

## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

УДК 655.1

### **ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ПАР ТЕРТЯ ОЗДОБЛЮВАЛЬНО-ЗМІЦНЮЮЧОЮ ОБРОБКОЮ**

© М. П. Стародуб, д.т.н., професор, директор наукового центру Банкотно-монетного двору,  
В. Г. Олійник, к.т.н., доцент, О. І. Лотоцька,  
НТУУ «КПІ», Київ, Україна

**Разработан технологический процесс отделочно-упрочняющей обработки для повышения износостойкости и долговечности деталей машин.**

**The technological process of finishing-strengthening processing for increase of wearing capacity and life of machine elements is devised.**

#### **Постановка проблеми**

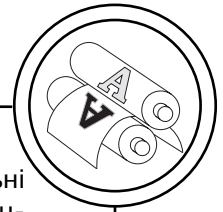
Основні експлуатаційні властивості деталей машин — зносостійкість, міцність, корозійна стійкість — в значній мірі обумовлені станом їх поверхневих шарів, що визначається технологією виготовлення. В сучасному виробництві призначення й технологічне забезпечення параметрів стану поверхонь деталей недостатньо обґрунтовано, що призводить до завищення вимог та, як наслідок, здорожчання машин, або до їх заниження, як наслідок, — зниження надійності.

В умовах експлуатації поверхневий шар деталі піддається суттєвому фізико-механічному впливу: механічному, тепловому, магнітоелектричному, хімічному та ін. Фізико-механічні властивості поверхневого шару змінюються при виготовленні деталей, а потім — в процесі експлуатації під дією силових, температурних та інших факторів. В більшості випадків у деталей починаються погіршуватися експлуатаційні властивості поверхні, наприклад, знос, ерозія, кавітація, корозія, тріщини втоми та інші елементи руйнування поверхні розвиваються спочатку в приповерхневому шарі. Тому вимоги, що ставляться до поверхневого шару деталі, більш жорсткі.

Існує значна кількість технологічних методів підвищення якості поверхонь деталей, в тому числі і їх зміцнення. Найбільш поширеними з цих методів є хіміко-термічні, фізичні, фізико-хімічні, термічні та методи пластичного деформування. Кожен з цих методів знаходить своє використання в умовах виробництва, але всі вони мають як переваги, так і ряд недоліків. Для обґрунтування доцільності використання певного методу зміцнення для обробки деталей різної геометричної форми, типорозміру, матеріалу проведемо аналіз вище перерахованих методів та їх порівняльну характеристику.

У зв'язку з цим актуальною є проблема вивчення та розробка

## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



технологічних процесів для підвищення зносостійкості й довговічності деталей поліграфічного устаткування.

### **Аналіз попередніх досліджень**

Однією з важливіших задач сучасного машинобудування є підвищення надійності й довговічності деталей машин і механізмів. Для вирішення цієї задачі використовують різні методи поверхневого пластичного деформування, в тому числі й оздоблювально-зміцнюючу обробку (ОЗО).

Необхідно відмітити, що ОЗО основана на пластичному деформуванні тонкого поверхневого шару і має в порівнянні з іншими фінішними методами обробки поверхні ряд переваг [1—3, 6]:

- зберігається цілісність волокон металу і утворюється мілкозерниста структура в поверхневому шарі,

- не має термічних ефектів,

- забезпечується стабільна якість поверхні,

- забезпечується можливість досягнути мінімальні параметри шорсткості, які пов'язані з висотними властивостями нерівностей як на термічно необроблених сталях, кольорових сплавах, так і на високоміцних матеріалах, зберігаючи при цьому вихідну форму заготовок,

- створюється оптимальна форма нерівностей з великою долею опорної площі на рівні вершин нерівностей,

- з'являється можливість утворювати регулярні мікрорельєфи з заданою площею,

- створюються оптимальні стискаючі залишкові напруження в поверхневому шарі,

- плавно і стабільно підвищується мікротвердість поверхні,

- як правило, ОЗО не потребує застосування складного обладнання і пристосувань,

- ОЗО можуть оброблюватися деталі різної форми і розмірів, які виготовлені з різних матеріалів.

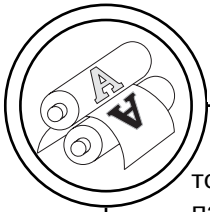
Ефективність зміцнення деталей машин пов'язана з інтенсивністю пружно-пластичною деформацією матеріалу поверхневого шару [2, 4—6]. При зміцненні формується якісна нова мікрогеометрія поверхні; в поверхневому шару виникають залишкові макронапруження стискання; кристалічна решітка матеріалу зазнає пружно-пластичних викривлень, які приводять до формування залишкових мікронапружень; деформування металу поверхневого шару підвищує опір пластичної деформації при циклічних експлуатаційних навантаженнях; підвищується межа міцності й текучості, твердість і мікротвердість поверхні; знижуються характеристики пластичності.

### **Мета роботи**

Метою роботи є дослідження процесу чистової та ОЗО plastik пар тертя для підвищення зносостійкості й довговічності роботи.

### **Результати проведених досліджень**

З метою підвищення зносостійкості й довговічності роботи в експлуатації сучасного обладнання досліджений процес чис-



## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

тової та ОЗО пласких поверхонь пар тертя, який полягає в чистовому фрезеруванні фрезами з ельборовими вставками і наступною ОЗО вібронакатуванням.

Деталі з загартованої сталі 20Х твердістю НРС 44...45 оброблювались торцевими фрезами зі вставками з ельбора-Р. Фрезерування надтвердими вставками зменшує коефіцієнт тертя і ступінь пластичної деформації в зоні різання. В зв'язку з низьким рівнем теплового впливу термопружні деформації деталей при обробці фрезами з вставками з ельбора-Р проявляються значно менше, чим при шліфуванні, що дозволяє підвищити точність обробленої поверхні. При проведенні експериментів використовували фрезу 125 мм, яка мала 12 ельборових вставок, із незалежним позиціонуванням по висоті, завдяки яким підвищилася точність обробленої деталі. Таким чином, висота нерівностей після чистового фрезерування знаходилась в межах  $R_a = 0,18—0,26$  мкм.

Після чистового фрезерування застосовувалось вібраційне накатування, який базується на тонкому пластичному деформуванні поверхневих шарів металу і складному відносному переміщенні обробленої деталі і деформуючого елемента. Деформуючим елементам, крім основного руху в напрямку подачі, додатково задається зворотно-поступальний рух, який направлений поздовж або перпендикулярно вісі обкатаної деталі.

За рахунок одночасного незалежного варіювання значень великої кількості технологічних

факторів вібраційного накатування, а саме частоти обертання оброблюваної деталі; подачі деформуючого елемента за один оберт заготовки; кількість осциляцій деформуючого елемента; амплітуди осциляцій; діаметру заготовки; зусиллю вдавлювання деформуючого елемента; радіусу сфери деформуючого елемента. Можливо утворити на поверхні, що оброблюється регулярні мікрорельєфи різних видів. При цьому практично необмежено змінюються і регулюються значення як стандартизованих, так і не стандартизованих геометричних параметрів якості поверхні.

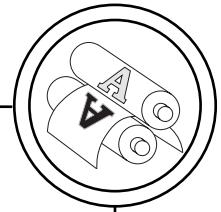
Найбільшого впливу на фізико-механічні характеристики поверхні має зусилля вдавлювання. Глибина вдавлювання деформуючого елемента в поверхню, що оброблюється залежить не тільки від зусилля вдавлювання, але від форми, розмірів деформуючого елемента, а також від пластичності обробляючого матеріалу. Зв'язок між цими величинами можна виразити наступною залежністю:

$$\varepsilon = \frac{P}{\pi \cdot HV \cdot R_{д.ел.}^2},$$

де  $\varepsilon = h/R_{д.ел.}$  — відносна глибина вдавлювання деформуючого елемента;  $h$  — глибина вдавлювання; мм,  $R_{д.ел.}$  — радіус деформуючого елемента, мм;  $P$  — зусилля вдавлювання, Н;  $HV$  — твердість по Віккерсу.

На рис. 1 показано залежність відносної глибини вдавлювання від зусилля вдавлювання при різних радіусах заокруглення деформуючого елемента.

## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



При зусиллі вдавлюванні до 100 Н відбувається лише деякі згладжування мікронерівностей. Зі збільшенням зусилля покращуються геометричні параметри, а також відбуваються фізичні зміни, а саме, підвищується мікротвердість і глибина розповсюдження наклепу, збільшується величина залишкових напружень стискання, змінюється мікроструктура поверхневого шару.

Експериментальні дослідження показали (рис. 2), що оптимальним для загартованої сталі 20Х є зусилля вдавлювання  $P = 220$  Н. При збільшенні  $P > 250$ —260 Н текучість матеріалу завершується і здійснюється зміцнення.

Експериментальні залежності середнього арифметичного від числа осциляцій і величини подачі представлені на рис. 3. Оптимальними величинами при зусиллі  $P = 220$  Н є: подача  $S = 20$ —25 м/хв. і  $n = 315$ —400 подв.х/хв.

При вібронакатуванні утворення нового мікрорельєфу здійснюється без зміни точності обробки, яка отримана при чисто-

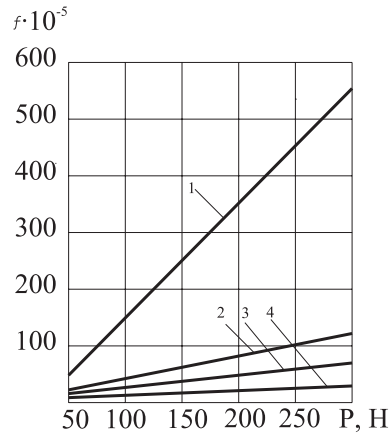


Рис. 1. Залежність відносної глибини вдавлювання  $f$  від зусилля вдавлювання при різних радіусах заокруглення деформуючого елемента: 1—2 мм, 2—4 мм, 3—6 мм, 4—8 мм

вому фрезеруванню з ельборовими вставками.

Результати теоретичних досліджень параметрів регулярного мікрорельєфу (PMP) різняться від експериментальних не більше чим на 8—10 %, що дає можливість прогнозувати точність формування поверхні та нормувати допуски на параметри PMP.

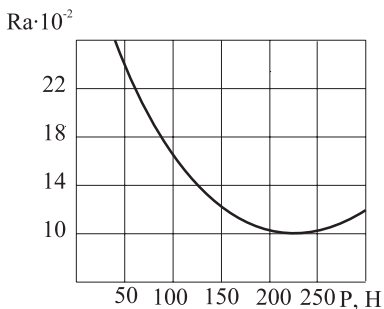


Рис. 2. Залежність середнього арифметичного відхилення профілю від зусилля вдавлювання  $P$

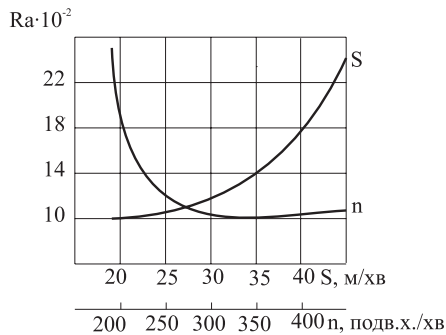
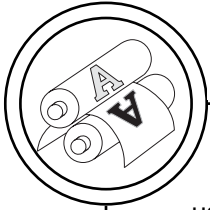


Рис. 3. Залежність середнього арифметичного відхилення профілю від величини поздовжньої подачі  $S$  і числа подвійних ходів  $n$



## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

Оптимальними режимами нанесення частково регулярно-го мікрорельєфу (ЧРМР) визначали на спеціальному стенді, який імітує умови експлуатації дослідженої циліндричної пари тертя. В якості зразків використовували кільця діаметром 70 мм і шириною 20 мм, виготовлені зі сталі 20X (HRC 60-62), які досліджували в парі з кільцями з сірого чавуна СЧ25 (HB 190-210). Навантаження на деталь складала 600 Н при частоті її обертання 360 об/хв. В зону тертя подавали індустріальне масло И-20А в кількості 30—35 капель в хвилину. Кожну пару тертя досліджували впродовж 9 годин.

Одним з головних параметрів вібронакаткування є площа  $F$ . При нанесенні мікрорельєфу чотирикутного виду:

$$F = \frac{b[4Lv\sqrt{A} - 2bA - B(vA - 2Bnb)]}{2LBv^2} 100\%,$$

де  $v$  — швидкість позовжньої подачі стола токарного верстата, мм/хв.;  $B$  і  $L$  — ширина і довжина деталі, мм,

$$A = 8B^2n^2 + 4Bnv + v^2.$$

Вказаним методом вібронакаткування наносили ЧРМР на планки зі сталі 20X (HRC 60-62) і на клинці з бронзи Бр05ЦСС5 (HRB 75-85). Оптимальні режими знаходили за критеріями зносостійкості поверхні і визначились зміною глибини нерівностей за профілограмами. Для планок оптимальним був наступний режим:  $P = 250$  Н, при  $R$

$= 1,5$  мм,  $v = 250$  мм/хв,  $n = 80$  об/хв. При даному режимі отримані наступні параметри нерівностей:  $h = 0,003$  мм,  $b = 0,28$  мм,  $a = 0,001$  мм,  $F = 30$  %. Для клинців оптимальним був наступний режим:  $P = 100$  Н, при  $R = 4$  мм,  $v = 315$  мм/хв,  $n = 63$  об/хв. При даному режимі отримані наступні параметри нерівностей:  $h = 0,0052$  мм,  $b = 0,5$  мм,  $a = 0,0046$  мм,  $F = 30$  %.

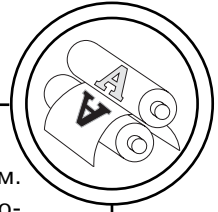
При роботі на оптимальних режимах змінюється поверхневий шар металу, його мікротвердість збільшується на 18—20 % при глибині розповсюдження 0,009—0,011 мм. Крім цього, в поверхневому шарі формуються значні стискаючі залишкові напруження, що позитивно впливають на експлуатаційні властивості деталі.

### Висновки

При виготовленні плоских поверхонь з загартованих сталей та чавунів застосовуючи в якості попередньої операції чистове фрезерування фрезами з ельборовими вставками, а в якості завершальної — вібраційне накатування дозволяє підвищити якість деталей в порівнянні зі шліфуванням. Дослідження показали, що зносостійкість таких деталей в парах тертя обладнання на 40—45 % вище шліфованих.

Статистичний аналіз результатів показав, що зносостійкість пар тертя при нанесенні ЧРМР підвищилась на 30 %, а число заїдань пар тертя зменшилась в 4 рази.

## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



1. Горохов В. А. Обработка деталей пластическим деформированием. — Киев: Техника, 1978. — 192 с. 2. Кроха В. А. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации: Справочник. — М.: Машиностроение, 1980. — 157 с. 3. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. — М.: Машиностроение, 1987. — 327 с. 4. Олейник Н. В., Кычин В. П., Луговской А. Л. Поверхностное динамическое упрочнение деталей машин. — К.: Техника, 1984. — 151 с. 5. Полевой С. Н. Упрочнение машиностроительных материалов: Справочник. — М.: Машиностроение, 1994. — 496 с. 6. Шнейдер Ю. Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. — СПб: СПбГИТМО(ТУ), 2001 — 264 с.

Рецензент — В. Г. Кушик, к.т.н.,  
доцент, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 19.12.08