

УДК 621.891

UDK 621.891

РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ

Посвятенко Е.К., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна
Сабадаш Б.М., Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна

DEVELOPMENT OF MEASURES TO IMPROVE THE RELIABILITY OF ROLLING BEARINGS

Posviatenko E.K., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine
Sabadash B.M., Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Посвятенко Э.К., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина
Сабадаш Б.Н., Хмельницкий национальный университет, Хмельницкий, Украина

Постановка проблеми.

У вузлах тертя засобів транспорту широко застосовуються підшипники кочення (ПК). Часто ці вузли працюють у хімічно активних середовищах (газах або рідинах). ПК виготовляють, як правило, із хромистих сталей. При цьому використовують сталі ШХ15; ШХ15Ш; ШХ15В і 18ХГТ. Твердість цих деталей ПК знаходиться в межах HRC61...65. Твердість кульок із цих матеріалів повинна бути рівною 63...67 HRC. Неоднорідність по твердості в межах одного кільця не повинна перевищувати 3 HRC. Якщо ПК застосовують для роботи при підвищених температурах, то для забезпечення стабілізації розмірів деталі ПК відпускають при температурах понад 150 °С (на 50 °С вище робочих температур) [1].

Хромисті сталі термодинамічно нестійкі, тобто такі, що викликають протікання трибохімічних реакцій, які є невід'ємною складовою тертя твердих тіл.

Сутність трибопроцесів полягає у тому, що ці процеси протікають в умовах імпульсної силової дії і супроводжуються розсіянням механічної енергії, що підводиться. Існує два основні канали незворотної дисипації механічної енергії у процесі тертя: трибохімічний і реологічний, проявлення яких визначається рядом факторів: властивостями оточуючого середовища, параметрами зовнішнього навантаження та природою пари тертя. Реологія, тобто теорія в'язкопружності або узагальнення теорії пружності і гідродинаміки в'язкої рідини, є аналітичною основою при описанні різних видів деформації і текучості речовин у залежності від створюваних у них напружень. Частки розсіяної та запасеної енергії поверхневим активним шаром визначають кінетику накопичення пошкоджень і руйнування [2]. Усе це стосується і ПК, як характерної моделі пари кочення.

Шорсткість поверхні нормальних ПК за параметром Ra повинна бути: не вищою, ніж 1,25 по поверхні отвору; не вищою, ніж 0,63 і 1,25 по зовнішній поверхні при діаметрі кільця до 80 мм і 80 – 250 мм відповідно.

Як бачимо, усі сталі, які використовуються для виготовлення кілець та тіл кочення ПК, легують досить високою кількістю хрому (1 – 1,5%). А такі хромисті сталі, крім високої зносостійкості, відзначаються ще й доброю оброблюваністю шліфуванням і сприйняттям модифікування методами інженерії поверхні.

Мета дослідження – розробка заходів щодо підвищення надійності підшипників кочення методами прецизійного фінішного модифікування робочих поверхонь тіл кочення і обойм.

Методика і результати досліджень.

Теоретично-розрахункова частина дослідження полягала у наступному. Для вирішення задачі розподілу навантаження між тілами кочення (кульками) у ПК нами було уперше запропоновано варіаційно-експериментальний метод [3]. При цьому були прийняті такі допущення: основа із кульок, на яких покоїлось зовнішнє кільце ПК, замінювалось суцільною основою з еквівалентною податливістю;

еквівалентність вважалась якісною; коефіцієнт концентрації зусиль на кульках та тиску в еквівалентній схемі вважались рівними.

Вирішення рівняння рівноваги системи показало, що варіаційний метод визначення функції розподілу навантажень на тілах кочення є ефективним.

При практичному використанні (перевірці) методу досліджувались ПК серії 208 з розмірами: діаметр отвору 40 мм; зовнішній діаметр 80 мм; ширина 18 мм. Навантаження Q передавалось через вал діаметром 40 мм на ручному гідравлічному пресі, а переміщення u_0 вимірювалось з точністю 0,01 мм. Результати вимірювання сили Q , що викликали переміщення u_0 наведені нижче у таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення сили Q і переміщення u_0 підшипників кочення.

№ експеримента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q , кг	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
u_0 , мм	0,68	0,8	0,93	1,03	1,12	1,24	1,35	1,44	1,57	1,67

Порівняння коефіцієнтів концентрації для досліджуваних ПК серії 208 з 9-ма кульками кочення, отриманих теоретичним та варіаційно-експериментальним методами показало розбіжність менше 1%, тобто практично повне співпадіння.

Ще одним заходом підвищення надійності ПК був технологічний [4]. Для того, щоб отримати якісну поверхню деталей, необхідно застосувати методи інженерії поверхні, серед яких одним з найбільш ефективних є іонне азотування. Це тому, що азотування є фінішною операцією.

При іонному азотуванні, на відміну від процесів класичного азотування, заміна водню на аргоно-азотну суміш дозволяє позбутися водневого окрихчування і, як наслідок, погіршення механічних властивостей серцевини деталей. Висока якість поверхневого шару і основи у процесах іонного азотування досягається за рахунок їх використання при температурах, нижчих температур високого відпускання. Це виключає деформації деталі. Важливу роль тут також відіграє висока енергія потоку частинок, що конденсуються на поверхні. Завдяки цьому у мікрооб'ємах поверхневого шару створюються умови, що забезпечують утворення нітридів, а також зміцнення фериту та аустеніту сталі за рахунок розчинення азоту у останніх.

Таким чином, іонне азотування у випадку його застосування у технологіях отримання основних деталей ПК (кілець та кульок) виконує подвійну роль. З одного боку, на цих деталях формується без зміни їх розмірів та шорсткості захисний шар, що не дозволяє проникати із зовні шкідливим елементам, у першу чергу, кисню. Крім того, за рахунок утворення нітридів і зміцнення фериту чи аустеніту поверхневий шар відповідальних деталей ПК отримує додаткове зміцнення, яке неможливе при звичайній термообробці.

Для реалізації процесу азотування використовується нестабільна (позитивна) ділянка FG вольт-амперної характеристики, так звана область сильнопоточного тліючого розряду [5] (рис.1).

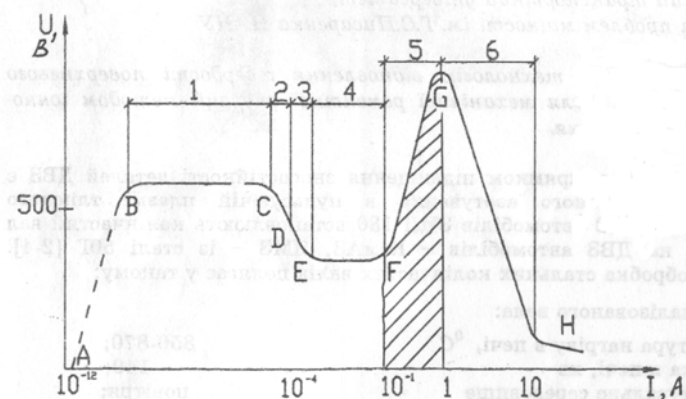


Рисунок 1 – Типова вольт-амперна характеристика:

- 1 (BC) – розряд Таунзенда;
- 2 (CD) – коронний розряд; 3 (DE) – субнормальний тліючий розряд;
- 4 (EF) – нормальний тліючий розряд; 5 (FG) – аномальний тліючий розряд;
- 6 (GH) – дуговий розряд

Процеси, що протікають на поверхні катоду при утворенні іонів газу можна розкласифікувати наступним чином: емісія електронів; викидання атомів з поверхні (випаровування); дифузія іонів у поверхневий шар деталі; віддача кінетичної енергії поверхні (нагрівання) деталі. У кількох міліметрах від поверхні деталі іони, що були прискорені в області падіння катодного потенціалу, з великою кінетичною енергією потрапляють на поверхню деталі. При цьому до 90% енергії іонів перетворюється у теплову енергію. Таким чином, плазма нагріває деталь до необхідної температури азотування. Значно менша частина кінетичної енергії іонів потрібна для викидання атомів з кристалічної решітки. Випаровуватись можуть метали та металеві сплави, а також неметалеві матеріали: вуглець, кисень, азот тощо. Формування азотованого шару відбувається наступним чином: укорінені у поверхневий шар матеріалу атоми азоту дифундують у подальшому границями зерен і, власне, через зерна. У залежності від тривалості обробки і параметрів процесу азотування виникає відповідний концентраційний профіль. При іонному азотуванні у імпульсному режимі дифузія азоту відбувається таким чином: якщо на поверхні шару концентрація азоту досягає величини, необхідної для утворення γ - або ϵ -нітриду, тоді відбувається утворення саме цих нітридів. Останні утворюються з окремих зародків і формують щільний шар, так званий "шар з'єднань".

Товщина азотованого шару незалежно від вмісту азоту зростає у результаті проникнення азоту у відповідності з другим законом Фіка [5].

Одночасно продовжується дифузія атомів азоту через шар сполук у глибину металу. При цьому швидкість їх дифузії через γ - фазу приблизно у 25 разів менша ніж через ферит. Дифундуючий шар вуглецю при азотуванні залишається у шарі сполук, де цей шар поглинається утвореними нітридами. Границі зерен, у яких розміщені карбіди, розширюються у результаті поглинання азоту [6].

Азот у плазмі знаходиться у атомному хімічно активному стані. Перед поверхнею катоду відбувається утворення нітридів заліза, насичених азотом. Молекули FeN конденсуються на поверхні деталі і дисоціюють, утворюючи нітриди заліза більш низького порядку Fe₂N, Fe₃N і Fe₄N. При цьому азот, що виділяється, дифундує у деталь або, випаровуючись, повертається у плазму.

Швидкість іонного азотування є "ахіллесовою п'ятою" процесу, тому що складає усього 0,01 – 0,02 мм приросту товщини азотованого шару за годину. Це, очевидно тому, що усі відомі схеми поліпшення азотування практично вичерпані. Сказане стосується складу газового середовища, тиску, температури, характеристик тліючого розряду, алгоритму підготовки до процесу і ведення власне процесу, а також конструктивних параметрів установки. Проте у випадку створення захисного азотованого шару на обіймах та тілах кочення (кульках) ПК це не має суттєвого значення, оскільки товщина захисного шару може вимірюватись у мікрометрах або частках мікрометра.

Режими іонного азотування були наступними: температура 530 – 550 °C; тиск 87 Па; напруга 400 В; сила струму 12 А; середовище – суміш азоту (N₂ – 80%) і аргону (Ar – 20%). Для забезпечення робочої температури, меншої температури високого відпуску, була розроблена схема живлення, яка працює у імпульсному режимі з частотою 100 Гц. Для запобігання перетворення метастабільного тліючого розряду у небажаний стабільний дуговий розряд в установці для азотування було запропоновано використати швидкодійне реле. Це запобігає пошкодженню поверхні зміцнюваної деталі.

Слід відзначити, що при реалізації безводневого азотування ПК особливу увагу слід приділяти попередній підготовці поверхні. Перед операцією необхідно видалити усі залишки забруднюючих речовин. Для цього найкраще підходить миття у мийній машині з використанням ультразвуку. При цьому посадочні поверхні (зовнішню та внутрішню) ПК, шорсткість яких становить Ra < 2,5 і Rz < 20, не слід захищати, оскільки вони працюють в умовах фретинг-зношування. Азотування саме тому підвищує зносостійкість цих поверхонь.

У результаті проведення дослідження нами розроблена математична модель обробки деталей ПК [7].

Висновки

Для вирішення задачі розподілу навантаження між тілами кочення ПК уперше використано варіаційно-експериментальний метод, який при проведенні випробувань на реальному підшипнику кочення показав розбіжність з теоретичним методом менше 1%, тобто виявився задовільним..

Як технологічний захід щодо підвищення надійності ПК запропоноване та досліджене іонно-імпульсне азотування може використовуватись як фінішна операція при обробці кілець та кульок підшипників кочення. У цьому випадку роль азотування подвійна: створення захисного поверхневого шару, що не дозволяє проникати у вироби шкідливих речовин із зовнішнього середовища і підвищення твердості поверхні, що в кінцевому результаті призводить до підвищення надійності ПК.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. / В.И. Анурьев; под ред. И.В. Жестковой. – Т.2. – М.: Машиностроение, 2006. – 960 с.
2. Шевеля В.В. Трибохимия и реология износостойкости: Монография / В.В. Шевеля, В.П. Олександренко. – Хмельницький: изд-во Хмельницького національного ун-ту, 2006. – 278 с.
3. Кузьменко А.Г. Распределение нагрузки между шариками в радиальном подшипнике качения. Решение задачи вариационно-экспериментальным методом / А.Г. Кузьменко, Б.Н. Сабадаш. – Проблемы трибологии. – 2014. – № 3. – С. 80–85.
4. Посвятенко Е.К. Поліпшення надійності підшипників кочення безводневим азотуванням / Е.К. Посвятенко, Б.М. Сабадаш // Systemy i srodki transportu samochodowego: Wybrane zagadnienia / pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy. – Rzeszow: Politechnika Pzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, 2016. – Monografia nr7. – С.273–278.
5. Азотирование и карбонитрирование / Р. Чаттерджи-Фишер, Ф.-В. Эйзел, Р. Хофман; под ред. А.Б. Супова. – М.: Металлургия, 1990. – 280 с.
6. Ткачук Н.А. Континуальная и дискретно-континуальная модификация поверхностей деталей: Монография / Н.А. Ткачук, С.С. Дьяченко, Э.К. Посвятенко и др. – Харьков : НТУ "ХПИ", 2015. – 259 с.
7. Посвятенко Е.К. Математична модель обробки деталей підшипників кочення / Е.К. Посвятенко, Б.М. Сабадаш // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Матер. 17-го междунар. науч.-техн. семинара, 20–24 февраля 2017 г., г. Свалява. – Киев: АТМ України, 2017. – С. 241–243.

REFERENCES

- 1 Anurev V.I. Spravochnik konstruktoa-mashinostoritelya [Handbook of constructor-machine]: v 3-kh t. Pod red. I.V. Zhestkovoy. T.2. Moscow, Mashinostroenie. Publ. 2006. 960 s. (Rus)
2. Shevelya V.V., Oleksandrenko V.P. Tribokhimiya i reologiya iznosostoykosti: Monografiia [Tribochemistry and Rheology of Wear Resistance]. – Khmel'nitskii: izd-vo Khmel'nitskogo natsionalnogo un-tu. Publ. 2006. 278 s. (Rus).
3. Kuzmenko A.G., B.N. Sabadash Raspredelenie nagruzki mezhdru sharikami v radialnom podshipnike kacheniya. Resheniye zadachi variatsionno-yeksperimental'nim metodom [Load distribution between balls in a radial rolling bearing. Solution of the problem by the variational-experimental method] Tribology problems. Publ. 2014. № 3. P. 80-85. (Rus).
4. Posviatenko E.K., B.M Sabadash Polipshenni nadiynosti pidshypnykiv kochenni bezvodnevym azotuvannim [Improved reliability of rolling bearings bezvodnevym nitriding]. Systemy i srodki transportu samochodowego: Wybrane zagadnienia / pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy. Rzeszow: Politechnika Pzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza. Publ. 2016. – Monografia nr7. – P.273–278. (Ukr).
- 5 Chatterdzh-Fisher R., Eyzel F.-V., Khofman R. Azotirovanie i karbonitrirovanie. [Nitriding and carbonitriding]. Pod red. A.B. Supova. Moscow, Metallurgii. Publ. 1990. 280 s. (Rus).
6. Tkachuk N.A. Kontinualnaia i diskretno-kontinualnaia modifikatsiia poverkhnostei detalei: Monografiia [Continual and discrete-continual modification of parts surfaces] / N.A. Tkachuk, S.S. Diachenko, E.K. Posviatenko i dr. – Kharkov : NTU "KHPI". Publ, 2015. 259 s. (Rus).
7. Posviatenko E.K., B.M Sabadash Matematychna model obrobki detalei pidshypnykiv kochennia [Mathematical model of machining parts bearings]. Modern problems of production and repair in industry and transport: Mater. 17th International. Scientific-techn. Seminar, February 20-24, 2017. Svalyava. Kiev: ATM of Ukraine. Publ., 2017. P. 241-243. (Ukr).

РЕФЕРАТ

Посвятенко Е.К. розробка заходів щодо підвищення надійності підшипників кочення / Е.К. Посвятенко, Б.М. Сабадаш // Вісник Національного транспортного університету. Серія “Технічні науки”. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2017. – Вип. 3 (39).

В статті описано заходи щодо підвищення надійності підшипників кочення.

Мета роботи – розробка заходів щодо підвищення надійності підшипників кочення методами прецизійного фінішного модифікування робочих поверхонь кочення і обойм.

Об'єкт дослідження – методи модифікування поверхневих шарів тіл кочення.

При виконанні дослідження використовувались методи теоретико-експериментального вивчення фізико-механічних властивостей поверхні і надійності підшипників до і після модифікування.

Розроблено варіаційно-експериментальний метод для вирішення задачі розподілу навантаження між кульками підшипника. Запропоновано використати модифікування деталей безводневим азотуванням. Формування азотованого шару здійснюється шляхом дифузії нітриду заліза границею зерен і через зерна поверхневого шару обойм і кульок підшипника. Швидкість іонного азотування складає 0,01 – 0,02 мм/год. Режими іонного азотування наступні: температура 500 – 550 °С; тиск 87 Па; сила струму 12А; середовище – суміш азоту (80%) і аргону (20%). Підготовка поверхні під азотування полягає у видаленні забруднюючих речовин з використанням ультразвуку. Результати дослідження можуть бути використані у виробництві та ремонті підшипників.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: НАДІЙНІСТЬ, ПІДШИПНИК КОЧЕННЯ, ВАРІАЦІЙНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕТОД, БЕЗВОДНЕВЕ АЗОТУВАННЯ, НІТРИД ЗАЛІЗА.

ABSTRACT

Posviatenko E.K., Sabadash B.M. Development of measures to improve the reliability of rolling bearings. Visnyk National Transport University. Series “Technical sciences”. Scientific and Technical Collection. – Kyiv. National Transport University, 2017. – Issue 3 (39).

This paper describes the measures to improve the reliability of rolling bearings.

Purpose – to develop measures to improve the reliability of rolling bearings precision finishing methods of modifying the working surfaces of bearings and holders.

The object of research – methods of modifying the surface layers of rolling elements.

In research methods were used theoretical and experimental study of the physical and mechanical properties of the surface and reliability bearings before and after modification.

It developed variation-experimental method to solve the problem of load distribution between the ball bearings. modification of the details suggested to carry out nitriding without the presence of hydrogen. Formation of the nitrided layer is performed by diffusion of iron nitride grain boundaries and in the grain surface layer clips and balls bearing. Ion nitriding rate is 0.01 - 0.02 mm / h. Modes ion nitriding follows: temperature 500 – 550 ° C; pressure of 87 Pa; amperage 12A; environment – a mixture of nitrogen (80%) and argon (20%). Prepare the surface by nitriding is to remove contaminants using ultrasound. Results of the study can be used in the manufacture and repair of bearings.

KEY WORDS: RELIABILITY, BEARINGS, VARIATION-EXPERIMENTAL METHOD, NITRIDING WITHOUT HYDROGEN, NITRIDE IRON.

РЕФЕРАТ

Посвятенко Э.К. Разработка мероприятий по повышению надежности подшипников качения / Э.К. Посвятенко, Б.Н. Сабадаш // Вестник Национального транспортного университета. Серія "Технические науки". Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2017. – Вып. 3 (39).

В статье описаны мероприятия по повышению надежности подшипников качения.

Цель работы – разработка мероприятий по повышению надежности подшипников качения методами прецизионно-финишного модифицирования поверхностей тел качения и обойм.

Объект исследований – методы модифицирования поверхностных слоев тел качения.

При выполнении исследований использовались методы теоретико-экспериментального изучения физико-механических свойств поверхности и надежности подшипников до и после модифицирования.

Разработан вариационно-экспериментальный метод для решения задачи распределения нагрузок между шариками подшипника. Предложено использовать модифицирование деталей безводородным азотированием. Формирование азотированного слоя выполняется путем диффузии нитрида железа границей зерен и через зерна поверхностного слоя обойм и шариков подшипника. Скорость ионного азотирования составляет 0,01 – 0,02 мм/ч. Режимы ионного азотирования следующие: температура 500 – 550 °С; давление 87 Па; сила тока 12А; среда – смесь азота (80%) и аргона (20%). Подготовка поверхности под азотирование заключается в удалении загрязнений ультразвуком. Результаты исследований могут использоваться в производстве и ремонте подшипников.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: НАДЕЖНОСТЬ, ПОДШИПНИК КАЧЕНИЯ, ВАРИАЦИОННО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД, БЕЗВОДОРОДНОЕ АЗОТИРОВАНИЕ, НИТРИД ЖЕЛЕЗА.

АВТОРИ:

Посвятенко Едуард Карпович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: natali1963@ukr.net, тел. +380442808203, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 101а.

Сабадаш Богдан Миколайович, аспірант, Хмельницький національний університет, кафедра "Зносостійкість і надійність машин", e-mail: sabadashB@mail.ua, тел. +380382728182, Україна, 29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 11.

AUTHOR:

Posviatenko Eduard K., Doctor of Technical Science, professor, National Transport University, professor, department of production, repair and materials science, e-mail: natali1963@ukr.net, +380442808203, Ukraine, Kyiv, st. Omelianovycha-Pavlenko, 1, r. 101a

Sabadash Bogdan M., Doctoral Student, Khmelnytskyi National University, department "Durability and reliability of machines", e-mail: sabadashB@mail.ua, tel. +380382728182, Ukraine, 29016, Khmelnytskyi, st. Institutska, 11

АВТОРЫ:

Посвятенко Эдуард Карпович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры производства, ремонта и материаловедения, e-mail: natali1963@ukr.net, тел. +380442808203, Украина, 01010, м. Киев, ул. Омеляновича-Павленко 1, к. 101а.

Сабадаш Богдан Николаевич, аспирант, Хмельницкий национальный университет, кафедра "Износостойкость и надежность машин", e-mail: sabadashB@mail.ua, тел. +380382728182, Украина, 29016, г. Хмельницкий, ул. Институтская, 11.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Ляшенко Б.А. доктор технічних наук, професор, завідувач лабораторії "Зміцнення поверхні елементів конструкції" Інституту проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, Київ, Україна.

Матейчик В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Київ, Україна.

REVIEWER:

Liashenko B.A., Doctor of Technical Science, professor, Head of Laboratory "Strengthening the surface of the structure" Institute for Problems of Strength named after G.S. Pisarenko NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Mateichyk V.P., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Professor of Ecology and Safety of Vital Functions Department, Kyiv, Ukraine.