

Всеукраїнський щомісячний
науково-технічний і виробничий
журнал

Висвітлюються результати теоретичних і
експериментальних досліджень у галузях:
Динаміка та міцність машин
Матеріалознавство
Математичне моделювання й
обчислювальні методи
Механіка деформованого твердого тіла
Захист матеріалів від корозії
Конструювання, розрахунок, випробування
та надійність машин
Системи приводів
Тертя та зношування в машинах
Технологія машинобудування
Розрахований на викладачів вищих закладів
освіти, наукових працівників, аспірантів і
спеціалістів машинобудівної промисловості.

Редакційна колегія:

О.Андрейків, член-кор.
НАН України, проф., д. т. н.
І.Афтаназів, проф., д. т. н.
М.Бобир, проф., д. т. н.
Я.Бурак, член-кор. НАН України,
проф., д. ф.-м. н.
В.Гелетій, доц., к. т. н.
Б.Гевко, проф., д. т. н.
М.Дмитриченко, проф., д. т. н.
Б.Кіндрацький, доц., к. т. н.
І.Кузьо, проф., д. т. н.
Р.Кушнір, с.н.с., д. ф.-м. н.
В.Марцинковський, проф., д. т. н.
В.Осадчук, проф., д. ф.-м. н.
В.Павлице, проф., к. т. н.
В.Палаш, доц., к. т. н.
В.Панасюк, академік НАН України,
проф., д. т. н.
М.Пашечко, проф., д. т. н.
В.Похмурський, член-кор.
НАН України, проф., д. т. н.
В.Рвачов, академік НАН України,
проф., д. ф.-м. н.
З.Стоцько, проф., д. т. н.
Г.Сулим, проф., д. ф.-м. н.
Г.Трищ, доц., к. т. н.
Є.Харченко, проф., д. т. н.

Адреса редакції:

79058, м.Львів-58, а/с 6758.
E-mail: me@in.lviv.ua

Відповідальність за достовірність
реклами несуть рекламодавці.

При повному або частковому
передрукуванні матеріалів посилання
на "Машинознавство" є обов'язковим.

© Машинознавство, 2003.

З М І С Т

3. Лобода В., Філіпова О. Термопружна задача для крайової міжфазної тріщини із зоною контакту в анізотропному біматеріалі

10. Рибак Т., Сташків М. Визначення коефіцієнта інтенсивності напружень для втомної тріщини у тонкостінному стрижні замкнутого профілю при депланації його поперечних перерізів

14. Городецька Н. Поверхневі хвилі в пористо-пружному півпросторі

19. Заневський І., Кіндрацький Б. Жорсткість пакета стрижнів при згині та крученні

22. Нарижний О. Напружено-деформований стан складних осесиметричних матриць для імпульсного штампування з вкладками з поздовжніми технологічними розрізами

27. Романовський Г., Хлопенко М., Білюк І. Динаміка упорного підшипника ковзання з гідравлічним вирівнювальним пристроєм при торцевих биттях дзеркала гребеня

30. Філіковський С., Шелудько Г. Оптимізація елементів віброзахисту з демпферами сухого тертя

34. Лєгеза В. Новий метод віброзахисту висотних гнучких споруд на основі застосування коткових гасників

40. Тора Г. Імітатор просторового руху

45. Мастенко В., Татарин Б. Дослідження впливу неметалевих включень в електродних стрічках на ймовірність утворення тріщин при антикорозійному наплавленні під флюсом

50. Кук А., Кирилів Я. Експлуатаційні властивості сталі 40Х після вібраційно-відцентрового зміцнювального оброблення

56. Інформація для авторів

National Monthly Scientific-Technical
and Industrial Journal

The journal is dedicated to the following
problems:

Dynamics and strength of machines
Material science
Mathematical simulation and calculation
methods
Mechanics of deformable-rigid body
Corrosion protection of materials
Design, calculations, testing and reliability of
machines
Drive systems
Friction and wear in machines
Manufacturing engineering
The journal intended for scientists and
specialists in mechanical engineering.

EDITORIAL BOARD

O.Andrejiv
I.Aftanaziv
M.Bobyry
Ja.Burak
V.Geletij
B.Gevko
M.Dmytrychenko
B.Kindratsky
I.Kuzio
R.Kushnir
V.Marcinkovsky
V.Osadchuk
V.Pavlyshche
V.Palash
V.Panasyuk
M.Pashechko
V.Pokchmurskyi
V.Rvatchov
Z.Stocko
G.Sulym
G.Trishch
E.Kharchenko

Editorial office address:

Po.Box 6758, Lviv-58, Ukraine.
Telefax: 380 (322) 596299
E-mail: me@in.lviv.ua

© Mechanical Engineering, 2003.

CONTENTS

- 3. Loboda V., Filippova O. Termoelastic problem for edge interface crack with a zone of contact in an anisotropic bimaterial**
- 10. Rybak T., Stashkiv I. Definition of factors of intensity of pressure for fatigue crack in the thin-walled closed structure at warping him are cross-section**
- 14. Gorodecka N. Surface waves in porous-elastic half space**
- 19. Zaniewski I., Kindratsky B. Stiffness of a rod package at bend and torsion**
- 22. Narizhnij O. SDS of compound axisymmetrical matrixes for a pulse extrusion with inserts with a longitudinal technological cuts**
- 27. Romanovsky G., Hlopenko M., Bilyuk I. The dynamics of the sliding thrust bearing with the hydraulic aligns device under the conditions of thrust face beats of thrust collar mirror**
- 30. Filipkovsky S., Sheludko H. The optimization of shock absorber units with coulomb friction dampers**
- 34. Legeza V. New method of vibroprotection of multi-storeyed flexible buildings on the base of application of rolling absorbers**
- 40. Tora G. Spetial motion simulator**
- 45. Mastenko V., Tataryn B. Investigation of the influence of the non-metal includings in the electrode strips on the possibility of the cracks initiation at the anti-corrozion surfacing under flux**
- 50. Kuk A., Kyryliv Ya. Service properties of 40X steel after the vibratory centrifugal treatment**
- 56. Information for Authors**

УДК 621.787

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ 40Х ПІСЛЯ ВІБРАЦІЙНО- ВІДЦЕНТРОВОГО ЗМІЦНЮВАЛЬНОГО ОБРОБЛЕННЯ

А. Кук

Доцент, канд. техн. наук

Я. Кирилів

Інженер

Національний університет
"Львівська політехніка",
м. Львів

Досліджено вплив вібраційно-відцентрового зміцнювального оброблення (ВВЗО) на стійкість проти спрацювання і кавітаційно-ерозійну стійкість сталі 40Х за оптимальних режимів. Стійкість проти спрацювання досліджували за схемою кільце-вкладка у масляному й масляно-абразивному середовищі, а кавітаційно-ерозійне руйнування (КЕР) — у водогінній воді середньої твердості магніострикційним методом з нижнім розташуванням зразків. Встановлено, що поверхнево-пластичне деформування ВВЗО підвищує стійкість проти спрацювання у масляному і масляно-абразивному середовищі в 1,3...2,2 рази та опір КЕР у 2...10 разів.

вібраційно-відцентрове зміцнювальне оброблення, стійкість проти спрацювання, кавітаційно-ерозійне руйнування

Для інтенсифікації розвитку економіки важливе значення мають техніко-економічні характеристики засобів праці — машин, механізмів, апаратів тощо. Серед цих характеристик найважливішими є, перш за все, надійність і термін їхньої служби. Висока надійність знярядь праці дозволяє скорочувати витрати ресурсів на їхню експлуатацію, а тривалий термін служби — на відтворення.

Надійність і термін служби техніки та інших засобів праці залежить від фізико-механічних, електрохімічних та інших властивостей конструкційних і функціональних матеріалів, які використовують для виготовлення деталей машин [1].

У більшості випадків деталі машин виходять з ладу через спрацювання робочих поверхонь і втрати початкової форми, розмірів і точності спряження. Підвищення довговічності вузлів і деталей, міжремонтних періодів їхньої служби безпосередньо пов'язано зі стійкістю проти спрацювання приповерхневого шару. ВВЗО дає можливість отримати

наклепані приповерхневі шари підвищеної дефектності та дисперсності структури. Відповідно підвищується мікротвердість і стійкість проти спрацювання, що має особливе значення для вугле- та нафтовидобувного обладнання, сільськогосподарських, будівельних, дорожніх, транспортних та інших машин, деталі яких піддаються мастильному та мастильно-абразивному спрацюванню.

Процес спрацювання залежить від багатьох чинників, до яких, перш за все, слід віднести поєднання фізико-механічних властивостей пар тертя, шорсткість, точність контактних поверхонь і умови тертя. Кількісне значення і співвідношення цих та інших чинників змінюють картину спрацювання [2, 3].

Проблема підвищення стійкості проти спрацювання розв'язується шляхом дослідження закономірностей спрацювання при різних умовах тертя і якості приповерхневого шару.

Явище кавітації (від *cavitas* — пустота) — це виникнення в потоці рідини парогазових бульбашок, де тиск

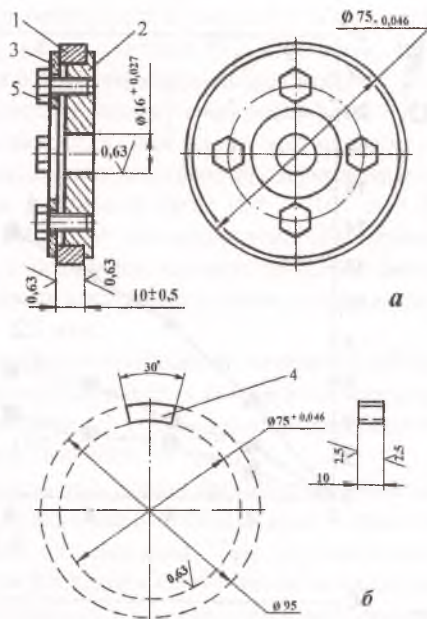


Рис. 1. Зразки для досліджень на стійкість проти спрацювання: а — кільце, б — вкладка; 1 — кільце; 2 — оправка; 3 — шайба; 4 — вкладка; 5 — болт

знижується до тиску парів рідини при відповідній температурі, і наступне скорочення цих бульбашок при переміщенні їх в зону підвищеного тиску. КЕР металу викликається гідравлічними імпульсами ударного характеру, які виникають при швидкому скороченні парогазових бульбашок, що попадають в область вищих тисків. Інтенсивність КЕР залежить від температури і властивостей рідини та матеріалу деталей. Вплив в'язкості незначний.

Кавітаційно-ерозійна стійкість матеріалу визначається його складом і структурою. Підвищення вмісту вуглецю в сталі збільшує її стійкість. Однак, при вмісті вуглецю 0,8% і більше вона зменшується. Введення нікелю і хрому в сталь підвищує її стійкість за рахунок зниження кількості фериту, збільшення ступеня дисперсності та ін.

Одним з перспективних методів поверхневого зміцнення деталей машин є ВВЗО [4], яке полягає в тому, що на поверхню циліндричної деталі, яка здійснює вібраційні коливання певної амплітуди та частоти, діють ударні динамічні навантаження спеціальним, зі вставними металевими кульками, інструментом, що обкочується навколо неї і дозволяє отримати мікротвердість зміцненого шару 6,0...8,9 ГПа глибиною 2...5 мм. Вплив такого виду оброблення на стійкість проти спрацювання пар тертя та кавітаційно-ерозійну стійкість не досліджено. Тому метою цієї праці було дослідження впливу ВВЗО на стійкість проти спрацювання та кавітаційно-ерозійну стійкість сталі 40Х за оптимальних режимів зміцнення.

Методика досліджень. Дослідження стійкості проти спрацювання проводили на машині тертя МІ-1М за схемою обертове кільце — нерухома вкладка у мастильному та мастильно-абразивному середовищах. Абразивним

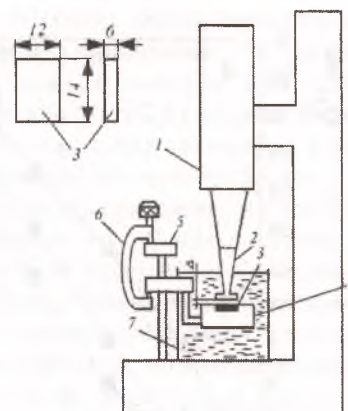


Рис. 2. Схема магніострикційної установки для дослідження КЕР з нижнім розташуванням зразка

матеріалом було обрано кварцевий пісок діаметром 4 — 12 мкм. Зразки для випробувань зображені на рис. 1. Зразки-кільця виготовляли зі сталі 40Х, а вкладки — зі сталі 40Х у стані поставки.

Режим випробувань: тертя зразків проводили у мастильному та мастильно-абразивному середовищах (мастило "Славол" М-3042у ТУ У 13932946.015-96 та мастило з додатком 0,1 ваг. % кварцевого піску дисперсністю до 12 мкм) при навантаженнях 1,0 і 2,0 МПа і швидкості ковзання 0,9 м/с.

Припрацювання кілець проводили з мастильним матеріалом з додатком кварцевого піску. Величину спрацювання визначали зважуванням зразків на аналітичній вазі ВЛА-200М з точністю до $\pm 0,00005$ г. За критерій спрацювання брали втрату ваги за відповідний проміжок часу.

Дослідження КЕР проводили на установках заводського виготовлення УЗДН-1 і УЗДН-2Т. Складовою частиною цих установок є магніострикційний перетворювач з робочою частотою коливаль 22 кГц. До торця наконечника цього елемента прикріплюють зразок, який занурений у рідину (рис. 2). Кавітаційна зона в цих установках створюється поздовжніми коливаннями випромінювача — нікелевого стрижня, який збуджується на резонансній частоті магніострикційним генератором. При переміщенні нижньої частини зразка під ним створювалась область низького тиску. При цьому утворюються бульбашки. Під час ходу вниз тиск зростає, і бульбашки змикаються. Амплітуду коливаль змінювали в межах 3 — 25 мкм (УЗДН-1) і 10 — 50 мкм (УЗДН-2Т).

Магніострикційні випробування проводили [5 — 11] за схемою з нижнім розміщенням зразка 3 (рис. 2), використовуючи призматичні зразки довжиною 14 мм, шириною 12 мм і товщиною 6 мм, які кріплять безпосередньо на випромінювачі магніостриктора 1. При використанні схеми з нижнім розміщенням зразка (рис. 2) у випромінювачі 1 закріплюють концентратор коливаль 2, а зразок 3 у формі призми розмірами $14 \times 12 \times 6$ мм закріплюють в оправці 4. Він переміщується по штативу 5 з допомогою мікрометра 6, яким встановлюють потрібний зазор Δ , величина якого, в свою чергу, може суттєво впливати на швидкість КЕР за заданої схеми випробувань [5]. У наших

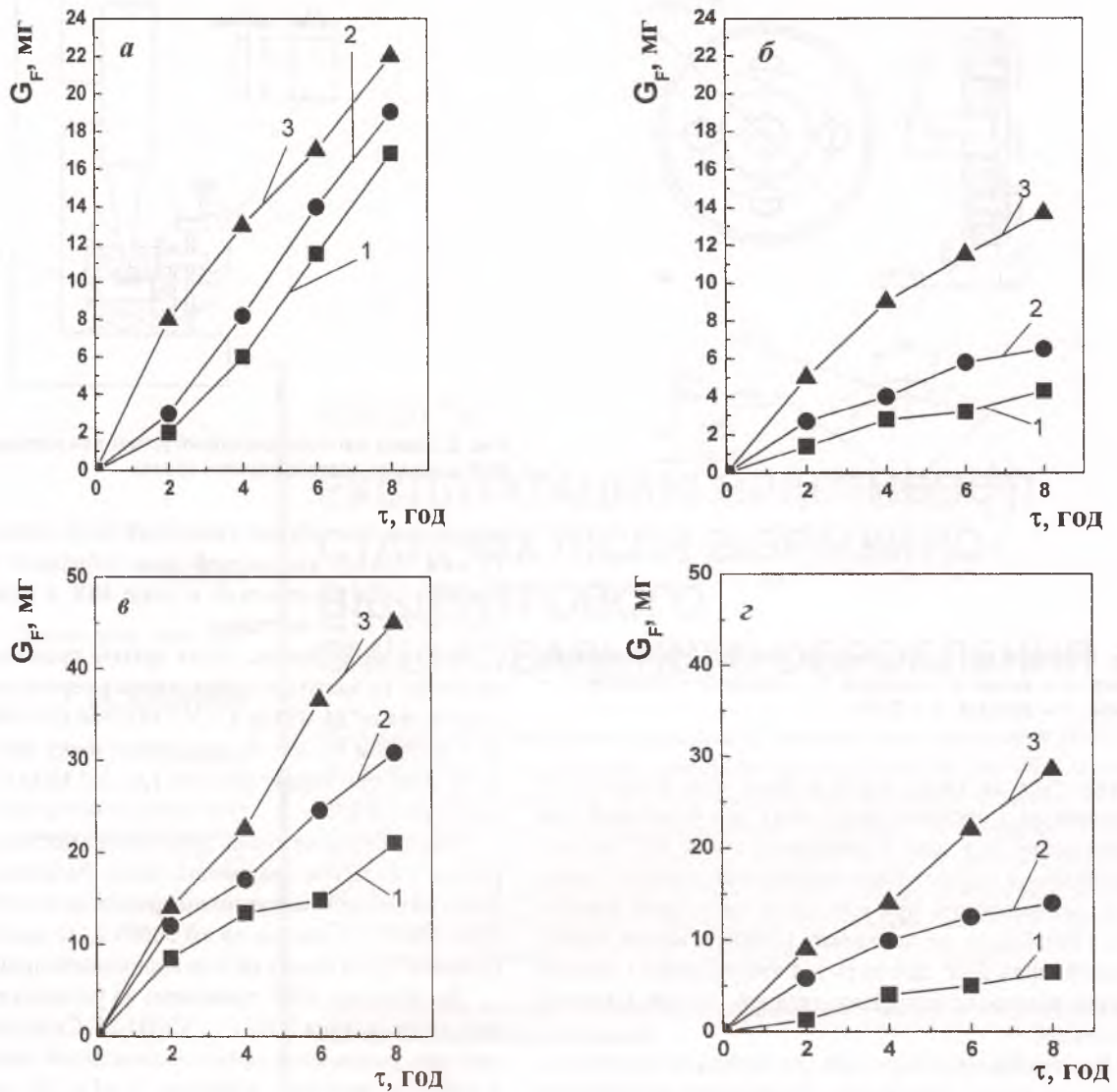


Рис. 3. Кінетика спрацювання пари сталь 40X — сталь 40X в мастильному середовищі після: 1 — ВВЗО, 2 — гартування, 3 — нормалізації (а, в — кільце; б, г — вкладка; а, б — 1 МПа; в, г — 2 МПа)

дослідженнях підтримувалась стала величина зазору $\Delta=0,5$ мм, що відповідно до [5] має сприяти отриманню максимальної швидкості КЕР для заданого типу випробувань. Під час досліджень особливу увагу звертали на підтримування сталої амплітуди коливань, оскільки є прямий зв'язок між амплітудою коливань і втратами маси зразка.

КЕР досліджували на зразках після ВВЗО, які обробляли за режимами: $m_1=4,5$ кг; $t=28$ хв; $m_2=7,5$ кг; $t=28$ хв; $m_3=3,5$ кг; $t=20$ хв для забезпечення максимальної мікротвердості та глибини зміцненого шару. Для порівняння проводили кавітаційно-ерозійні випробування сталі 40X після оброблення іншими технологічними методами поверхневого оброблення (механоімпульсним (МІО), піскоструминним, обкатуванням роликми).

Випробування на кавітаційно-ерозійне руйнування (КЕР) здійснювали у водогінній воді середньої твердості (рН 6,3...6,8, твердість 3,8...4,1 мг-екв./л) магнітострик-

ційним методом за методикою [13] з нижнім розміщенням зразків. За параметри руйнування приймали стабілізовану швидкість W_{st} та інкубаційний період КЕР t_i .

Результати досліджень та їх обговорення. Стійкість проти спрацювання приповерхневого шару, отриманого після ВВЗО, порівнювали з нормалізацією та гартуванням в мастилі з низьким (200°C) відпуском. Після гартування кільця зі сталі 40X досягали твердості HRC 52...54. Термооброблені кільця шліфували електрокорундовим кругом до шорсткості поверхні $R_a=0,8...1,2$ мкм. Нормалізовані кільця також піддавали шліфуванню, після якого шорсткість поверхні була аналогічною. ВВЗО проводили на вібраційній машині [12].

Режими оброблення: амплітуда коливань $A=5$ мм, ексцентриситет інструмента $\epsilon=10$ мм, колова частота коливань деталі $\omega=150,72$ с $^{-1}$, тривалість оброблення $\tau=28$ хв., маса інструмента $m=4,5$ кг.

Досліди показали, що після ВВЗО мікротвердість приповерхневих шарів досягала 8,9 ГПа, а глибина зміцнення — 5,8 мм для сталі 40Х. При цьому фазові перетворення в приповерхневих шарах відсутні. ВВЗО створює в приповерхневому шарі специфічний структурно-напружений стан, при цьому метал набуває цінних фізико-механічних властивостей. Зерна металу здрібнені, а густина дислокацій сягає 10^{10} — 10^{11} см⁻². Поверхня після ВВЗО стає лускатою з нерівностями 0,10 — 0,15 мм, а місцями має виплески до 0,3 мм. Зміцнені зразки шліфували електрокорундовим кругом до шорсткості $R_a = 0,8 \dots 1,2$ мкм.

Характерною особливістю зміцнених ВВЗО шарів є те, що в приповерхневих шарах виникають залишкові колові напруження стиску, які за оптимального режиму досягають 1600 МПа у сталі 40Х.

Наявність на поверхні зразків суцільного зміцненого шару підвищує їхню стійкість проти спрацювання за масляного спрацювання. Так, спрацювання зразків, зміцнених ВВЗО, при терті з питомим навантаженням 1 МПа зменшилось в 1,2 рази порівняно з гартованими і в 1,3 — порівняно з нормалізованими (рис. 3). Характерно, що спрацювання вкладок також зменшується. Зокрема, спрацювання вкладки, яка працює в парі зі зміцненим зразком, зменшилося, порівняно з нормалізованим, у 3,5, а з гартованим — у 2,0 рази. Підвищення питомого

навантаження до 2 МПа збільшує стійкість проти спрацювання зміцнених зразків порівняно з нормалізованими в 2,2 рази і з гартованими — в 1,4 рази. Стійкість проти спрацювання вкладок при цьому також збільшується відповідно в 2,0 і 4,6 рази. Це явище характерне для зміцнювальних технологій і пояснюється зменшенням коефіцієнта тертя трибопари [13].

Зауважимо, що при проведенні дослідів не було виявлено кореляційного зв'язку між твердістю і стійкістю проти спрацювання дослідженого матеріалу, оскільки твердість зміцненого зразка підвищилась приблизно в 3,7 рази, а стійкість проти спрацювання — тільки в 2,2 рази. Очевидно, зміцнення за оптимальним режимом мало суттєвий вплив на властивості тонкої структури приповерхневого шару.

Суцільний зміцнений шар також підвищує стійкість проти спрацювання в мастильно-абразивному середовищі (рис. 4). Однак, при цьому спрацювання суттєво збільшується порівняно з масляним і при 1 МПа зростає в 2 рази, а при 2 МПа — в 3 рази. Співвідношення стійкості проти спрацювання нормалізованих, гартованих і зміцнених зразків при цих же навантаженнях зберігаються, як і при мастильному спрацюванні.

Технологічні методи поверхневого оброблення, в тому числі й ВВЗО, забезпечують різний рівень поверхневого деформування поверхні, насичення її продуктами

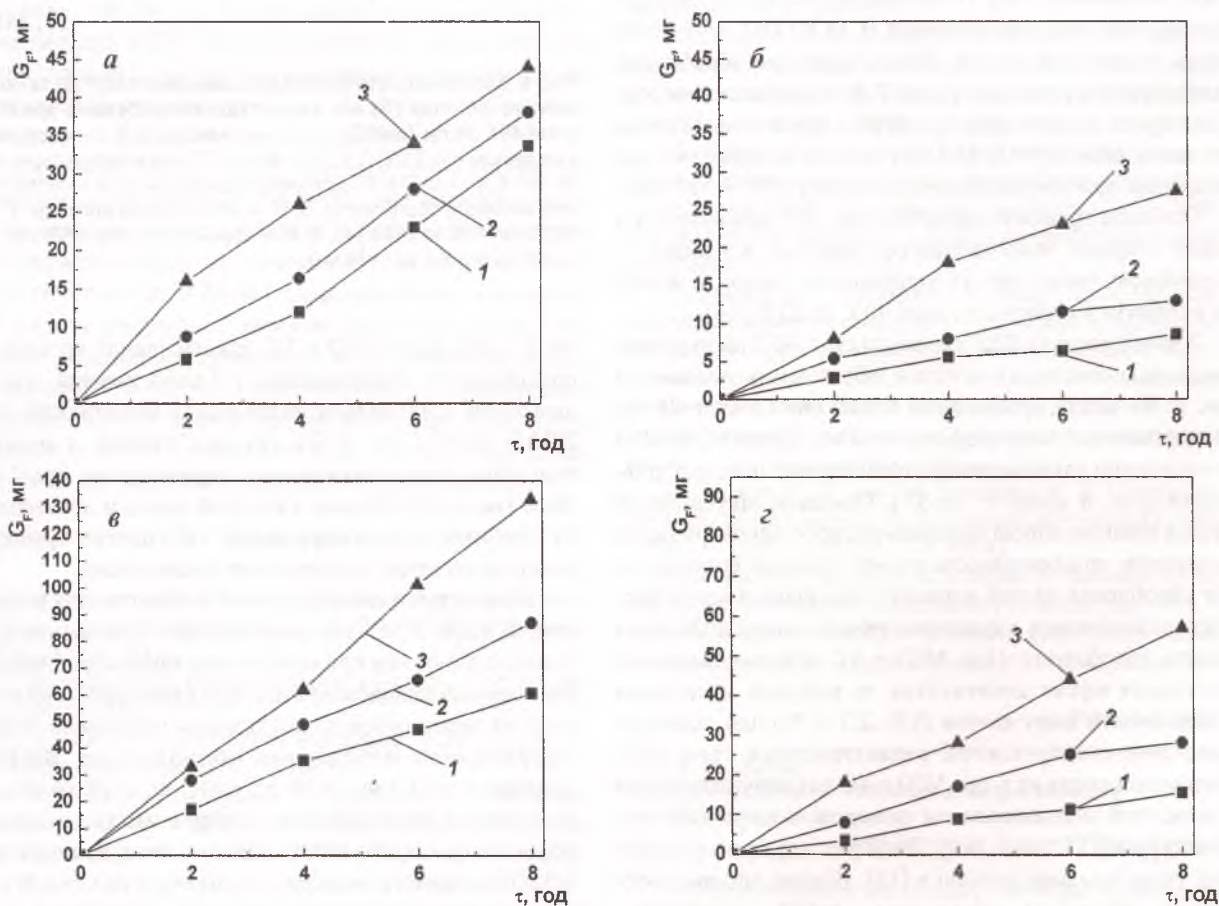


Рис. 4. Кінетика зносу пари сталь 40Х – сталь 40Х в мастильно-абразивному середовищі після: ВВЗО — 1, гартування — 2 та нормалізації — 3 (а, в — кільце; б, г — вкладка; а, б — 1 МПа; в, г — 2 МПа)

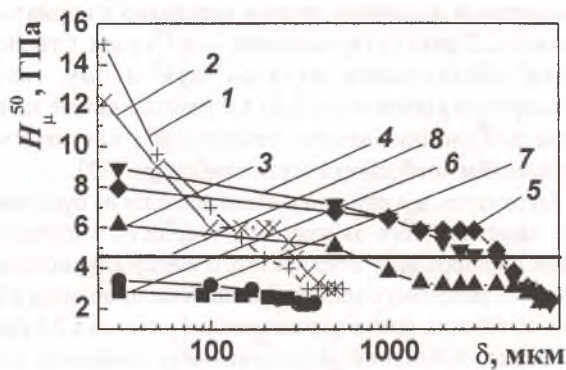


Рис. 5. Мікротвердість зміцненого шару сталі 40X після різних методів оброблення: 1 — МІО в ТС для комплексного легування; 2 — МІО в ТС для науглецювання; 3 — ВВЗО ($m=3,5$ кг, $t=20$ хв); 4 — ВВЗО ($m=4,5$ кг, $t=28$ хв); 6 — ВВЗО ($m=7,5$ кг, $t=28$ хв); 7 — піскоструминне оброблення; 8 — обкатування роликом; 9 — гартування і відпуск при 200°C

розпаду ТС під час МІО, що по-різному впливає на мікротвердість H_μ , глибину зміцненого шару δ (рис. 5) та корозійно-електрохімічну поведінку сталі 40X. Як видно з рис. 5, максимального ефекту за величиною H_μ досягнуто при МІО (рис. 5, криві 3 — 6). Однак при нижчих, ніж при МІО H_μ^{\max} , ВВЗО досягається значна глибина (до 6 мм) зміцненого шару з мікротвердістю, яка перевищує максимально можливе значення H_μ (4,8 ГПа), чого досягають термообробленням. Піскоструминне оброблення та обкатування роликами (криві 7, 8) також деякою мірою підвищують мікротвердість поверхні порівняно зі станом поставки, але її H_μ^{\max} (3,86 ГПа) нижче від інших методів зміцнення при глибині зміцненого шару 100 — 120 мкм.

Оскільки тривкість матеріалів до КЕР визначається з однієї сторони, мікротвердістю поверхні, а з іншої — корозійною тривкістю, то вищеописані зміни не могли не вплинути на опірність сталі 40X до КЕР [14].

Характеристики КЕР тривкості сталі 40X після різних видів технологічних методів оброблення подано на рис. 6. Як видно, зразок після ВВЗО ($m=7,5$ кг, $\tau=28$ хв) за показником τ_i мало відрізняється від зразка після МІО в середовищі для комплексного насичення, що є найтривкішим (рис. 6 криві 9' та 3'). Оскільки інкубаційний період значною мірою залежить від корозійної тривкості матеріалів, то ефективність впливу технологічних методів оброблення на цей параметр пов'язана з корозійно-електрохімічними характеристиками сталі 40X після такого оброблення. При МІО в ТС для комплексного легування ефект досягається за рахунок насичення поверхневого шару азотом (1,8...2,7 at %), що підвищує корозійно-електрохімічні характеристики сталі 40X. Незначний вплив на τ_i при МІО в ТС для науглецювання зумовлений наводнюванням поверхні в результаті термодеструкції ТС цього типу, стадії розпаду якого за подібних умов детально описані в [15]. Відомо, що наводнювання викликає зниження рівня корозійно-електрохімічних характеристик [16], тому зниження R_p зміцненої поверхні від 64,23 мОм/м² до 58,8 мОм/м² може бути підтвердженням нашого припущення. Відомо [17],

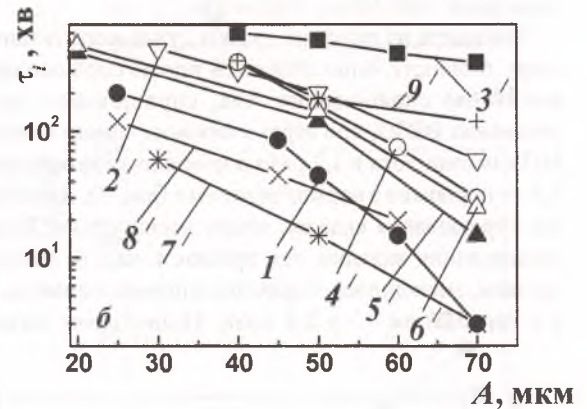
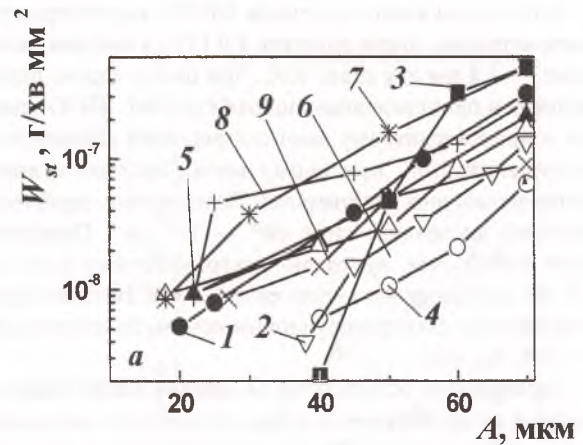


Рис. 6. Залежність стабілізованої швидкості КЕР (а) та інкубаційного періоду (б) від амплітуди випробувань зразків зі сталі 40X після ТехМО: 1, 1' — нормалізація; 2, 2' — гартування з відпуском при 200°C ; 3, 3' — МІО в ТС для комплексного насичення; 4, 4' — МІО в ТС для науглецювання; 5, 5' — після піскоструменного оброблення; 6, 6' — обкатування роликом; 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).

що R_p сталі після МІО в ТС для насичення хромом при попередньому наводнюванні в 5 разів нижчий, ніж без нього (100 і 500 мОм/м² відповідно). Позитивний вплив ВВЗО ($m=7,5$ кг, $\tau=28$ хв) пов'язаний з вищими корозійно-електрохімічними параметрами сталі 40X після такого оброблення, а високий рівень мікротвердості та глибини зміцненого шару забезпечує тривкість поверхні на стадії накопичення пошкоджень.

Піскоструминне оброблення й обкатування роликом (рис. 6, криві 5', 6') теж забезпечують підвищення τ_i , але нижчого рівня, ніж при класичному термообробленні. Це пояснюється впливом на корозійні характеристики релаксації та перерозподілу залишкових напружень розтягу, сформованих механічним обробленням. ВВЗО за режимами $m=3,5$ кг, $\tau=20$ хв; $m=4,5$ кг, $\tau=28$ хв не лише не підвищує інкубаційного періоду, а навіть знижує його порівняно зі сталлю 40X у стані поставки, оскільки після ВВЗО за такими режимами формується зміцнений шар з низьким рівнем електрохімічних характеристик в зв'язку з близькістю сталі до стану перенаклепу. З [18] відомо, що корозійно-електрохімічна поведінка сталей пов'язана зі ступенем їх поверхневого деформування, зокрема, при

настанні перенаклепу відбувається вихід на поверхню металу дислокацій, які стають центрами розчинення [18].

За критерієм W_{st} (рис. 6, а) найефективнішими виявилися такі види оброблення: МІО в ТС для науглецювання; ВВЗО за режимами $m=7,5$ кг, $\tau=28$ хв. Високі показники сталі 40Х (за параметром W_{st}) після МІО в ТС для науглецювання пояснюються значною товщиною зміцненого шару, а також можливим зміцненням в результаті наводнювання поверхні через термомеханічну деструкцію ТС. Мала ефективність піскоструминного оброблення й обкатування роликми (рис. 6, а, криві 5, 6) пов'язана з малою глибиною зміцненого шару (100...140 мкм) та відносно незначним ступенем зміцнення (рис. 5, криві 7, 8). ВВЗО за режимами $m=3,5$ кг, $\tau=20$ хв; $m=4,5$ кг, $\tau=28$ хв, як і за критерієм τ , неефективна (рис. 5, криві 7, 8). Такі режими забезпечують максимальну мікротвердість при означеній вазі інструмента ($m=3,5$ кг та 4,5 кг) за рахунок високої дефектності приповерхневого шару, близької до перенаклепу. Оскільки вважається, що КЕР відбувається за мікротомними механізмами [19, 20], то наявність гетерогенної зі значною дефектністю корозійноактивної поверхні значно полегшує руйнування матеріалу. МІО в ТС для комплексного насичення ефективне (за параметром W_{st}) при невисоких амплітудах випробувань $A \sim 20...45$ мкм. Це зумовлено невисокою товщиною зміцненого шару, порівняно з глибиною впливу КЕР (рис. 5, крива 2).

Таким чином, на основі проведених досліджень показано, що ВВЗО підвищує стійкість проти спрацювання сталі 40Х при терті в мастильному та мастильно-абразивному середовищах в 1,3...2,2 рази порівняно з гартованими і нормалізованими зразками.

Технологія ВВЗО також придатна для деталей, що працюють в умовах КЕР. Однак для цих деталей непридатні режими, які за ступенем дефектності структури наближають матеріал до перенаклепу (режими: $m=3,5$ кг, $\tau=20$ хв; $m=4,5$ кг, $\tau=28$ хв). Ефективнішими є режими, що характеризуються нижчою мікротвердістю, але вищою корозійною тривкістю. Хоча поверхневі шари, сформовані ВВЗО, дещо поступаються за параметрами опірності до КЕР шарам, сформованим при МІО, проте технологія ВВЗО є перспективною, а оптимізація режимів може ще додатково підвищити її ефективність.

Література

1. Дронюк Н.Н. Получение, свойства и применение хладностойкого высокопрочного чугуна. — К.: УкрНИИТИ Госплана УССР, 1991. — 84 с.
2. Костецкий Б.И. Износостойкость металлов. — М.: Машиностроение, 1980. — 52 с.
3. Сухарев И.П. Прочность шарнирных узлов машин. — М.: Машиностроение, 1977. — 168 с.
4. Афтаназієв І.С., Гавриш А.П., Киричок П.О. та ін. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням: Навчальний посібник. — Житомир: ЖІТІ, 2001. — 516 с.
5. Плессет М. С., Дивайн Р. Е. Зависимость кавитационных разрушений от времени // Тр. амер. общ-ва инж.-механиков. —

Сер. Д. — Теоретические основы инженерных расчетов. — М.: Мир. — 1966. — №4. — С. 1—17.

6. Фомин В.В. Гидроэрозия металлов. — М.: Машиностроение, 1977. — 287 с.

7. Кнэп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация. — М.: Мир, 1974. — 688 с.

8. Сюезава Ю., Мацумура М., Накаима М., Цуда К. Исследования кавитационной эрозии // Тр. амер. общ-ва инж.-механиков. — Сер. Д. — Теоретические основы инженерных расчетов. — М.: Мир. — 1972. — №3. — С. 9—21.

9. О соотношении коррозионного и эрозионного факторов в кавитационном разрушении металлов. / Ю. А. Карасюк, В. И. Кочеров, В. В. Бенино, Н. Л. Галактионова // Физ.-хим. механика материалов. — 1976. — №5. — С. 87—91.

10. Оклей Л. Н., Чхартишвили И. В. Структура металлов при воздействии высоких давлений. — М.: Металлургия, 1989. — 216 с.

11. Bastien P., Amiot G. Mecanisme de l'action des solutions ionisees d'hydrogene sulfure sur le fer et l'acier. — Comt. Rend., 1952. — 235. — p. 1031—1033.

12. Афтаназієв І.С., Кирилів Я.Б. Вплив умов обробки на ефективність вібраційно-відцентрового зміцнення // Зб. наук. праць “Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів”. — 2001. — Вип. 5. — С. 16—18.

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

14. Цирульник О., Бассараб А. Порівняння різних методів випробувань конструкційних матеріалів на корозійно-ерозійне руйнування // Фіз.-хім. механіка матеріалів. — 2000. — Спецвипуск №1 “Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів”. — С. 658—661.

15. Сошко В. А., Шкараната Я. Е., Козут А. Н. О некоторых зависимостях влияния полимерсодержащих технологических составов на обработку металлов резанием // Фіз.-хім. механіка матеріалів. — 1986. — № 5. — С. 104—105.

16. Бассараб А., Білик Н. Вплив попереднього наводнювання на електрохімічні та механічні властивості інструментальної сталі Р6М5 // Фіз.-хім. механіка матеріалів. — 2000. — Спецвипуск №1 “Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів”. — С. 449—451.

17. Кирилів В. І., Цирульник О. Т., Коваль Ю. М. Підвищення корозійних характеристик сталей легуванням із технологічних середовищ в процесі механоімпульсної обробки // Фіз.-хім. механіка матеріалів. — 2000. — Спецвипуск №1 “Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів”. — С. 364—367.

18. Гутман Э. М. Механохимия металлов и защита от коррозии. — М.: Металлургия, 1981. — 271 с.

19. Ricman R. H. and Mc Naughton W. P. Correlation of cavitation erosion behavior with mechanical properties of metals / Wear. — 1990. — № 140. — P. 63—82.

20. 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.

Отримана 15.05.03

A. Kuk, Ya. Kyryliv

Service properties of 40X steel after the vibratory centrifugal treatment

State University “Lvivska Politechnika”, Lviv

It is shown that after the vibratory centrifugal treatment of 40X steel its wear resistance increases in 1,3...2,2 times, and its cavitation-erosion resistance increases in 2...10 times.