

6. Borodachev N.M., Kazarinov Yu.I. Shevchenko O.A. Limiting state of construction elements with different kind of damages // *Advancas in fructure resistens in materials*. – New Delhi: Tata Mc Graw-Hill Publishing Co. Ltd. – 1996. – V.1. – P. 43–51.

7. Абрамовиц М., Стиган И. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. – 832 с.

Стаття надійшла до редакції 24.04.01.

УДК 621.7.9

ББК 624.4

В.В. Шевеля, В.І. Дворук, О.В. Радченко

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ МЕТАЛІВ ПОВЕРХНЕВИМ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

Розглянуто установку і методику визначення міцності з'єднання металопокриттів з основним металом. Запропоновано новий матеріал і конструкцію робочого інструмента для обробки деталей вигладжуванням. Показано доцільність застосування вигладжування замість полірування для підготовки поверхні під покриття.

У процесі експлуатації різних машин, механізмів і обладнання їх деталі взаємодіють з навколишнім середовищем – твердим, рідким або газовим. Результатом цієї взаємодії може бути значний знос, що призводить до зниження працездатності деталей, аж до втрати ними свого функціонального призначення.

Одним із найбільш ефективних конструктивно-технологічних напрямків підвищення зносостійкості є нанесення гальванічних і хімічних металопокриттів на поверхню деталей. Невід'ємною і суттєвою операцією всього технологічного процесу нанесення таких покриттів є підготовка поверхні деталі під покриття. Основна вимога високої якості покриття – міцність його з'єднання з основним металом – може бути задоволена за умов, сприятливих для утворення на основному металі великої кількості центрів кристалізації [1].

Необхідні умови забезпечуються в тому випадку, якщо поверхня основного металу має мінімальну шорсткість з однорідним розподілом нерівностей по розмірах, формі і розташуванню, а також вільна від сторонніх забруднень [2]. Для цього в технологічному процесі передбачене виконання полірувально-довідних операцій перед нанесенням покриття [3]. У процесі їх проведення поверхня забруднюється елементами довідних паст (абразивні, жирові продукти), наявність яких виявляється після доводки і ретельного промивання в мікропорах металу і западинах мікрорельєфу поверхонь. Це призводить до зниження міцності з'єднання з основою і поганої якості покриття. Тому є необхідність у пошуках технологічних шляхів, які дозволять уникнути зазначеного недоліку. Результати спеціального дослідження [2] показують, що одним із найбільш перспективних шляхів є обробка поверхні пластичним деформуванням перед нанесенням покриття замість абразивної доводки. Наприклад, заміна операції абразивної доводки алмазним вигладжуванням при підготовці латунного поршня під покриття хімічним нікелем дозволила підвищити міцність з'єднання покриття з основою на 21...31% при повній відсутності випадків його відшаровування і знизити шорсткість поверхні.

За основну характеристику якості електроосаджених і хімічних покриттів (хромування, насталування і хімічного нікелювання) взята міцність їх з'єднання з основою. Визначення цієї характеристики для тонких покриттів (товщиною до 50 мк) пов'язано з методичними труднощами [4]. У зв'язку з відсутністю надійних методик її оцінки і недоліками відомих нами створена спеціальна установка (рис. 1, а), яка складається зі станини, вузла кріплення і вузла навантаження зразка.

Станина 9 являє собою жорстку сталеву плиту, на якій розміщуються вузли кріплення 11 і навантаження 8 зразка. До вузла навантаження входить напрямна прямолінійного руху 7, повзун 2, ручка 3, мікрометр 1, шток 4 і силівимірювач 5, призначений для виміру навантаження, що діє на зразок. Силівимірювач 5 являє собою два паралельно розташованих на відстані 20 мм один від одного пружних елементи у формі балки рівного опору згину, що консольно кріпляться до торця штока.

По обидва боки пружних елементів наклеєні тензорезистори типу 2ПКБ-20-200ГБ за схемою моста Уїгстона. Поступальне переміщення силівимірювача 5 в прямому й оберненому напрямках забезпечується мікрометром 1 або ручкою 3.

У процесі випробувань навантаження, що діє на зразок, перетворюється в силу пружності пружного елемента силівимірювача, яка після перетворення в електричний сигнал і підсилення тензопідсилювачем 12 8АНЧ-7 реєструється міліамперметром 13.

Зразок виконується у формі пластини розміром 55×10×1 мм із нормалізованої сталі 45 із покриттям товщиною 10–20 мкм на великій грані.

Затягуванням гвинта мікрометра створюється навантаження на зразок доти, поки не з'являться перші частки відшарованого покриття, які контролюються мікроскопом 6 зі збільшенням 60. Навантаження, що відповідає цьому моменту, фіксується за показниками міліамперметра і береться за критичне $P_{кр}$.

При поперечному згині в поздовжніх перерізах зразка діють тільки дотичні напруження [6]. Тому відокремлення покриття від основного металу в даному випадку відбувається за рахунок дотичних напружень.

Для визначення дотичних напружень у поперечних перерізах зразка можна скористатися формулою Д.І. Журавського:

$$\tau_n = \frac{QS}{Ib} = \frac{6Q}{bh^2} \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right), \quad (1)$$

де τ_n – дотичне напруження в поперечному перерізі зразка; Q – поперечна сила; S – статичний момент площі відсіченої частини перерізу щодо нейтральної осі (рис. 1, б):

$$S = \frac{b}{2} \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right),$$

b – ширина зразка; h – товщина зразка; y – відстань від нейтральної осі до перерізу розділу покриття з основою; I – момент інерції перерізу щодо нейтральної осі.

За законом парності дотичних напружень можна записати:

$$\tau_n = -\tau, \quad (2)$$

де τ – дотичні напруження в поздовжньому перетині розділу покриття з основою.

З огляду на те, що для прийнятої схеми зразка

$$Q = -P_{кр}, \quad (3)$$

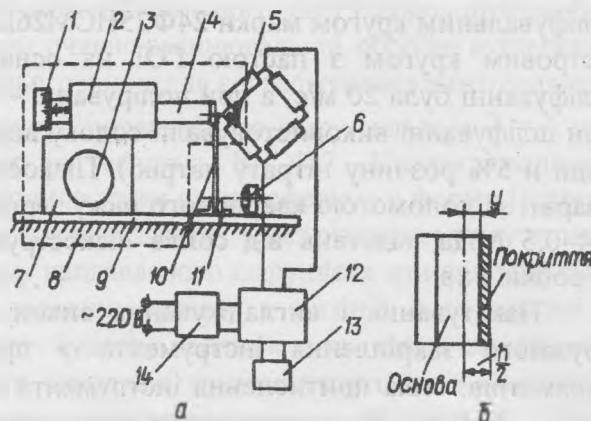


Рис. 1. Установка для визначення міцності з'єднання покриття з основним металом:
 а – принципова схема; б – кореневий переріз зразка;
 1 – мікрометр; 2 – повзун; 3 – ручка; 4 – шток; 5 – силівимірювач; 6 – мікроскоп; 7 – напрямна прямолінійного руху; 8 – вузол навантаження зразка; 9 – станина; 10 – зразок; 11 – вузол кріплення зразка; 12 – тензопідсилювач; 13 – міліамперметр; 14 – блок живлення

після підстановки рівнянь (2), (3) у формулу (1) одержимо остаточну формулу для визначення міцності з'єднання з основою:

$$\tau = \frac{6P_{\text{пр}}}{bh^2} \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right). \quad (4)$$

Перед нанесенням покриття проводилася підготовка поверхні зразка. Підготовчими операціями були шліфування, полірування, піскоструминна обробка, накатування і вигладжування роликком. Шліфування і полірування проводилося на плоскошліфувальному верстаті 3Г-71 за допомогою шліфувальних і полірувальних кругів. Спочатку користувалися шліфувальним кругом марки 24Ф25НСМ26К5 з білого електрокорунду, потім полірувальним фетровим кругом з пастою ГОІ на основі окису хрому. Колова швидкість кола при шліфуванні була 20 м/с, а при поліруванні – 30 м/с. Як змащувально-охолоджувальну рідину при шліфуванні використовували содову воду (суміш 1,5% водяного розчину кальцинованої соди и 5% розчину нітрату натрію). Піскоструминна обробка проводилася на спеціальному апараті за допомогою кварцового піску зернистістю 0,3 мм. Тиск стисненого повітря складав 0,4–0,5 МПа, відстань від сопла піскоструминного апарата до зразка 100 мм, тривалість обробки 1 хв.

Накатування і вигладжування виконувалося на токарному верстаті 1К62 способом пружного закріплення інструмента у пружинній державці конструкції [7] за таких параметрів: сила притиснення інструмента $P=1200$ Н, швидкість обробки $V=30$ м/с, подача $S=0,05$ мм/об. Як змащувально-охолоджувальну рідину використовували содову воду. Обробка здійснювалася за один прохід.

Робочим інструментом при накатуванні був ролик із сталі 40ХН, термооброблений до HRC58–62. Форма і розміри ролика (рис. 2, а) вибиралися згідно з рекомендаціями [8]. Аналогічні геометричні параметри мав ролик для вигладжування.

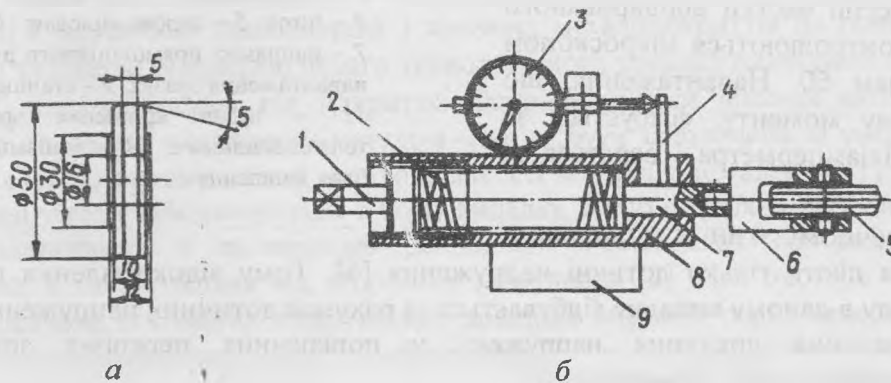


Рис. 2. Пристрій для обробки металів пластичним деформуванням:

а – ролик; б – принципова схема;

1 – регулювальний гвинт; 2 – пружина; 3 – індикатор; 4 – штовхач;

5 – ролик; 6 – роликова головка; 7 – шток; 8 – корпус; 9 – кронштейн

У практиці вигладжування найбільш розповсюдженими матеріалами для робочого інструмента є алмаз, балас, лейкосапфір і рубін. Унікальність фізико-механічних властивостей ставить ці матеріали поза конкуренцією з іншими, відомими на сьогоднішній день. Проте вони дорогі, дефіцитні і трудомісткі у виготовленні, через що неодноразово робилися спроби їхньої заміни.

Досвід застосування твердих титанокобальтових сплавів при обробці вигладжуванням незагартованих сталей і кольорових сплавів свідчить про те, що заміна алмазу більш дешевими і менш дефіцитними твердими сплавами можлива і доцільна в тому випадку, коли потенціал його фізико-механічних і технологічних властивостей виявляється надмірно надлишковим у порівнянні з властивостями оброблюваного матеріалу [9]. Крім твердих сплавів, вимогам до матеріалу

робочого інструмента задовольняють загартовані інструментальні сталі. Проте загальним недоліком всіх заміників алмазу є те, що вони значно поступаються останньому в стійкості. Наприклад, стійкість титанокобальтових сплавів у 10 разів нижча за стійкість алмазу [9]. Тому подальша перспектива і розширення області застосування заміників алмазу пов'язані з необхідністю підвищення їхньої стійкості, за рахунок як вишукування внутрішніх резервів існуючих матеріалів, так і створення нових. Великий інтерес викликають макрогетерогенні композити, що являють собою пряму систему Шарпі (тверді ізольовані частки + матриця). До них відносяться композити типу "зерна реліту – матриця на основі заліза". Ця композиція успішно застосовується для підвищення абразивної зносостійкості бурильного [10] і породоруйнівного інструмента [11;12]. Перевірка її працездатності при очисно-зміцнювальній обробці вуглецевих сталей дала позитивний результат [13]. На підставі цього ролик для вигладжування виготовляли зі сталі 3 і наплавляли зазначеним композитом. Товщина наплавленого шару складала $\delta = 5$ мм. Наплавлення плазмовим способом проводилося на верстаті УД-417. Наплавлювальним матеріалом був стрічковий реліт, в осердя якого входили зерна реліту сферичної форми і шихта, що містила розкиснювальні, легуючі і флюсоутворюючі інгредієнти. Через різницю між густиною зерен реліту і розплаву зв'язки верхня частина об'єму наплавленого шару після кристалізації була вільною від зерен реліту, які концентрувалися, головним чином, у нижній його частині в безпосередній близькості від основи [14]. Така будова наплавленого шару здешевлює виготовлення вигладжувача за рахунок значного зниження трудомісткості його механічної обробки. Роликова головка (рис. 2, б) дозволяє поворот вигладжувача навколо своєї осі.

Під час спрацьовування робочої поверхні, що знаходилася в безпосередньому контакті з оброблюваними деталями, вигладжувач повертався на осі на деякий кут і фіксувався в цьому положенні. Отже, вся робоча поверхня ролика використовувалася для вигладжування, чим досягалося значне збільшення його довговічності. Перешліфування вигладжувача проводилося тільки після спрацьовування всієї робочої поверхні, а не після спрацьовування в кожному з проміжних положень, чим значно знижувалася трудомісткість і вартість його механічної обробки.

Результати (див. таблицю) показують, що міцність з'єднання покриттів з основним металом залежить від виду його підготовчої обробки.

**Міцність з'єднання покриттів з основою
в залежності від засобів підготовки основи перед нанесенням покриття**

Засіб обробки	Шорсткість Ra, мкм	Міцність з'єднання покриттів з основою, МПа		
		Хромування	Насталювання	Нікелювання
Вигладжування	0,03–0,04	387	570	13,4
Накатування роликом із композита	0,03 – 0,04	363	546	11,7
Накатування сталевим роликом	0,04 – 0,05	325	500	11,1
Полірування	0,25 – 0,30	300	450	10
Шліфування	0,43 – 0,56	271	402	8,9
Піскоструминна обробка	3,5 – 4,3	237	364	8,2

Зі зменшенням шорсткості поверхні основи міцність з'єднання з нею досліджуваних покриттів збільшується. Це пояснюється сприятливими умовами для утворення великої кількості центрів кристалізації металу, що осаджується на гладкій поверхні [1]. Проте в зазначену констатацію не вписуються результати іспитів після накатування і вигладжування роликом із композита, коли незважаючи на однакову шорсткість поверхні основи міцність з'єднання з нею покриттів після вигладжування була на 8...10% вище.

Враховуючи несуттєві відмінності в кількості центрів кристалізації, такий результат можна пояснити їхньою більшою активністю (адсорбційною, енергетичною, хімічною і т.д.) і залежністю внаслідок дії тертя під час вигладжування [15].

Отже, міцність з'єднання гальванічних покриттів з основою визначається не тільки кількістю, але і активністю центрів кристалізації на ній.

Список літератури

1. Поветкин В.В., Ковенский И.М. Структура электромагнитных покрытий. – М.: Металлургия, 1989. – 136 с.
2. Горохов В.А. Обработка деталей пластическим деформированием. – К.: Техніка, 1978. – 192 с.
3. Лайнер В.И. Защитные покрытия металлов. – М.: Металлургия, 1974. – 559 с.
4. Эштейн А.А., Фрейдлин А.С. Восстановление деталей машин холодным гальваническим железнением. – К.: Техніка, 1981. – 119 с.
5. Микуляк О.В., Панарин В.Е., Бондарь А.И. Устройство для определения адгезионной прочности тонких покрытий//Проблемы трения и изнашивания. – К.: Техніка, 1991. – Вып. 39. – С. 39–41.
6. Степин П.А. Сопротивление материалов. – М.: Высш. шк., 1973. – 328 с.
7. Чекин Г.И. Алмазное выглаживание закаленных сталей//Вестн. машиностроения. – 1965. – № 8. – С. 25–31.
8. Олейник Н.В., Кычин В.П., Луговской А.Л. Поверхностное динамическое упрочнение деталей машин. – К.: Техніка, 1984. – 151 с.
9. Горбило В.М. Алмазное выглаживание. – М.: Машиностроение, 1972. – 105 с.
10. Дворук В.И. Научные основы повышения абразивной износостойкости деталей машин. – К.: КМУГА, 1997. – 101 с.
11. Мархасин Э.М., Шрейбер Г.К. Поверхностное упрочнение деталей нефтяного оборудования и инструмента. – М.: Гос. науч. техн. изд-во нефтяной и горно-топливной лит., 1959. – 180 с.
12. Стойкость буровых долот/ Н.А. Жидовцев, К.Б. Кацов, Г.В. Карпенко и др. – К.: Наук. думка, 1979. – 244 с.
13. Шевеля В.В., Дворук В.И., Радченко А.В. Моделирование абразивной трибоочистки металлических поверхностей//Вісн. КМУЦА. – 2000. – № 1–2. – С. 65–70.
14. Обеспечение триботехнических свойств композиционных материалов при абразивном изнашивании/ В.В. Шевеля, В.И. Дворук, В.Е. Довжок и др. //Проблеми трибології. – 2000. – № 1(13). – С. 67–72.
15. Поверхностная прочность материалов при трении/ Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, А.К. Караулов и др. – К.: Техніка, 1976. – 296 с.

Стаття надійшла до редакції 19.03.01.

УДК 629.735.036.3.083(045)

О.А. Тамаргазін, С.М. Осадчий, Хаммуд Нізар

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ У ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА БАЗІ ГРАФ-МОДЕЛЕЙ

Розглянуто основні принципи, покладені в розробку програмного і математичного забезпечення системи оцінки технічного стану авіаційної техніки з використанням теорії графів.

Використання граф-моделей авіаційної техніки при моделюванні й оптимізації набору діагностичних параметрів авіаційних газотурбінних двигунів, який покриває множину ймовірних дефектів об'єкта діагностування, у поєднанні з можливостями алгебричних методів розпізнавання дозволяють реалізувати автоматизовану систему діагностичного супроводу сучасних авіаційних двигунів в експлуатації. Ця система дозволяє створювати системи збору, збереження й обробки діагностичної інформації, банків даних, оптимізовані з позиції розпізнавання за типами двигунів і які задовольняють вимогам алгоритмів діагностування. Це створює передумови для розпізнавання поточних станів авіаційних двигунів на базі єдиної технології обробки інформації й суттєво сприяє розвитку системи технічної експлуатації авіаційної техніки за станом.

Узагальнена схема запропонованого програмного комплексу наведена на рис. 1, а структура програмного забезпечення – на рис. 2.