

О.У. Стельмах¹, Р.Є. Костюнік¹, О.В. Кущев¹, С.П. Шимчук²

¹ Національний авіаційний університет

² Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОЧИЩЕННЯ МІНІАТЮРНИХ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ ДЛЯ ПРЕЦИЗІЙНИХ МЕХАНІЧНИХ ТА АВІАКОСМІЧНИХ СИСТЕМ НА РЕМОНТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

В роботі приведено аналітичні дослідження методів очищення підшипників кочення від різного роду забруднень. Запропоновано, для покращення ефективності очищення підшипників від складних забруднень різної природи, використовувати метод імпульсного магнітно-турбулентного очищення в миючому середовищі з додатковим використанням ультразвукових систем різної частоти.

Ключові слова: метод імпульсного магнітно-турбулентного очищення, ультразвук, підшипники кочення

O. Stelmakh, R. Kostyunik, O. Kushchev, S. Shymchuk

ANALYSIS OF WAYS OF IMPROVING THE QUALITY OF CLEANING MINIATURE ROLLER BEARINGS FOR PRECISION MECHANICAL AND AEROSPACE SYSTEMS IN THE REPAIR PRODUCTION

Analytical studies of methods of cleaning rolling bearings from various types of contamination are presented in the work. It is proposed to use the method of pulsed magnetic-turbulent cleaning in my environment with the additional use of ultrasonic systems of different frequencies to increase the efficiency of cleaning bearings from complex contamination of various nature.

Keywords: method of pulsed magnetic-turbulent cleaning, ultrasound, rolling bearings

Вступ. При експлуатації, навіть у високоточних підшипниках, виникають різного роду дефекти. Існує залежність між виникненням значної частини дефектів підшипників кочення, що призводить до їх виходу з ладу, та видом і кількістю забруднень робочих поверхонь [1, 2]. Це прискорює зношування елементів конструкції, збільшує сили тертя, підвищує вібрації та шумові характеристики виробу в цілому. На сьогодні відомо багато різноманітних методів очищення підшипників від забруднень, що ефективні при їх застосуванні на нових підшипниках та не завжди можуть забезпечити необхідну чистоту виробів, після їх експлуатації, через особливість формування деяких забруднень [1 – 4].

Літературний аналіз використовуваних методів очищення підшипників кочення. Як показали результати ряду досліджень, проведених колективом авторів науково-дослідної лабораторії Нанотриботехнологій Національного авіаційного університету та іншими дослідниками за піднятою проблематикою [1 – 7], використання джерела імпульсного змінного магнітного поля в пристроях очищення дозволяє ефективно видаляти забруднення металічної природи, а також неметалеві та органічні частинки, які не характеризуються високою щільністю та ступенем адгезії. Для проведення ефективного очищення нових підшипників кочення, що надходять від виробників, цього зазвичай цілком достатньо. Але при діагностуванні та відновленні підшипників кочення, що були в експлуатації, коли забруднення мають дещо складнішу природу (наприклад забруднення мають природу старих полімеризованих мастильних матеріалів, коксованих продуктів змащення та консервації, щільних забруднень утворених органічними матеріалами та металічними включеннями) висвітлений вище метод є ефективним, зазвичай, при комплексному поєднанні з ультразвуком.

Постановка завдань дослідження. На основі практичного досвіду та літературного аналізу запропонувати новий ефективний метод очищення підшипників кочення від різного роду забруднень.

Викладення основного матеріалу статті. Магнітно-турбулентний метод очищення, що базується на впливі змінного магнітного поля та турбулентного потоку на забруднені поверхні підшипників кочення, виконує своє призначення за рахунок безконтактного обертання об'єкта очищення та ефективного «розрихлення» й видалення забруднень з робочих поверхонь підшипників. Особливо цей метод є актуальним для очищення мініатюрних та прецизійних

шарикопідшипників. Проте, для забезпечення ефективного очищення підшипників, його буває недостатньо.

Щоб забезпечити необхідну якість очищення мікропідшипників кочення для прецизійних механічних систем авіакосмічної й іншої техніки цивільного та військового призначення на ремонтному виробництві, потрібен новий ефективний метод, що буде включати крім імпульсного магнітно-турбулентного методу ще й технологію зменшення щільності наявних забруднень.

Основні недоліки імпульсного магнітно-турбулентного методу очищення можуть бути компенсовані послідовним використанням додаткового способу очищення, що дозволить ефективно «розрихлити» (зменшити щільність) та подолати адгезійну складову ряду найбільш складних та твердих експлуатаційних забруднень.

В якості такого способу можна використовувати ультразвукове очищення, що за результатами лабораторних досліджень показало значну ефективність, що суттєво перевершує за якістю інші існуючі методи [4 – 5]. На сьогоднішній день цей метод знайшов найбільше поширення для очищення підшипників кочення, як при їх виробництві, так і при відновленні в міжексплуатаційний (ремонтний) період. Його принцип дії полягає в створенні в миючій рідині ультразвукових коливань, які призводять до виникнення кавітації на робочих поверхнях, що підлягають очищенню. Обмеження за розмірами деталей, що піддають очищенню в даному випадку не є суттєвим. Виявлені в процесі використання даного способу очищення труднощі – забезпечення ефективного відводу забруднень з зони дії джерела, при комбінуванні з імпульсним магнітно-турбулентним методом, вирішуються організацією гідродинамічної течії за рахунок безконтактного (примусового) обертання вільного кільця шарикопідшипників. Проблемою вищенаведеного способу є також перекривання (затінення) значної частини робочих поверхонь деталей підшипника від ефектної дії ультразвукових коливань конструктивно. При примусовому безконтактному обертанні елементів підшипника [8], вектору дії ультразвуку є однонаправленим, що призводить до значної анізотропії його поширення в миючому середовищі.

Таким чином, як показав досвід висвітлених досліджень, для ефективного видалення різного роду забруднень з металевих поверхонь складових шарикопідшипників доцільно використовувати комбіновані методи, що базуються на використанні імпульсного магнітно-турбулентного методу доповненого ультразвуковими випромінювачами [9 – 11].

Серед переваг такої комбінації є достатньо невелика ціна обладнання та комплектуючих, його поширеність на ринку та великий вибір випромінювачів ультразвуку, з широким діапазоном технічних характеристик та потужностей. Такий комплекс є відносно простим у реалізації. При цьому, правильний підбір параметрів випромінювача, за рахунок виникнення кавітаційних процесів в миючій рідині, дозволяє без кавітаційного пошкодження елементів конструкції підшипника ефективно порушити адгезію та міцність найбільш складних забруднень [5 – 6].

Метод довів свою ефективність навіть при очищенні органічних утворень (таких як нагар, коксовані мастила та лакові відкладення), що найбільш важко видаляються, оскільки вони утворюються під температурним впливом на паливо-мастильні матеріали. При цьому в багатьох наукових джерелах [7, 12 – 13] вказано, що ефективність цього методу напряму залежить від потужності випромінювача та частоти коливань.

Основними факторами, які впливають на результат та продуктивність очищення є частота випромінювача, його потужність, температура середовища та сумісність миючої рідини з матеріалами об'єкту очищення [7, 13].

Головним елементом пристрою є ультразвуковий генератор з перетворювачем, що формує електричні коливання із частотою ультразвукового діапазону та глибокою (до 90%) амплітудною модуляцією (50 – 100 Гц і більше). Випромінювач перетворює електричні ультразвукові коливання на механічні.

При випромінюванні потужного ультразвуку в рідину, в останній виникають кавітація та акустичні течії, що відіграють велику роль при очищенні. Вони виникають внаслідок поглинання ультразвукової хвилі середовищем. При цьому імпульс коливань окремих частинок в хвилі, що поширюється, переходить в імпульс спрямованого руху струменя потоку як єдиного цілого. При такій ультразвуковій очистці, акустичні течії сприяють виносу частинок забруднення з області, що очищається, інтенсифікують хімічну взаємодію миючого середовища з поверхнею за рахунок

посилення циркуляції в приграничній області. Крім того, вони доставляють активні кавітаційні бульбашки до ділянок поверхні, що очищається.

Сучасні промислові джерела ультразвуку здатні формувати ультразвукову хвилю в миючому середовищі з частотою від 25 кГц. Але на практиці сучасних технологій ультразвукового очищення найчастіше застосовується ультразвук низьких частот – від 16 до 45 кГц.

Визначення оптимальної необхідної частоти є однією з основних задач, що забезпечує ефективність роботи пристрою. Відповідно до літературних джерел [6, 12 – 13]:

- частоти 20-30 кГц сприяють швидкому розчиненню поверхневих забруднень та не викликають пошкодження виробів;
- наднизькі частоти (менше 20 кГц) можуть призводити до руйнування об'єкту очищення;
- для більшості процесів очищення кращою є частота діапазону від 35 до 45 кГц. Частоти в цьому діапазоні найчастіше забезпечують найбільш швидке та ефективне розчинення забруднень, особливо в пазах та порожнинах;
- більш високі частоти значно менш ефективні.

На сьогодні існують наступні типи промислових ультразвукових приладів для очищення:

- одночастотні (генерують ультразвук лише однієї частоти, зазвичай 35-40 кГц);
- багаточастотні;
- з «плаваючою» частотою (з плавною зміною частоти в певному діапазоні).

Перевагами багаточастотних пристроїв та систем очищення є те, що в об'ємі миючого середовища не утворюється «мертві» зони у вузлах інтерференції. Тому багаточастотні системи дозволяють розташовувати об'єкт очищення практично в будь-якій зоні ванни та проводити очищення більш ефективно у складноконтурних моделях. За результатами аналізу літературних джерел встановлено, що частота 35-40 кГц є оптимальною для видалення більшості видів забруднень:

- плівкових забруднень;
- масляних забруднень;
- нагарних забруднень;
- продуктів корозії;
- консервуючих та захисних покриттів;
- солевих забруднень.

Багаточастотні системи очищення найчастіше здатні виробляти дві різні частоти ультразвуку. Наприклад, обладнання фірми Elma Hans Schmidbauer GmbH & Co KG (Німеччина) працює в діапазоні частот – 25/45 кГц для грубого та тонкого очищення відповідно. Також існують варіанти багаточастотних версій 35/130 кГц та 25/45 кГц, де дві пари частот дозволяють виконувати тонке та грубе очищення плюс очищення ультразвуковим потоком без кавітації.

Не менш важливим за робочу частоту є потужність ультразвукового випромінювача. Шляхом порівняльних лабораторних досліджень встановлено, що чим більшим буде об'єм ванни, тим вищою має бути його потужність. Це особливо важливо для забруднень з великою щільністю та міцністю плівок. При недостатній потужності такі забруднення не можуть будуть ефективно видалені з робочих поверхонь елементів конструкції ні під впливом температури, ні під впливом поверхнево активних речовин через недостатній об'єм кавітації.

В результаті аналізу літературних джерел та розрахунків визначено бажане співвідношення потужності – близько 40 Вт на 1 л корисного об'єму ванни.

В деяких випадках є сенс мати можливість регулювати потужність:

- для очищення предметів із різнорідними поверхнями. В цьому випадку зазвичай орієнтуються за найменш міцним компонентом;
- для промивання конструкцій, що містять елементи, виконані з крихких матеріалів: деяких пластиків, тонкого металу, кераміки, гуми;
- для випадків, коли необхідно підбирати потужність відповідно до цілей.

В якості миючого середовища можна використовувати розчинники або спеціалізовані склади поверхнево-активних речовин. В сучасній літературі найчастіше рекомендують використовувати водні суміші та розчини, як максимально безпечні при достатній ефективності.

При цьому категорично забороняється використовувати горючі речовини чи розчини з низькою температурою спалаху через можливість спалаху від енергії, що вивільняється при кавітації і перетворюється на теплову чи кінетичну енергію, генеруючи високотемпературні градієнти в розчині. Також не бажано використовувати кислоти.

Таким чином, для очищення мініатюрних підшипників кочення на відновлювальному виробництві, навіть допустимо термічно навантажених в процесі попередньої роботи підшипників, підвищення ефективності використовуваного імпульсного магнітно-турбулентного методу шляхом доукомплектування його ультразвуковою складовою є дуже перспективним. При цьому, стосовно існуючих ультразвукових методів очищення підшипників, як самостійних методів очищення, варто зауважити, що основним недоліком їх є недостатня ефективність видалення забруднень через складність конструкції підшипників та велику кількість перекритих «затінених» робочих поверхонь, що не сприяють нормальному доступу ультразвукових хвиль. Також, ультразвукові методи очищення не мають високої ефективності при очищенні металевих забруднень на робочих поверхнях підшипників, що утримуються за рахунок магнітної складової [1 – 2]. Проте використання ультразвукових хвиль дозволить подолати адгезію та ефективно зруйнувати навіть найміцніші та найскладніші плівки забруднень, тоді як магнітна складова імпульсного магнітно-турбулентного методу ефективно виведе з підшипника металеві складові забруднень. Примусове обертання з турбулізацією потоків миючої рідини забезпечить максимальний доступ до робочих поверхонь та ефективне видалення з об'єкту очищення забруднень.

Висновки.

1. Використання лише імпульсного магнітно-турбулентного методу для якісного видалення експлуатаційних забруднень з мініатюрних підшипників кочення для прецизійних механічних систем авіакосмічної та іншої техніки цивільного та військового призначення на ремонтному виробництві недостатньо.

2. Найбільш раціональним шляхом підвищення якості очищення, враховуючи особливості експлуатаційних забруднень, є використання імпульсного магнітно-турбулентного методу та додаткового джерела, що буде генерувати можливість ефективного розрихлення найбільш складних експлуатаційних забруднень.

3. Використання імпульсного магнітно-турбулентного методу, доповненого ультразвуковим випромінювачем з певними характеристиками, дозволить ефективно видаляти найбільш складні експлуатаційні забруднення мініатюрних підшипників кочення. Примусове обертання, під час очищення, буде сприяти ефективному проникненню ультразвуку та запобігати ефекту екранування робочих поверхонь елементами конструкції, що є основною перешкодою ефективного очищення робочих поверхонь шарикопідшипників при статичному способі в ультразвукових ваннах.

Список літературних посилань.

1. Аксьонов О. Ф., Стельмах О.У., Костюнік Р. Є., Куцев О. В. Електромагнітна складова утворення феромагнітних забруднень // Проблеми тертя та зношування: Науково-технічний збірник. – К.: НАУ 2006. – Вип.46. – С. 91 – 102.

2. Аксьонов О. Ф., Костюнік Р. Є., Куцев О. В. Підвищення функціональної якості підшипників кочення шляхом електромагнітного очищення // Проблеми тертя та зношування: Науково-технічний збірник. – К.: НАУ 2008. – Вип.49. – Т. 1. С.9 – 13.

3. Куцев А.В., Шевченко Р.А., Коба В.П., Ковальчук Е.Г. Физика процесса бесконтактной магнитно-турбулентной очистки подшипников качения // Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми хімотології» – Одеса.: 2012. – С.217 – 221.

4. Ультразвуковая мойка, очистка и обеззараживание металлических и пластмассовых деталей. / Тематич. Подборка/. Рига, - 1971. – 26 с.

5. Fuchs F.J. Ultrasonic Cleaning: Fundamental Theory and Application / F.J. Fuchs. — 1995.

6. Weller R.N. Efficacy of ultrasonic cleaning / R.N. Weller, J.M. Brady, W.E. Bernier // Journal of Endodontic. — 2013. — 6(9). — p. 740-743.

7. Mason T.J. Ultrasonic cleaning: an historical perspective / T.J. Mason // Ultrasonics Sonochemistry. — 2016. — 29. — p. 519-523.

-
8. Павлище В.Т. Підшипники кочення: основні параметри конструкції опор змащування, ущільнення та розрахунку ресурсу. Довідник / В.Т. Павлище. – 2 вид. доп. – Львів, 2001. – 145 с.
 9. Авер'янов В. С., Коробочка О. М. Використання безкамерної фільтрувальної установки для очищення рідин на автотранспортних підприємствах./ Наукові праці. Техногенна безпека Випуск 191. Том 203 Миколаїв 2012 С.17-20
 - 10.Зубенко С.О. Очищення трансформаторної оливи контактним методом із застосуванням кавітації / С. О. Зубенко, Є. В. Полункін // Катализ и нефтехимия. - 2012. - № 21. - С. 170.
 - 11.Авер'янов В.С. Використання безкамерної фільтрувальної установки для очищення рідин на автотранспортних підприємствах / В. С. Авер'янов, О. М. Коробочка // Наукові праці [Чорноморського державного університету імені Петра Могили]. Сер.:Техногенна безпека. - 2012. - Т. 203, Вип. 191. - С. 17-20.
 - 12.Vetrimurugan M.G. Experimental Investigation of Ultrasonic and Megasonic Frequency on Cleaning of Various Disk Drive Components / M.G. Vetrimurugan, S. Terry Lim, J.S. Nagarajan // International Journal of Chemical Engineering and Applications. — 2013. — 4(4). — p. 174-177
 - 13.Verhaagen B. Measuring cavitation and its cleaning effect / B. Verhaagen, D.F. Rivas // Ultrasonics Sonochemistry. — 2016. — 29. — p. 619-628.