

А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, О.О. Мельник, Ю.Ю. Віцюк  
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”

## ЯКІСТЬ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ КОМПОЗИТНИХ ПІДШИПНИКІВ ПРИ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОМУ ОБРОБЛЕННІ

© Гавриш А.П., Роїк Т.А., Мельник О.О., Віцюк Ю.Ю., 2011

Наведені результати дослідження шорсткості поверхні, величини наклепу при новому способі магнітно-абразивної обробки нових високооберткових композитних підшипників поліграфічних машин на основі нікелевого сплаву ЭИ929 та міді ДН5МЗКФ9, що містять тверде мастило  $\text{CaF}_2$ . Економічний ефект від впровадження розробки у виробництво склав 41,6 тис. грн. на рік.

In article the research results of surface roughness, values of work hardening at new method of magnetic abrasive finishing of new high-speed composite bearings printing machines based on nickel ЭИ929 and copper ДН5МЗКФ9 containing a solid lubrication  $\text{CaF}_2$  have been presented. The economic effect of implementing the development of production amounted to 41.6 ths year.

**Постановка проблеми.** Поліграфічне обладнання здебільшого має специфічні умови експлуатації (надвисокі швидкості обертання масивних барабанів, валків та валів, агресивне середовище лакофарбової та клеєної хімічної продукції тощо). Це спричиняє інтенсивне зношування опорних вузлів, що, своєю чергою, обумовлює широке застосування у поліграфічних машинах підшипників ковзання поряд з підшипниками кочення.

Переваги підшипників ковзання порівняно з парами кочення полягають насамперед у їхній підвищеній ремонтоздатності, низькій вартості, яка є наслідком простоти конструкції та низької вартості матеріалів, що використовуються для їх створення. Крім того, підшипники ковзання широко використовуються в поліграфічних машинах, де неможливо або економічно не вигідно використовувати підшипники кочення (в машинах, де мала міжцентрова відстань між осями валів, в побутовій поліграфічній техніці, у важконавантажених машинах, у вузлах, де є необхідність швидкої зміни вала або барабана).

**Аналіз останніх досліджень.** Розвиток науково-технічного прогресу потребує створення нових матеріалів, які поряд зі звичайним комплексом механічних і технологічних властивостей мали б особливі функціональні характеристики – зокрема такі, що значно підвищують надійність та довговічність об'єктів машинобудування і приладобудування, коли їх ресурс роботи здебільшого визначається опором деталей машин різним видам контактної взаємодії. Серед матеріалів контактних пар центральне місце займають матеріали третьових сполучень, насамперед, підшипникові матеріали.

Актуальною проблемою підвищення якості машин та устаткування, ресурс роботи яких здебільшого визначається опором деталей машин різним видам контактної взаємодії, центральне місце займають питання використання матеріалів третьових сполучень, насамперед, антифрикційних матеріалів. Це повною мірою стосується підшипникових матеріалів, що працюють з мастилом у неважких умовах роботи (невисокі навантаження, швидкості ковзання, температури до 100 °С), а особливо це важливо для вузлів тертя, що працюють у екстремальних умовах: при підвищених навантаженнях (3–8 МПа) та температурах (250–800 °С) або при високих швидкостях

ковзання, оскільки 80% відмов машин і механізмів у роботі відбувається через руйнування тертьових деталей [1].

Отже, виникає потреба у підвищенні рівня експлуатаційних властивостей відповідних деталей технологічного обладнання, збільшенні ресурсу роботи деталей, зміцненні поверхонь тертя, підвищенні їх зносостійкості та застосуванні прогресивніших методів оброблення.

**Метою роботи** є визначення впливу розробленої технології фінішного магнітно-абразивного оброблення композитних підшипників на основі нікелю та міді, призначених для вузлів тертя високооберткових поліграфічних машин, на якість їх робочих поверхонь.

**Виклад основного матеріалу.** Відомо, що якість проведення обкатки підшипників ковзання після складання впливає на надійність машин. Під час обкатки виявляються технологічні дефекти, поверхні тертя притираються на мікро- і макрорівнях. Експериментально встановлено, що в процесі тертя встановлюється рівномірна шорсткість, що відрізняється від початкової. Значення рівномірної шорсткості залежать від прикладеного до вузла тертя навантаження, швидкості ковзання і властивостей матеріалів пари тертя [2, 3]. Поверхня змінює свою шорсткість у процесі фрикційної взаємодії до досягнення значень, що відповідають мінімуму коефіцієнта тертя, це, своєю чергою, відповідає мінімальній енергії тертя (рис. 1).

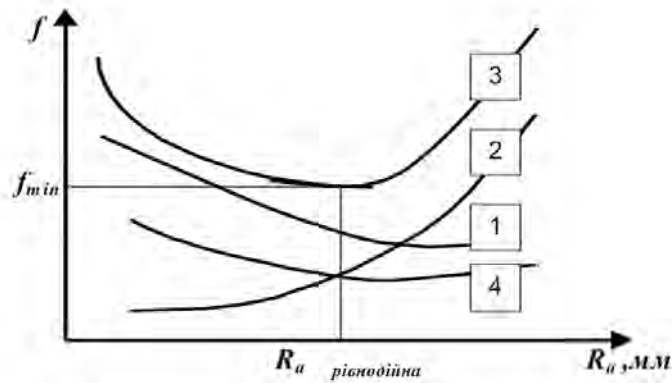


Рис. 1. Залежність коефіцієнта тертя від шорсткості:  
1 – адгезія при сухому терті; 2 – механічна взаємодія; 3 – повний коефіцієнт тертя;  
4 – адгезія при граничному терті

При припрацюванні вихідна шорсткість зазнає значної зміни і, незалежно від вихідної шорсткості, встановлюється своя рівномірна шорсткість, параметри якої залежать від режимів припрацювання. Вихідна шорсткість переважно впливає на час припрацювання (рис. 2) [2, 3].

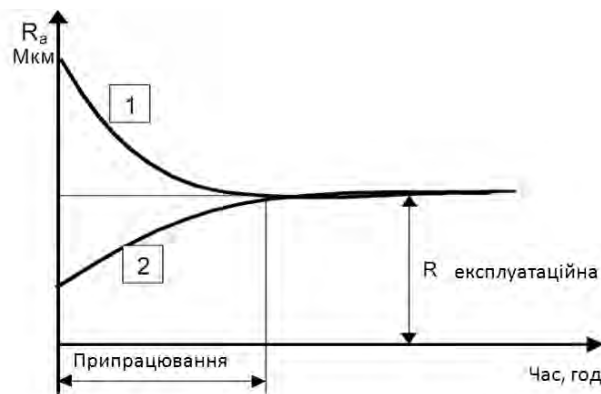


Рис. 2. Зміна шорсткості поверхні від тривалості тертя у разі:  
1 – переважно механічної взаємодії; 2 – переважно адгезійної взаємодії

Технологічна шорсткість (шорсткість, отримана шляхом обробки поверхні під час виготовлення) впливає на тривалість припрацювання. Рівноважна шорсткість може бути показником кінця припрацювання. Прискорення припрацювання шляхом посилення режимів (форсування за навантаженням, холодна обкатка тощо) не дає хороших результатів, тому що завжди це пов'язано з відхиленнями від реальних умов експлуатації.

Отже, до кінця припрацювання необхідно вийти на ті режими, на які розрахована тривала експлуатація вузла тертя.

Для кращого мікрогеометричного припрацювання бажано, щоб після механічного оброблення шорсткість поверхні деталей була б близькою до оптимальної. У цьому випадку процес припрацювання буде менш тривалим, а зношування при припрацюванні – мінімальним. Якщо шорсткість поверхонь перед припрацюванням занадто велика, то при припрацюванні виникають великі питомі тиски в точках фактичного контакту, і можлива поява задирів і передчасний знос з'єднання. З іншого боку, занадто мала шорсткість пов'язана з витратою зайвої трудомісткості в процесі механічної обробки поверхонь деталей.

Співвідношення між механічною та адгезійною складовими коефіцієнта тертя визначає утворення шорсткості поверхні з певними геометричними характеристиками при сталому терті. Ймовірно, механічна складова коефіцієнта тертя призведе до зменшення шорсткості в міру зношування найвищих виступів. Якщо поверхні гладкі, то сила адгезії між ними велика і виривання частин матеріалу через сильні адгезійні зв'язки призводить до зростання шорсткості поверхні.

Зі збільшенням висоти нерівностей механічна взаємодія збільшується, а адгезія зменшується. Наявність мастильних плівок, зокрема з твердим мастилом, наприклад, фторидом кальцію –  $\text{CaF}_2$  між поверхнями тертя перешкоджає зближенню поверхонь на рівні дії радіуса молекулярних сил, що позначається у зменшенні адгезії (рис. 2). При однакових значеннях  $Ra$  знос може бути різним. Отримані різними видами обробки поверхні (вигладжування, шліфування, полірування, притирання, хонінгування, MAO) хоча можуть мати однакові значення  $Ra$ , відрізняються структурою матеріалу і зношуються на різні величини [4].

Підшипники ковзання, що виготовлені з безолов'яної бронзи, широко застосовуються на обладнанні друкарських та брошурувальних цехів, але строк служби їх до одного року (за даними Державного підприємства “Преса-України”). Термін служби застосовуваних сьогодні матеріалів для підшипників ковзання доволі низький, що збільшує кількість міжремонтних періодів поліграфічних машин [3]. Тому розроблення нових антифрикційних матеріалів та нових способів їх надтонкого механічного оброблення, що у комплексі надасть високий інтегральний результат – суттєве підвищення зносостійкості високооберткових вузлів тертя, а відтак, і друкарських машин загалом, є актуальною задачею та потребує комплексу досліджень.

В роботі досліджувались два типи розроблених високооберткових підшипників ковзання для важких умов роботи друкарських машин, що працюють без рідкого мастила [5, 6]: 1 тип – підшипники на основі нікелевого сплаву  $\text{ЭИ 929+(4-8)\% CaF}_2$ ; 2 тип – підшипники на основі міді ДН5МЗКФ9.

На сучасному етапі розвитку техніки одним з перспективних та ефективних методів є метод оброблення деталей в магнітному полі [7] феромагнітними порошками – метод магнітно-абразивного оброблення (MAO). Цей метод дає змогу не тільки покращити якість поверхонь, фізико-механічні характеристики, тобто зміцнення поверхневого шару матеріалу, скоротити час оброблення, зменшити температури в зоні оброблення, але й підвищити експлуатаційні властивості оброблених деталей. MAO також дає змогу отримати параметри шорсткості 0,05–0,4 мкм.

Для проведення дослідження було обрано 20 зразків підшипників на основі нікелю  $\text{ЭИ929-CaF}_2$  та міді ДН5МЗКФ9. Всі зразки за формою виконання у вигляді відрізка товстостінної труби з зовнішнім діаметром 120 мм, шириною 40 мм та внутрішнім діаметром 100 мм.

Як відомо, розроблення і впровадження раціональних технологічних процесів, їх уніфікація, типізація та стандартизація є основними напрямками підвищення продуктивності праці, поліпшення якості продукції та збільшення відсотка технологічного виходу кондиційних деталей у машино-, приладо- та поліграфобудуванні.

У роботі для оброблення циліндричного отвору кільця підшипника ковзання використовували спосіб, на який було отримано патент України [8], та пристрій (рис. 5).

Деталь 1 (рис. 3) на підставці 2 затискається за допомогою призм 3, що закріплені на рухомій 6 та нерухомій 7 губках пневмолещат. Підставка 2 розміщена на плиті пневмолещат 4, що встановлюється на стіл обробного центру за допомогою установочних елементів 5. Рухома губка 7 здійснює лінійні переміщення по напрямним 8 за допомогою штока пневмоциліндра 9. Пневмоциліндр 10 має дві пневмокамери, в які через адаптери 11 подається стиснене повітря з пневмомережі. Шліфують внутрішній отвір кільця підшипника на верстаті. Цей пристрій можна широко використовувати у багатьох операціях при обробленні даної деталі. Показано 3-D модель магнітно-абразивного оброблення кільця підшипника ковзання.

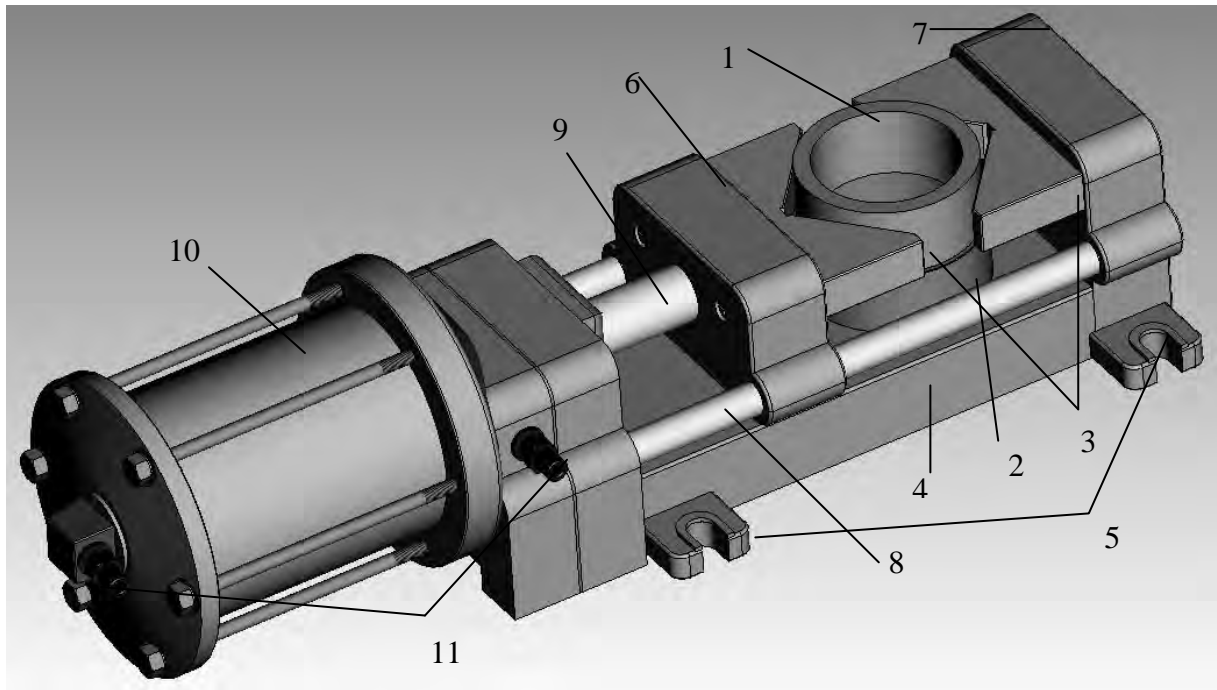


Рис. 3. Пристрій для оброблення внутрішньої поверхні кільця підшипника ковзання

Робочий інструмент розміщується в циліндричному отворі, причому вісь робочого інструмента зміщено на відстані від поверхні отвору, що складає суму величин робочого зазору та радіуса робочого інструмента, а розмір робочого зазору – 0,05–0,20 мм. У робочому зазорі створюється магнітне поле та розміщується феромагнітний абразивний порошок, розмір зерен якого 5–50 мкм. Робочий інструмент обертається навколо своєї осі зі швидкістю 10–15 м/с і переміщується вздовж поверхні отвору за круговою траєкторією руху зі швидкістю 1–5 м/хв. При цьому його додатково переміщують поздовжньо-зворотним рухом вздовж осі циліндричного отвору деталі зі швидкістю 200–350 мм/хв. Встановленням співвідношення робочого зазору та розміру магнітно-абразивного порошку, а також співвідношення траєкторії руху магнітно-абразивного порошку та його швидкості вздовж поверхні деталей з високолегованих композитів зменшується величина наклепу поверхні та залишкових напружень у робочій зоні оброблення, а якість поверхні підвищується.

Робочий інструмент розташовують у пристрої та додатково переміщують за круговою траєкторією, причому траєкторія осі робочого інструмента зміщена на відстані від поверхні отвору, що складає суму величин робочого зазору та радіуса робочого інструмента, таким чином, щоб робочий зазор між поверхнями робочого інструмента та отвору становив 0,05–0,20 мм. В утвореному робочому зазорі магнітним полем фіксуються феромагнітні абразивні зерна розміром 5–50 мкм. Залежно від оброблюваного матеріалу, робочому інструменту надають обертання навколо

своїєї осі зі швидкістю  $V_{\text{ШП}}$  від 10 до 15 м/с і переміщують його вздовж поверхні отвору за круговою траєкторією руху зі швидкістю  $V_{\text{КР}}$  1–5 м/хв, при цьому його додатково переміщують поздовжньо-зворотним рухом вздовж осі циліндричного отвору деталі зі швидкістю  $V_{\text{Позд}}$  200–350 мм/хв.

Встановлені режими оброблення забезпечують підвищення параметрів якості поверхонь у 1,5–2 рази порівняно із традиційними способами МАО, що видно з табл. 2, 3.

Таблиця 2

**Параметри якості поверхні оброблення нових композитних підшипників ДН5МЗКФ9**

Оброблення за традиційним способом МАО [9]			Оброблення за новим способом МАО		
Параметр шорсткості $R_a$ , мкм	Глибина наклепу $h$ , мкм	Спотворення II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Параметр шорсткості $R_a$ , мкм	Глибина наклепу $h$ , мкм	Спотворення II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$
0, 100	2,0	1,5	0, 05	1,0	0, 85

Таблиця 3

**Параметри якості поверхні оброблення деталі з композиційного матеріалу на основі нікелевого сплаву ЭИ 929+6% CaF<sub>2</sub>**

Оброблення за традиційним способом МАО [9]			Оброблення за новим способом МАО		
Параметр шорсткості $R_a$ , мкм	Глибина наклепу $h$ , мкм	Спотворення II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	Параметр шорсткості $R_a$ , мкм	Глибина наклепу $h$ , мкм	Спотворення II роду $\Delta a/a \cdot 10^{-4}$
0, 120	2,5	1,7	0, 08	1,5	1,0

Під час досліджень було проведено натурні промислові випробування нових високообертових підшипників ковзання на основі нікелевого сплаву ЭИ 929+6% CaF<sub>2</sub> та на основі міді ДН5МЗКФ9.

За період проведення випробувань було виконано 15 контрольних ревізій вузлів тертя. Візуальний огляд та вимірювання шорсткості поверхонь показали, що робочі поверхні підшипників (зовнішні та внутрішні) не мають пошкоджень, мають високу якість, усі деталі придатні до подальшого використання.

Впровадження підшипників ковзання з композиційного ДН5МЗКФ9 замість підшипників з литого сплаву – бронзи Бр.ОЦС6-6-3, що застосовується сьогодні у вузлах тертя високообертової поліграфічної техніки за аналогічних умов роботи, підвищило термін служби виробів у 5,92 рази.

Економічний ефект від впровадження в Державному видавництві “Преса України” підшипників ковзання з нового підшипникового матеріалу на основі міді з домішками твердого мастила становить 30564,30 грн. на рік, на основі нікелю з домішками твердого мастила річний економічний ефект становить 11037,60 грн. Сумарний річний економічний ефект становить близько 41,6 тис. грн.

Отже, в результаті проведених експериментів було досягнуто параметрів якості для підшипників ковзання з композиту на основі нікелю ЭИ 929 з домішками CaF<sub>2</sub>, а також для композиту на основі міді ДН5МЗКФ9 з домішками CaF<sub>2</sub>  $R_a = 0,05 - 0,08$  мкм, глибина наклепу  $h = 1,0 - 1,5$  мкм та було отримано патент України на описаний у роботі спосіб оброблення, що забезпечує вищенаведені параметри якості робочих поверхонь деталей тертя. Спосіб фінішного магнітно-абразивного оброблення внутрішніх циліндричних поверхонь деталей з високолегованих антифрикційних матеріалів на основі нікелю може використовуватись при виготовленні деталей апаратурних комплексів аерокосмічних систем, а також деталей тертя газотурбінних двигунів і компресорних станцій магістральних газогонів, а також деталей поліграфічного обладнання, при виготовленні високошвидкісних підшипників ковзання відцентрового обладнання.

1. Роїк Т.А., Гавриш А.П., Гавриш О.А. Сучасні системи технологій заготівельного виробництва в машинобудуванні: Монографія. – К.: ЕКМО, 2010. – 212 с. 2. Епифанов Г.И., Санжаровский А.Т. Исследование истинной площади трения // Трение и износ в машинах. Сб. XV. –

М.: АН СССР, 1962. – С.254. 3. Дроздов Ю.Н. Обобщенные характеристики для оценки износостойкости твердых тел // Трение и износ. Т.1. – 1980. – N 3. – С.417–424. 4. Методика расчета узлов трения на износ на стадии проектирования изделий: Отчет по НИР / ТашПИ. № ГР 01.86.0105901; инв. № 02.90.0025963. – Ташкент, 1989. – 78 с. 5. Патент України № 31545 МПК (2006), С22С33/02 Антифрикційний композиційний матеріал на основі нікелю / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, О.А. Гавриш, В.В. Холявко, Ю.Ю. Віцюк, опубл. 10.04.08, Бюл.№7. 6. Патент України № 40139 МПК(2009), С22С9/02, С22С9/00, С22С1/00, С22С1/04, С22С1/05 Антифрикційний композиційний матеріал / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, О.А. Гавриш, В.В. Холявко, Ю.Ю.Віцюк, О.О. Мельник, опубл. 25.03.2009, Бюл. № 6. 7. Гавриш А.П. Сучасні можливості магніто-абразивним обробленням важкооброблюваних матеріалів / [А.П. Гавриш, О.О. Мельник] // Вісник Київського Національного університету технології та дизайну. – 2008. – №3(41). – С. 22–28. 8. Патент України № 48386 МПК(2009), G11В5/127 Спосіб фінішної абразивної обробки внутрішніх циліндричних поверхонь деталей з високолегованих магнітно-м'яких сплавів / А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, П.О. Киричок, О.А. Гавриш, О.О. Мельник, Ю.Ю. Віцюк, П.О. Губар, опубл. 10.03.2010, Бюл. № 5. 9. Сакулевич Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки. – Мн.: Наука и техника, 1981. – 328 с.

УДК 621.914.5:621.9.015

І.Є. Грицай

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра технології машинобудування

## ДОСЛІДЖЕННЯ СУМАРНОЇ ПОХИБКИ ПРОЦЕСУ НАРІЗАННЯ СИНУСОЇДАЛЬНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС В УМОВАХ ОБКОЧУВАННЯ

© Грицай І.Є., 2011

Наведені закономірності утворення зрізів зубцями дискового інструмента встановленого з ексцентриситетом на інструментальній оправці при нарізанні прямозубих зубчастих коліс методом обкочування для теоретичного визначення складових сил різання при прогнозуванні впливу конструктивно-технологічних факторів процесу на параметри стійкості інструмента та точності зубчастих коліс.

Conformities to the law of formation of cuts are resulted by the indents of disk instrument set with an eccentricity on instrumental setting at cutting of directing tooth's of gear-wheels by the method of rolling for theoretical determination of component forces of cutting at prognostication of influence of structurally technological factors of process on the parameters of firmness of instrument and exactness of gear-wheels.

**Актуальність проблеми.** Зубчасті колеса і зубчасті передачі як складові більшості сучасних механізмів і машин належать до найпоширеніших деталей машинобудування. Це деталі підвищеної складності, точність яких регламентується десятками часткових показників за трьома нормами точності та однією нормою бокового зазору. Технологія їх виготовлення є однією із найскладніших та найбільш працемістких порівняно із іншими деталями.

Серед відомих зубчатих передач за використанням і поширенням домінують евольвентні передачі, які використовують переважно у швидкісних і ділільних приводах. Вони мають низку переваг (як-от: несприйнятливість до коливання міжцентрової відстані, сталість передавального співвідношення, можливість висотної і кутової корекції зубців); технологічна універсальність полягає у використанні одного модульного інструмента для нарізання коліс з різною кількістю зубців.