані:

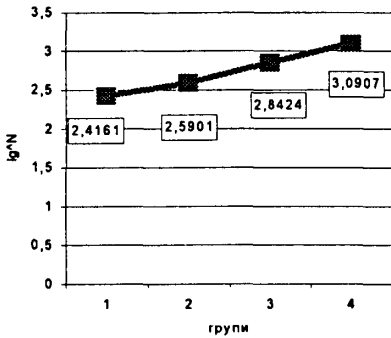
$$\hat{\lg N} = 2,0744 + 0,0171P + 0,0168V + 0,0008PV \quad (2)$$

Оцінка залежності середнього значення логарифму напрацювання тарілок зміцнених лазерним гартуванням від тиску і швидкості рідини в клапані:

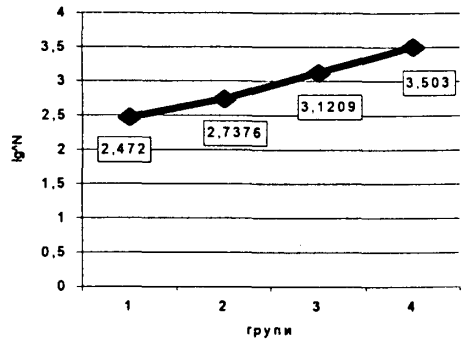
$$\hat{\lg N} = 1,9333 + 0,0313P + 0,0192V + 0,0012PV \quad (3)$$

Для тарілок зміцнених гартуванням СВЧ, на їх напрацювання практично в однаковій мірі впливають як тиск так і швидкість протікання бурового розчину, а вплив взаємодії цих факторів є незначним (розбіжність коефіцієнтів 17%). Для тарілок, зміцнених лазерним гартуванням, постійний вплив на напрацювання має тиск бурового розчину, а в меншій мірі (на 38%) швидкість протікання бурового розчину. Загальний аналіз рівнянь (2, 3), дав можливість зробити висновок, що збільшення тиску і швидкості протікання бурового розчину веде до збільшення

величини напрацювання тарілок про що свідчать додатні значення коефіцієнтів поряд P і V . На практиці збільшення подачі насоса, яка веде до підвищення тиску і швидкості протікання рідини, викликає коливання клапана, при якому контакт з сідлом супроводжується незначним ударом, або взагалі удар відсутній. При проведенні вище описаних експериментів цей процес виникає в зв'язку з тим, що швидкість протікання рідини лежить в межах 6-16м/с і в цей інтервал входять швидкості, при яких відбувається зміна домінуючого виду зношення відносно зміни швидкості. Зміна величини фактора V викликає зміну домінанти з фактора P на фактор V . Але при цьому відносне значення величини зношення зменшується. Це ще раз підтверджує, що основною причиною закономірної втрати працездатності клапана є ударно-абразивне зношення при даних границях факторів.



а



б

Рис. 6 Залежність середнього значення логарифму напрацювання тарілок зміцнених гартуванням СВЧ (а) і зміцнених лазерним гартуванням (б) від тиску і швидкості протікання бурового розчину в клапані: 1 - $P_1=11$ МПа, $V_1=6$ м/с; 2 - $P_2=15$ МПа, $V_2=9$ м/с; 3 - $P_3=20$ МПа, $V_3=13$ м/с; 4 - $P_4=25$ МПа, $V_4=16$ м/с.

Встановлено, що при збільшенні подачі насоса, яка веде до підвищення тиску і швидкості протікання бурового розчину через клапан, створюються такі умови роботи, що енергія удару тарілки при закриванні клапана зменшується. Це веде до збільшення величини напрацювання тарілок.

Для тарілок зміцнених гартуванням СВЧ, тиск і швидкість протікання бурового розчину в однаковій мірі впливають на величину напрацювання тарілки.

Для тарілки зміцненої лазерним гартуванням вплив тиску бурового розчину є домінуючим, а швидкість протікання має незначний вплив, тобто тарілки мають вищу стійкість до гідро-абразивного зношення. Встановлено, що основною

причиною закономірної втрати працездатності тарілки є ударно-абразивне зношення.

Промислові випробовування проводилися при таких значеннях тиску і швидкості бурового розчину: $P_1=11\text{МПа}$, $V_1=6\text{м/с}$; $P_2=15\text{МПа}$, $V_2=9\text{м/с}$; $P_3=20\text{МПа}$, $V_3=13\text{м/с}$; $P_4=25\text{МПа}$, $V_4=16\text{м/с}$. При кожному фіксованому значенні тиску та швидкості протікання бурового розчину випробовувались по три клапанних вузла. Клапани встановлювали на нагнітаючій лінії.

Таблиця 5.

Результати промислових випробовувань клапанів.

№ групи		1	2	3	4
Тиск в нагнітаючій лінії, Мпа		11	15	20	25
Швидкість бурового розчину в клапані, м/с		6	9	13	16
Середнє значення напрацювання	Серійних клапанів, N1, год	230	250	275	280
	Експериментальних клапанів N2, год	278	300	331	335

Промислові випробовування показали, що напрацювання клапанних вузлів, тарілки яких були зміцнені лазерним гартуванням, в середньому в 1,2рази більші у порівнянні з напрацюванням при гартуванні СВЧ. При цьому спостерігається чітка закономірність: при збільшенні тиску та швидкості протікання бурового розчину, в заданих межах, величина напрацювання збільшується як для експериментальних так і для серійних клапанів (рис.7)

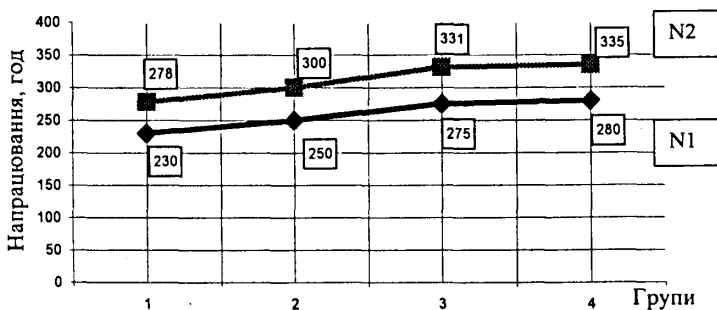


Рис. 7. Напрацювання серійних і експериментальних клапанних вузлів.

N1 – серійні клапани, N2 – експериментальні клапани.

ВИСНОВКИ

1. Вперше встановлено, що на різних фазах циклу дії клапана, превалюють певні домінуючі види зношення. Руйнування тарілки та сідла стається під дією

корозійного середовища, ударно-абразивного і гідро-абразивного впливів, носить складний, комплексний характер і може бути в'язким, крихким, полідеформаційним або набуває втомного характеру.

2. Розроблено метод нанесення аморфізованих покриттів на основі Fe-B на робочі поверхні деталей клапана К9 бурового насоса НБ 600, в тому числі на зношені. Показано, що аморфізовані покриття підвищують довговічність роботи тарілки і сідла при знакозмінних навантаженнях, приблизно на 10% переважають за довговічністю деталі, виготовлені за базовим технологічним процесом. Напрацювання відновлених деталей складало 60-80% величини, напрацювання деталей до відмови. Використання газотермічних аморфізованих покриттів є ефективним не тільки для зміцнення робочих поверхонь деталей клапанного вузла, але і для відновлення цих деталей. Основним недоліком використання таких покриттів є недостатня міцність зчеплення їх з основою, що негативно впливає на стійкість деталей до ударно-абразивного зношення.

Результатами металографічних і рентенографічних досліджень, а також випробовувань на гідро-абразивне та ударно-абразивне зношення, тріщино-стійкість показано, що лазерна обробка є ефективним способом поверхневого зміцнення деталей клапана бурового насоса і може бути рекомендована до широкого використання на практиці.

3. Розроблено метод лазерної обробки робочих поверхонь тарілки і сідла клапана К9 бурового насоса НБ 600. Встановлено, що високі показники працездатності деталей клапанного вузла досягаються при швидкості обробки 40-45мм/с, при $W=1000\text{Вт}$, $d_n=4\text{мм}$, кроці обробки $S=2,8\text{мм}$.

Запропоноване лазерне технологічне устаткування для зміцнення поверхонь деталей клапанного вузла.

4. Запропонована методика оцінки тріщиностійкості зміцнених лазером робочих поверхонь деталей клапанного вузла через осереднене значення критичного коефіцієнту інтенсивності напружень K_{IC}^{OC} , що дає можливість враховувати вплив зміни структури приповерхневих шарів у результаті поверхневої обробки та експлуатаційних навантажень на їх схильність до крихкого руйнування. Висока тріщиностійкість зразків після лазерного гартування, визначена за рекомендованою вище методикою підтвердила доцільність використання даного методу для зміцнення робочих поверхонь деталей клапанного вузла.

З метою підвищення запасу втомливої міцності та опору крихкому руйнуванню тарілки клапана на основі аналізу напруженого стану в технічну документацію клапана К9 на ВАТ "Дрогобицький машинобудівний завод" пропонується внести зміни: радіус галтелі збільшити з 2 до 5мм, а висотний

параметр шорсткості зменшити з R_a80 до R_a20 . Дана пропозиція втілена в практику діяльності підприємства.

5. Побудовані принципово нові технологічні маршрути виготовлення тарілки клапана з поверхневим лазерним гартуванням, яке водночас є викінчувальною обробкою.
6. Згідно розробленого технологічного маршруту, який базується на поверхневому зміцненні лазерним гартуванням, розроблена експериментальна партія тарілок клапанів і проведені порівняльні натурні експерименти по встановленню напрацювань тарілок, виготовлених за діючою на Дрогобицькому машинобудівному заводі технологією, яка базується на гартуванні СВЧ, та тарілок, виготовлених згідно запропонованої технології. Отримали оцінки залежності середнього значення напрацювання тарілок як зміцнених гартуванням СВЧ, так і лазерним випромінюванням від тиску і швидкості протікання бурового розчину в клапані. Встановлено, що при збільшенні подачі насоса, яка веде до підвищення тиску та швидкості протікання бурового розчину через клапан, створюються такі умови, що енергія удару тарілки при закриванні клапана зменшується. Це веде до збільшення напрацювання тарілок.

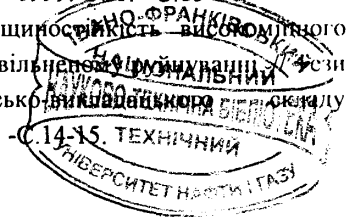
Для тарілок зміцнених гартуванням СВЧ тиск і швидкість протікання бурового розчину в однакової мірі впливають на величину напрацювання тарілки. Для тарілок зміцнених лазерним гартуванням вплив тиску бурового розчину є домінуючим, а швидкість протікання має незначний вплив, тобто тарілки мають вищу стійкість до гідро-абразивного зношення.

7. Промислові випробовування показали, що напрацювання клапанних вузлів, тарілки яких були зміцнені лазерним гартуванням, в 1,2рази більші у порівнянні з напрацюванням при гартуванні СВЧ.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ ВИКЛАДЕНИЙ У ТАКИХ ПУБЛІКАЦІЯХ:

1. Яким Р С. Дослідження напрацювання тарілок клапанів бурового насоса. //Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Т.2 Серія: Буріння нафтових і газових свердловин. -Івано-Франківськ.-2001.-№38.-С.128-134.
2. Одосій З.М., Яким Р.С., Петрина Ю.Д. Зміцнення і відновлення деталей за допомогою плазмового напилення та наплавки. // Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів. -Львів. -1999. -№2. С. 61-63.
3. З.М.Одосій, Ю.Д.Петрина, Р.С.Яким, О.О.Левицький. Підвищення довговічності клапана бурового насоса шляхом нанесення аморфізованих газотермічних покриттів на основі Fe-B.// Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ.

- Серія: Нафтогазопромислове обладнання. -Івано-Франківськ. -1997. -№34. - С.112-117.
4. Петрина Ю.Д., Одосій З.М., Яким Р.С. Підвищення довговічності клапана бурового насоса за допомогою CO₂ лазера.// Наукові нотатки: Міжвузівський збірник (за напрямком Інженерна механіка). -Луцьк: Луцький державний технічний університет. -1999. -№5. -С.188-196.
 5. Одосій З.М., Петрина Ю.Д., Яким Р.С. Підвищення роботоздатності змінних деталей бурових насосів. // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Методи і засоби технічної діагностики. -Івано-Франківськ. -1999. -№36. - С.323-329.
 6. Петрина Ю., Одосій З., Яким Р. Вплив лазерного зміцнення на властивості поверхневого шару деталей клапана бурового насоса.//Машинознавство. -2000, - №1(31). -С.8-10.
 7. З.М.Одосій, Ю.Д.Петрина, Р.С.Яким, О.О.Левицький. Залишкові напруження в газотермічних покриттях і їх вплив на експлуатаційні властивості покриттів. // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтогазопромислове обладнання. -Івано-Франківськ. -1999. -№36. -С.99-103.
 8. Борушак Б.О., Яким Р.С., Петрина Ю.Д.Технологічні шляхи забезпечення надійності та ефективності роботи тарілки клапана бурового насоса. // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник (за напрямком Інженерна механіка) -Луцьк: Луцький державний технічний університет. -2001. -№8. -С.38-53.
 9. Петрина Ю.Д., Яким Р.С. Вплив методів зміцнення тарілок клапанів бурових насосів на їх тріщиностійкість. // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Т.4. Серія: Нафтогазопромислове обладнання. -Івано-Франківськ. ІФДТУНГ 2001. -№38. -С.122-127.
 10. Одосій З.М., Яким Р.С., Петрина Ю.Д. Вплив фазового складу та залишкових напружень фрикційно зміцненої сталі 40Х на експлуатаційні властивості. // Надійність машин та прогнозування їх ресурсу: Доповіді міжнародної науково-технічної конференції, (Івано-Франківськ – Яремча, 20-22 вересня 2000р.). – В двох томах. Том 1. -Івано-Франківськ. ІФДТУНГ: Факел-2000. -С.223-226.
 11. Одосій З.М., Петрина Ю.Д., Яким Р.С. Сучасні методи та засоби підвищення довговічності та відновлення деталей обладнання паливно-енергетичного комплексу. // Науковий вісник. -Івано-Франківськ. -1999. -№1. -С.85-94.
 12. Петрина Ю.Д., Яким Р.С., Швадчак В.Ф. Тріщиностійкість високотемпературного обладнання для нафтогазодобувної галузі при сповільненні процесу старіння металу науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету. -Івано-Франківськ. ІФДТУНГ.-1998. -С.14-15.



13. Петрина Ю.Д., Одосій З.М., Яким Р.С. Методи одержання аморфних та аморфізованих металічних сплавів. // Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету. -Івано-Франківськ. ІФДТУНГ. -1999. –С.123-124.
14. Петрина Ю.Д., Одосій З.М., Яким Р.С. Перспективні методи отримання зносостійких та корозійних поверхневих шарів деталей машин. // Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету. -Івано-Франківськ. ІФДТУНГ.-2000. –С.56-57.

Анотація

Яким Р.С. Підвищення довговічності клапана бурового насоса. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.12 - машини нафтової і газової промисловості. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Івано-Франківськ, 2001.

Робота присвячена питанням підвищення довговічності деталей клапанів бурових насосів шляхом обгрунтованого вибору конструктивно-технологічних факторів з урахуванням комплексу функціональних параметрів. Виділено цикли роботи клапана бурового насоса і встановлено вплив різних видів зношення в кожній фазі циклу на довговічність клапанного вузла. Вибрано та обгрунтовано види поверхневого зміцнення тарілки і сідла клапана на стадії його виготовлення та ремонту. Встановлено оптимальні режими лазерного гартування робочих поверхонь деталей клапанного вузла. Запропоновано методику оцінки тріщиностійкості зміцнених лазером деталей клапанів. Розроблено інженерну методику проектування оптимального технологічного процесу для виготовлення тарілки клапана з поверхневим зміцненням. Виявлено закономірності впливу тиску та швидкості бурового розчину на величину напрацювання клапанного вузла

Ключові слова: напрацювання, клапанний вузол, буровий насос, лазерне гартування, довговічність, конструктивно-технологічні фактори.

Annotation

Yakym R.S.. Durability increase of the valve of the boring pump. - The manuscript.

Thesis for a Candidate dissertation of science / Engineering degree on speciality 05.05.12 - Machines of oil and gas industry. Ivano-Frankivsk national technical University of oil and gas. -Ivano- Frankivsk, 2001.

The tesis deals with problems of durability increase of boring pump valves by thewell-founded choice of design-technological factors with taking into account the complex of the functional factors. The cycles of the boring pump valve work are chosen

and of different kinds of deterioration on each cycle phase upon the valve unit durability is found out. Kinds of surface strengthening of valve plate and saddle at a of its manufacture and repair are chosen and based. The optimum conditions of laser hardening of working surfaces of valve unit parts are determined. The made technique of estimation of stableness of the valve unit parts strengthened by laser to cracks is offered. Engineering technique of the valve plate with the surface strengthening is worked out. Peculiarities of boring solution pressure and speed influence upon the magnitude of valve unit operating time are revealed.

The thesis consists of an introduction, for sections, the conclusion, a list of used literature and supplements.

Key words: operating time, valve unit, boring pump, laser hardening, durability, design-technological factors.

Аннотация

Яким Р.С. Повышение долговечности клапана бурового насоса. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.12 – машины нефтяной и газовой промышленности. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. -Ивано-Франковск, 2001.

Работа посвящена вопросам повышения долговечности клапанов буровых насосов путём обоснованного выбора конструкторско-технологических факторов с учетом комплексом функциональных параметров. Выделены циклы работы клапана бурового насоса и выяснено влияние разных видов износа на каждой фазе цикла на долговечность клапанного узла. Выбрано и обосновано виды поверхностного упрочнения тарелки и седла клапана на стадии её изготовления и ремонта. Установлены оптимальные режимы лазерной закалки рабочих поверхностей деталей клапанного узла. Предложена методика оценки трещиностойкости упрочнённых лазером деталей клапанов. Разработана инженерную методику проектирования оптимального технологического процесса для изготовления тарелки клапана с поверхностным упрочнением. Выявлено закономерности влияния давления и скорости бурового раствора на величину наработки клапанного узла.

Диссертация состоит из введения, четырёх разделов, выводов, списка использованной литературы и приложений.

Первый раздел посвящен анализу условий работы и причин потери работоспособности пары тарелка-седло клапана бурового насоса. Выяснено, что на разных циклах работы клапана, в пределах комплекса основных видов износа, существует превалирующий износ. Разрушение тарелки осуществляется под

действием коррозионной среды, ударно-абразивного и гидроабразивного влияний, носит сложный, комплексный характер и может быть вязким, хрупким, полидеформационным или носит усталостный характер. Сделано анализ влияния изготовления тарелки клапана на её эксплуатационные характеристики. Проведено обозрение современных методов упрочнения деталей нефтяной и газовой промышленности. Выбраны и обоснованы пути исследований, сформулированы цель и задачи исследований.

Во *втором разделе* представлены методики исследований.

В *третьем разделе* разработана методика нанесения аморфных покрытий на основе Fe-B на рабочие поверхности деталей клапана К9 бурового насоса НБ600, в том числе на изношенные. Показано, что аморфные покрытия повышают долговечность работы деталей из стали 45Х при знакопеременных нагрузках по сравнению с деталями, изготовленными за существующим технологическим процессом. Разработана методика лазерной обработки рабочих поверхностей тарелки и седла из стали 45Х клапана К9 бурового насоса НБ600, отработаны режимы обработки. Разработана методика оценки трещиностойкости упрочненных лазером рабочих поверхностей деталей клапанного узла через усреднённое значение критического коэффициента интенсивности напряжений K_{IC}^{OC} , что дало возможность подтвердить рекомендации использования данного метода упрочнения в промышленности. На основе проведённого анализа напряжённого состояния тарелки в техническую документацию клапана К9 внесены изменения которые осуществлены на практике.

В *четвертом разделе* разработаны новые технологические маршруты изготовления тарелки клапана К9 с поверхностной лазерной закалкой и сделаны анализы натурных экспериментов. Установлено, что с увеличением подачи насоса, которая ведет к повышению давления и скорости протекания бурового раствора через клапан, осуществляются такие условия, при каких энергия удара тарелки при закрытии клапана убывает, что сказывается на повышении наработки тарелок. Установлено, что причиной потери работоспособности тарелки есть ударно-абразивное изнашивание. Промышленные испытания показали, что наработка клапанных узлов, тарелки которых были упрочнены лазерным упрочнением, в 1,2раза выше по сравнению с наработкой тарелок, упрочненных закалкой ТВЧ, тем самым подтвердив эффективность использования лазерного упрочнения деталей клапанов.

Ключевые слова: наработка, клапанный узел, буровой насос, лазерная закалка, долговечность, конструкторско-технологические факторы.

НТБ
ФОНТУНГ



as1064