

**ВІБРАЦІЙНО-ВІДЦЕНТРОВЕ ЗМІЦНЮВАЛЬНЕ ОБРОБЛЕННЯ
ВНУТРІШНІХ ПОВЕРХОНЬ ДОВГОМІРНИХ ТРУБЧАСТИХ
ВИРОБІВ**

Описано метод вібраційно-відцентрового зміцнювального оброблення (ВВЗО) деталей класу "пустотілі циліндри" та наведено результати експериментальних досліджень впливу ВВЗО на фізичні параметри якості зазначених виробів.

I.S. Aftanaziv, Ya.M. Kusi, O.V. Shirokov

**Vibratory-centrifugal strengthening treatment of internal surfaces of tube's
long-sized details**

In this article a method of vibratory-centrifugal strengthening treatment (VCST) of tube's long-sized details and the experimental research results of VCST influence on physical properties of surface's quality of these details are represented.

Довгомірні трубчасті вироби, які належать до класу "пустотілі циліндри" стержневих деталей машин (згідно з класифікацією проф. Ф.С. Дем'янюка), поширені у конструкціях механізмів та мають різноманітне функціональне призначення. Типовими видами навантаження довгомірних пустотілих виробів форми тіл обертання є різноманітні види контактної статичної та об'ємної навантаження у широкому діапазоні температур, знакозмінні (циклічні) навантаження тощо. Оскільки експлуатаційні характеристики деталей машин та механізмів у цілому та довгомірних трубчастих виробів, зокрема, формуються на фінішних операціях ТП їх виготовлення, то викінчувальне оброблення має вирішальне значення на підвищення довговічності та забезпечення надійності даних деталей. Найбільші навантаження у процесі експлуатації сприймають поверхневі шари, що визначається специфікою умов роботи довгомірних трубчастих виробів. Тому першочерговим завданням технології виготовлення довгомірних пустотілих деталей є вирішення проблеми забезпечення експлуатаційних характеристик зазначених виробів технологічними методами.

Аналіз технологій виготовлення довгомірних пустотілих циліндричних об'єктів різних категорій жорсткості свідчить, що із традиційних методів механічного оброблення для фінішного оброблення внутрішніх циліндричних поверхонь найбільш часто використовують шліфування, хонінгування тощо. Незважаючи на те, що традиційні технологічні методи оброблення внутрішніх поверхонь довгомірних циліндричних деталей забезпечують отримання розмірної та геометричної точності деталей у межах 6÷7 класів та шорсткість поверхні $R_a = 1.25 \div 0.08$ мкм, підвищення експлуатаційних характеристик (міцності, мікротвердості, зносостійкості тощо) вони майже не забезпечують. Крім того, усі зазначені методи механічного оброблення порожнин довгомірних стержневих об'єктів здійснюють при незначних зусиллях, що знижує продуктивність та ефективність обробки.

Серйозними перешкодами для широкого промислового використання хіміко-термічних методів оброблення та нанесення покриттів (ХТМНП) є конструктивні та технологічні труднощі, які пов'язані із відсутністю потужного устаткування

для проведення термооброблення довгомірних циліндричних виробів, його значною вартістю, і велика праце- та енергомісткість способів ХТМНП.

Дослідження, що широко проводилися у нашій країні, країнах СНД та за кордоном, показали, що в умовах безперервного підвищення та ускладнення вимог до якості поверхні деталей машин та приладів багато технологічних завдань, зокрема, пов'язаних із забезпеченням експлуатаційних властивостей виробів, не можуть бути вирішені методами різцевого та абразивного оброблення [1-5]. Неможливість розв'язання таких завдань традиційними методами фінішного оброблення визначила необхідність пошуку та розроблення нових процесів та методів, серед яких одне із цільних місць займають методи, що базуються не на різанні, а на поверхневому пластичному деформуванні металів.

У роботах [1,3,4] відзначається, що відмінності якісних характеристик поверхневого шару виробів після традиційних фінішних операцій та після оброблення поверхневим пластичним деформуванням (ППД) настільки суттєві, що у більшості випадків їх повинен враховувати конструктор при проектуванні деталей машин та приладів, технолог при розробленні ТП та конструктор при проектуванні інструменту для викінчувально-оздоблювального оброблення ППД.

Методи поверхневого пластичного деформування найбільш широко та найбільш ефективно використовують для підвищення довговічності та забезпечення надійності деталей машин та механізмів. Після оброблення ППД поверхневий шар зазнає якісних змін, підвищуються твердість та характеристики опору деформуванню: границі пружності, текучості, витривалості, тимчасовий опір; змінюються характеристики міцності при статичному та циклічному навантаженнях в умовах високих температур; знижуються характеристики пластичності, відносне видовження, звуження та ударна в'язкість, згладжуються мікронерівності, формуються залишкові напруження стиску, які мають вирішальний вплив на підвищення циклічної міцності деталей та зупинки процесів розвитку мікротріщин. Ю.Г. Шнейдером, на підставі багаторічних досліджень, була розроблена комплексна класифікація основних параметрів якості поверхні із зазначенням експлуатаційних властивостей деталей машин та приладів, які вони визначають. Взаємозв'язок геометричних та фізичних параметрів якості із експлуатаційними властивостями деталей машин подано на рис. 1, 2.

Проте складність використовуваного обладнання, труднощі оптимізації технологічних параметрів процесу викінчувального оброблення ППД, обмежена можливість забезпечення необхідних значень товщини зміцненого шару, ступеня наклепу, залишкових напружень стиску перешкоджають широкому промислового використанню методів ППД для забезпечення експлуатаційних характеристик довгомірних трубчастих виробів.

У НУ "Львівська політехніка" розроблено метод вібраційно-відцентрового зміцнювального оброблення (ВВЗО), який дозволяє проводити якісне викінчувальне оброблення внутрішніх поверхонь довгомірних пустотілих деталей форми тіл обертання. Переваги даного методу полягають у забезпеченні високого рівня енергії деформування, високій продуктивності, простоті, надійності, компактності та універсальності зміцнювальних пристроїв, можливості якісного оброблення внутрішніх поверхонь довгомірних циліндричних деталей. Процес нагартування методом ВВЗО не змінює геометричної форми деталі і не вимагає спеціального припуску під оброблення.

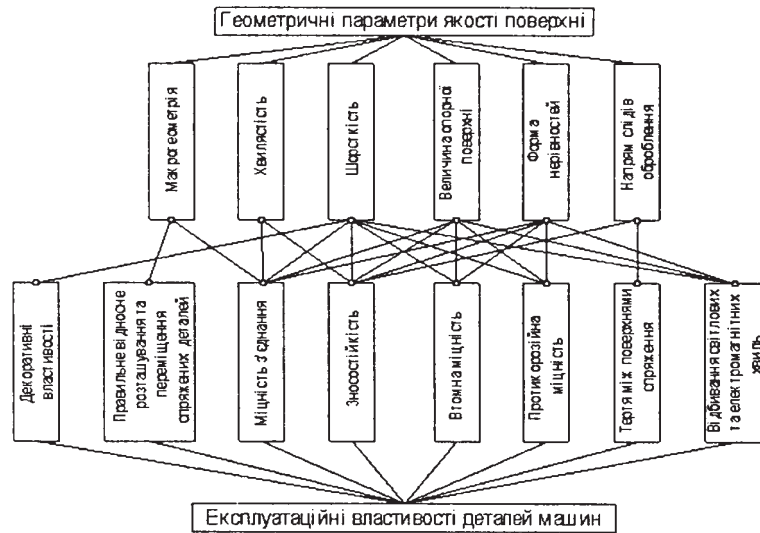


Рис. 1. Взаємозв'язок геометричних параметрів якості поверхні та експлуатаційних властивостей деталей машин

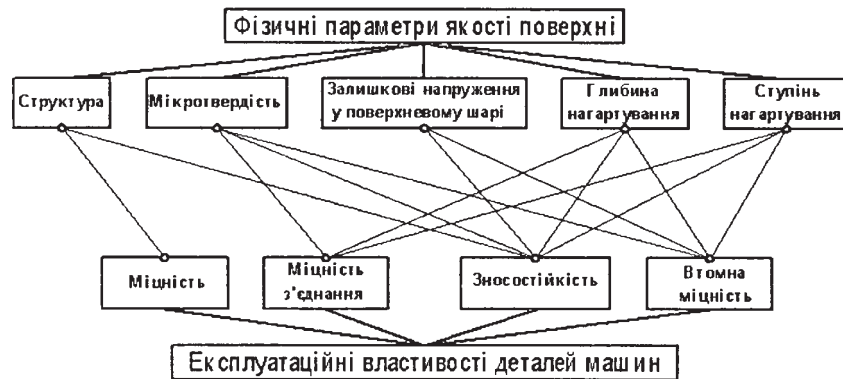


Рис. 2. Взаємозв'язок фізичних параметрів якості поверхні та експлуатаційних властивостей деталей машин

Зміцнювальні пристрої для оброблення внутрішніх поверхонь довгомірних стержневих виробів, що реалізують метод ВВЗО, містять привід, ударну систему та допоміжні елементи. Найбільш ефективним на даний час вважають електромагнітний привід, який у даному випадку складається із кільцевих якоря та статора із котушками електромагнітів. Ударна система містить пружну систему у вигляді торсіонів, до яких приєднано робочий орган – ударний зміцнювач із деформівними елементами – кульками, роликами тощо. Складники електромагнітного приво-ду та елементи ударних систем приєднані до базового елемента пристрою – основи (у вигляді диску) таким чином, що утворюють дві незалежні ударні пружно-

коливні системи: основа-складник електромагнітного приво-ду (якір чи статор)-ударний зміцнювач, приєднаний до відповідного складника приво-ду. Зміцнювальний пристрій за допомогою спеціального спорядження встановлюють на внутрішню поверхню деталі на напрямних елементах – гумових роликах. При подачі напруги на котушки електромагнітів статора за рахунок сили електромагнітного притягання якір притягується по чергову до кожного з них. Коливні рухи статора та якоря відбуваються у протифазі. Ударні зміцнювачі, що приєднані до статора та якоря, починають здійснювати коливально-обкатні рухи, які супроводжуються ударами по внутрішній поверхні оброблюваної деталі виступаючими деформівними тілами. У кожен проміжок часу контактування деталі з ударними зміцнювачами відбувається з ударом через незначну кількість кульок, розташованих вздовж твірних оброблюваної поверхні деталі, що призводить до розвитку великих контактних напружень у матеріалі оброблюваної деталі у місцях контакту, у результаті чого відбувається наклеп поверхневого шару матеріалу деталі і проходить процес зміцнення.

Головною відмінністю методу ВВЗО від традиційних фінішних операцій механічного оброблення та методів статичного деформування ППД є можливість утворення за їх допомогою частково регулярних (ЧРМР) та регулярних мікрорельєфів (РМР), що дозволяє у цілому вирішити проблему якості поверхні у 4 аспектах: нормування конструктором геометричних параметрів якості поверхні, технологічне їх забезпечення, контроль та стандартизацію [6]. Все це сприяє можливості широкого використання ГОСТ 24773-81 "Поверхности с регулярным микро-рельефом. Классификация, параметры и характеристики" при нормуванні, техно-логічному забезпеченні та контролі внутрішніх поверхонь довгомірних циліндри-чних виробів.

У НУ "Львівська політехніка" проведено експериментальні дослідження впливу ВВЗО на фізичні параметри якості поверхневого шару довгомірних труб-частих виробів. У результаті вібраційно-відцентрового оброблення кільцевих зраз-ків із сталей 35, 45 ГОСТ 1050-74 та 20ХС ГОСТ 4543-71 був отриманий новий мікрорельєф поверхні у вигляді сітки лунок. Аналіз поверхневого нагартованого шару оброблених зразків свідчить, що він має властивості, відмінні від серцевини матеріалу, оскільки шари, що залягають на різних глибинах, деформуються по-різному. Верхні шари товщиною 50÷100 мкм є зоною сильно зміцненого металу, середні шари, товщиною 200÷500 мкм, менш нагартовані. Найбільшого впливу у результаті оброблення ВВЗО зазнає верхня частина пластично деформованого шару, у якій зерна кристалічної ґратки набувають визначеної просторової орієн-тації у напрямку силової дії інструменту. Мікротвердість поверхневого шару при вібраційно-відцентровому обробленні кільцевих зразків із сталей 35, 45 ГОСТ 1050-74 та 20ХС ГОСТ 4543-71 підвищується в 1.2÷1.5 рази, товщина зміцненого шару при цьому становить 0.3÷0.6 мм.

Література

1. Шнейдер Ю.Г. Інструмент для чистової обробки металів давлением. – Л.: Машиностроение. 1970. – 248 с.
2. Ляшенко Б.А., Клименко С.А. Тенденции развития упрочняющей поверхностной обработки и положение в Украине/ Сучасне машинобудування. 1999. №1. – С. 94-104.
3. Яшерин П.И., Минаков А.П. Упрочняющая обработка нежестких деталей в машиностроении. – Минск: Наука и техника. 1986. – 215 с.

4. Оленник Н.В., Кычин В.П., Луговской В.П. Поверхностное динамическое упрочнение деталей машин. – К.: Техніка, 1984. – 151 с.
 5. Афтаназів І.С. Використання вібрацій для зміцнення деталей/ Вибрации в технике и технологиях. – 1995, № 1(2). – С. 27-34.
 6. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленинград. отд-ние, 1982. – 248 с.

УДК 539.43 В.В. Широков, д.т.н.; ст.н.с. Л.А. Арендар; інж. Н.Б. Рацька – ФМІ ім. Г.В.Карпенка НАН України

ВПЛИВ ФОСФІДНОЇ ЕВТЕКТИКИ НА ЗНОШУВАНІСТЬ, БУДОВУ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВИСОКОМІЦНИХ ЧАВУНІВ

Досліджено зносотривкість високоміцних чавунів, легованих фосфором у межах 0,02...0,97 % мас., а також структура та деякі фізико-механічні властивості таких чавунів.

V.V. Shirokov, L.A. Arendar, N.B. Ratska

The influence of phosphide eutectics on wear-resistance, structure and physico-mechanical properties of high-strength cast-irons

The wear-resistance of high-strong cast-irons, alloyed by phosphorus in boundary paths 0,02...0,97 % the masses, and also structure and some physico-mechanical properties of such cast-irons are explored in given work.

Процес тертя між двома твердими тілами неодмінно супроводжується зношуванням і енергетичними втратами. Один з головних напрямків досягнення оптимальних показників тертя і поверхневої міцності ґрунтується на підборі легуючих елементів. Близько 75 % виробів, які отримують у машинобудуванні, металургії та інших галузях народного господарства литтям, припадає на чавун [1]. У зв'язку з цим проблема оптимізації складу і структури цього матеріалу з метою покращення експлуатаційних та ливарних властивостей надзвичайно актуальна. Численними дослідженнями останніх років встановлено, що найбільш ефективного підвищення фізико-механічних та інших властивостей чавунів досягають легуванням, вдосконаленням температурних режимів лиття і термічною обробкою [2].

До ефективних твердорозчинних неметалічних зміцнювачів залізовуглецевих сплавів відноситься фосфор, який практично не впливає на процес графітизації. У чавунах фосфор – корисна домішка, оскільки покращує оброблюваність, рідкотекучість та фрикційні властивості [3]. Це пов'язано з утворенням відносно легкоплавкої потрійної евтектики, яка плавиться при 950°C [4]. У момент застигання евтектика складається з аустеніту, збагаченого фосфором, цементиту і фосфіду заліза Fe₃P. Тверді ділянки фосфідної евтектики (ФЕ) сприяють підвищенню твердості і зносотривкості металу [4]. У літературі немає достатньої кількості даних про вплив фосфідної евтектики на зносотривкість чавунів [4,5]. Тому виникає необхідність встановлення межі оптимального поєднання зносотривкості та інших фізико-механічних властивостей, яке досягається введенням фосфору.

Метою роботи було вивчити вплив фосфору на зносотривкість, будову та деякі інші фізико-механічні властивості та високоміцних чавунів із фосфідної евтектикою.

Для вивчення зносотривкості було розроблено і виготовлено установку, силовий вузол якої працює за принципом "вкладка – вал". Зразки з металу відповідних плавок та контртіла (сталь 45) попередньо притирались. Програма дослідження зносотривкості наступна: швидкість ковзання 0,4 м/с; шлях тертя для зразків з високоміцних чавунів – 1440 м, сірих – 360 м, тривалість випробувань для високоміцних чавунів – 1 год., загальне навантаження – 80 Н. Стійкість до зношування оцінювалась на основі порівняльного аналізу масових втрат чавунів з різним вмістом фосфору (табл.). До і після випробувань проводили мікроструктурний аналіз металу (з використанням мікроскопа МИМ-9), а також визначали твердість за Брінелем, мікротвердість структурних складових (за допомогою ПМТ-3), поверхневу термо-ЕРС.

Отримання вторинних структур заданого типу із специфічними властивостями суттєво залежать від хімічного складу вихідного матеріалу. Легуючі домішки обумовлюють кінетику утворення та весь комплекс властивостей вторинних структур, визначаючи їх міцність і зв'язок з основним металом.

Хімічний склад та деякі властивості досліджуваних чавунів після стандартної термообробки, яка полягала у двоступеневому пічному відпалі (витримка при температурах 900 °C і 650 °C), наведені у таблиці.

Табл. Хімічний склад (% мас), твердість та термо-ЕРС (мкВ) чавунів

Чавун	C	Si	S	P	HRB	TEPC
BЧ2	3.44	2.48	0.75	0.055	104.70	1923.8
BЧ3	3.07	2.39	0.74	0.090	106.10	1988.8
BЧ4	3.79	2.63	0.70	0.150	103.70	2199.8
BЧ6	3.25	3.05	0.83	0.400	101.50	2061.2
BЧ7	3.50	3.12	0.69	0.550	104.17	2170.8
BЧ8	3.08	2.62	0.93	0.760	107.33	2092.0
BЧ9	3.19	2.48	0.70	0.970	108.00	2283.4

Результати випробувань чавунів на опір зношуванню свідчать про підвищення зносотривкості (рис. 1). Це свідчить про те, що у процесі сухого тертя локальне підвищення температури у зоні контакту, може спричинити оплавлення фосфідної евтектики, що підвищує її антифрикційні властивості.

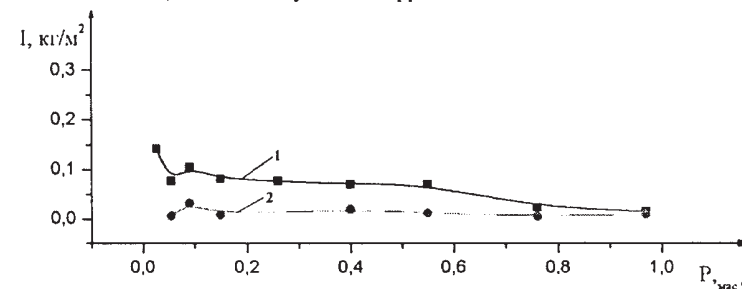


Рис. 1. Вплив концентрацій фосфору на зносотривкість високоміцних чавунів (2) у парі зі сталлю 45 (1)

Підвищення зносотривкості пояснюється зміною структури чавунів внаслідок легування фосфором (рис. 2). Фосфідна евтектика у чавунах може утворюватись навіть за малих концентрацій фосфору (0,05 мас %), що пов'язано з його