

УДК 621.81: 621.753.2

І.Б. Кузнецов<sup>1</sup>, Б.Т. Кузнецов<sup>1</sup>, А.Б. Гаврилов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національна академія оборони України, Київ; <sup>2</sup>в/ч А0785

## ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТА РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ

*У даній статті узагальнюються результати досліджень авторів в області розвитку теорії енергетичного контролю тонких поверхневих шарів металевих виробів, розробки методів і засобів для їх реалізації, а також показано напрям практичного вирішення однієї з найважливіших науково-технічних проблем – підвищення достовірності оцінки технічного стану металевої поверхні виробів машинобудування у виробництві, експлуатації і при ремонті.*

**енергетичний метод контролю, металевий вироб, поверхневий шар**

### **Поягновка проблеми та аналіз літератури**

На сучасному етапі розвитку машинобудування, при певних обмеженнях, все частіше застосовується енергетичний метод виявлення стадії попереднього руйнування металевих поверхонь. Цей метод ґрунтується на використуванні ефекту низькотемпературної електронної емісії в локальних зонах металевої поверхні навантажених деталей і вузлів, які характеризуються високим рівнем структурно-фазової (с.-ф.) неоднорідності. Такий рівень с.-ф. неоднорідності свідчить про стадію попереднього руйнування. Об'єктом контролю є неоднорідність  $\gamma(t)$  на поверхні, що контролюється, яка характеризується певними параметрами  $\lambda(t)$  і має значення  $\alpha(t)$ . Запропонований комплекс діагностичної апаратури (КДА) реалізує принципово новий метод сенсорної діагностики металевої поверхні. Основний принцип дії комплексу полягає в підсиленні вимірювання фізичної величини  $\Delta_{\text{пп}}$ , тобто різницю по-

тенціалів між еталонним електродом нелінійного функціонального перетворювача (НФП) і досліджуваною поверхнею деталі (Д), вимірюванням цієї різниці з подальшою видачею отриманої інформації на екран ПЕОМ.

При аналізі матеріалів, які викладені у використаній літературі з позицій системного підходу, узагальненні уявлення про створення програмно-технічного КДА, який дозволив би вирішити такі завдання:

виявляти локальні зони металевої поверхні навантажених деталей і вузлів;

оцінювати характер напружено-деформованого стану деталей і вузлів без розбирання технічного пристрою;

визначати характер руйнуючих дій при розслідуванні причин руйнування;

прогнозувати адгезійну міцність покриттів, які наносяться на неоднорідну металеву поверхню із залишками оксидів і забруднень.

## Результати досліджень

Однією з областей використання КДА може бути його застосування при дефектоскопії навантажених деталей і вузлів авіаційної техніки (АТ) та ракетно-космічних систем багаторазового використання, що експлуатуються за технічним станом. Іншою областю використання може бути мікроелектроніка і технічні процеси в машинобудуванні при здійсненні напилення тонких металевих покриттів.

У мікроелектроніці і технології тонких металевих покриттів через фазові плівки залишкових адсорбованих забруднень відбувається зменшення адгезійної міцності напилених тонких плівок металів. У мікроелектроніці, крім того, є необхідність в оцінці структурної однорідності тонких металевих плівок, напилення на підкладки, наприклад, силіцидів тугоплавких металів після їх напилення на підкладки з алюмінію. Контроль с.-ф. однорідності необхідно здійснювати без руйнування на напилених металевих плівках завтовшки 0,1...5,0 мкм.

Для авіаремонтного виробництва у мережі Повітряних Сил України на основі викладених у попередніх статтях [1, 2] системи енергетичного контролю с.-ф. неоднорідності металеві поверхні розроблена методика контролю високонавантажених деталей – лопаток турбін авіаційних газотурбінних двигунів на відсутність перегріву.

Відповідно до існуючої загальноприйнятої методики, як мінімум дві лопатки, діаметрально протилежно встановлені в диск робочого колеса турбіни, піддаються руйнуванню при проведенні аналізу металографії. При отриманні негативних результатів, які вказують на наявність явищ перегріву матеріалу лопаток, контроль повторюється на подвоєній кількості лопаток. У разі повторення негативних результатів аналізу металографії на подвоєній кількості лопаток, всі лопатки диска турбіни двигуна, що перевіряється, бракуються. Вартість однієї лопатки турбіни складає в сучасному авіаційному газотурбінному двигуні від 270 до 380 грн. Відповідно мінімальна вартість контролю одного турбінного диска складає від 5580 до 8700 грн. з урахуванням вартості:

- оптико-візуального контролю із застосуванням електронного мікроскопа;
- виготовлення шліфів мікроструктури;
- подовження циклу ремонту;
- статичного і динамічного балансування диска з новими лопатками, встановленими в заміні зруйнованих при контролі за існуючою методикою;
- вартість нових лопаток, установлених замість зруйнованих при контролі за існуючою методикою;
- вартість складально-розбірних операцій.

Впровадження розробленої методики дозволить оцінити с.-ф. неоднорідності поверхні лопаток безпосередньо на робочому диску турбіни без його розбирання. Відповідно відпадає необхідність у проведенні контролю вартістю 5580÷8700 грн. на один двигун. З урахуванням значних об'ємів газотурбінних двигунів, що ремонтуються в Україні, може

бути досягнута значна економія. Вартість апаратури контролю для виявлення неоднорідності металеві поверхні не перевищує 15600 грн. Крім того, у разі помилкових результатів аналізу металографії, яка не забезпечує достовірного виявлення перегріву поверхні лопаток турбіни, у результаті льотної події може бути виведений з ладу авіаційний двигун, вартість якого неодноразово перевищує наведені вище суми. Вихід з ладу авіаційного двигуна у польоті може привести до аварії всього літального апарата або катастрофи, знищення вантажу, загибелі екіпажу і пасажирів, інших важких наслідків. Підвищення вірогідності виявлення неоднорідності досягається:

по-перше, тим, що на відміну від існуючої загальноприйнятої методики контролю лопаток на відсутність перегріву матеріалу, в якій руйнівним методом металографії перевіряються дві лопатки, діаметрально протилежно встановлені в диск робочого колеса турбіни. Контроль за допомогою КДА дозволяє перевіряти всі без винятку лопатки робочого колеса турбіни. Вибірковий руйнівний контроль двох лопаток не забезпечує необхідної достовірності через значні відмінності хімічного складу лопаток, виготовлених з різних партій плавок сплаву;

по-друге, тим, що при виготовленні шліфів мікроструктури для аналізу металографії перетин лопатки робиться в одному місці, яке може не збігатися із зоною найбільших с.-ф. неоднорідностей за довжиною вхідної кромки. При контролі за розробленою методикою визначається с.-ф. однорідність за всією довжиною вхідної кромки лопатки;

по-третє, тим, що с.-ф. неоднорідності, передуючі виникненню і розвитку небезпечних дефектів матеріалів лопаток турбін авіаційних газотурбінних двигунів, виникають і розвиваються в тонких поверхневих шарах, спостереження змін у яких при застосуванні оптико-візуального контролю перегріву залежить від кваліфікації особи, що здійснює контроль, оскільки метод аналізу металографії є суб'єктивним.

При контролі поверхні деталей АТ нелінійним функціональним перетворювачем КДА вимірювальний електрод (ВЕ) датчика встановлюється на поверхню, що має плоску ділянку розміром не менше 18 мм [2].

Контрольована поверхня Д може бути і не плоскою. У цьому випадку датчик НФП обладнується перехідним наконечником, що забезпечує при контролі постійну величину зазору ВЕ-Д.

Контрольована поверхня металеві деталі не повинна мати ніяких покриттів (лакофарбних, консервуючих, анодних, фосфатних, гідрофобних і т.і.), перешкоджаючих електричному контакту корпусу датчика з металом деталі.

Контрольована поверхня повинна бути знежиреною легколетким розчинником (наприклад, гексаном ТУ 6-09-3375-78). Застосування ацетону, бензину, спирту не виключає залишків жирових плівок, фазових плівок води.

Процес виявлення с.-ф. неоднорідностей за допомогою запропонованого КДА виконаний автома-

тизованим і реалізований у програмі, записаний на компакт-диску.

Виявлення с.-ф. неоднорідностей здійснюється шляхом зчитування цифрового масиву, що надходить з виходу перетворювача в процесі сканування, і подальшого встановлення відповідності між цифрою значення величини поверхневого потенціалу і градаціями кольорової гамми, відтворної на екрані дисплея ПЕОМ.

Виявлення неоднорідностей стає можливим, після того, як на екрані дисплея сформувалося кольорове зображення (рис. 2) розподілу потенціалів по поверхні металевої деталі.

Розподіл потенціалів по поверхні виявляється в процесі сканування НФП по поверхні оператором уручну або з використанням механічного пристрою, суміщеного з ПЕОМ. Траєкторія сканування по поверхні вибирається оператором відповідно до технологічної карти контролю.

Не дивлячись на те, що оператору потрібен час для виконання сканування, він має нагоду використовувати при формуванні рішення велику кількість інформації у вигляді кольорової гамми розподілу потенціалів на поверхні, що контролюється.

Блок-схеми процесу виявлення неоднорідності і вимірювання значень градієнта мікроефекції поверхневого шару металевих деталей представлені на рис. 1 і 3 відповідно.



Рис. 1. Блок-схема виявлення с.-ф. неоднорідності поверхневого шару металічних деталей

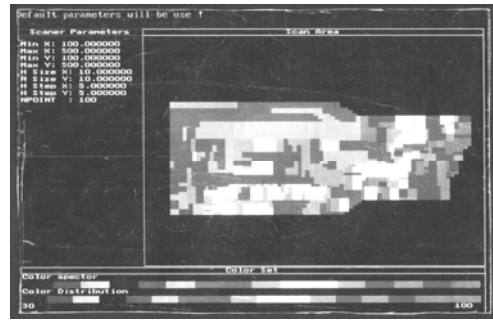


Рис. 2. Загальний вигляд розподілу потенціалів на поверхні металевої деталі



Рис. 3. Блок-схема вимірювання значень градієнта мікроефекції кристалічної решітки поверхневого шару

## Виявники

У статті показані шляхи технічної реалізації локальних вимірників с.-ф. неоднорідності металевої поверхні. Обґрунтовані принципи функціонування і структура блока вимірювання, блока обробки багатопараметричної інформації слідкуючих локальних вимірювачів с.-ф. неоднорідності, а також структура пристрою сполучення.

Сформульовані вимоги до функціональних можливостей ПЕОМ у складі людино-машинного комплексу обробки багатопараметричної інформації. Показаний принцип дії комплексу приладів і промислове застосування з виявлення аномальних с.-ф. неоднорідностей на поверхні металевих деталей і вузлів.

## Список літератури

- Кузнецов І.Б., Кузнецов Б.Т., Луштин І.С., Гаврилов А.Б. Контроль напружено-деформованого стану поверхневих шарів навантажених деталей промислового виробництва // Системи озброєння і військова техніка. – 2006. – № 1(5). – С. 44-50.
- Кузнецов І.Б., Кузнецов Б.Т., Ярошенко О.В., Гаврилов А.Б. Комплекс діагностичної апаратури для реалізації методу сенсорної діагностики металевої поверхні // Системи озброєння і військова техніка. – 2006. – Вип. 2(6). – С. 17-21.

Надійшла до редколегії 18.10.2006

Рецензент: канд. техн. наук проф. О.М. Сотніков, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.