



УДК 621.822.004.15

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-18

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ ВІБРОНАКАТУВАННЯМ

Паніна В. В., к.т.н.

ORCID: 0000-0001-9623-516X

e-mail: valeriia.panina@tsatu.edu.ua

Дашивець Г. І., к.т.н.

ORCID: 0000-0003-2612-6077

e-mail: galyna.dashyvets@tsatu.edu.ua

Бондар А. М., к.т.н.

ORCID: 0000-0002-4761-9084

e-mail: andriy.bondar@tsatu.edu.ua

Новик О. Ю.

ORCID: 0000-0003-0184-9172

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

Постановка проблеми. Надійність роботи техніки безпосередньо пов'язана зі станом поверхневого шару деталей, який характеризується фізико-механічними та геометричними параметрами. При експлуатації машин поверхневий шар їх деталей контактує один з одним або з навколишнім середовищем. Від його якості залежать експлуатаційні властивості деталі, такі як опір втомі, опір контактній утомі, корозійна стійкість, зносостійкість та інші. У зв'язку з інтенсифікацією експлуатаційних процесів, підвищенням температур і тисків, збільшенням швидкостей переміщення робочих органів, роль властивостей поверхневого шару значно зростає [1-4]. Вплив характеристик якості поверхневого шару деталей на їх експлуатаційні властивості свідчить, що оптимальна поверхня повинна бути досить твердою, мати стискаючі залишкові напружки, дрібнодисперсну структуру, згладжену форму мікронерівностей з великою кількістю опорних поверхонь.

За допомогою методів остаточної обробки (шліфування, хонінгування, доведення) створюється необхідна форма деталей із заданою точністю, але не забезпечується оптимальна якість поверхні деталі, яку можна досягнути поверхневим пластичним деформуванням (ППД). У результаті чого зміцнюється поверхня деталі, підвищується зносостійкість, стійкість до корозійних впливів і т.і. У багатьох випадках застосуванням поверхневої пластичної обробки вдається підвищити міцність деталей, що працюють при змінних навантаженнях, в 1,5-3 рази, й збільшити термін служби деталей у десятки раз.



Аналіз останніх досліджень. Аналіз науково-технічної літератури, пов'язаної з поверхнево-пластичною обробкою пар тертя, доводить, що обробка, заснована на пластичнім деформуванні поверхневого шару, має в порівнянні з обробкою металорізальним інструментом ряд переваг, у тому числі:

- зберігається цілість волокон й утворюється дрібнозерниста структура металу в поверхневому шарі;
- відсутнє шаржування при обробці поверхні часточками шліфувальних кіл, полірувальних паст;
- відсутні термічні дефекти шару металу;
- стабільні процеси обробки;
- можна досягати мінімальної шорсткості поверхні ($R_a = 0,1-0,05$ мкм і менш) як для сталі, кольорових сплавів, так і для високоміцних матеріалів, зберігаючи вихідну форму заготовок;
- можна зменшити первічну шорсткість поверхні в кілька разів за один прохід;
- створюється доцільна форма мікронерівностей з великою кількістю опорних поверхонь;
- можна створити регулярні мікрорельєфи з заданною кількістю поглиблень для затримки мащення;
- створюються сприятливі залишкові напруги в поверхневому шарі;
- підвищується мікротвердість поверхні.

Вібронакатані поверхні відрізняються від обточених і шліфованих радіусом закруглень виступів, западин та більшим кроком. Зі збільшенням радіусів вершин виступів нерівностей поверхні і однорідності їх за формою і висотою підвищується опірність поверхні, швидкість її прироблення, зносостійкість, товщина масляної плівки, контактна жорсткість, гідроцильність [5-7].

Зі збільшенням радіуса закруглення западини поверхні, що накатуються, підвищується втомлена міцність та опір корозії.

Крок мікронерівностей, їх кількість на одиницю довжини або площі, кут нахилу їх утворюючих, визначають обсяг змащення в зоні тертя, міцність, однорідність по товщині покриттів і тонких плівок, що наносяться на поверхню, посадку і т.і. Цим вимогам задовольняє спосіб вібраційного накатування поверхонь деталей [5, 6].

Формулювання цілей статті.

Метою роботи є рекомендації по застосуванню такого виду фінішної обробки втулок підшипників ковзання, що задовольняла б вимогам підвищенню надійності пар тертя. Обробка, заснована на пластичному деформуванні тонкого поверхневого шару, має в порівнянні з обробкою точінням, шліфуванням, поліруванням ряд вищеперелічених переваг. У роботі слід також обґрунтувати: систему

мікронерівностей, що покращить умови роботи пар тертя підшипників ковзання; розробити конструкцію приладу для вібронакатування втулок; запропонувати режими обробки, що дозволять отримати необхідний мікрорельєф поверхні, та побудувати номограму для визначення режимів вібронакатування [8-9].

Основна частина. У процесі вібронакатування поверхневий шар деталі обробляється по гвинтовій лінії кулькою, що рухається зворотно-поступально і утворює синусоїду. У результаті на поверхні видавлюються канавки певної форми і мікрорельєфу, глибиною в декілька мкм.

До параметрів, що визначають режим вібронакатування відносяться:

- n_B – частота обертання втулки, хв^{-1} ;
- S – подача кулькової голівки за один оберт втулки, мм;
- $n_{\text{подв.ход}}$ – частота подвійних ходів кулькової голівки;
- $2l$ – амплітуда осциляції кулькової голівки, мм;
- d_3 – діаметр втулки, мм;
- $d_{\text{ш}}$ – діаметр кульки мм;
- P – зусилля вдавнення кульки, Н.

Устаткування для вібронакатування представляє собою прилад, який встановлюється на супорт токарно-гвинторізного верстата.

Прилад складається зі зварної плити, на яку встановлено електродвигун, кронштейн з ексцентриком та штангою.

Обертання валу електродвигуна за допомогою ексцентрика перетворюється у зворотно-поступальний рух штанги з кульковою голівкою (Рис. 1). На кульковій голівці встановлені кульки в оправках, що опираються на конус, за допомогою якого відбувається розведення та зведення кульок.

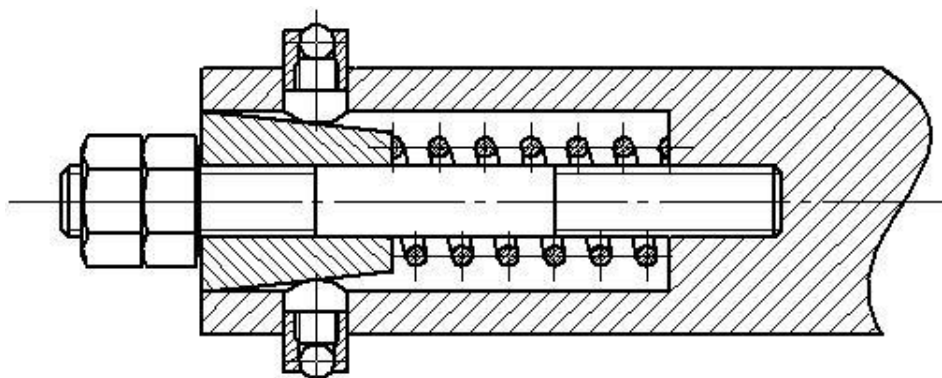


Рис. 1. Кулькова голівка

При обертанні валу електродвигуна штанга з голівкою виконують зворотно-поступальний рух паралельно осі обертання деталі, що обробляється, з кількістю подвійних ходів, рівним частоті

обертання електродвигуна і довжиною ходу кулькової голівки, рівної подвійному ексцентриситету.

Залежно від встановленого режиму вібронакаткування можна створити поверхні з різною системою канавок, що надають поверхні різні фізико-механічні властивості.

Вибір потрібного виду мікрорельєфу поверхні здійснюється залежно від матеріалу деталі та її умов роботи.

Втулки підшипників ковзання в найбільшій мірі виготовляються з кольорових металів та сплавів [10, 11]. Втулки виступають в якості опорних поверхонь, тому несуть значні навантаження, та працюють в умовах тертя. За для підвищення надійності поверхонь таких деталей найбільш доцільним буде система мікрорельєфу поверхні, яка зображена на рис. 2. Такий мікрорельєф поверхні має підвищену маслоутримуючу здатність завдяки значній кількості карманів та більшу зносостійкість через значну кількість перетинів доріжок.

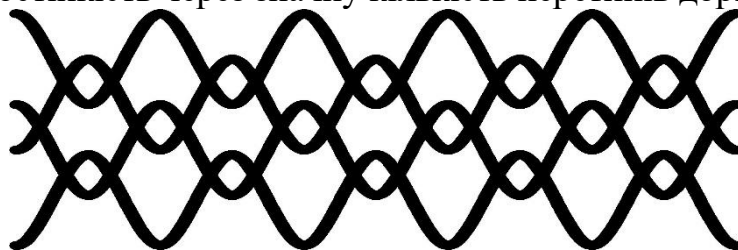


Рис. 2. Мікрорельєф поверхні з подвійним перетинанням канавок

Для отримання такої поверхні вібронакаткуванням необхідно, щоб частота обертання втулки (n_B) була кратною частоті подвійних ходів кулькової голівки ($n_{\text{подв.ход}}$), яка дорівнює частоті обертання вала електродвигуна, тобто [5]:

$$N_B = i \cdot n_{\text{подв.ход}}, \quad (1)$$

де i – коефіцієнт кратності, повинен бути цілим числом.

Величина коефіцієнту кратності (i_1) буде дорівнюватись подвійної кількості хвиль, які створилися при одному оберті деталі, яку обробляють.

Для вібронакаткування використовується токарно-гвинторізний верстат 1К62. Частота обертання шпинделя цього станка: 12,5; 16; 20; 25; 31; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200 хв⁻¹.

Виходячи з умови (1) та частоті подвійних ходів кульки $n_{\text{подв.ход}} = 1400$ хв⁻¹ для отримання необхідного мікрорельєфу підходять частоти обертання деталі: 12,5; 20; 25; 40; 50; 100, 200 хв⁻¹.

Повздовжня подача верстата повинна дорівнюватись амплітуді коливань кульки.

Для підвищення зносостійкості втулок (підшипників ковзання) необхідно, щоб поверхня, яка оброблена вібронакаткою складала 60%

загальної робочої поверхні. Ця умова буде виконуватись при належній комбінації режимів, які можна отримати за допомогою номограми [12-15].

Номограма – це графічне зображення розрахунку, який дозволяє визначити результат обчислень графічним шляхом зразу, без додаткових розрахунків, спеціальних таблиць, що представляють собою значення змінних і результуючої величини.

Номограма складається з чотирьох квадрантів.

1. У першому квадранті будується залежність ширини накатаної стрічки від шорсткості поверхні, яку обробляють, та діаметра кульки.

Ширина стрічки h , мм, буде дорівнювати довжині хорди дуги поверхні, що накатується кулею, та визначається за формулою

$$h = D \cdot \sin \alpha, \quad (2)$$

де D – діаметр кульки, мм;

α – центральний кут, град.

$$\alpha = \arccos\left(1 - \frac{2H}{D}\right), \quad (3)$$

де H – глибина обробки при накатуванні, яка складається з висоти нерівностей, мм.

За результатами розрахунків будуються графіки (рис. 3).

2. У другому квадранті будується залежність площі стрічки за один оберт деталі від ширини стрічки. Ця площа буде дорівнювати подвійній довжині однієї хвилі, помноженої на кількість хвиль та на ширину стрічки.

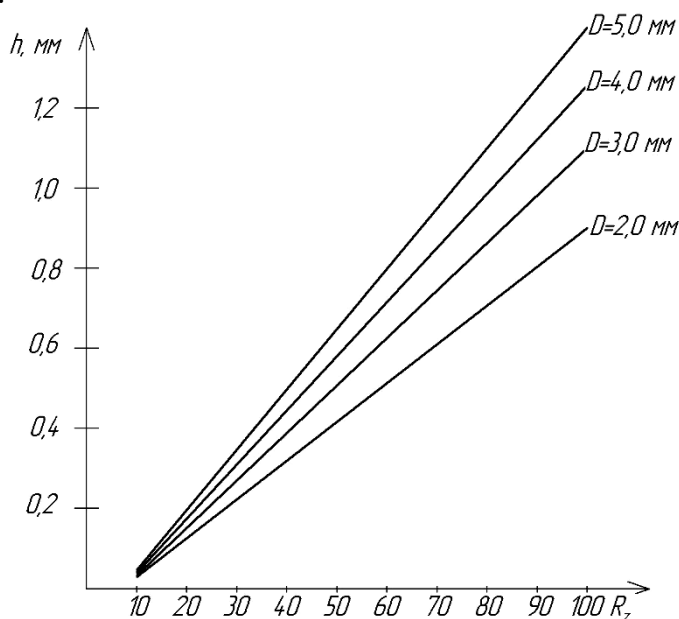


Рис. 3. Залежність ширини канавки від шорсткості робочої поверхні втулки

Довжина хвилі визначається як довжина окружності еліпсу за формулою

$$L = \pi \cdot (a + b), \quad (4)$$

де a, b – довжина півосей еліпсу, мм.

Довжина поперечної піввісі складе половину амплітуди коливань вібратора, тобто:

$$a = \frac{A}{2}, \quad (5)$$

де A – амплітуда коливань вібратора, мм. $A = 2 = \text{const}$.

Для отримання довжини поздовжньої піввісі еліпсу необхідно довжину окружності поверхні деталі поділити на кількість хвиль, яка дорівнює чверті співвідношення частоти вібрації інструменту до частоти обертання деталі, тобто

$$b = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{4N}, \quad (6)$$

де d – діаметр поверхні деталі, яку обробляють, мм;

n – частота обертання деталі, хв^{-1} . Для розрахунків $n = 100 \text{ хв}^{-1}$;

N – частота вібратора, хв^{-1} . $N = 1400 \text{ хв}^{-1} = \text{const}$.

В результаті площа стрічки

$$S_1 = 2\pi \cdot \left(\frac{A}{2} + \frac{\pi \cdot d \cdot n}{4N} \right) \cdot \frac{N}{n} \cdot h. \quad (7)$$

Щоб врахувати площу, яку займають ділянки перетинання двох канавок, приймається площа ділянки як паралелограм з висотою h та довжиною сторони h . Тоді отриману площу стрічки за один оберт необхідно зменшити на площу ділянок перетинання. На кожній хвилі кількість таких перетинань дорівнює 4.

$$S_1 = 2\pi \cdot \left(\frac{A}{2} + \frac{\pi \cdot d \cdot n}{4N} \right) \cdot \frac{N}{n} \cdot h - \frac{N}{n} 2h^2. \quad (8)$$

За результатами розрахунків побудується графік (рис. 4).

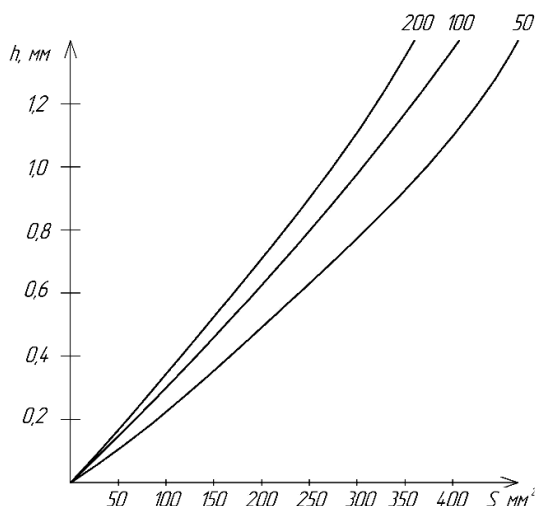


Рис. 4. Залежність площі стрічки за один оберт деталі при обробці від ширини стрічки, при різних частотах обертання деталі.

3. У третьому квадранті будується залежність площі, що обробляється, від площі стрічки за один оберт деталі. Для цього необхідно розрахувати кількість стрічок на 100 погонних міліметрах поверхні, яка обробляється, і буде залежати від кроку поздовжньої подачі верстата.

Площа обробленої поверхні становить

$$S = S_1 \cdot \frac{100}{P}, \quad (10)$$

де P – поздовжня подача верстата, мм/об.

За результатами розрахунків побудується графік (рис. 5).

4. У четвертому квадранті будується графік співвідношення площі, обробленої інструментом, до загальної площі поверхні деталі, тобто (рис. 6).

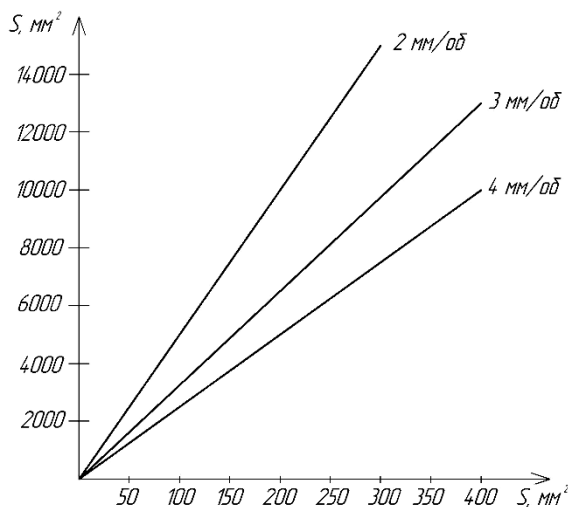


Рис. 5. Залежність площі, що обробляється, від площі стрічки за один оберт деталі з урахуванням подачі верстата.

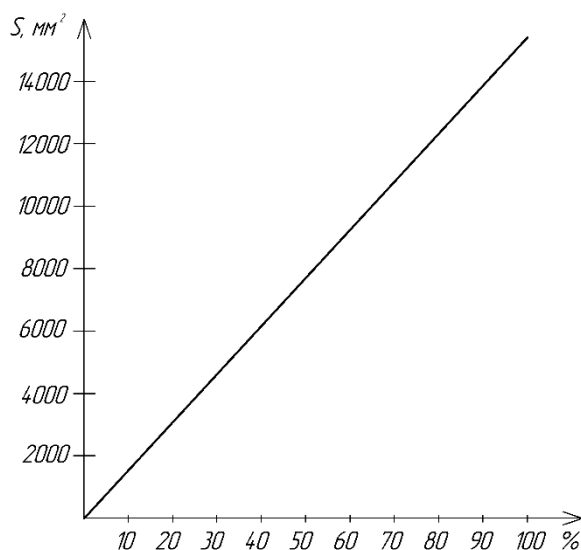


Рис. 6. Співвідношення площі обробленої інструментом до загальної площі поверхні деталі.

Таким чином отримується номограма (рис.7).

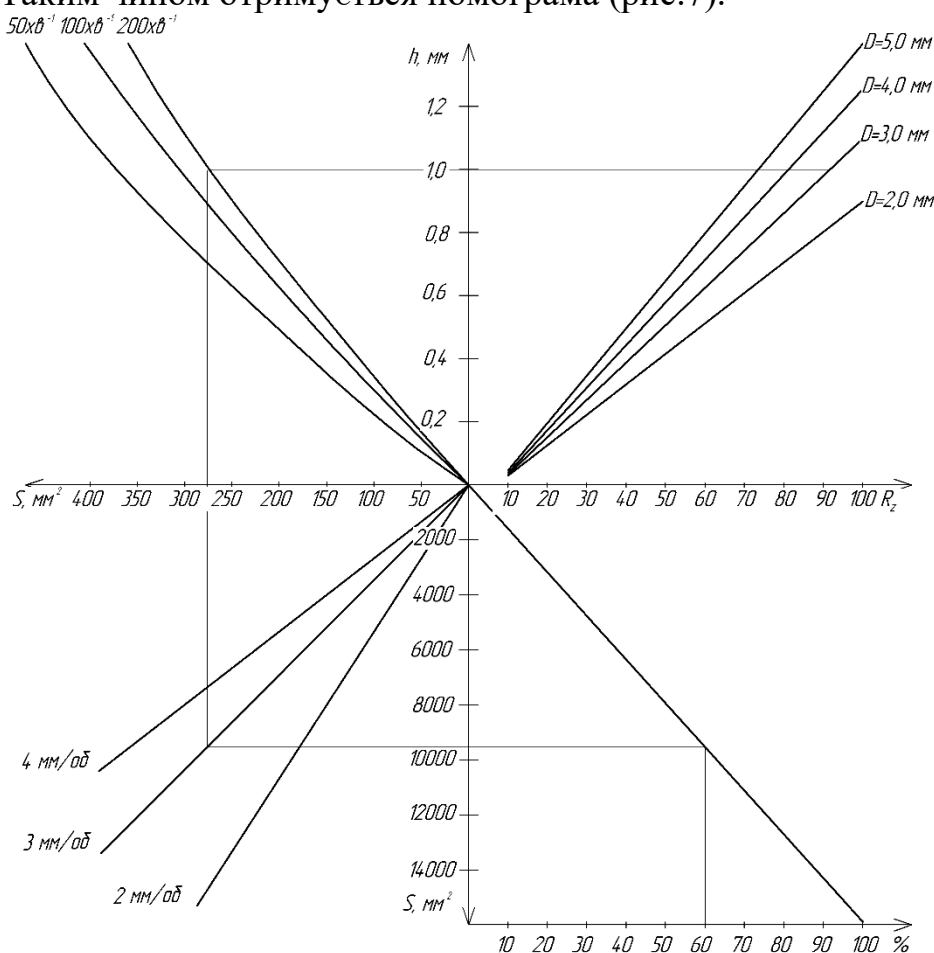


Рис. 7. Номограма для визначення режимів вібронакатування втулки циліндрів.

Висновки. Так, якщо потрібно 60% внутрішньої поверхні втулки підшипника ковзання обробити поверхнево-пластичною деформацією, то режими обробки повинні бути такими:

- діаметр кулі вібронакатки – 3 мм;
- частота обертання деталі – 200 хв⁻¹;
- повздовжня подача верстата – 3 мм/об;
- ширина накатаної стрічки – 1 мм.

Список використаних джерел:

1. Constitutive modeling and microstructure change of Ti-6Al-4V during the hot tensile deformation / J. Xiao et al. *Journal of Alloys and Compounds*. Vol. 541, 15 November. 2012. P. 346-352.
2. Zhou M., Clode M. P. Constitutive equations for modelling flow softening due to dynamic recovery and heat generation during plastic deformation. *Mechanics of Materials*. 1998. Vol. 27, Is. 2. February. P. 63-76.
3. Superplastic behavior and deformation mechanism of Ti600 alloy / Zhang X. et al. *Materials Science and Engineering*. 2013. Vol. 560, 10 January. P. 700-704.
4. Shestakov V. V., Kryuchkov L. P., Kuzmichev B. P. Factors affecting the degree of surface plastic hardening when treated with steel balls. *Herald of Machine Building*. 1984. № 5. P. 67-68.
5. Методичні вказівки до самостійної роботи з навчальної дисципліни «Триботехніка» для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / Д. П. Журавель та ін. Мелітополь: ТОВ Колор Принт, 2019. 112 с.
6. Increase in Durability of Motor Crankshaft Pin Surface by Vibrorolling / O. Novyk et al. *Modern Development Paths of Agricultural Production*, 2019. P. 177-182.
7. Новік О. Ю., Паніна В. В., Дашивець Г. І. Обґрунтування режимів вібронакаткування поверхонь деталей циліндро-поршнєвої групи двигуна. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. Херсон, 2017. Вип. 5. С. 50-56.
8. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным деформированием: справочник. Москва: Машиностроение, 1987. 328 с.
9. Ежелев А. В., Бобровский И. Н., Лукьянов А. А. Анализ способов обработки поверхностно-пластическим деформированием. *Фундаментальные исследования*. 2012. № 6-3. С. 642-646.
10. B22 - Repair of plain bearings. *Lubrication and Reliability Handbook*. 2001. P. 1-5. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780750651547501169> (дата звернення 14.04.2020).

11. Simulation of abrasion to WC/Co hardmetals using a micro-tribology test system / C. Pignie et al. *Wear*. 2013. Vol. 302, Is. 1–2. April–May. P. 1050-1057.
12. Борисов С. Н. Алгоритмы конструирования номограмм. Москва: ВЦ РАН, 1999. 164 с.
13. Левкин Ю. С. Получение четырехмерных номограмм на базе теоремы подобия. *Геометрия и графика*. 2017. С. 69-74. DOI: 10.12737/article_5953f33427942.789301109/.
14. Лысенко А. В. Построение номограмм по фундаментальной и прикладной химии. Курск: Изд-во Юго-Западного гос. ун-та, 2016. 18 с.
15. Зуева Н. М. Номограммы. МБОУ. 2013. 15 с.

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ ВІБРОНАКАТУВАННЯМ

Паніна В. В., Дашивець Г. І., Бондар А. М., Новик О. Ю.

Анотація

Поверхневий шар матеріалу деталей спряжень надає безпосередній вплив на надійність та довговічність підшипників ковзання. При ремонті або виготовленні деталей підшипників ковзання, зокрема втулок, пропонується використовувати один з видів поверхнево-пластичної обробки – вібронакаткування. В роботі:

- надані відомості про мікрорельєф поверхонь, утворених при різних способах кінцевої обробки та переваги поверхнево-пластичної обробки;
- проведено аналіз наукової літератури та надані переваги вібронакаткування над іншими способами обробки поверхні;
- надані відомості про сутність процесу вібронакаткування, обладнання, що використовується, вплив режимів вібронакаткування на характер отриманого мікрорельєфу;
- запропоновано систему мікронерівностей, що дозволить збільшити зносостійкість робочої поверхні втулки, та маслоутримуючу здатність;
- пропонується конструкція приладу для вібронакаткування внутрішньої поверхні втулки;
- надані рекомендації з вібронакаткування втулок;
- розроблена номограма для визначення режимів вібронакаткування робочих поверхонь втулок підшипників ковзання.

Ключові слова: поверхневий шар, мікрорельєф, вібронакаткування, зміцнення, втулка, установка, режими, номограма.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ВИБРОНАКАТЫВАНИЕМ

Панина В. В., Дашивец Г. И., Бондарь А. Н., Новик А. Ю.

Аннотация

Поверхностный слой материала деталей сопряжений оказывает непосредственное влияние на надежность и долговечность подшипников скольжения. Предлагается использовать при ремонте или изготовлении деталей подшипников скольжения, в частности втулок, один из видов поверхностно-пластической обработки – вибронакатывание. В работе:



- представлены сведения о микрорельефе поверхностей, образованном при разных способах конечной обработки и преимущества поверхностно-пластичной обработки и проведен анализ научной литературы и оказано предпочтение вибронакатыванию по сравнению с другими способами обработки поверхности и
- представлены сведения о сущности процесса вибронакатывания, используемого оборудования, влиянии режимов вибронакатывания на характер полученного микрорельефа;
- предложена система микронеровностей, которая позволит увеличить износостойкость рабочей поверхности втулки и маслоудерживающую способность;
- предлагается конструкция прибора для вибронакатывания внутренней поверхности втулки и предоставлены рекомендации по вибронакатыванию втулок;
- разработана номограмма для определения режимов вибронакатывания рабочих поверхностей втулок подшипников скольжения.

Ключевые слова: поверхностный слой, микрорельеф, вибронакатывание, упрочнение, втулка, установка, режимы, номограмма.

IMPROVING THE RELIABILITY OF BEARINGS OF SLIDING VIBRATION PUMPS

V. Panina, G. Dashivets, A. Bondar, A. Novik

Summary

The surface layer of the material of the mating parts has a direct impact on the reliability and durability of the plain bearings. In the work, it is proposed to use one of the types of surface-plastic processing – vibron rolling – in the repair or manufacture of parts of sliding bearings, in particular bushings. In the process of vibrating, the surface layer of the workpiece is machined along a helical line by a ball moving reciprocally and forming a sine wave. As a result, grooves of a certain shape and micro-relief, several microns deep, are extruded on the surface.

The following has been done in the work:

- provided information about the surface microrelief formed by different methods of final processing and the advantages of surface-plastic processing;
- an analysis of the scientific literature on this topic was carried out, and preferences were given over the other methods of surface treatment;
- provides information about the essence of the process of rolling, the equipment that is used, the effect of the rolling modes on the nature of the obtained microrelief;
- a micro-irregular system is proposed, which will increase the wear resistance of the working surface of the sleeve, and oil-holding ability;
- a device design for vibro-rolling the inner surface of the sleeve is proposed;
- recommendations on vibro-rolling of bushings are provided;
- A nomogram has been developed for determining the modes of vibration rolling of the working surfaces of sleeve bearings.

For processing 60% of the inner surface of the sleeve bearing sliding surface plastic deformation, the treatment modes should be as follows: diameter of a ball of a vibrating roller - 3 mm; speed of the workpiece - 200 min⁻¹; longitudinal feed of the machine - 3 mm / turn; the width of the rolled tape - 1 mm.

Keywords: surface layer, micro-relief, vibrating, strengthening, bushing, installation, modes, nomogram.