

УДК 621.891

¹А. М. Овсянкін, канд. техн. наук, доц.,
¹В. Ф. Лабунець, канд. техн. наук, проф.,
²Є. В. Корбут, канд. техн. наук, доц.,
¹О. С. Супрунович, асп.,
¹О. А. Городиський, студ.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ

¹Національний авіаційний університет

²Національний технічний університет «КПІ»

Розглянуто можливість застосування методів та засобів неруйнівного контролю для діагностики трибоспрямжень. Подано результати дослідження впливу структурних змін, що відбуваються в матеріалі в умовах тертя, на інформаційні параметри засобів діагностики. Зазначено можливість та перспективність подальшого розроблення і впровадження досліджуваних методик.

Загальна постановка проблеми та її зв'язок з науково практичними завданнями. Вирішення завдань забезпечення і підвищення надійності та довговічності конструкцій, що працюють в умовах контактної взаємодії, пов'язано з вивченням процесів та змін структурно-фазових характеристик матеріалів трибосистем у поверхневих шарах та з оцінюванням стану вузлів тертя різними методами.

Вирішувати поставлені завдання покликана трибологічна діагностика, що є сукупністю засобів і методів безперервного контролю стану фрикційних характеристик рухомих сполучень. Трибодіагностика дозволяє проводити моніторинг та контролювати вузол тертя в працюючому пристрої або під час його технічного обслуговування. Найбільш поширеними методами діагностичного аналізу є поточний контроль робочих параметрів (температура, тиск, потужність та ін.) та дослідження продуктів зношування, а моніторингу – дослідження стану робочих поверхонь вузлів тертя.

Трибодіагностика передбачає виконання замірів механічних, оптичних, пневматичних, електричних, віброакустичних та інших характеристик. Набувають розвитку також спеціальні способи ана-

лізу: ультразвукові, проникального опромінення, голографії, термографії, акустичної та екзоелектронної емісії.

Для адекватного описання процесів, що відбуваються у вузлах тертя, необхідні методи, які мають достатню чутливість до змін основних характеристик триботехнічних матеріалів.

У зв'язку з цим тепер різко зростає інтерес до використання у дослідженні трибосистем фізичних методів неруйнівного контролю. Найбільш поширеними для виконання контролю вважають акустичні, електричні й електромагнітні методи, оскільки їх інформативні сигнали найбільше відображають деформації і порушення матеріалів у разі навантажень різних типів. Сучасні засоби, що реалізують ці методи, мають вбудовані мікропроцесори і відповідають вимогам досить високої чутливості. Для конкретних завдань дослідження конструкцій з контактною взаємодією необхідно обґрунтувати і експериментально обрати оптимальні методи і засоби оцінювання процесів взаємодії залежно від матеріалів конструкцій і умов їх роботи.

Огляд публікацій і аналіз невирішених проблем. Трибодіагностику вузлів тертя проводять у двох основних напрямках: діагностику за станом робочих поверхонь деталей тертя та діагностику за продуктами зношування. Обидва напрями потребують використання великої кількості електрофізичних методів дослідження, які можна класифікувати (див. рисунок).

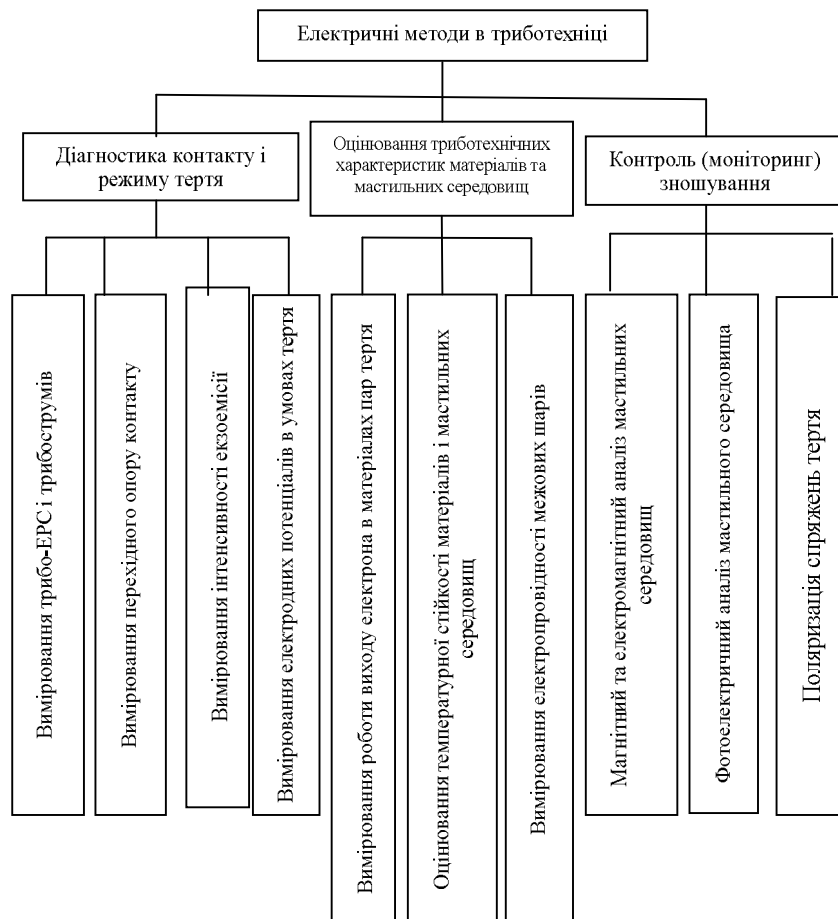
Більшість матеріалів, що застосовуються в авіації та машинобудуванні, виготовлені з конструкційних залізобетонних сплавів та легких сплавів, до яких слід віднести титан, магній та алюміній.

У численних працях зазначається можливість застосування методів неруйнівного контролю для діагностики трибоспряжень [3–7].

Контроль і діагностика вузлів тертя пов'язані з використанням двох основних груп методів – групи методів, що ґрунтуються на реєстрації збурень, що виникають у фрикційному контакті (наприклад, електричної природи), та групи методів, пов'язаних з використанням зовнішніх полів і сигналів від відповідних джерел з подальшим оцінюванням їх характеристик [3]. Також використовують методи оцінювання властивостей мастильних матеріалів, наявних у зоні контакту [4].

Відоме використання характеристик акустичної емісії, що виникає в процесі тертя, для аналізу процесів контактної взаємодії. Метод акустичної емісії пов'язаний з використанням досить склад-

них систем для обробки сигналів і реалізується тільки в умовах навантаження пар тертя [5].



Класифікація електрофізичних методів, що використовують у триботехніці

Для порівняльної оцінки структурних змін у поверхневому шарі матеріалу внаслідок тертя використовують метод трибоспектрального аналізу, що дозволяє ідентифікувати поверхневий шар і працездатність пар тертя [6]. Недоліком методу є необхідність механічної дії на поверхню і можливе її деформування в процесі вимірювання характеристик.

Поширення найбільш для оцінювання стану трибосистем отримали електрофізичні методи [7].

Для вивчення процесів тертя досліджуються явища екзоелектронної емісії, емісії електронів великих енергій, термоелектричний, електропластичний і електроакустичний ефекти, а також електрокінетичні процеси та магнітні явища. Ці явища пов'язані з процесами структурно-фазових перетворень поверхневих шарів контактних елементів за контактних взаємодій. Ступінь розвитку і інтенсивність процесів залежать від властивостей матеріалів і температурного режиму тертя [8]. Так, наприклад, в умовах тертя аустенітних чавунів виявлено перетворення аустеніту в мартенсит. У разі виникнення частинок нової фази в матеріалі розвиваються здвигові процеси, внутрішні напруження і спричиненні ними спотворення ґратки, зародження дислокацій і зернограничне ковзання. Із структурними і хімічними перетвореннями в поверхневих шарах твердих тіл у наслідок тертя пов'язано явище екзоелектронної емісії, що характеризується випромінюванням електронів і виникає після збудження поверхні.

Після зупинення дії джерела збудження і стабілізації властивостей поверхні екзоелектронна емісія загасає, при цьому швидкість загасання залежить від навколишніх умов.

Контакт твердих тіл у статичному стані дають змогу з використанням зовнішніх джерел електричного сигналу, наприклад електричного опору контакту [9].

Під час електричного діагностування поверхонь контакту в динаміці визначають електропровідність мастильного шару і таким чином визначають режим тертя.

У зоні контакту на поверхнях тертя можуть виникати електричні збурення, які визначаються появою різниці потенціалів, що також можна використовувати для оцінювання стану контакту. Це явище відомо як трибо-ЕРС.

Для більш повного уявлення про процеси в парах тертя необхідно вивчати трибохімічні і трибоелектричні характеристики як модифікованих поверхневих шарів матеріалів, так і покриттів на поверхнях деталей, що зумовлено з дослідженням змін їх структурних характеристик і фізичних властивостей.

Актуальним є завдання обрати для досліджень оптимальний метод неруйнівного контролю, який з урахуванням його чутливості

до змін структурних характеристик конкретного матеріалу, буде найбільш інформативним для певної пари тертя. Так, для оцінювання характеристик магнітних матеріалів з різними покриттями можна використовувати магнітні методи, зокрема методи магнітної товщинометрії, акустичні методи структуроскопії.

Мета роботи – проаналізувати можливості застосування методів неруйнівного контролю для діагностики вузлів тертя та встановити вплив зміни структурно-фазових характеристик матеріалів пар тертя на інформативні параметри методів контролю.

Методика досліджень. Вибираючи методи дослідження, необхідно враховувати природу матеріалу – магнітний або немагнітний, металевий або неметалевий, з високою або низькою електропровідністю.

У роботі розглядалось питання вивчення процесів тертя методом вихрострумowego вимірювання електропровідності поверхневих шарів пар тертя з немагнітних матеріалів і методом магнітної товщинометрії магнітних матеріалів з використанням сучасних засобів неруйнівного контролю [10].

Під час контактної взаємодії фрикційних елементів відбуваються процеси структурно-фазових перетворень [8], з якими пов'язані зміни електропровідності електропровідного матеріалу і деяких його магнітних властивостей.

Сучасні методи і використання для їх реалізації високочутливих засобів дозволяють визначити відповідні характеристики і їх зміни з досить високою точністю. Так, вихрострумовим методом можна вимірювати питому електропровідність поверхневого шару на основі взаємозв'язку щільності вихрових струмів у матеріалі із значенням його електропровідності згідно з відомою залежністю [5].

Якщо матеріал немагнітний, в ньому немає несучільностей і частота збудження вихрострумowego перетворювача постійна, тоді густина вихрових струмів на глибині для немагнітного матеріалу, що визначає сигнал вихроструменевого перетворювача, буде залежати тільки від питомої електричної провідності, зміни якої для матеріалу з одним хімічним складом пов'язані зі зміною довжини вільного пробігу електронів провідності.

Необхідно врахувати, що в процесі деформування матеріалу його питома електрична провідність змінюється внаслідок збільшення кількості центрів розсіювання електронів у кристалічній ґратці.

Для експериментальних досліджень у парах тертя були обрані немагнітні матеріали (сплав Д16) з покриттям на основі тугоплавкої карбідної сполуки WC-Co, що нанесена на поверхню методом газотермічного детонаційного напилювання. Цей тип покриття є електропровідним і використовується для захисту деталей машин від корозії і зносу. Випробування на тертя проводились за методикою, описаною в праці [11].

Для вимірювань використовували вихрострумний вимірювач електропровідності «Константа-5», що має діапазон вимірювань питомої електропровідності від 0,5 до 59 МСм/м з межею основної відносної похибки вимірювань 3%. Заздалегідь випробували зразки з різними товщинами покриття, які вимірювали для зони зразка без покриття, зони з покриттям без контактної дії і зони з покриттям після тертя (шлях тертя – 25 і 50 м).

Проводячи контроль феромагнітних матеріалів після механічної дії на його поверхню (поверхнєве зміцнення), ураховують можливість процесів змін магнітних властивостей поверхневого шару. Найбільш інформативним параметром, що характеризує ці зміни і який частіше використовують за неруйнівного контролю є коерцитивна сила [12].

У разі використання в парах тертя феромагнітних матеріалів із зносостійкими покриттями з немагнітних матеріалів потрібно вибирати інші інформативні параметри і методи магнітного неруйнівного контролю. Зважаючи на процеси зміни товщини поверхневого шару, магнітних властивостей матеріалу основи, що відбуваються під час взаємодії можна застосовувати індукційний метод магнітного контролю [5]. За умови попереднього налагодження індукційного товщиноміра на матеріал основи він забезпечує контроль товщини покриття з точністю до 0,1 мкм.

Для досліджень використовували магнітний товщиномір МТ-41/НЦ з діапазоном вимірювань товщин покриттів від 0,004 мм до 2,00 мм з трьома діапазонами вимірювань і граничнодопустимою похибкою не більше 0,1 мкм. Немагнітне покриття було нанесено на зразок з конструкційної сталі.

Результати дослідження і їх обговорення. Із результатів вимірювань питомої електропровідності випливає, що за малих значень товщини покриття питома електропровідність майже не змінюється, що може бути пояснено впливом основного матеріалу зразка, структура якого в умовах тертя теж майже не змінюється (табл.1).

Таблиця 1

Питома електропровідність покриттів

Зразок з товщиною покриття 0,1 мм				Зразок товщиною покриття 0,5 мм			
Зона без покриття	Зона з покриттям	Шлях тертя 25 м	Шлях тертя 50 м	Зона без покриття	Зона з покриттям	Шлях тертя 25 м	Шлях тертя 50 м
15,8	15,6	6,2	5,9	23,3	12,5	3,5	9,5
-	-	-	-	32	18,5	3,5	0,8

Але зі збільшеннями товщини покриття тертя змінює питому електричну провідність за більшого шляху тертя, що свідчить про структурні зміни в шарі покриття, які досить чутливо визначаються.

Повторні вимірювання на цих зразках через деякий час після випробовувань показали зміни значень питомої електропровідності, що узгоджується з даними, наведеними в праці [8], зі стабілізації властивостей поверхні після її збудження.

Результати вимірювань товщини покриття після різних значень шляху тертя методами магнітної товщинометрії наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Залежність товщини покриття від шляху тертя

Середня товщина покриття до тертя, мм	Середня товщина покриття після тертя	
	Шлях тертя 25 м	Шлях тертя 50 м
0,17	0,11	0,06

В результаті вимірювань маємо однозначне зменшення значення товщини покриття, що зумовлено реальною зміною товщини внаслідок зносу або ущільнення покриття. Також зміни можуть бути пов'язані зі змінами магнітних властивостей матеріалу основи, зумовленими контактною взаємодією. Під час вимірювання товщини покриття по поверхні зразка перед тертям в одній із зон зразка отримано аномальне значення товщини 0,42 мм, що спричинено відшаруванням покриття в цій зоні. Таким чином, метод магнітної товщинометрії можна також ефективно використовувати для оцінки якості з'єднання покриття з основою.

Висновки

1. Застосування фізичних методів неруйнівного контролю для оцінювання змін фізико-хімічних властивостей матеріалів пар тертя є одним із важливих напрямів дослідження процесів зношування.

2. Найбільш придатними методами неруйнівного контролю металевих матеріалів триботехніки можуть бути рекомендовані методи вихрострумової структуроскопії і магнітної товщинометрії.

3. Для конкретних варіантів контролю матеріалів під час контактної взаємодії необхідно визначати можливості обмеження щодо контролю і збереження його чутливості.

Список літератури

1. *Лабунец В.Ф.* Тенденції створення захисних структур триботехнічного призначення / В.Ф. Лабунец // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2006 – Вип.45. – С.107–118.

2. *Лабунец В.Ф.* Анализ причин потери работоспособности деталей трущихся узлов авиатехники и методы их восстановления / В.Ф. Лабунец, А.П. Кудрин, В.В. Жигинас, О.С. Супрунович, А.В. Мельник, В.А. Тит // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2009. – Вип. 51. – С.85–95.

3. *Овсянкин А.М.* Дефектология и обеспечение качества в производстве и эксплуатации авиационной техники: конспект лекций / А.М. Овсянкин, И.П. Білокур, В.В. Лубяный и др. К.: НАУ, 2001 – 148с.

4. *Маркова Л.В.* Основные тенденции разработок методов и встроенных устройств диагностики состояния трибо систем / Л.В. Маркова, М.С. Семенюк // Трение и знос. – 1996 (17), № 3. – С.365–370.

5. *Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий.* справ. в 2-х кн. / под ред. В.В. Ключева – М.: Машиностроение, 1986. – кн.2, –352 с.

6. *Хмелева Н.М.* Контроль работ по металлопокрытиям: учеб. – М.: Машиностроение, 1985, – 176 с.

7. *Свириденюк А.И.* Акустические и электрические методы в триботехнике/ А.И.Свириденюк, А.К.Моликин, Т.Ф.Калмакова, О.В. Холодилов; под ред. В. Л. Белого – М.: Наука и техника, 1987, –280 с.

8. *Ахматов А.С.* Молекулярная физика граничного трения. –Мн. Техника, 1963, – 472 с.

9. *Кончиц В. В., Мешков В. В., Мьшкин А. К.* Триботехника электрических контактов. –Мн. Техника, 1986, – 266 с.

10. *Сасько В.А.* Электромагнитная толщинометрия защитных покрытий металлических изделий / В.А. Сасько, П.В. Соломенчук, И.С. Пивоваров // Технология машиностроения. – 2009. – №2. – С.46–51.

11. *Лабунець В.Ф.* Износостойкость магниевых сплавов в условиях абразивного изнашивания / В.Ф. Лабунець, О.С. Супрунович, В.А. Тит // Проблемы тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2008. – Вип. 50. – С. 95–101.

12. *Біда Г.В.* Коерцитиметрия в неразрушающем контроле / Г.В.Біда, А.П. Ничипурук // Дефектоскопия. – 2000. – №10. – С.3–28.

УДК 621.891

Овсянкин А.М., Лабунец В.Ф., Корбут Е.В., Супрунович О.С., Городыский А.А. **Применение методов неразрушающего контроля для диагностики трибосопряжений** // Проблемы тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. – Вип. 52. – С.65–73.

Рассмотрена возможность применения методов неразрушающего контроля для диагностики трибосопряжений. Представлены результаты исследования влияния структурных изменений, которые происходят в материале при трении, на информативные параметры средств диагностики. Отмечено возможность и перспективность дальнейшей разработки и внедрения исследуемых методик.

Рис. 1, табл. 2, список лит. 12 назим.

Ovsyankin A.M., Labunets V.F., Korbut E.V., Suprunovich O.S., Gorodiskiy A.A. **Nondistructive control methods application for diagnostik of fricrion units**

Considered ability application of nondestructive control methods for diagnostic friction units. Shown investigation results of structure change influence, that proceed in the material under friction, on the informative parameters diagnostic tools. Note possibility and perspective further investigations and introduction researched methods.

Стаття надійшла до редакції 28.10.09.