

Національний університет «Львівська політехніка»

КИРИЛІВ ЯРОСЛАВ БОГДАНОВИЧ

УДК 621.9.048.6

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПОКРАЩАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ
МАШИН ВІБРАЦІЙНО-ВІДЦЕНТРОВИМ ЗМІЦНЕННЯМ**

05.02.08 - технологія машинобудування

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2004

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному університеті “Львівська політехніка” Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Афтаназів Іван Семенович,
Національний університет “Львівська політехніка”,
завідувач кафедри “Технологія машинобудування”.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Петрина Юрій Дмитрович,
Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу, м. Івано-Франківськ,
завідувач кафедри “Технологія нафтогазового машинобуду-
вання”;

кандидат технічних наук, доцент
Третько Віталій Віталійович,
Хмельницький державний університет, м. Хмельницький,
доцент кафедри “Технологія машинобудування”, директор
Гуманітарного інституту.

Провідна установа: **Національний технічний університет України**
“Київський політехнічний інститут”,
кафедра “Технологія машинобудування”,
Міністерство освіти і науки України, м. Київ.

Захист відбудеться 6 жовтня 2004 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.06 у Національному університеті “Львівська політехніка” за адресою: 79013, Львів-13, вул. С. Бандери, 12, ауд. 226 гол. корп.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” за адресою: 79013, Львів-13, вул. Професорська, 1

Автореферат розісланий 6 вересня 2004 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Форнальчик Є. Ю.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Довговічність агрегатів та механізмів машин загального машинобудування регламентується надійністю кінематичних чи робочих пар тертя. Працездатність деталей пар тертя обумовлюється зносостійкістю їх матеріалу та здатністю протистояти експлуатаційним навантаженням і шкідливому впливу навколишнього середовища.

Особливим чином проявляється вплив зносостійкості на довговічність механізмів у видобувній та переробній галузях народного господарства, де пари тертя експлуатуються у важких умовах, спричинених наявністю абразивних часток, шкідливістю робочих середовищ, а також супровідних корозійних, кавітаційно-ерозійних та теплових явищ. Яскравим прикладом таких пар тертя є запірно-поворотні клапани та помпи бурового устаткування.

Незважаючи на те, що дослідження провідних вчених світу та багаторічний досвід експлуатації дали змогу створити досконалі методики розрахунків деталей пар тертя, які, враховуючи конкретні умови роботи, властивості матеріалів, мали б гарантувати високу їх надійність, однак недосконалість технологічних процесів їх виготовлення, неспроможність у забезпеченні належних фізико-механічних властивостей матеріалів деталей пар тертя різко знижують реальний їх ресурс.

Довговічність деталей пар тертя забезпечують застосуванням зміцнювальних та оздоблювально-викінчувальних технологічних операцій. Серед них провідне місце належить зміцненню цих деталей поверхневим пластичним деформуванням (ППД). Підвищення зносостійкості, корозійної, кавітаційно-ерозійної стійкості та забезпечення в матеріалі залишкових напружень стиску в результаті зміцнення ППД робочих поверхонь деталей у поєднанні з дешевизною і простотою реалізації дають підстави для його широкого застосування. Однак, на заваді цьому стоїть неспроможність відомих різновидів способів зміцнення ППД як статичної, так і динамічної дії у забезпеченні значної енергії деформування, здатної підвищити рівень фізико-механічних характеристик матеріалу поверхневих шарів деталей до рівня вимог експлуатації.

З огляду на це, актуальними залишаються дослідження, спрямовані на вдосконалення відомих і розроблення нових високоефективних способів зміцнення важконавантажених циліндричних поверхонь деталей пар тертя, які б забезпечували високий рівень енергії деформування з метою покращання їх експлуатаційних властивостей.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана у рамках науково-дослідних робіт кафедри “Технологія машинобудування” Національного університету “Львівська політехніка” під загальною тематикою “Розробка і дослідження ресурсо- та енергоощадних технологій із використанням низькочастотних вібрацій” (1995–2004 рр.) і пов'язана безпосередньо з науково-дослідними роботами ДБ “Зміцнення” “Дослідження впливу поверхневого зміцнення зубчастих коліс на довговічність передач, розробка зміцнювальних технологій і

реалізуючого їх обладнання” (держ. реєстр. №0100U000511) та ДБ “Концентратор” “Дослідження технології та розроблення оснащення для підвищення надійності і довговічності деталей із концентраторами напружень” (держ. реєстр. №0198U002331). Роботи виконувались відповідно до координаційного плану Комітету з питань науки і техніки та Міністерства освіти і науки України в розділі “Машинобудування” (позиція 43) “Високоєфективні технологічні процеси в машинобудуванні” на 2000 – 2004 роки.

Мета і задачі досліджень. Метою дисертації є розроблення і дослідження методу інтенсивного зміцнення пластичним деформуванням циліндричних поверхонь деталей пар тертя, яке зумовлює підвищення їх зносостійкості.

Для досягнення поставленої мети розв’язувались наступні задачі:

1. Встановити кореляційний зв’язок і закономірності впливу якості матеріалу циліндричних поверхонь деталей пар тертя на їх експлуатаційні властивості та довговічність
2. Визначити вплив енергії деформування та тривалості її підведення при зміцненні поверхневим пластичним деформуванням на зносостійкість та опір кавітаційно-ерозійному руйнуванню матеріалу деталей пар тертя в різних умовах і режимах зношування
3. Розробити і дослідити метод інтенсивного динамічного зміцнення поверхонь деталей, здатний, завдяки високому рівню енергії деформування, підвищити довговічність пар тертя
4. Дослідити вплив технологічних параметрів цього методу та попереднього наводнювання поверхонь пар тертя на показники якості зміцнення, зносостійкість, корозійну, кавітаційно-ерозійну та теплову стійкість
5. Розробити методику вибору оптимальних технологічних параметрів нового методу поверхневого зміцнення деталей пар тертя
6. Виконати натурні порівняльні випробування зміцнених деталей бурового устаткування і на підставі отриманих результатів розробити високопродуктивні технологічні процеси та спорядження для реалізації методу інтенсивного зміцнення деталей пар тертя, впровадити його у виробництво.

Об’єкт дослідження – технологічні процеси виготовлення сталевих деталей пар тертя, їх окремих операцій, які впливають на показники експлуатаційної надійності та довговічності агрегатів і механізмів із парами тертя циліндричної форми.

Предмет дослідження – метод зміцнення циліндричних деталей пар тертя, закономірності зміни експлуатаційних властивостей їх матеріалу, зумовлених вібраційно-відцентровим зміцненням.

Методи дослідження: теоретичні дослідження динаміки процесу вібраційно-відцентрового зміцнення циліндричних поверхонь деталей пар тертя виконували з використанням теорії синхронізації динамічних систем і математичного опису законів обкочувального руху обкатників. Параметри якості зміцнювальної обробки оцінювали за показниками товщини зміцненого шару, поверхневої мікротвердості та напружено-

деформівного стану матеріалу деталі у поверхневих шарах, шорсткості зміцненої поверхні, які вимірювали згідно стандартних методик. Побудову математичних моделей другого порядку для визначення фізико-механічних властивостей матеріалу залежно від технологічних параметрів зміцнення здійснювали на основі методів математичного планування експерименту. За стандартними методиками визначали експлуатаційні властивості матеріалу деталей після ВВЗО. Розроблення програм опрацювання результатів експериментальних досліджень, методик розрахунку і проектування конструкцій зміцнювачів відцентрової дії та вібраційних машин для ВВЗО здійснено на базі програмного забезпечення “Компас”, “Mathcad”, “Matlab” “Autocad” з використанням ЕОМ.

Наукова новизна отриманих результатів у теоретичному плані полягає у дослідженні динаміки процесу вібраційно-відцентрового зміцнення деталей форми тіл обертання, результатами якого вперше встановлено залежності для визначення енергії деформування. Залежності поглиблюють теорію синхронізації динамічних систем, поширюють її застосування на зміцнювальні процеси інтенсивної дії.

Вперше визначено основні технологічні параметри процесу інтенсивного зміцнення, встановлено залежності впливу оптимальних технологічних параметрів процесу вібраційно-відцентрової зміцнювальної обробки (ВВЗО) на фізико-механічні властивості поверхневих шарів матеріалів деталей пар тертя.

Встановлено основні закономірності формування структури і фізико-механічних властивостей поверхневих шарів сталей під час ВВЗО та у поєднанні з попереднім наводнюванням. Вперше досліджено вплив ВВЗО на такі експлуатаційні властивості, як зносостійкість, корозійна, кавітаційно-ерозійна та теплова стійкість деталей.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено та досліджено новий метод інтенсивного вібраційно-відцентрового зміцнення деталей пар тертя з високим рівнем енергії деформування матеріалу виробів, що дає змогу розширити технологічні можливості зміцнювальних операцій. На прикладі запірно-поворотних клапанів та pomp бурового устаткування розроблено принципові схеми технологічного обладнання для зміцнення зовнішніх та внутрішніх поверхонь циліндричних деталей пар тертя і наведена методика його розрахунків. Вперше запропоновано технологічний процес, який поєднує наводнювання матеріалу деталей із його інтенсивним зміцненням, поширює сферу застосування зміцнювальних технологій на деталі, що працюють в умовах інтенсивного гідро-абразивного зношування, корозійного, кавітаційно-ерозійного руйнування. Істотне покращання експлуатаційних властивостей дозволяє підвищити довговічність деталей пар тертя, що дає значний економічний ефект.

Особистий внесок здобувача. Основні результати роботи отримано автором самостійно [3, 9]. У працях, опублікованих у співавторстві, автору належить: вивчення впливу технологічних параметрів зміцнювального оброблення на фізико-механічні властивості приповерхневих шарів металу [2]; розроблення установки та зміцнювального інструменту, а також методики розрахунку його конструктивних параметрів [2, 4]; вивчення впливу попереднього наводнювання на ефективність зміцнювального оброблення [10,

11]; дослідження впливу ВВЗО на точність та шорсткість обробленої поверхні; її зносостійкості [7, 8, 12, 13], кавітаційно-ерозійної стійкості [5, 6] та теплостійкості сталі після ВВЗО; розроблення обладнання [1] для ВВЗО.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації доповідались на: науково-технічній конференції молодих науковців і спеціалістів “Інженерія поверхні” (м. Львів, 2001); науково-технічному семінарі “Матеріали для енергетики” (м. Львів, 2001); науково-технічній конференції молодих науковців і спеціалістів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України (м. Львів, 2002); міжнародній конференції “Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів” (м. Львів, 2002); міжнародному форумі “Карпатський трамвай” (м. Львів, 2002); 6-му міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові (м. Львів, 2003).

Публікації. За матеріалами виконаних досліджень опубліковано 13 наукових праць, з них 8 статей у фахових виданнях України та 5 публікацій у матеріалах тез і доповідей конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, п’яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації – 235 с., в т. ч. 53 рис., 8 табл.; додатки – на 28 с. Список використаних джерел налічує 132 позиції.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено загальну характеристику дисертаційної роботи, обґрунтовано актуальність роботи, показано її зв’язок з науковими програмами, наукове і практичне значення отриманих результатів. Наведено дані про апробацію роботи, особистий внесок здобувача, сформульовано мету та задачі досліджень.

У **першому розділі** на підставі аналізу літературних джерел визначено основні напрями вдосконалення технологічних процесів виготовлення циліндричних поверхонь важконавантажених деталей пар тертя з метою підвищення їх надійності.

З літературних джерел встановлено основні галузі застосування важконавантажених деталей пар тертя та характерні матеріали для їх виготовлення. Проведений на клапанах та помпах бурового устаткування аналіз поширених видів пошкоджень та зношувань робочих поверхонь важконавантажених деталей пар тертя дав підставу стверджувати, що визначальним для підвищення довговічності деталей під час їх виготовлення є забезпечення якості поверхонь, яка поєднує в собі геометричну точність та шорсткість з відповідними фізико-механічними характеристиками матеріалу поверхневих шарів. Аналіз технологічних процесів виготовлення деталей пар тертя свідчить, що переважна більшість операцій спрямована на забезпечення геометричної точності робочих поверхонь і є малоефективною щодо формування належного напружено-деформівного стану матеріалу. Це стосується існуючих оздоблювально-вікінчувальних та зміцнювальних операцій, переваги і недоліки яких проаналізовано.

Так, специфічні умови експлуатації клапанів та pomp бурового устаткування характеризуються гідро-абразивним зношуванням, на яке нашаровуються ударно-абразивне, корозійно-механічне та окислювальне руйнування та контактна взаємодія поверхонь деталей пар тертя. Вже на етапі припрацювання формується новий експлуатаційний рельєф робочої поверхні. Тому визначальним щодо надійності важконавантажених деталей пар тертя є стан поверхневих шарів, зокрема поверхнева мікротвердість, глибина зміцнення, напружений стан. Із оздоблювально-викінчувальних операцій тільки методи ППД спроможні забезпечити та регулювати в певних межах ці параметри стану матеріалу. Однак, відомі методи ППД через обмежену енергію деформування не спроможні забезпечити належну якість зміцнення матеріалу деталей. Винятком є лише карбування, але через низьку продуктивність цей спосіб не придатний для таких широко розповсюджених деталей, як деталі пар тертя.

Це дало змогу окреслити основний напрям дослідження, спрямований на вдосконалення технологічних процесів виготовлення сталевих деталей пар тертя підвищеної довговічності розробленням і впровадженням нового методу інтенсивної зміцнювальної обробки поверхонь тертя. Метод підвищує зносостійкість деталей і належить до групи динамічних методів ППД, однак відрізняється від їх різновидів високою енергією деформування матеріалів у поєднанні із високою продуктивністю.

У другому розділі обґрунтовано вибір напрямів та розкрито методики досліджень. Основним напрямом досліджень є розроблення методів технологічного забезпечення якості сталевих важконавантажених деталей пар тертя, зорієнтованих на підвищення їх довговічності.

Стосовно сталевих важконавантажених циліндричних деталей пар тертя ВВЗО можна здійснювати за схемами, які дозволяють обробляти як зовнішні, так і внутрішні робочі поверхні. Відзначено переваги вібраційно-відцентрових зміцнювальних установок з дебалансним приводом, наведено принципову схему, описано будову та принцип роботи лабораторної вібраційної машини, за допомогою якої виконували більшість експериментальних досліджень.

Суть ВВЗО деталей полягає у тому, що на поверхню циліндричної деталі, яка здійснює вібраційні коливання певної амплітуди та частоти, діють ударні динамічні навантаження спеціальним інструментом, що обкочується по зовнішній або внутрішній поверхнях деталі. Це зумовлює наклепування поверхневих шарів, підвищення дефектності та дисперсності структури їх матеріалу, що веде до підвищення його твердості.

У переважній більшості, в тому числі і запірно-поворотних клапанів та pomp бурового устаткування, для виготовлення важконавантажених деталей пар тертя обирають конструкційні вуглецеві та низьколеговані сталі, керуючись при цьому механообробними властивостями матеріалу і його придатністю до термообробних операцій, а також економічною ефективністю. Виходячи з цього для досліджень вибирали зразки із середньовуглецевої сталі 35 та низьколегованої сталі 40X. На них і

вивчали вплив технологічних параметрів на фізико-механічні та експлуатаційні властивості.

Мікротвердість та глибину зміцнення вимірювали на приладі ПМТ-3 за стандартною методикою. Зносостійкість досліджували у оливному та оливно-абразивному середовищах (олива “Славол” М-3042у ТУ У 13932946.015 – 96 та олива з добавкою 0,1 ваг. % кварцового піску дисперсністю до 12 мкм) на машині тертя МІ-1М. Стійкість матеріалів до кавітаційно-ерозійного руйнування досліджували за вібраційною методикою (із застосуванням магніострикційного вібратора). Для цього використовували установки заводського виготовлення УЗДН-1 і УЗДН-2Т. Складовою частиною цих установок є магніострикційний перетворювач з робочою частотою коливань 22 кГц. Кавітаційна зона в цих установках створюється поздовжніми коливаннями випромінювача – нікелевого стрижня, які збуджуються на резонансній частоті магніострикційним генератором. Електрохімічні дослідження проводили на потенціостатах П-5827М та П-5848 за триелектродною схемою: зразок – робочий електрод, допоміжний електрод платиновий, електрод порівняння – насичений хлорсрібний.

Вплив технологічних чинників на фізико-механічні властивості матеріалу (мікротвердість, глибину зміцненого шару, ступінь наклепу, шорсткість, точність) вивчали на основі теорії математичного планування експерименту з побудовою регресійних моделей другого порядку.

У третьому розділі теоретично досліджено динаміку процесу зміцнення внутрішніх поверхонь деталей вібраційно-відцентровою обробкою. В середині зміцнюваної деталі 1 вільно розташовують зміцнювальний інструмент – масивний обкатник 2 із зафіксованими на ньому деформівними тілами 3 у вигляді сферичних кульок або роликів (рис. 1).

На підставі розв’язку рівнянь опису руху коливної системи, отримано математичні залежності для визначення енергетичних параметрів процесу ВВЗО. Енергію деформування матеріалу E_y внутрішньої циліндричної поверхні деталі визначають за формулою:

$$E_y = \frac{2\pi^2 f^2 m D_1^2}{1 + K} \left(\frac{2\pi}{2n \arcsin\left(\frac{D_1}{D_d} \sin \frac{\pi}{n}\right) - 1} \right)^2 \cos^2\left(\frac{2\pi}{n} - 1\right), \quad (1)$$

де f – частота коливання обкатника; m – маса обкатника; D_1 – максимальний діаметр циліндричної поверхні, дотичної до деформівних тіл, який визначають з умови $D_1 \leq D_d - 2A$; $K = (I - (mD_1^2/4)\cos\alpha)/(I - mD_1^2/4)$; I – момент інерції обкатника; α – центральний кут кола, дотичного до деформівних кульок, що утворений його радіусами, проведеними з центра O обкатника до точок дотику зміцнюваної деталі із двома сусідніми кульками; n – кількість деформівних тіл на обкатнику; D_d – діаметр внутрішньої зміцнюваної

поверхні деталі.

Так, при масі обкатника 5 кг та частоті коливань $f = 24$ Гц за наявності на обкатнику 30 штук розташованих по колу кульок, забезпечувана енергія деформування $E_y = 161,37$ Дж. Легко здійснимо підвищення цих параметрів при зменшенні кількості кульок вдвічі зумовлює збільшення енергії деформування до $E_y = 174,85$ Дж. Це надає змогу регулювати в широких межах енергетично-силові параметри ударної взаємодії інструменту (обкатника) із матеріалом зміцнюваної деталі, а отже, і параметри якості зміцнювальної обробки – глибину зміцненого шару, поверхневу мікротвердість матеріалу тощо.

Одним із визначальних технологічних чинників, які забезпечують високі фізико-механічні властивості матеріалу оброблюваних деталей є робочий орган або інструмент (обкатник). Розроблено методику розрахунку основних параметрів зміцнювального інструменту для різних типорозмірів циліндричних поверхонь деталей.

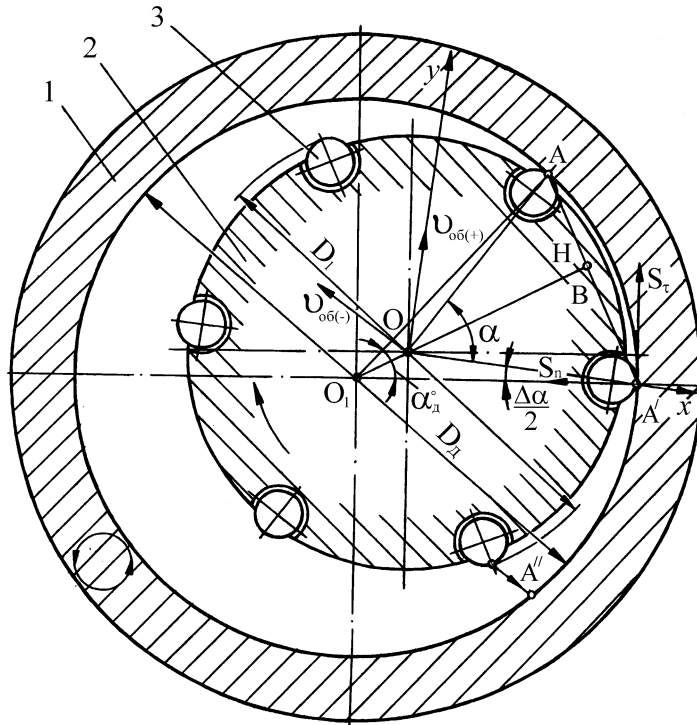


Рис. 1. Динамічна схема взаємодії обкатника з деталлю для визначення енергетично-силових параметрів зміцнення внутрішніх поверхонь деталей ВВЗО: 1 – оброблювана деталь; 2 – обкатник; 3 – деформівні кульки

Досліджено вплив технологічних параметрів ВВЗО та попереднього наводнювання матеріалу деталі на показники якості зміцнення. В технологічних процесах зміцнення деталей машин ППД особлива увага приділяється встановленню оптимальної тривалості обробки. Вивчення впливу тривалості обробки на показники якості поверхневого шару матеріалу проводили на вібраційній машині з використанням зразків у вигляді циліндричних кілець за наступними режимами: амплітуда коливань $A = 5$ мм; частота коливань $f = 24$ Гц; маса робочого інструменту $m = 3,5$ кг; тривалість оброблення $\tau = 6$,

12, 20, 28 та 36 хв; ексцентриситет $\epsilon = 10$ мм. Із збільшенням тривалості оброблення з 6 до 28 хв для сталі 40Х та від 6 до 12 хв для сталі 35 мікротвердість поверхневих шарів матеріалу H_{μ} збільшується відповідно з 5,08 до 7,13 ГПа та з 2,69 до 3,4 ГПа, глибина зміцнення δ – з 3 до 5,3 мм та з 1,5 до 2,3 мм (рис. 2). Встановлено, що для цих марок сталей оптимальною тривалістю зміцнювального оброблення є відповідно 28 та 12 хв. Подальше збільшення тривалості оброблення приводить до перенаклепу, що характеризується зменшенням мікротвердості біля поверхні (рис. 2 а крива 5 та рис. 2 б криві 3, 4, 5).

На силу ударної взаємодії обкатника з деталлю $P = m\epsilon\omega^2$, де ϵ – ексцентриситет обкатника; ω – колова частота обкочувального руху, безпосередньо впливає маса обкатного елемента. Тому досліджено її вплив на параметри зміцнення. Дослідження виконували за режимів, описаних вище, крім цього, що змінювали масу обкатника до значень 4,5; 6,0 та 7,5 кг. Відповідно встановлено оптимальні значення маси інструменту для досліджуваних марок сталей 40Х та 35 – 4,5 та 3,5 кг. Це дозволяє забезпечити максимальну мікротвердість, відповідно, 8,9 і 3,6 ГПа. Зміна тривалості обробки від оптимуму на 10 %, при цьому, в середньому на 10 % понижує мікротвердість матеріалу.

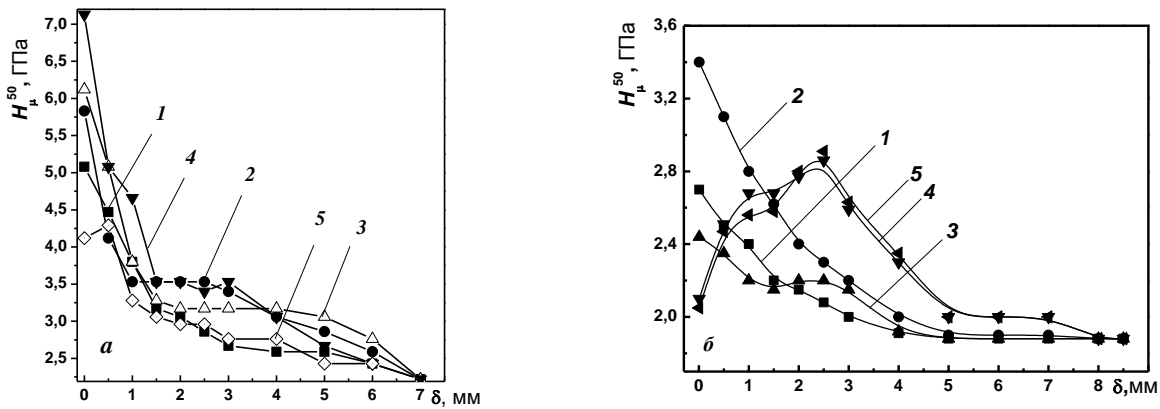


Рис. 2. Зміна мікротвердості сталей 40Х (а) та 35 (б) після ВВЗО тривалістю (у хв):
1 – 6; 2 – 12; 3 – 20; 4 – 28; 5 – 36

Досліджено також вплив таких важливих параметрів зміцнювального процесу як ексцентриситет та амплітуда коливань. Встановлено, що оптимальним значенням ексцентриситету є 10 мм та амплітуди коливань – 5-7 мм.

Оскільки ВВЗО відноситься до зміцнювально-викінчувальних процесів, то поряд з глибиною зміцнення, істотне значення мають точність і шорсткість оброблення, що пов'язано з силовим впливом на поверхневий шар. В результаті такого впливу зростає до 3 раз радіальне биття, змінюються діаметральні розміри, збільшується шорсткість. Тому після ВВЗО доречно для покращання точності та шорсткості поверхні виконувати додаткову механічну обробку, наприклад тонке шліфування. Це є цілком реальним за отриманих глибин зміцнення на досліджуваних марках сталей.

Додатково покращити показники зміцнювального оброблення можна за допомогою поверхнево-активних речовин, які полегшують сприйняття металом пружно-пластичної деформації. З-поміж інших, до цього належить і процес наводнювання. Наводнювання робочих поверхонь здійснювали електролітично з однонормального розчину $H_2SO_4 + 250$ г/л тіосечовини упродовж 60 хв за густин струму $0,5 - 2,0$ А/дм². Внаслідок цього глибина зміцненого шару металу деталей із сталей 35 та 40Х зростає у середньому у 1,2-1,5 рази, а поверхнева мікротвердість – на 20-30 %.

Встановлено, що, регулюючи густину струму, наводнюванням можна змінювати забезпечувану зміцненням величину поверхневої мікротвердості, глибину зміцнення, або обидва ці параметри одночасно. Необхідно відмітити, що максимальні мікротвердість ($H_{\mu} = 10$ ГПа для сталі 40Х) та глибину зміцнення (відповідно $\delta = 5,5$ мм) із ступенем наклепу 290 % отримують при густині струму $0,5$ А/дм². При режимах 1 та 2 А/дм² збільшується глибина зміцненого шару та знижується поверхнева мікротвердість.

З використанням математичного планування експерименту отримано залежності для визначення фізико-механічних властивостей поверхневого шару (мікротвердості H_{μ} , товщини зміцненого шару δ , ступеня наклепу ε , шорсткості R_a та точності $\Delta d/2$) як функцій технологічних параметрів та їх взаємовпливів при обробленні ВВЗО. Зокрема мікротвердість H_{μ} сталі 40Х визначають за залежністю:

$$\begin{aligned} \lg H_{\mu} = & 0,853 - 0,0705 \cdot (6,645 \lg A - 4,169)^2 + 0,07075 \cdot (6,042 \lg m - 4,287)^2 - \\ & - 0,02175 \cdot (2,571 \lg \tau - 3)^2 - 0,0533636 \cdot (6,645 \lg \varepsilon - 6,169)^2 + 0,0674318 \cdot (6,645 \lg A - 4,169) + \\ & + 0,0631932 \cdot (6,042 \lg m - 4,287) + 0,0689432 \cdot (2,571 \lg \tau - 3) + 0,0296136 \cdot (6,645 \lg \varepsilon - 6,169) - \\ & - 0,0379432 \cdot (6,645 \lg A - 4,169) \cdot (6,042 \lg m - 4,287) - 0,0156932 \cdot (6,645 \lg A - 4,169) \cdot (2,571 \lg \tau - 3) - \\ & - 0,00361364 \cdot (6,645 \lg A - 4,169) \cdot (6,645 \lg \varepsilon - 6,169) - 0,0284318 \cdot (6,042 \lg m - 4,287) \cdot (2,571 \lg \tau - 3) + \\ & + 0,0133636 \cdot (6,042 \lg m - 4,287) \cdot (6,645 \lg \varepsilon - 6,169) - 0,0146364 \cdot (2,571 \lg \tau - 3) \cdot (6,645 \lg \varepsilon - 6,169) \end{aligned} \quad (2)$$

де A – амплітуда коливань віброзбуджувача; m – маса обкатаного елемента; τ – тривалість обробки; ε – ексцентриситет, з яким встановлений обкатник.

У четвертому розділі визначено рівень залишкових напружень в матеріалі, зносостійкість поверхонь, корозійно-електрохімічні характеристики, кавітаційно-ерозійну та теплову стійкість сталей, зміцнених ВВЗО.

Встановлено, що оптимальними режимами оброблення з точки зору забезпечення максимальних радіальних σ_r і колових $\sigma_{кол}^{max}$ залишкових напружень є наступні: $A = 5$ мм; $m = 4,5$ кг; $\tau = 28$ хв; $\varepsilon = 10$ мм. Отримані при цьому значення напружень: для сталі 35 – $\sigma_r = 270$ МПа, $\sigma_{кол}^{max} = 1460$ МПа; для сталі 40Х – $\sigma_r = 290$ МПа, $\sigma_{кол}^{max} = 1600$ МПа. Цей режим обробки однаковий для обох марок сталі.

Забезпечувані зміцненням залишкові напруження стиску мають значний вплив на зносостійкість, корозійну, кавітаційно-ерозійну та теплову стійкість і ряд інших фізико-механічних властивостей зміцненого шару деталі.

Зносостійкість поверхневого шару, отриманого після ВВЗО, порівнювали із зносостійкістю матеріалу після нормалізації та гартування в оливі з низьким відпуском

(200 °C). Після гартування кільця зі сталі 40X досягали твердості HRC 52-54, а кільця із сталі 35 – HRC 38-40. Термооброблені кільця шліфували електрокорундовим кругом до шорсткості поверхні $R_a = 0,8-1,2$ мкм. Нормалізовані кільця шліфували до такої ж шорсткості поверхні.

Наявність на поверхнях зразків суцільного зміцненого шару підвищує їх зносостійкість в умовах оливного та оливно-абразивного зношування в 1,03-2,2 (рис. 3), а наводнених і зміцнених – в 1,34-2,86 рази. До того ж із збільшенням питомого навантаження з 1 до 2 МПа ефект від зміцнення підвищується.

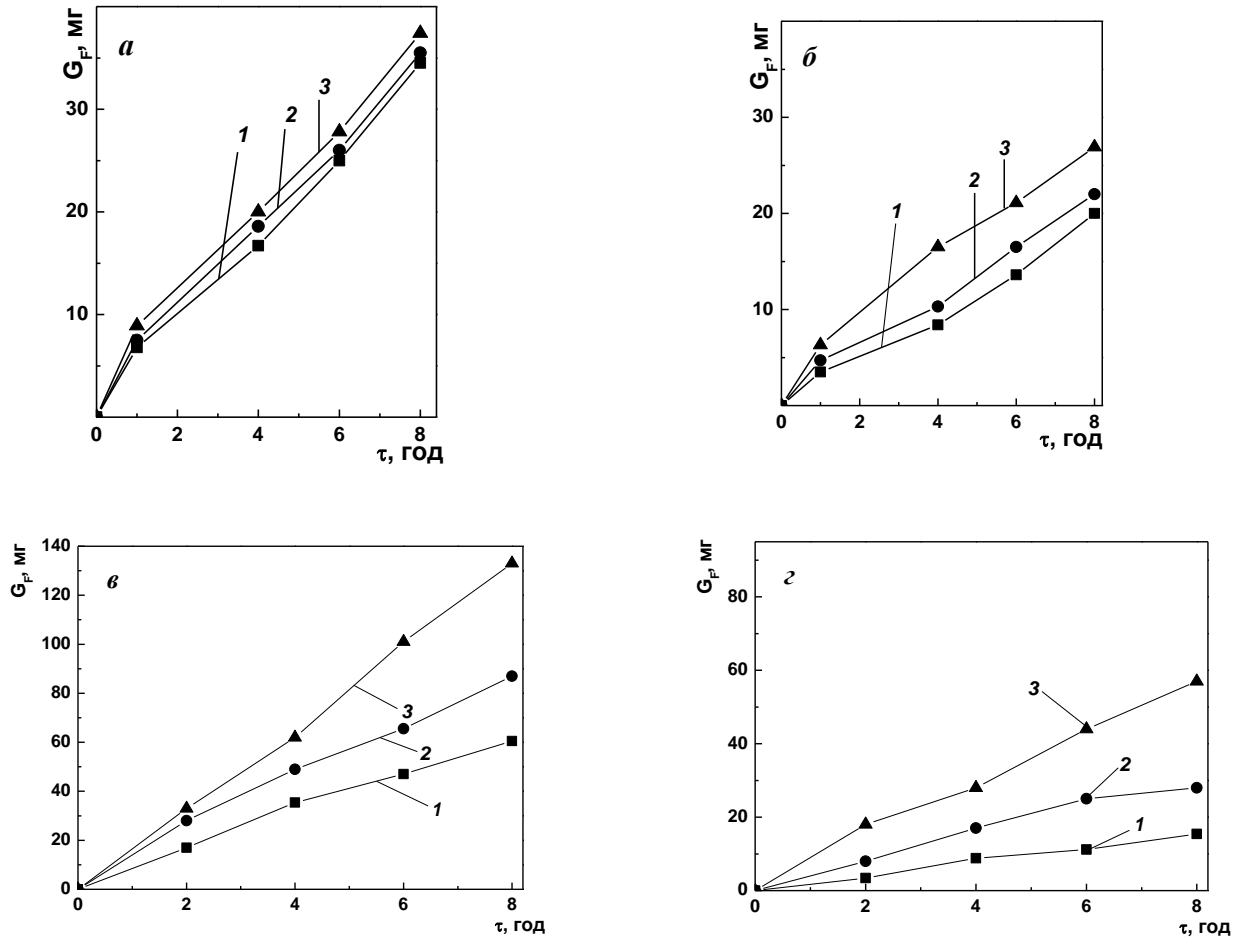


Рис. 3. Кінетика зносу пар тертя із сталей 35 – 40X та 40X – 40X після ВВЗО (*а, в* – кільце; *б, г* – контр-тіло; під навантаженням *а, б* – 1 МПа; *в, г* – 2 МПа) відповідно в оливному (*а, б*) та оливно-абразивному (*в, г*) середовищі: 1 – нормалізація; 2 – гартування в оліві з низьким відпуском (200 °C); 3 – ВВЗО

Зміна технологічних параметрів ВВЗО (маси інструменту, тривалості обробки тощо) по-різному впливає як на ступінь деформації сталі 40X, так і на її корозійно-електрохімічну поведінку. Тому проведено дослідження корозійної стійкості зразків зі сталі 40X після ВВЗО і порівняно з іншими методами зміцнювальних обробок. Виявлено, що оптимальними режимами ВВЗО з позицій забезпечення найкращих

корозійно-електрохімічних характеристик є наступні: $m = 4,5$ кг, $\tau = 20$ хв; $m = 7,5$ кг, $\tau = 36$ хв. Вона займає проміжне становище серед інших зміцнювальних обробок (механоімпульсна, піскоструменева, піскоструменева + обкатування роликком) і покращує у 1,6 раз корозійно-електрохімічні характеристики сталі 40Х. Обробка за режимами $m = 3,5$ кг, $\tau = 28$ хв; $m = 4,5$ кг, $\tau = 28$ хв хоч і забезпечує достатню мікротвердість за мінімальних енерговитрат, проте значною мірою погіршує корозійну стійкість сталі 40Х.

Стійкість сталі до кавітаційно-ерозійного руйнування (КЕР) визначається, з одного боку, мікротвердістю поверхні, з іншого – корозійною стійкістю, що забезпечується ВВЗО (рис. 4). Дослідження показують, що технологія ВВЗО придатна для деталей пар тертя, що експлуатуються в умовах КЕР. Однак, для цих деталей не придатні режими, які за ступенем дефектності структури наближають матеріал до перенаклепу ($m = 3,5$ кг, $\tau = 20$ хв; $m = 4,5$ кг, $\tau = 28$ хв). Ефективними є режими зміцнювальної обробки, що хоч і забезпечують нижчу мікротвердість матеріалу, але вищу його корозійну стійкість. Для сталі 40Х це $m = 7,5$ кг, $\tau = 36$ хв. При цьому кавітаційно-ерозійна стійкість по стабілізованій швидкості КЕР зростає у 2 рази, а інкубаційний період КЕР – у 10 раз, що в умовах експлуатації приблизно в стільки ж разів підвищує ресурс роботи важконавантажених деталей пар тертя.

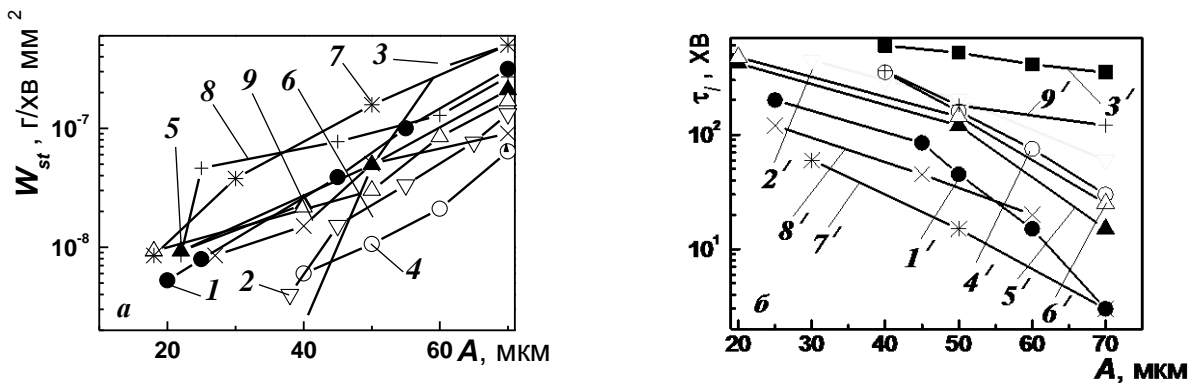


Рис. 4. Залежність стабілізованої швидкості КЕР (а) та інкубаційного періоду КЕР (б) від амплітуди випробувань зразків зі сталі 40Х після технологічних методів обробки: 1, 1' – нормалізація; 2, 2' – гартування з відпуском при 200° С; 3, 3' – механоімпульсна обробка (МІО) в технологічному середовищі (ТС) для комплексного насичення; 4, 4' – МІО в ТС для науглецювання; 5, 5' – піскоструменеве оброблення; 6, 6' – обкочування роликком; 7, 7' – ВВЗО ($m = 3,5$ кг, $\tau = 20$ хв); 8, 8' – ВВЗО ($m = 4,5$ кг, $\tau = 28$ хв); 9, 9' – ВВЗО ($m = 7,5$ кг, $\tau = 28$ хв)

Деталі пар тертя при експлуатації можуть нагріватися до високих температур, тому важливо знати вплив температури нагріву на зміну властивостей поверхневого шару. Теплостійкість вивчали на зразках із сталі 40Х після ВВЗО. Встановлено, що отримані ВВЗО структури поверхневих шарів успішно працюють в рідкому мастильному

середовищі при температурах, які не перевищують 200 °С. При вищих температурах отримані ВВЗО шари можуть частково втрачати свої фізико-механічні та експлуатаційні властивості, а при температурі 500 °С повністю втрачається забезпечуваний обробкою приріст мікротвердості.

У п'ятому розділі викладено результати дослідно-промислових порівняльних випробувань зміцнених ВВЗО деталей. Тут наведено принципові схеми вібраційних установок для зміцнення зовнішніх та внутрішніх поверхонь циліндричних деталей пар тертя, зокрема втулок клапанів бурового обладнання та методику розрахунку і проектування вібр машин для ВВЗО.

Натурні випробування на зносостійкість зміцнених ВВЗО та попередньо наводнених і зміцнених ВВЗО втулок запірно-поворотних клапанів ЗП2-146 та втулок pomp У8-7М виконували в реальних умовах і порівнювали із зносостійкістю еталонних втулок, виготовлених за типовим технологічним процесом. Результатами випробувань встановлено, що зносостійкість матеріалу зміцнених ВВЗО деталей на 25 – 75% вища від еталонних. При цьому, попереднє наводнювання перед зміцненням ВВЗО підвищує довговічність втулок клапанів із сталі 40Х в 2,3 рази, а втулок pomp (сталь 35) – в 1,75 рази порівняно із незміцненими.

Основними елементами вібраційно-відцентрової зміцнювальної установки для оброблення зовнішніх поверхонь деталей є (рис. 5): пневмобалони 1, рама 2, обкатник 5,

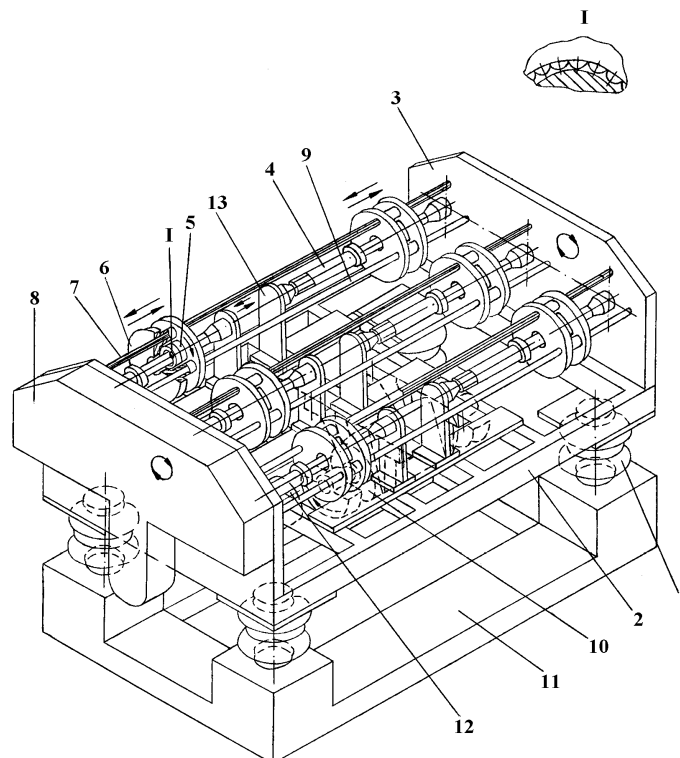


Рис. 5. Принципова схема вібраційно-відцентрової зміцнювальної установки

коробка подачі 8, двигун-вібратор 10, станина 11 та двигун-редуктор 12. Установка працює наступним чином: рухомий центр 13 відводять на необхідну відстань для встанов-

лення оброблюваної деталі 4. Після закріплення деталі 4 запускають двигун-вібратор 10 та двигун-редуктор 12. В результаті запуску цих двигунів коливається рама 2 та приводиться в рух через коробку подачі 8 ходовий гвинт 7. Він переміщує диски 6 по напрямних штангах 9, між якими знаходиться обкатник 5. Завдяки обкочуванню обкатника 5 та його переміщенню механізмом подачі на оброблювану поверхню наносяться удари через деформівні тіла (кульки). Вібраційно-відцентрова зміцнювальна установка є шестипозиційною і цим забезпечує високу продуктивність зміцнювального оброблення. Після оброблення обкатника 5 дисками 6 відводяться в крайні положення до кронштейнів 3. Вимикають двигун-вібратор 10 і двигун-редуктор 12, відводять рухомі центри 13 та виймають зміцнені деталі 4.

Ефективність дебалансних вібраційних установок, що реалізують ВВЗО, підтвержена результатами промислових випробувань втулок запірно-поворотних клапанів ЗП2-146 та грязьових втулок стволів вертлюгів бурових верстатів А-50, виконаних в Управлінні виробничо-матеріального і транспортного забезпечення (УВМТЗ) ДП “Західукргеологія” (с. Угерсько Львівської області). Випробування зазначених деталей після ВВЗО показали підвищення їх ресурсу в 1,8 – 2,5 рази. Річний економічний ефект від впровадження процесу ВВЗО на даному підприємстві становить 29200 грн/рік.

ВИСНОВКИ

1. Наявні у сучасних технологічних процесах виготовлення важконавантажених деталей пар тертя оздоблювально-викінчувальні операції зорієнтовані, в основному, на забезпечення точності та низької шорсткості їх робочих поверхонь і є малоефективними щодо забезпечення поверхневим шаром деталей стійких до зношування фізико-механічних властивостей. Швидкоплинні в часі експлуатації пошкодження початкового стану робочих поверхонь деталей під дією властивих їм гідро-абразивному та кавітаційно-ерозійному руйнівним процесам формують новий експлуатаційний мікрорельєф, нівелюючи позитивний вплив викінчувальних операцій. Застосовувані відомі зміцнювальні операції через незначну енергію деформування недостатньо ефективні для забезпечення належного напружено-деформівного стану матеріалу. Це висуває потребу у ґрунтовному дослідженні та розробці нових і вдосконаленні існуючих методів зміцнювальних обробок матеріалу поверхневих шарів важконавантажених деталей пар тертя, здатних на етапі їх виготовлення формувати стійкий до гідро-абразивного зношування мікрорельєф робочих поверхонь у поєднанні із покращанням властивостей матеріалу стосовно його опору корозійному та кавітаційно-ерозійному руйнуванню, найбільш властивим цим деталям, зокрема у механізмах бурового устаткування.

2. Розроблений технологічний процес зміцнення робочих поверхонь важконавантажених деталей пар тертя базується на поєднанні інтенсивного поверхневого деформування матеріалу деталей вдосконаленим методом ВВЗО з підвищеним (до 180 Дж) рівнем енергії удару із передуючим йому насиченням матеріалу воднем як допоміжним за-

собом легування хімічно активним елементом-активатором, спроможним покращити не тільки сприйняття металом пружно-пластичної деформації, а й забезпечити збільшення глибини її проникання у товщу матеріалу. За оптимальних значень технологічних параметрів процесу це забезпечує у товщі матеріалу (сталі 40X) глибину зміцненого шару до 5,0-5,5 мм, підвищення поверхневої мікротвердості до 10 ГПа із ступенем наклепу 290 %, формування залишкових напружень стиску до 1600 МПа.

3. Енергія деформування поверхневих шарів матеріалу деталей під час їх ВВЗО обкатниками із зафіксованими на них деформівними тілами (кульками) пропорційна масі обкатника та частоті коливань оброблюваної деталі і оберненопропорційна кількості розміщених на обкатнику деформівних тіл. Не складне регулювання цих технологічних параметрів дає змогу в широких межах змінювати рівень енергії деформування, надаючи цим можливість забезпечення обробкою наперед заданих показників якості зміцнення та фізико-механічних властивостей матеріалу у поверхневих шарах деталі. Так, розвинута п'ятикілограмовим обкатником при частоті коливань 24 Гц за наявності на ньому 30 розташованих по колу кульок енергія деформування становить 161,37 Дж, а зменшення їх кількості вдвічі збільшує енергію деформування до 174,85 Дж.

4. Як і для більшості методів зміцнення ППД, процесові вібраційно-відцентрового зміцнення з підвищеною енергією деформування властивий оптимальний тривалості зміцнювального оброблення, який зумовлений властивостями матеріалу деталі. Оптимальна тривалість зміцнення регламентується забезпечуваною обробкою поверхневою мікротвердістю матеріалу деталі, і її зміни у будь-який бік від оптимуму понижують мікротвердість. Так, для деталей із конструкційної сталі 35 оптимальною є тривалість зміцнення впродовж 6-12 хв, для низьколегованої сталі 40X – 20-28 хв, забезпечуючи при цьому поверхневу мікротвердість, відповідно, 3,6 і 8,9 ГПа. Зміна тривалості обробки від оптимуму на 10%, при цьому, в середньому на 10 % понижує мікротвердість матеріалу.

5. Режимми попереднього перед зміцненням ВВЗО електrolітичного наводнювання матеріалу деталей, зокрема, густина струму наводнювання, товщина наводненого шару матеріалу, а також вміст вуглецю у матеріалі оброблюваних деталей суттєво впливають на показники якості ВВЗО. Товщина зміцненого шару матеріалу внаслідок проникаючого на всю товщу металу деталей із сталей 35 та 40X наводнювання зростає в середньому у 1,2-1,5 рази. Поверхнева мікротвердість зміцненого матеріалу, при цьому, передовсім, залежить від густини струму наводнювання і може як перевищувати, так і поменшувати значення мікротвердості, яке отримують окремо ВВЗО. Для обох досліджуваних марок сталей максимальні підвищення поверхневої мікротвердості (на 20-30 %) та збільшення товщини зміцненого шару матеріалу забезпечуються за густини струму наводнювання 0,5 А/дм².

6. Зносостійкість зміцнених вібраційно-відцентровою обробкою деталей регламентується, передовсім, поверхневою мікротвердістю та товщиною зміцненого шару їх матеріалу, тривалістю та умовами зношування. Порівняно із гартованим та нормалізованим станом матеріалу сталі 40X зміцнення ВВЗО за оптимальних режимів підвищує опір

зношуванню в середньому на 20-120 % в умовах оливного та оливо-абразивного середовища. Підвищення питомого навантаження на зношувани поверхні тут інтенсифікує зношувальні процеси, а попереднє перед ВВЗО наводнювання матеріалу – в середньому на 60-70 % їх сповільнює, в основному, завдяки збільшенню поверхневої мікротвердості.

7. За оптимальних режимів ВВЗО підвищує кавітаційно-ерозійну стійкість поверхневих шарів матеріалу зміцнених деталей, в основному, завдяки підвищенню мікротвердості матеріалу та покращанню його корозійно-електрохімічних характеристик. Оптимальні режими обробки наближені до рекомендованих щодо забезпечення найвищої поверхневої мікротвердості матеріалу. Однак, оскільки кавітаційно-ерозійна стійкість матеріалу безпосередньо пов'язана із ступенем його поверхневого деформування, при наближенні стану зміцненого матеріалу до перенаклепу внаслідок виходу на поверхню металу дислокацій, що стають осередками розчинення, стійкість зміцненого матеріалу щодо КЕР різко знижується. Оптимальними щодо опору КЕР деталей пар тертя із сталі 40Х є наступні режими зміцнювальної обробки: $m = 4,5-7,5$ кг; $\tau = 20-28$ хв.

8. Натурні порівняльні випробування еталонних втулок запірно-поворотних клапанів подвійного закриття ЗП2-146 та втулок pomp У8-7М бурового устаткування, виготовлених за типовими технологічними процесами, і втулок, процес виготовлення яких включав додаткову зміцнювальну операцію ВВЗО, засвідчили зменшення в середньому на 25-75 % зносу зміцнених робочих поверхонь втулок, яку оцінювали за зміною діаметра їх робочих поверхонь. Попереднє перед ВВЗО наводнювання додатково покращує фізико-механічні властивості матеріалу та збільшує товщину зміцненого шару, що в комплексі, підвищує довговічність втулок клапанів із сталі 40Х у 2,3 рази, а втулок pomp (сталь 35) – у 1,75 рази.

9. Розроблені конструктивні схеми вібраційних машин для зміцнення робочих поверхонь циліндричних деталей зорієнтовані на забезпечення головного робочого руху ВВЗО – обкочування масивного обкатника із деформівними тілами, основою якого є підтримання його обертання при гармонійних коливаннях осі, що самозбурюється і стабільно підтримується вібраціями. Вібромашини передбачають можливість багатопозиційної обробки, спроможність регулювання технологічних параметрів процесу, не складні за конструкцією, прості в експлуатації.

10. Результати експериментального дослідження впливу основних технологічних параметрів процесу ВВЗО на показники якості зміцнення матеріалу (поверхнева мікротвердість, товщина зміцненого шару матеріалу, ступінь наклепу, радіальне биття та шорсткість оброблених поверхонь) адекватно відображають дослідно-емпіричні залежності, виведені на основі математичного планування багатофакторного експерименту. Їх використання дозволяє не тільки здійснити аналіз вагомості впливів та взаємовпливів технологічних параметрів процесу на ті чи інші показники зміцнювальної обробки, а й дає змогу поширити дані експериментального дослідження на інші матеріали та різновиди важконавантажених деталей пар тертя.

Розроблена методика проектування технологічного спорядження для зміцнення

ВВЗО робочих поверхонь деталей пар тертя надає можливість розраховувати засобами сучасної обчислювальної техніки всі основні вузли та складові елементи цих вібраційних машин, зокрема потужностей двигунів приводу, пружної підвіски, збудовального зусилля віброзбудників, а також межі регулювання технологічних параметрів процесу.

Основний зміст дисертаційної роботи викладено у таких публікаціях:

1. Афтаназів І. С., Кук А. М., Кирилів Я. Б. Вібраційне устаткування для зміцнення перехідників бурильних колон. // Держ. міжвідомчий наук.-техн. зб.: Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ, серія “Нафтогазопромислове обладнання”. – Івано-Франківськ: Івано-Франк. нац. техн. університет нафти і газу, 2001. – №38. – С. 92-97.

2. Афтаназів І. С., Кирилів Я. Б. Вплив умов обробки на ефективність вібраційно-відцентрового зміцнення. // Збірник наукових праць асоціації “Автобус”. Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів. – 2001. – Випуск 5.– С. 16-18.

3. Кирилів Я. Б. Оптимізація маси інструмента під час вібраційно-відцентрової зміцнювальної обробки. // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2002. – №442. – С. 97-101.

4. Афтаназів І. С., Кирилів Я. Б. Розрахунок інструменту для вібраційно-відцентрової зміцнювальної обробки. // Збірник наукових праць асоціації “Автобус”. Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів. – 2002. – Випуск 6.– С. 34-37.

5. Афтаназів І. С., Бассараб А. І., Кирилів Я. Б. Механічні та корозійні характеристики сталі 40Х після вібраційно-відцентрової зміцнювальної обробки. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2002. – №3. – С. 101-104.

6. Кирилів В., Бассараб А., Кирилів Я., Волошин В. Вплив поверхневого зміцнення на кавітаційну стійкість сталі. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2002. – спецвипуск №3 “Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів”. – С. 565-569.

7. Кирилів В. І., Кирилів Я. Б. Вплив вібраційно-відцентрової зміцнювальної обробки на зносотривкість сталі 40Х. // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2003. – №480. – С. 129-132.

8. Кук А., Кирилів Я. Експлуатаційні властивості сталі 40Х після вібраційно-відцентрового зміцнювального оброблення. // Машинознавство. – 2003. – №5. – С. 50-55.

9. Кирилів Я. Б. Використання вібраційно-відцентрової зміцнюючої обробки для покращення фізико-механічних характеристик поверхонь деталей енергетичного обладнання. // Збірник наукових праць “Матеріали для енергетики”. – Львів, ВНТЛ-Класика – 2001. – Випуск 1. – С. 68-71.

10. Коваль Ю. М., Кирилів Я. Б. Вплив наводнювання на ефективність поверхневого зміцнення сталей. // Матеріали відкритої науково-технічної конференції молодих науковців і спеціалістів “Інженерія поверхні”. – Львів. – 2001. – С. 51-54.

11. Бассараб А. І., Білик Н. В., Кирилів Я. Б., Коваль Ю. М. Вплив наводнення на технологічні параметри зміцнення. // Відкрита XVII науково-технічна конференція молодих науковців і спеціалістів ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України. – Львів. – 2002. – С. 53-57.

12. Кирилів В., Кирилів Я. Перспективи використання вібраційно-відцентрової зміцнювальної обробки з метою підвищення ресурсу роботи пар тертя транспортних засобів. // Збірник наукових праць “Промисловий та туристичний транспорт”. – Львів, Каменярь – 2002. – Випуск 1. – С. 61-64.

13. Кук А., Кирилів Я. Експлуатаційні властивості сталі 40Х після вібраційно-відцентрового зміцнювального оброблення. // Шостий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові. Тези доповідей. – Львів: КІНПАТРІ ЛТД. – 2003. – С. 107.

АНОТАЦІЯ

Кирилів Я. Б. Технологічне покращання експлуатаційних властивостей циліндричних поверхонь деталей машин вібраційно-відцентровим зміцненням. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. – Національний університет “Львівська політехніка”. – Львів, 2004.

Дисертація присвячена дослідженню і розробленню технології зміцнення з високим рівнем енергії циліндричних деталей пар тертя методом вібраційно-відцентрового зміцнювального оброблення (ВВЗО) для забезпечення необхідних фізико-механічних властивостей приповерхневих шарів деталей машин з метою підвищення їх опору зношуванню, корозійному та кавітаційно-ерозійному руйнуванню. Встановлено, що ВВЗО підвищує опір зношуванню в 1,03-2,84 рази та кавітаційно-ерозійному руйнуванню в 2-10 раз. Розроблено конструкції установок для зміцнення зовнішніх та внутрішніх поверхонь деталей машин, методику розрахунків конструктивних параметрів дебалансних зміцнювальних установок. На підставі математичного планування експерименту отримано емпіричні залежності другого порядку для визначення фізико-механічних властивостей матеріалу поверхневого шару (мікротвердості, глибини зміцненого шару, ступеня наклепу, точності поверхні та її шорсткості) деталей пар тертя як функцій основних технологічних параметрів, встановлено оптимальні значення основних технологічних параметрів методу ВВЗО. Результати роботи впроваджено для підвищення довговічності втулок запірно-поворотних клапанів ЗП2-146 та втулок стволів вертлюгів бурових верстатів А-50.

Ключові слова: деталі пар тертя, вібраційно-відцентрове зміцнювальне оброблення, поверхневий шар, мікротвердість, глибина зміцнення, зношування, корозія, кавітаційно-ерозійне руйнування.

АННОТАЦИЯ

Кырылив Я. Б. Технологическое улучшение эксплуатационных свойств цилиндрических поверхностей деталей машин вибрационно-центробежным упрочнением. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. – Национальный университет “Львівська політехніка”. – Львов, 2004.

Диссертация посвящена исследованию и разработке технологии интенсивного упрочнения с высоким уровнем энергии деталей пар трения методом вибрационно-центробежной упрочняющей обработки (ВЦУО) для обеспечения необходимых физико-механических свойств поверхностных слоев деталей машин и повышения сопротивления изнашиванию, коррозионному и кавитационно-эрозионному разрушению.

Приведены условия работы и материалы для изготовления деталей пар трения. Проанализированы эксплуатационные свойства, присущие деталям этого класса и пути их улучшения. Рассмотрены существующие методы поверхностного упрочнения, их влияние на работоспособность деталей машин и на их основании выбран наиболее целесообразный метод для данного типа деталей и условий их работы. Произведены оценка технологических процессов изготовления деталей данного типа, выбор и обоснование направлений исследований.

Сформулировано основное направление исследований данной работы – разработка метода интенсивного упрочнения с целью улучшения физико-механических характеристик поверхностных слоев материала деталей пар трения, направленных на обеспечение эксплуатационных свойств, повышение их надежности и долговечности. Приведена характеристика объекта и предмета исследований, принципиальные конструктивные схемы ВЦУО. Обоснован выбор материалов для исследования влияния технологических параметров на физико-механические свойства, а также методики проведения испытаний и исследований.

Исследовано влияние технологических параметров упрочняющей обработки на физико-механические свойства поверхностных слоев и структуру обрабатываемого металла. Показано влияние предварительного наводороживания на физико-механические свойства обрабатываемого металла. Описана конструкция упрочняющего инструмента и предложена методика расчета его основных параметров. Изучено влияние технологических параметров упрочняющей обработки на микротвердость, глубину упрочнения, степень упрочнения, радиальное биение, изменение размеров и шероховатости обработанных поверхностей. Приведены зависимости для определения физико-механических свойств поверхностей деталей пар трения в зависимости от режимов упрочнения, выведена зависимость для расчета энергии деформирования.

Определены остаточные напряжения после ВЦУО, изучено влияние упрочняющей обработки на износостойкость, коррозионную, кавитационно-эрозионную и тепловую

стойкости сталей. Показан характер изменения остаточных напряжений в поверхностных слоях в зависимости от режимов обработки.

Описано оборудование для реализации процесса ВЦУО и методика его расчета. Приведены рекомендации для выбора режимов упрочнения. Разработаны технологии изготовления цилиндрических деталей пар трения с использованием вибрационно-центробежной упрочняющей обработки. Результаты работы внедрены в производство с целью повышения долговечности втулок запорно-поворотных клапанов ЗП2-146 и втулок ствола вертлюга буровых станков А-50.

Ключевые слова: детали пар трения, вибрационно-центробежная упрочняющая обработка, поверхностный слой, микротвердость, глубина упрочнения, изнашивание, коррозия, кавитационно-эрозионное разрушение.

SUMMARY

Kyryliv Ya. B. Technological improvement of service properties of cylindrical machine parts by vibration-centrifugal strengthening. – The manuscript.

Theses for the Degree of Candidate of Sciences (Engineering) in speciality 05.02.08 – Technology of machine building. – National university “Lvivska polytechnica”, – Lviv, 2004.

Dissertation is devoted to investigation and development of technology of the intensive strengthening with the high level of energy of details of friction pairs by the method of vibration-centrifugal strengthening treatment (VCST) for providing the necessary physicomachanical properties of the nearsurface layers of details of machines with the purpose of increase of the resistance to the wear, corrosive and cavitation-erosive fracture. It is established that VCST increases the resistance to wear in 1.03-2.84 times and to cavitation-erosive fracture in 2-10 times. The equipment for strengthening of the external and internal surfaces of machine details was developed. The method of computation is described for determination of structural parameters of disballanced strengthening equipment. On the basis of the theory of mathematical planning of the experiment the empiric dependences of the second order for determination of the physicomachanical properties of the subsurface layer material (microhardness, depth of strengthening, degree of surfacing, exactness of surface and its roughness) of details of friction pairs as functions of basic technological parameters and also the optimum values of the main technological parameters of VCTS method were obtained. The obtained results have been implemented for improvement of the durability of stop-turning butts of ЗП2-146 walves and of bushes of swivel tranks of А-50 driling rigs.

Key words: details of friction pairs, vibration-centrifugal strengthening treatment, surface layer, microhardness, depth of strengthening, wear, corrosion, cavitation-erosion fracture.