

УДК 621.793.092

Олійник С. Ю., Колотілін П. І.**ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ РОЗКОЧУВАННЯ
ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ВКЛАДИШІВ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ**

Технологічний процес отримання антифрикційної поверхні великогабаритних підшипники ковзання, які використовуються в конструкціях прокатних станів в якості опори валків є трудомістким і енерговитратним. Основною проблемою, за даними науково-технічної літератури [1, 2, 3] і досвіду промислового виробництва підшипників рідинного тертя (ПРТ) є труднощі створення такого антифрикційного шару, структура якого забезпечить його достатній ресурс роботи. Другим питанням технології виготовлення є отримання заданої якості і точності внутрішньої поверхні підшипника при його механічній обробці. Проблема підвищення якості антифрикційного шару актуальна і стосується різних за конструкцією деталей, однак у роботі розглядаються великогабаритні підшипники ковзання (з діаметром понад 500 мм), трудомісткість досягнення якості поверхні яких вище, ніж підшипників середнього і малого розмірів.

Найбільш розповсюджений, традиційний метод створення шару з антифрикційних матеріалів (залівка бабітового шару на підкладку), так і сучасні методи (наплавлення, напилення, електроерозійне та електроіскрове легування) не забезпечують належної шорсткості і точності поверхні. Відомі результати досліджень показують, що експлуатаційні властивості литих антифрикційних матеріалів (антифрикційний шар, який отримано традиційним методом залівки) можна значно поліпшити при застосуванні процесів інтенсивного пластичного деформування, що призводять до подрібнення структури [4].

Використання на фінішних операціях процесів поверхнево-пластичного деформування (ППД) дозволить не тільки забезпечити розмірно-геометричну точність деталей, а також підвищити експлуатаційні властивості поверхневого шару. Відомо, що процеси ППД істотно більш технологічні, ніж відомі способи інтенсивної пластичної деформації та забезпечують можливість регулювання параметрів напружено-деформованого стану [5]. Дефіцит даних про вплив режиму поверхнево-пластичного деформування на зносостійкість бабіту стримує їх застосування при обробці антифрикційних матеріалів.

Мета роботи – обґрунтувати можливість забезпечення якості антифрикційної поверхні підшипника ковзання при використанні поверхнево-пластичного деформування.

Серед відомих способів обробки внутрішніх поверхонь є розкочування одноелементними і багатоелементними інструментами пружної дії (кулькою або роликом). Розкатки, які сконструйовані за жорсткою схемою, дозволяють проводити розмірну, вигладжувальну і зміцнювальну обробку рівножорстких заготовок. Жорсткість таких розкаток повинна бути вище жорсткості заготовок.

Елементи пружної дії забезпечують більш стабільні умови деформування. Отримання необхідних властивостей поверхні залежить від схеми обробки, кількості розкочувальних елементів, фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, швидкості відносного переміщення деформуючих елементів, подачі, зусиль, мікро- і макрогеометрії, форми, розмірів і траєкторії руху елементів [5, 6].

Відносно розглянутих підшипників має значення виправлення наступних параметрів якості внутрішньої антифрикційної поверхні: конусність, овальність (допуск на прямолінійність 0,002–0,025 мм, конусність і овальність 0,025–0,04 мм в залежності від розмірів), шорсткість (0,32–1,6 мкм) та точності по товщині стінки (допуск на розмір по товщині в будь-яких протилежних точках внутрішньої і зовнішньої поверхні не більше 0,08 мм для ПРТ з внутрішнім діаметром 1000 мм).

Накочення поверхні за жорсткою схемою дає можливість для виправлення геометрії і точності поверхні в деякому діапазоні. Однак відоме, що це виправлення відбувається тільки в межах залишкових деформацій поверхневих мікронерівностей [6]. Жорсткі накатники застосовують в тих випадках, коли одночасно з обробкою поверхні отвору є необхідність в його калібруванні [6, 7]. При цьому застосування накаток жорсткого типу має такі недоліки: неоднорідність якості кінцевого деформованого поверхневого шару через різні зусилля при усуненні похибки форми після попередньої операції; більш ретельна вивірка установки інструменту щодо заготовки; високі вимоги до жорсткості технологічної системи.

У випадку застосування пружної схеми накатки зберігається овальність і конусність внутрішніх поверхонь, отримана при попередній обробці. При цьому деяке биття заготовки мало позначається на коливанні величини зусилля накатування. Таким чином, якщо необхідно лише зменшити шорсткість поверхні або зміцнити поверхневий шар металу без калібрування (підвищення точності форми і розмірів), то у всіх випадках доцільніше застосовувати метод обробки і інструмент з пружним контактом між деформуючим елементом і оброблюваною поверхнею. Калібрування можна здійснити лише «жорсткими» інструментами [5].

Для досягнення якісної поверхні втулки-вкладиша під час фінішної обробки необхідно застосувати такий спосіб з використанням поверхнево-пластичного деформування, який забезпечить виправлення точності розмірів та геометрії внутрішньої поверхні, дозволить керувати зусиллям розкочування та не перенесе похибки, які отримані на попередній операції і похибки технологічної системи на отримувану поверхню [7]. В основу способу поставлено завдання щодо вдосконалення існуючих способів розкочування деталей [8, 9, 10] для його використання на остаточній обробці великогабаритних підшипників ковзання з метою зменшення похибки форми та точності відносно зовнішньої поверхні, шорсткості поверхневого шару, подрібнення його мікроструктури та виключення переносу похибки технологічної системи на поверхню під час обробки. Недоліком відомих способів є неможливість їх використання для усунення похибки форми та точності внутрішньої поверхні деталі відносно зовнішньої, що є експлуатаційними вимогами до великогабаритних вкладишів підшипників.

Для вирішення поставленого завдання, за допомогою датчика тиску, який розташовано у корпусі розкатки, виконується контроль похибки форми. Пристосування для розкочування встановлюється відносно зовнішньої поверхні, а рівномірність обробки забезпечується двома інструментами. Розкатки встановлені під заданим кутом відносно один одного, який залежить від режиму розкочування (див. рис. 1) [11].

В супорт верстату 1 встановлюється пристосування 2 (див. рис. 1, а). Інструменти для деформації 3 і 4 розташовуються разом зі слідкуючим елементом 5 на необхідну товщину стінки. Інструмент 4 встановлюється відносно інструменту 3 у напрямку повздовжньої подачі на заданий розмір L (див. рис. 1, б – схема розташування інструментів розкатки на виді зверху), який залежить від величини подачі S , та у поперечному перетині на кут α (див. рис. 1, б), який залежить від швидкості розкочування n . На деформуючий інструмент подають визначену величину тиску робочої рідини.

Розкочування поверхні виконується при обертанні заготовки та руху супорту 2 з пристосуванням для розкочування та подачею s . При обробці ділянки з мінімальною похибкою виправлення форми можливо лише на величину залишкової деформації поверхневих мікронерівностей. В цьому випадку тиск на деформуючий елемент мінімальний.

При появі похибки форми деталі інструмент 3 передає тиск P на датчик тиску, який розташовано в інструменті 4, та через систему зворотного зв'язку 6 передає сигнал на гідростанцію 7, після чого тиск P на деформуючі інструменти збільшується на величину, яка відповідає похибці.

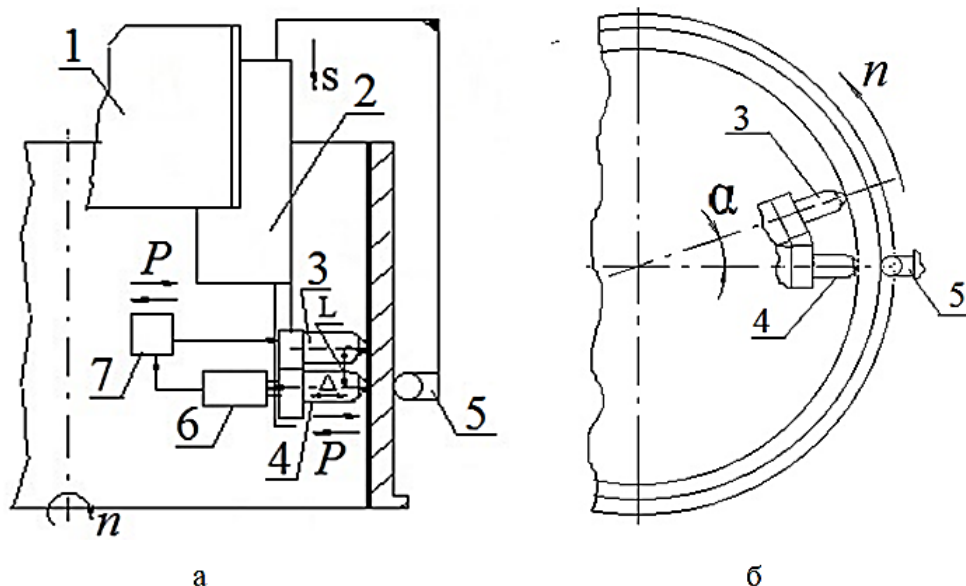


Рис. 1. Схема розташування інструмента відносно заготовки під час обробки

Наслідком є зміна величини деформації з зменшенням похибки форми деталі. Якщо похибка форми відсутня, то тиск на деформуючий інструмент 4 зменшується.

До складу механізму входить два деформуючих елемента: перший 4, пов'язано з датчиком тиску, та він виконує роль елемента, який виявляє похибку; другий 3, виконує роль елемента, який калібрує. Це дозволяє виключити похибку форми деталі як в повздовжньому, так і в поперечному перетині.

Взаємодія деформуючого елемента з поверхнею заготовки супроводжується утворенням навколо нього пластичних напливів з обох боків деформуючого інструменту, що утворює двостороннє джерело деформації з нерівномірним обсягом пластичних зон. Співвідношення таких зон є важливим при визначенні якості обробки, та визначається глибиною вдавлювання інструменту, величиною притискного навантаження, діаметром оброблюваного інструменту, а також режимом обробки, до яких відноситься повздовжня подача інструменту та частота обертання заготовки.

Пластична течія оброблюваного матеріалу відбувається в області, яка обмежена суміжною западиною. Проте, при обробці з великими тисками і малими подачами ця область може захопити декілька суміжних мікронерівностей, викликаючи їх повторне спотворення. Такий процес виникає під час обробки, тому необхідно враховувати це при визначенні параметрів обробки.

Пристосування для розкочування має два кулькових інструменту, один з яких працює за пружною схемою (п. 3, див. рис. 1), а інший за жорсткою, але регульованою (п. 4, див. рис. 1). Інструмент (п. 3, див. рис. 1) призначено для зниження шорсткості поверхні та виявлення похибки, а інструмент (п. 4, див. рис. 1) для виправлення форми поверхні, тож глибина втиснення цього інструменту може змінюватися впродовж обробки в діапазоні, який визначається похибкою форми на попередній операції.

Розглянемо аналіз впливу параметрів розкочування отвору втулки-вкладишу для великогабаритного підшипника ковзання з внутрішнім діаметром 1000 мм та довжиною 750 мм, яка має шар з бабіту товщиною до 7 мм.

Внутрішня поверхня отримана традиційним способом відцентрового лиття та має відповідні фізико-механічні властивості [12].

Для аналізу розрахуємо параметри обробки за відомими методиками [13, 14]. Для пружного інструменту, який виконує розкочування зі зменшенням шорсткості поверхні глибина втискування визначається як:

$$h = (0,66\dots 0,73)R_z^6, \quad (1)$$

де R_z^6 – шорсткість поверхні, яка отримана на попередній операції (розточування) та складає $R_z^6 40$, глибина втискування – 0,02 мм.

Для інструменту 4 (див. рис. 1) глибина втискування обмежується максимальним тиском контакту P_k^0 , при якому починається течія матеріалу, величиною похибки форми, яка виправляється, та натягом для зменшення похибки, що виникає через відтискання заготовки під впливом нормальної сили, яка виникає при розкочуванні.

Максимальний тиск визначається: $P_k^0 = 1,6\sigma_{0,2}$ та для визначених параметрів складає 136 МПа. З врахуванням величина похибки форми та натягу глибина втискування інструменту 4 (див. рис. 1) коливається від 0,1 до 0,25 мм. Враховано відомий фактор, підтверджений експериментально [15], що заглиблення інструменту під час обробки збільшується на 20 %.

По методиці, яка представлена в [14] розрахуємо зміну величини нормальної сили, яка діє на поверхню для розкаток з діаметром шару 50 та 100 мм. Величина нормальної сили:

$$N = \pi P_k \cdot (R \sin \varphi)^2, \quad (2)$$

де P_k – контактний тиск, який визначається як $P_k = 9\sigma_{0,2} \cdot D \cdot (h_{np} + h_{nl})$ (за результатами розрахунків для всіх варіантів $P_k \leq P_k^0$);

D – діаметр кульки інструменту;

h_{np} – величина пружної деформації;

h_{nl} – величина пластичної деформації;

R – радіус кульки інструменту;

φ – кут втискування, який залежить від властивостей матеріалу, розмірів деталі та інструменту.

Швидкість обертання вибирають в діапазоні 40–140 об/хв., максимально припустима подача визначається, як $S_{\max} = \sqrt{F_k \cdot R_z^6}$ (F_k – фактична площа контакту), складає 0,42 мм/об для інструмента з кулькою діаметром 100 мм, та 0,3 мм/об – для інструмента з кулькою діаметром 50 мм.

Похибка, яка виникає через відтиснення нежорсткої заготовки під дією сили, отримана при моделюванні обробки в прикладній програмі SolidWorks Simulation. Модель деталі втулка-вкладиш відповідає деталі з внутрішнім діаметром 1000 мм та довжиною 750 мм, яка складається з металевої основи (сталь 20) та бабітового шару товщиною 7 мм.

В представленій моделі враховано закріплення заготовки відповідно рис. 1 та вплив навантаження, що виникає під час обробки, від інструменту з двома кульками. Для моделювання використаний тип кінцевих елементів – тетраедри, сітка нерівномірна з максимальним розміром елементу 42,63 мм, мінімальний розмір 9,13 мм. Автоматична побудова сітки, яка базується на кривизні геометрії дозволила збільшити в місцях прикладання навантаження щільність сітки та залишити її рівномірною на інших ділянках деталі. Результат обчислення представлено на рис. 2.

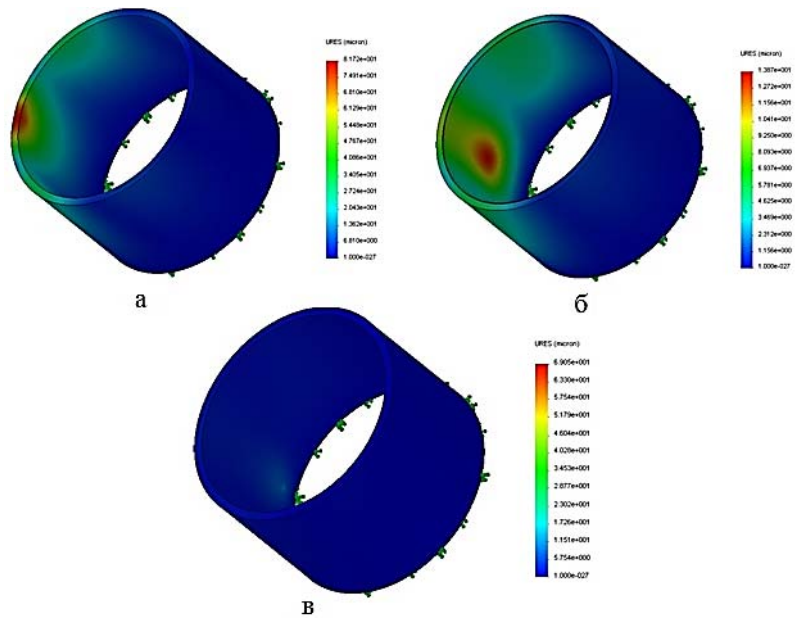


Рис. 2. Результати обчислення впливу обробки на положення поверхні в напрямку дії нормальної сили для висоти обробки – 700 мм (а), 350 мм (б), 100 мм (в)

Зміна величини похибки обкочування (ϵ) при зміні висоти обробки та рівня похибки форми (глибини заглиблення інструменту h) після попередньої обробки представлені на графіках рис. 3.

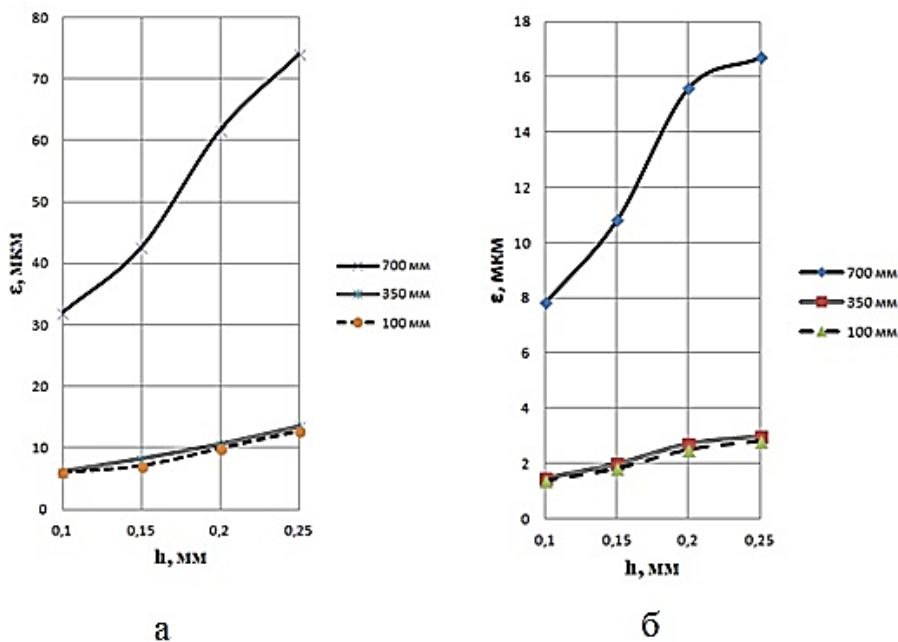


Рис. 3. Результати моделювання похибки від відтискання заготовки

Результати моделювання показали, що виникають значні відхилення при обробці ділянки на висоті 700 мм до 75 мкм при обробці інструментом з кулькою діаметром 100 мм, яка зменшується при переміщенні інструменту в напрямку повздовжньої подачі. Для інструмента з діаметром кульки 50 мм рівень похибки нижче в 4 рази, що пов'язано зі зменшенням величини нормальної притискної сили (N). Рівень похибки, яка виникає не перевищує припустимого, який зазначено на кресленику (0,25 мм).

ВІСНОВКИ

Представлений спосіб використання пластично-поверхневого деформування за результатом розрахунків дозволить: виправити похибку форми поверхні в повздовжньому та радіальному перетині до заявленої точності за креслеником; здійснювати автоматичний контроль похибки форми; виключити перенос похибки технологічної системи на поверхню під час обробки; зменшити шорсткість поверхні та подрібнити мікроструктуру поверхневого шару. Для вдосконалення способу передбачається на наступному етапі дослідження впливу режиму розкочування на структуру поверхневого шару.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тарельник В. Б. Аналіз технології нанесення антифрикційних покриттів підшипників ковзання / В. Б. Тарельник, А. В. Дзюба // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – 2013. – Вип. 134. – С. 244–251.
2. Марцинковский В. С. Проблемы и перспективы нанесения антифрикционных покрытий на вкладыши подшипников скольжения [Текст] / В. С. Марцинковский, В. Б. Тарельник, А. В. Плякин // Ремонт и модернизация компрессорного и насосного оборудования химических производств : сборник докладов "ЭККОН-11" XIII МНТК "Гервикон-2011" / Под ред. В. С. Марцинковского. – Сумы : СумГУ, 2011. – С. 197–209.
3. Глушкова Д. Б. Наукові і технологічні основи поверхневого зміцнення навантажених деталей будівельного обладнання для підвищення довговічності: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.02.01 "Матеріалознавство" / Глушкова Діана Борисівна. – Дніпропетровськ, 2016. – 41 с.
4. Пат. 2295423 РФ, МПК В23К20/08. Способ получения антифрикционного слоя подшипника скольжения [Текст] / Барыкин Н. П., Фазлыяхметов Р. Ф. ; заявитель и патентообладатель Институт проблем сверхпластичности металлов РАН. – № 2005114296/02 ; заявл. 03.05.05 ; опубл. 20.11.06, Бюл. № 8. – 15 с.
5. Асланян И. Р. Износостойкость антифрикционных материалов с дисперсной структурой и технология получения высокоресурсных элементов трибосопряжений поверхностным пластическим деформированием : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. : спец. 05.03.05 "Процессы и машины обработки давлением" / Асланян Ирина Рудиковна – Уфа, 2000. – 20 с.
6. Браславский В. М. Технология обкатки крупных деталей роликами / В. М. Браславский. – М. : Машиностроение, 1975. – 160 с.
7. Кочетков А. В. Обзор исследований отделочно-упрочняющей обработки методом поверхностного пластического деформирования / А. В. Кочетков, Ф. Я. Барац, И. Г. Шапков // Интернет-журнал "Науковедение". – 2013. – С. 1–19.
8. Олійник С. Ю. Аналіз технології отримання антифрикційної поверхні великогабаритних підшипників рідинного тертя / С. Ю. Олійник // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем : VII міжнар. наук.-практ. конф., 24–27 квітня 2017 р. : тези доп. – Чернігів : ЧНТУ, 2017. – С. 140–142.
9. Oberflächenvergütung mit hydrostatisch gelagerter Kugel. Glattgewalzt // MaschAnlag + Verfah. – 1990. – № 9.
10. Пат. на полезную модель 2322337 RU, В24В39. Способ накатывания / Фирсов А. М., Беляев В. Н. ; заявитель и патентообладатель ГОУВПО "Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова" (АлтГТУ). – № RU2006102397А ; заявл. 26.01.2006 ; опубл. 20.04.2008, Бюл. № 11.
11. Пат. на корисну модель 103434 UA, В24В39/02. Пристрій для розкочування внутрішніх поверхонь обертання / Хома З. Ф. ; заявитель и патентообладатель Хома Зоя Федорівна". – № u201507513 ; заявл. 10.12.2015 ; опубл. 27.07.2015, Бюл. № 23.
12. Олейник С. Ю. Анализ основных технологических факторов определяющих качество антифрикционного слоя крупногабаритных подшипников скольжения прокатных валков / С. Ю. Олейник, А. Н. Журавлева // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2016. – Вип. 38. – С. 198–203.
13. Пат. 122062U Україна, МПК В24В 39/02 (2006.01). Спосіб розкочування великогабаритних вкладышів підшипників ковзання / С. В. Ковалевський, С. Ю. Олійник, О. О. Олійник. – № 201706644 ; заявл. 27.06.2017 ; опубл. 26.12.2017, Бюл. № 24. – 5 с.
14. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием : Справочник / Л. Г. Одинцов. – М. : Машиностроение, 1987 – 328 с.
15. Пат. 2542214 RU, В24В39/00. Способ раскатывания деталей шаровым инструментом / Пудков С. И., Забельян Д. М. ; заявитель и патентообладатель ФГУП «НПП газотурбиностроения «Салют». – № 2013150938/02 ; заявл. 18.11.2013 ; опубл. 20.02.2015, Бюл. № 5.
16. Вирт А. Э. Определение величины внедрения деформирующего ролика при обработке деталей ППД / А. Э. Вирт, А. М. Лаврентьев // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 11. – С. 550–552.