

УДК 621.914.02

Покінтелиця М. І.

### ВЛАСТИВОСТІ ДЕТАЛЕЙ, ЩО ВИГОТОВЛЕНІ КОМПЛЕКСНИМ МЕТОДОМ ТЕРМОФРИКЦІЙНОЇ І МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ, ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В ПРОГРЕСИВНИХ КОНСТРУКЦІЯХ МАШИН

Деталі із спеціальними властивостями поверхневого шару дають можливість суттєвим чином підвищити параметри якості деталей та окремих вузлів машин. Особливо важливе значення мають спеціальні методи обробки деталей, які забезпечують поліпшені характеристики поверхневого шару деталі при обробці. До таких методів відносяться поверхневе пластичне деформування та термофрикційна обробка (ТФО) поверхонь.

При виконанні останніх досліджень розглянуті різноманітні методи ТФО деталей дисковим інструментом [1]. При цьому представлені результати досліджень силових параметрів, особливостей процесу стружкоутворення та теплових явищ, зносу та стійкості інструменту, виконаного у вигляді різального диску. Підтверджена висока якість обробленої поверхні та розроблені новітні конструкції інструменту [2]. Запропонований комплексний метод термофрикційної та механічної обробки, який дозволяє поєднати позитивні якості способів термофрикційної та подальшої механічної обробки для одержання поверхонь з підвищеними показниками твердості, та які мають регулярну хвилястість [3]. В основному автори використовують експериментальні методи досліджень.

Результатів досліджень особливих властивостей поверхонь деталей після використання комплексного методу термофрикційної та механічної обробки в літературних джерелах не виявлено.

Мета роботи дослідження властивостей поверхневого шару деталей, виготовлених комплексним методом термофрикційної і механічної обробки, та визначення перспектив їх застосування в прогресивних конструкціях машин.

На основі проведених досліджень прогнозується значне підвищення якісних показників поверхонь одержаної деталі із необхідними властивостями відносно твердості та хвилястості. Розроблені комплексні методи термофрикційної та механічної обробки дають можливість реалізувати фінішні операції обробки з одержанням поверхонь деталей із спеціальними властивостями. До таких властивостей відноситься утворення механічних комплексів («сталь – мідь», «сталь – бронза», «сталь – спеціальна легована сталь», «сталь – окисли металів», «сталь – карбіди або «сталь – ціаніди). Це дає можливість здійснювати процеси цементації, азотування, поверхневого легування під час ТФО.

Проведено обробку заготовки з матеріалу сталь 45, в якій поміщені стрижні із бронзи Бр.ОФ10-1, температура плавлення якої 934°C. Стрижні розташовані в заготовці на невеликій відстані від поверхні з кроком 3 мм. Вісі стрижнів паралельні напрямку подачі (рис. 1, а).

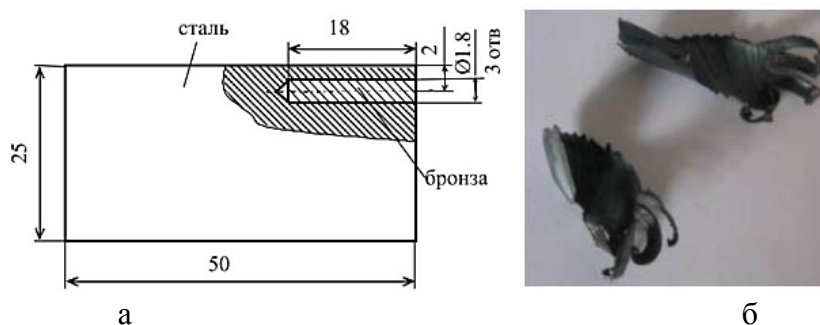


Рис. 1. Спеціальна заготовка зі сталі 45 з бронзовими стрижнями (а) та стружка при одночасній обробці сталевій заготовці і бронзових стрижнів (б)

При обробці заготовки здійснювалося пошарове знімання металу. Спочатку стружка була суцільною, а потім, при обробці комплексу «сталь – бронза», стружка набула характерної форми криволінійного листа з розрізами (рис. 1, б).

В процесі обробки послідовно руйнуються як поверхні отворів, так і бронзові стрижні. Це відбувається по етапам в залежності від товщини зрізаного шару. Характерними є початкова стадія обробки бронзового стрижня, стадія обробки в діаметральному перетині стрижнів та кінцева стадія, коли оброблюється деталь із залишками стрижнів (рис. 2).



Рис. 2. Оброблена поверхня заготовки із сталі 45 з бронзовими стрижнями (а) та послідовні стадії знімання поверхневих шарів після обробки (б)

При знятті шарів металу площа бронзових ділянок збільшується з досягненням максимуму при обробці діаметрального перетину стрижнів, а потім зменшується. Деталь після ТФО піддається механічній обробці з утворенням рівномірної поверхні, на якій пересягаються ділянки бронзи і сталі (рис. 3).

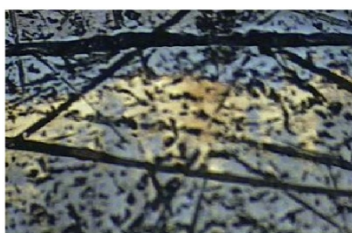


Рис. 3. Поверхня деталі, на якій наведені послідовні ділянки «сталь – бронза після наступної механічної обробки (риски на фото – сліди абразивних зерен)

В результаті приведених досліджень встановлено, що бронзові і сталеві ділянки поверхні мають міцне з'єднання і утворюють однорідну оброблену поверхню, яка допускає подальшу механічну обробку. Це дає можливість створити нові види підшипників ковзання із підвищеним вмістом кольорових металів.

Запропонована конструкція підшипника включає в себе вал 1 з опорними елементами 2 у вигляді ряду виступів, розташованих рівномірно по периферії вала (рис. 4, а, б) [4].

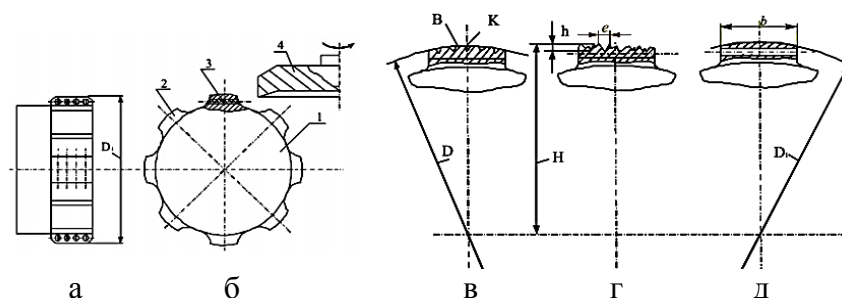


Рис. 4. Запропонована конструкція радіального підшипника ковзання:

а – вигляд заготовки вала; б – вигляд збоку вала та дисковий інструмент для обробки опорних елементів; в – перетин заготовки опорного елемента із бронзовими стрижнями; г – хвиляста поверхня, одержана в результаті ТФО; д – поверхня опорного елемента, одержана в результаті комплексної обробки

В заготовку підшипника поміщено ряд бронзових стрижнів 3. Кількість стрижнів визначається шириною опорних елементів і складає 3–5. Обробка опорних елементів здійснюється дисковим інструментом 4. При цьому напрямок подачі співпадає з дотичною до колінного кола підшипника.

Знімання металу відбувається до рівня площини, відповідної діаметральній площині стрижнів. При цьому утворюється хвиляста поверхня 5. Висота хвиль  $h$  і довжина хвиль  $e$  задаються за допомогою динамічних пристосувань – вібраційного стола або спеціального інструменту з ексцентриситетом зовнішньої циліндричної поверхні. Як правило висота хвиль:

$$2h \approx (1,1 \dots 1,3) \cdot \left( D - \sqrt{D^2 - b^2} \right), \quad (1)$$

де  $D$  – номінальний діаметр вала;  $b$  – ширина опорного елемента підшипника.

Рекомендована довжина хвиль:

$$e \cong b / (15 \dots 25). \quad (2)$$

Після ТФО здійснюються наступні операції комплексної обробки поверхні. Вони визначають чорнову шліфувальну операцію, чистову шліфувальну операцію та доводочні операції, наприклад, притирання по чавунній циліндричній поверхні з обертовим та поступальним рухом притира відповідно заготовки.

В результаті фінішної операції формується переривчаста циліндрична поверхня з плоскими виступами, які орієнтовані по осі вала. Глибина канавок між плоскими виступами є максимальною в середині виступу та мінімальною по краям виступу.

Аналогічним чином формуються торцеві підшипники (гідродинамічні п'яти). Опорна поверхня має вигляд кількох секторів, які оброблені за технологією комплексної термофрикційної та механічної обробки. Заготовка підшипника має вигляд вала 1 з опорними елементами 2. В опорних елементах поміщені бронзові стрижні 3 (рис. 5).

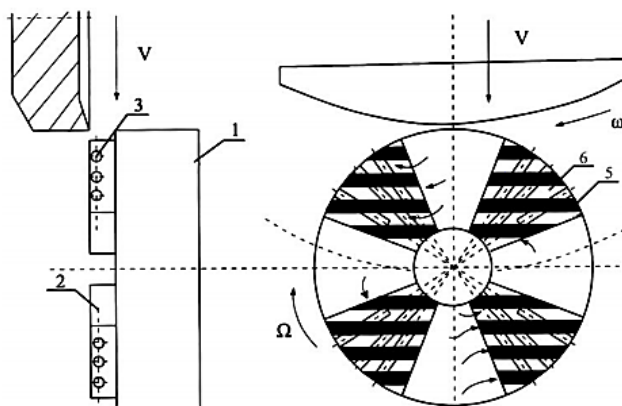


Рис. 5. Схема осьового підшипника, виготовленого з використанням комплексної термофрикційної та механічної обробки

При обробці інструмент переміщується в напрямку бісектриси кута між двома сусідніми опорними елементами. За допомогою динамічних пристосувань формуються необхідні параметри хвилястості обробленої поверхні. Після фінішної механічної обробки на опорних елементах формується система плоских ділянок 5 та канавок 6.

При роботі підшипників мастило із канавок попадає на плоскі ділянки. Краї канавок мають невеликий нахил відносно плоских ділянок.

При наявності мастила і взаємного зміщення поверхонь на поверхні канавки виникає зона підвищеного тиску (рис. 6, а). Відомо, що у конфузормому каналі течія мастила відповідає течії в гідродинамічному клині (рис. 6, б).

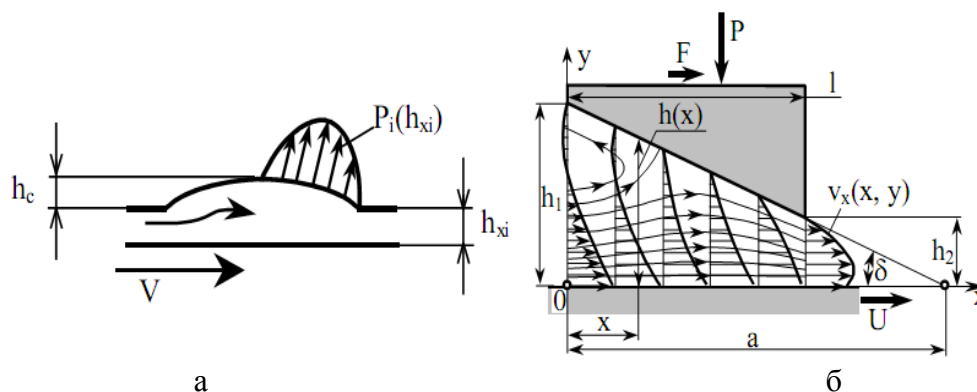


Рис. 6. Утворення гідродинамічного клина в канавці (а) та схема течії рідини в гідродинамічному клині (б)

Для такої течії можна вважати, що сили інерції набагато менші сил в'язкості і застосувати спрощення рівнянь Нав'є-Стокса до виду [5]:

$$\text{grad} p = \mu \Delta \vec{v}, \quad (3)$$

де  $p$  – тиск в рухомій рідині;  $\vec{v}$  – швидкість частинок рідини;  $\mu$  – динамічна в'язкість рідини;  $\Delta$  – оператор Лапласа.

До цих рівнянь додається рівняння нерозривності потоку рідини у вигляді:

$$\text{div} v \vec{v} = 0.$$

Зазор між рухомими поверхнями є незначним і тому поперечні складові швидкості  $v_y$  малі у порівнянні із поздовжніми  $v_x$ . Поперечний перепад тиску також є незначним і ним можна знехтувати в порівнянні з поздовжнім перепадом. В результаті три перші рівняння повільного руху рідини зведуться до одного:

$$\frac{dp}{dx} = \mu \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2}. \quad (4)$$

Рівняння нерозривності приводиться до умови постійності витрати рідини по довжині щілини:

$$Q = \int_0^{h(x)} v_x dy = \text{const}, \quad (5)$$

де  $h(x)$  – змінна по довжині ширина щілини.

Крайовими умовами рівняння (4) будуть:

$$\text{при } y = 0 \rightarrow v_x = U; \text{ при } y = h \rightarrow v_x = 0; \quad (6)$$

$$\text{при } x = 0 \rightarrow p = p_0; \text{ при } x = l \rightarrow p = p_0; \quad (7)$$

де  $l$  – довжина зазору;  $p_0$  – постійний тиск рідини за межами підшипника.

Розв'язок рівняння (7) із крайовими умовами (6) має вигляд:

$$v_x = U \left( 1 - \frac{y}{h} \right) - \frac{h^2}{2\mu} \frac{y}{h} \left( 1 - \frac{y}{h} \right) \frac{dp}{dx}. \quad (8)$$

Гradient тиску  $\frac{dp}{dx}$ , що входить в (8) повинен бути таким, щоб задовольнити рівнянню

нерозривності (2) та крайовим умовам (7). Підставимо значення швидкості (8) у рівняння (2). Одержимо після інтегрування:

$$Q = \frac{Uh}{2} - \frac{h^3}{12\mu} \frac{dp}{dx}.$$

Звідси визначимо похідну тиску по координаті  $x$ :

$$\frac{dp}{dx} = 12\mu \left( \frac{U}{2h^2} - \frac{Q}{h^3} \right).$$

Після інтегрування даної залежності одержимо:

$$p(x) = p_0 + 6\mu U \int_0^x \frac{dx}{h^2} - 12\mu Q \int_0^x \frac{dx}{h^3}. \quad (9)$$

Із умови  $p = p_0 = 0$  при  $x = l$  визначимо витрату рідини в зазорі:

$$Q = \frac{Q}{2} \frac{\int_0^l \frac{dx}{h^2}}{\int_0^l \frac{dx}{h^3}}. \quad (10)$$

Таким чином, знаючи форму зазору по довжині  $h = h(x)$ , можна обчислити витрату  $Q$  по формулі (10) і тиск в зазорі по формулі (9).

Розподіл тиску, який відповідає залежностям (9) і (10), має характерний вигляд (рис. 7), близький до параболічного.

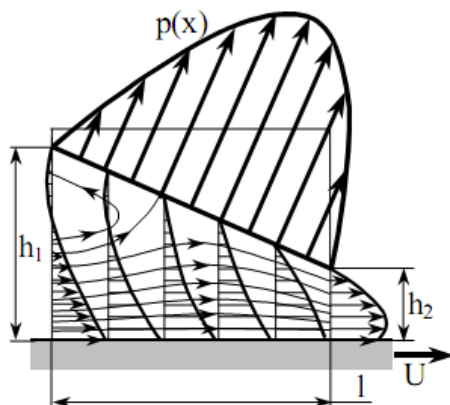


Рис. 7. Епюра тиску в клиновому зазорі гідродинамічного підшипника, утвореного поверхнею канавки

В рухомому контактному з'єднанні (пара тертя) реалізується періодичний змінюваний в часі контакт плоских ділянок. При взаємному зміщенні контактуючих поверхонь має місце періодичне утворення та ліквідація гідродинамічних опорних елементів. При утворенні гідродинамічної опори має місце гарантоване змащення та охолодження контактуючих поверхонь. При ліквідації контакту створюються умови для видалення продуктів зносу та очищення площадок контакту.

Застосування переривчастих плоских поверхонь в рухомих контактах суттєвим чином покращує умови змащення. При формуванні поверхні у вигляді комплексу «сталь – бронза» забезпечується поверхневе легування (бронзування) пар тертя. В результаті підвищуються антизадирні властивості пар тертя. Поверхня з періодичними впадинами збільшує мастилоємність профілю і покращує умови змащення. Переривчасті плоскі поверхні є ефективними при застосуванні в точних малорухомих контактних парах. Наявність окремих ділянок змінює розподіл напружень в контакті. Якщо контактує переривчаста і плоска поверхня, то контактний тиск розподіляється по лініях, відповідних плоским ділянкам переривчастої поверхні (рис. 8).

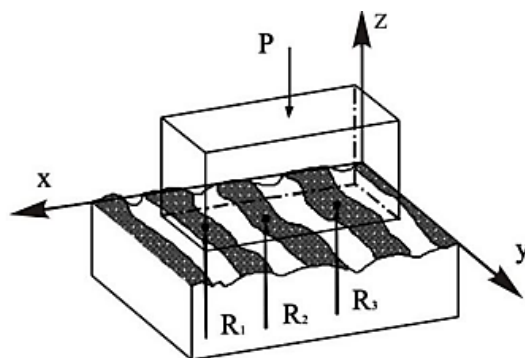


Рис. 8. Схема взаємодії деталі із плоскою поверхнею, одержаною в результаті комплексної обробки

На плоских ділянках виникають опорні реакції  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , які забезпечують рівномірний розподіл контактних напружень.

При контакті двох переривчастих плоских поверхонь, канавки яких розташовані перпендикулярно, в контактній парі формується набір обмежених площадок контакту. Утворені обмежені площадки контакту забезпечують рівномірний розподіл тиску по загальній площі контакту. При зміні взаємного кутового положення контактуючих поверхонь мають місце зміни площадок контакту. При паралельному розташуванні канавок на двох переривчастих поверхнях площадки контакту звужуються і набувають витягнутої форми. При цьому реалізується нерухомий контакт, який ефективно сприймає дотичне навантаження. Такі поверхні доцільно використувувати у з'єднаннях, які сприймають зсувні навантаження.

### ВИСНОВКИ

Застосування комплексних методів обробки є ефективним при виготовленні деталей машин, зокрема підшипникових вузлів осьового і радіального типів. При цьому робочі поверхні підшипників виготовлені із композитів «сталь – бронза» і мають вигляд плоских площадок із канавками між ними. На краях площадок формуються гідродинамічні клини, які забезпечують несучу здатність підшипників.

Встановлено, що запропоновані комплексні методи можуть бути ефективно застосовані для точних малорухомих контактних спряжень. Вони забезпечують рівномірний розподіл контактних напружень, а в разі необхідності надійність контакту при дії дотичного навантаження.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зарубицкий Е. У. Определение температуры припуска в период врезания при термофрикционной обработке плоскостей / Е. У. Зарубицкий // Прогрессивные технологии в машиностроении. Волгоград: ВолгГТУ, 2003. – С. 2732.
2. Зарубицкий Е. У. Высокоскоростная разрезка материала пилами трения / Е. У. Зарубицкий // Создание и применение прогрессивных технологий. – Самара : СамГТУ, 2003. – С. 36–38.
3. Струтинський В. Б. Комплексні методи механічної обробки деталей, що реалізують особливості динаміки технологічної системи верстата / В. Б. Струтинський, М. І. Покінтелиця // Вестник НТУУ «КПІ». Сер. : Машиностроение : сб. науч. тр. Киев : НТУУ «КПІ», 2012. – Вып. 64. – С. 35–42.
4. Струтинський В. Б. Динамічні процеси в металорізальних верстатах / В. Б. Струтинський, В. М. Дрозденко. – Київ. : Основа-Принт, 2010. – 440 с.
5. Емцев Б. Т. Техническая гидромеханика / Б. Т. Емцев. – М. : Машиностроение, 1987. – 440 с.