

Пошук шляхів забезпечення працездатності різального інструменту для механічного оброблення титанових сплавів

Бандура В.С., Паньков Р.В.

науковий керівник: Лабунець В.Ф.

Кафедра машинознавства Навчально-науковий Аерокосмічний інститут,
Національний авіаційний університет,
Київ, Україна
nau12@ukr.net

Анотація — розглянуті шляхи підвищення стійкості різального інструменту для механічного оброблення титанових сплавів. Установлено, що нанесення на робочі поверхні різального інструменту біосульфідних плівок значно підвищує його працездатність.

Ключові слова — *різальний інструмент, працездатність, титановий сплав, припрацювання.*

I. ВСТУП

Створення і застосування постійноускладнюючих систем з урахуванням сучасних знань в області тертя, зношування та мащення дозволяє вирішити комплекс актуальних задач, які виникають в різних сферах діяльності суспільства в багатьох галузях народного господарства, і насамперед в машинобудуванні. Підвищення якості випускаємої продукції машинобудування нерозривно пов'язане з застосуванням нових конструкційних матеріалів, які володіють підвищеними фізико-механічними та експлуатаційними властивостями, що гальмує розширення області застосування таких матеріалів і, зокрема, титанових сплавів, являється працездатність їх обробки, пов'язаною з невеликою стійкістю різального інструменту. В зв'язку з цим дослідження, які направлені на підвищення працездатності інструменту являються актуальними.

II. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Забезпечення швидких темпів зростання машинобудування невідомо пов'язано з інтенсифікацією процесів механічного оброблення матеріалів різанням, а це неможливо без підвищення конструкційної міцності, зносостійкості та працездатності різального інструменту. В той самий час актуальним є зменшення собівартості продукції, що випускається, а також зниження витрат на виготовлення різального інструменту з дефіцитних сталей, композитів та твердих сплавів.

На сьогодні дослідження з метою забезпечення працездатності різального інструменту проводяться у двох напрямках: 1) створення нових інструментальних матеріалів; 2) нанесення різноманітних зносостійких покриттів на традиційні інструментальні матеріали, а

саме: швидкорізальні сталі і тверді сплави. Перспективним методом підвищення зносостійкості різального інструменту є модифікування його поверхневого шару біомінералізацією.

III. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Сутність біомінералізації поверхонь тертя полягає у наступному. За допомогою сульфатредуруючих бактерій у біоплівках створюються сульфідні мінеральні покриття на металах та їх сплавах при нормальних температурах у водневому розчині, так як бактерії прискорюють хімічні реакції у мільярди раз [1]. У сучасному розумінні біоплівки – це складна гетерогенна структура, яка здатна до самоорганізації. При цьому відбувається інтенсивна біогеохімічна робота, результатом якої є біомінералізація. За рахунок останньої бактерії модифікують своє локальне мікрооточення. Створюючи покриття на поверхні сплавів біоплівки можуть забезпечувати працездатність трибосистеми шляхом модифікування їх поверхонь за допомогою мінералів у вигляді наночастинок сульфідів, елементної сірки та ін. Триботехнічні характеристики модифікованих поверхонь швидкорізальної сталі Р6М5 визначали на комп'ютеризованому випробувально-вимірювальному комплексі Національного авіаційного університету.

Дослідження модифікованої сталі Р6М5 в умовах тертя ковзання показали, що біоплівки підвищують її зносостійкість у 1,8-2,6 рази.

IV. ВИСНОВКИ

Таким чином, забезпечення працездатності різального інструменту може бути реалізовано формуванням на його робочих поверхнях антифрикційних сірковмісних біоплівок, що є перспективним з позиції енергозбереження, так як технологія проста, доступна і не потребує значних матеріальних витрат. .

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Трибологія: підручник / М.В. Кіндрачук, В.Ф. Лабунець, М.І. Пашечко, Е.В. Корбут.-К.: Вид-во НАУ авіац. ун-ту «НАУ – друку».- 2009-392с..

Методика випробувань матеріалів при контактному динамічному навантаженні

Коваленко А.І.

науковий керівник: к.т.н., доцент Хімко А.М.
Кафедра технологій виробництва та відновлення авіаційної техніки
Навчально-науковий аерокосмічний інститут
Національний авіаційний університет,
Київ, Україна
toha0273@gmail.com

Анотація — У роботі показано методику для випробувань матеріалів і покриттів при контактному динамічному навантаженні. Залежно від умов навантаження можливо реалізація динамічного навантаження з ковзанням і динамічного навантаження з циклічним знакозмінним ковзанням. Проведені порівняльні випробування плазмових та електроіскрових покриттів. Визначено, що найбільш зносостійким покриттям є плазмове покриття молібдену.

Ключові слова — зносостійкість, метод вібраційного навантаження, плазмове покриття молібдену, динамічному навантаженні з циклічним знакозмінним ковзанням

I. ВСТУП

На сьогодні розробляється, освоюється і експлуатується у виробництві безліч різновидів випробувальної техніки. Її велика частина створюється у складі агрегатних комплексів засобів випробувань матеріалів і виробів на розтягування і стиснення, вигин, зріз, кручення, знос, удар, на міцність та зносостійкість, прилади для визначення твердості і пружних констант матеріалів, що передбачають єдність конструктивних рішень зовнішніх з'єднань, технологічності, принципів побудови вимірювально-інформаційних і випробувальних систем [1].

Не дивлячись на значний прогрес і досягнення в технології літакобудування, знос і пошкодження деталей в вузлах тертя продовжує залишатись одним із основних факторів, що знижують експлуатаційну надійність і обмежують ресурс авіаційної техніки. Так, згідно останніх даних з недостатньою зносостійкістю деталей пов'язано 30 - 40 % відмов та дострокового припинення експлуатації повітряних суден [2].

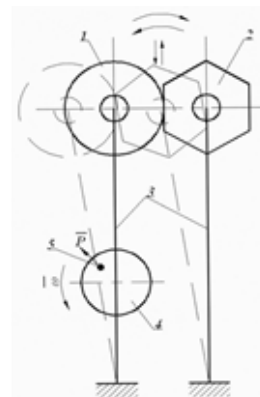
II. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Для авіаційної техніки вібрація – чинник супутній нормальної роботи деталей і вузлів. Вібрація літальних апаратів викликає накопичення втомних пошкоджень, скорочення ресурсу роботи двигунів, автоколивання корпусу, що спричиняє за собою пошкодження таких відповідальних вузлів як шасі, механізація крила, стійкі, кронштейни і т.п.

Останнім часом багато сучасної літератури [3 – 5] присвячено питанням розробки методик випробувань на зносостійкість різноманітних покриттів і металів. В основному розглянуті найпоширеніші методи трибологічних досліджень, що включають визначення площі фактичного контакту, мікрогеометричних характеристик поверхонь тертя, а також структури і властивостей при поверхневих мікрооб'ємах матеріалів пар тертя [3]. Приведені відомості про стандартні методи випробувань, що часто використовуються, на тертя і знос, про основні схеми випробувань, критерії і способи оцінки триботехнічних характеристик, а також про не стандартні методи випробувань, їх можливості і конкретні області вживання, що часто використовуються [4]. Однак не досить показано методики випробувань при динамічному контактному навантаженні.

III. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Вібраційні випробування проводять для встановлення здатності деталей або покриттів протистояти руйнуючому впливу механічних дій, а також визначення їх здатності виконати свої функції при збереженні параметрів в межах встановлених норм. Метою роботи є проведення випробувань при контактному динамічному навантаженні з циклічним знакозмінним ковзанням сучасних покриттів для визначення їх зносостійких властивостей та вибору оптимального покриття.



- 1 – Рухомий контр-зразок;
- 2 – зразок для випробувань з напилим покриттям на робочій поверхні;
- 3 – консольно закріплені пружини;
- 4 – диск із закріпленою неврівноваженою масою, що обертається;
- 5 – неврівноважена маса.

Рис.1. Схема установки для випробувань матеріалів та покриттів на зносостійкість при динамічному навантаженні.

Для проведення випробувань на зносостійкість захисних покриттів, використовувалася установка, що реалізує контактне динамічне навантаження при циклічному знакозмінному ковзанні. На установці реалізувалася схема контакту зразків площина-циліндр. Зразки 1, 2 розміщуються на кінцях консольно закріплених пружин 3, виконаних у вигляді ресор, і притискаються один до одного робочими поверхнями (рис.1).

На одній з пружин кріпиться диск 4 із закріпленою на ньому неврівноваженою масою 5, що вільно обертається. При обертанні диска з неврівноваженою масою виникає відцентрова сила. Вертикальна складова відцентрової сили врівноважується жорстко закріпленою пружиною, а горизонтальна складова порушує коливання пружини. За рахунок коливань відбувається контактна взаємодія торцевих поверхонь зразків із змінним нормальним зусиллям в контакт. Рівень динамічного навантаження регулюється зміною кутової швидкості ω обертання диска і радіусом обертання неврівноваженої маси.

Зразок для випробувань є шестигранником з плоскими робочими поверхнями (рис.2), який виготовлявся з високоміцного титанового сплаву ВТ-22. Рухомий контр-зразок являє собою кільце шириною 5 мм. Матеріал контр-зразка – 95Х18Ш з твердістю 50 – 55 HRC.

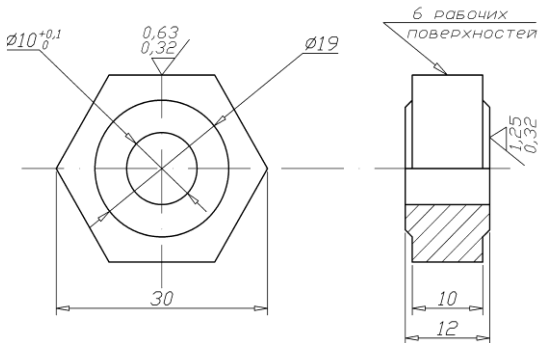


Рис.2 Схема зразків для випробувань матеріалів і покриттів при динамічному навантаженні.

Величина лінійного зносу визначалась середнім значенням п'яти замірів максимальної глибини пошкодження зразка. Для більшої вірогідності результатів проводили не менше, як по три випробування на один стовпчик гістограми.

Випробування на зносостійкість при контактному динамічному навантаженні проводили на плазмових покриттях ВКНА, ПС12НВК-01, ПГ10Н-01, Мо і електроіскрових покриттях хрому та молібдену.

Газотермічні покриття наносилися на плазмовій установці УПУ-3Д до товщини 500 мкм після чого відбувалось шліфування до товщини 300 мкм включаючи підшар. Покриття ПС12НВК-01 і ПГ10Н-01 наносилися на підшар ВКНА товщиною 50 мкм. Товщина електроіскрових покриттів хрому та молібдену складала близько 200 мкм.

Випробування проводили при динамічному навантаженні з циклічним знакозмінним ковзанням – тобто експерименти з жорстко закріпленим роликком. Крім ударів покриття піддається і тертю ковзання при максимальному відхиленні консольно-закріплених пружин в обидві

сторони. Ролик рухається по поверхні матеріалу, що випробовується. В цьому випадку на тертя працює тільки певна поверхня ролика. Амплітуда вертикальних зсувів обчислюється аналітично від конструкції і горизонтальних коливань покладу. В нашому випадку вертикальна амплітуда відповідала близько 10 мкм.

Отримані результати випробувань представлені на рис.3. З гістограми видно, що найбільш зносостійкими є газотермічні покриття. Електроіскрові покриття при випробуваннях на динамічне навантаження з циклічним знакозмінним навантаженням показали незадовільні результати по зносостійкості, в порівнянні із зносом титанового сплаву ВТ-22.

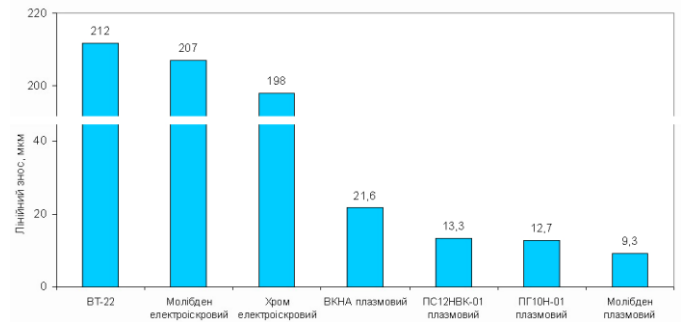


Рис. 3. Зносостійкість захисних покриттів при контактному динамічному навантаженні з циклічним знакозмінним ковзанням

Достатньо високі результати по зносостійкості плазмових покриттів можна пояснити модулем пружності та твердістю покриття. Модуль пружності газотермічних покриттів менший, ніж при електроіскровій обробці.

Найбільш зносостійким є плазмове покриття молібдену. Його знос практичне в 20 разів менший, ніж у титанового сплаву ВТ-22. Достатньо висока зносостійкість плазмового покриття молібдену можна також пояснити тим, що логарифмічний декремент (демпфуюча здатність) молібденового покриття значно більше, ніж у інших покриттів на основі нікелю [6]. При відносному русі ролика, поверхня покриття сприймає імпульсні (вібраційні) навантаження, внаслідок чого в поверхневих шарах розповсюджуються затухаючі хвилі деформацій – напружень.

Аналіз руйнувань контактуючих поверхонь показує, що неоднаковий характер зношування свідчить про різні процеси, що протікають в зоні контакту. У разі плазмових покриттів, провідним механізмом зношування був механічний знос, а у сплаву ВТ-22, виявляються більш характерні для фретинг-корозії втомно-корозійні процеси.

IV. ВИСНОВКИ

На підставі виконаних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. В статті показано установку для проведення випробувань на зносостійкість матеріалів та покриттів при контактному динамічному навантаженні з прослизанням та циклічним знакозмінним ковзанням.

2. Отримані результати по зносостійкості плазмових і електроіскрових покриттів дозволяють рекомендувати плазмові покриття для наплення на деталі з титанових сплавів, які працюють в умовах динамічного

навантаження з ковзанням. Найбільш зносостійким покриттям виявилось плазмове покриття молібдену.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Испытательная техника: Справ.: в 2-х кн. / Под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, Кн.1, 1982. – 528 с., ил.
- [2] Umanskyi O. Poliarus O. et al. Effect of ZrB₂ CrB₂ and TiB₂ Additives on the Tribological Characteristics of NiAl-Based Gas-Thermal Coatings // Key Eng. Mater. 2014. Vol. 604. P. 20-23.
- [3] Розенблат Г.Т. Динамические системы с трением. М.: НИЦ РХД, 2005. – 156 с.
- [4] Куксенова Л.И. Методы испытаний на трение и износ. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 152 с.
- [5] Клюев В.В., Сосин Ф.Р., Филинов В.Н. Машиностроение. Энциклопедия: В 40 тт: раздел III: Технология производства машин: Т. III-7: Измерения, контроль, испытания и диагностика. М.: Машиностроение, 2001. – 460 с.
- [6] Шевеля В.В., Олександренко В.П. Трибохимия и реология износостойкости / В.В. Шевеля, В.П. Олександренко. – Хмельницкий: ХНУ, 2006. – 278 с.

Впровадження частотного контролю у виробництво робочих лопаток ГТД при заміні марки матеріалу ЧС70-ВИ на ЧС88У-ВИ методом статистичного аналізу

Омельченко Є.В.

науковий керівник: Дмитрієв С.О.

Кафедра збереження льотної придатності авіаційної техніки,

Навчально-науковий аерокосмічний інститут,

Національний авіаційний університет,

Київ, Україна

constructor0564@i.ua

Анотація — робота присвячена розгляду проблеми визначення частоти коливань робочих лопаток ГТД по першій згинальній формі при виготовленні з марки матеріалу аналогічній технічним вимогам креслення.

Ключові слова — робоча лопатка турбіни, частотний контроль, заміна марки матеріалу.

I. ВСТУП

В процесі серійного виробництва робочих лопаток газотурбінних двигунів морських суден і енергетичних газотурбінних установок підприємствами допускається заміна основної марки матеріалу на аналоги, що не поступаються своїми фізичними властивостями основній марці матеріалу. При цьому як правило при проведенні частотного контролю перевірка кожної лопатки виконується згідно інструкції вказаної в технічних вимоги (ТВ) креслення. У разі потреби коригується частота лопатки за допомогою доопрацювання (поліровки) верхньої або нижньої частини пера лопатки в діапазон вказаних в тих же ТВ креслення, але без урахування заміни марки матеріалу.

Тенденція заміни марки матеріалу ЧС70-ВИ на ЧС88У-ВИ для виробництва робочих лопаток турбіни характерна на усіх підприємствах тих, що випускають приводні газотурбінні двигуни типу ДР59Л, ДР59Л1, ГТД-10В і їх схожі за характеристиками аналоги. Вказані марки матеріалу мають схожий хімічний склад, тривалу міцність і показники випробувань на розтягування. Щільність зразків з ЧС70-ВИ і ЧС88У-ВИ знаходиться в межах 8,2 - 8,3 т/м³ і залежить від процесу термообробки, можливого застосування гомогенізуючого отжигу або застосування гарячого ізостатичного пресування.

Основними вимогами, що пред'являють до матеріалів таких виробів: мають підвищені жароміцність і корозійну стійкість при невисокій вартості. Структура сплаву ЧС88У-ВИ є багатокомпонентним твердим розчином на основі нікелю, зміцненим дисперсними частками

интерметаллидної γ' -фазы на основі Ni₃(Al, Ti), карбідами і боридом. Сумарна концентрація тугоплавких елементів W і Mo рівна 7,2% (мас.). Підвищена корозійна стійкість сплаву досягається, передусім, за рахунок високої концентрації хрому - 16% (мас.), а також певного співвідношення алюмінію і титана Al/Ti \geq 0,7 [1]. Тому у випадках виробничої необхідності конструктори підприємств виробників робочих лопаток допускають заміну марки матеріалу ЧС70-ВИ на ЧС88У-ВИ без виконання додаткових досліджень відносно частотного контролю.

II. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Метою цього дослідження є визначення можливого відхилення частоти робочих лопаток турбіни газотурбінного двигуна у разі заміни марки матеріалу ЧС70-ВИ на ЧС88У-ВИ методом набору статистичних даних.

Об'єктом дослідження були чотири комплекти робочих лопаток (креслення 10В59040234 по 72 штуки на комплект) першої ступені турбіни високого тиску (ТВТ) і чотири комплекти робочих лопаток (креслення 10В59040235 по 68 штук на комплект) другої ступені ТВТ двигуна ГТД-10В (модернізованого двигуна ДР59Л) виготовлені із сплаву ЧС70-ВИ, а також аналогічне число комплектів і робочих лопаток виготовлених із сплаву ЧС88У-ВИ.

Дослідження виконувалися згідно методики М ЖАКИ.103.014-98.

Контроль усіх вузлів установки і засобів вимірів в процесі дослідження здійснювалися одночасно з випробуваннями «еталонної» лопатки першої ступені ТВТ (креслення Е59040234) двигуна ДР59Л виготовленої з марки матеріалу ЧС70-ВИ.

III. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Дослідження показали (рис. 1 - 4), що при застосуванні марки матеріалу ЧС88У-ВИ ідентичні в

геометричному відношенні робочі лопатки першої ступені ТВТ двигуна ГТД-10В мають в середньому на 25-35 Гц частоту більше в порівнянні з ідентичними робочими лопатками виготовленими з марки матеріалу ЧС88У-ВИ. Така ж тенденція спостерігалася при вимірі частоти з лопаток другої ступені.



Рис.1 Діаграма частотного контролю лопаток першої ступені ТВТ ГТД-10В виготовлених з ЧС70-ВИ.

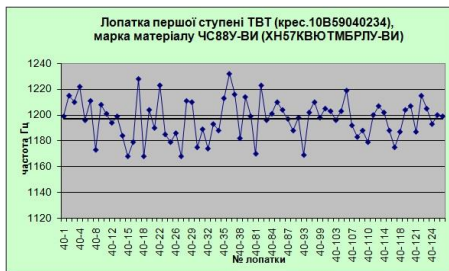


Рис.2 Діаграма частотного контролю лопаток першої ступені ТВТ ГТД-10В виготовлених з і ЧС88У-ВИ.



Рис.3 Діаграма частотного контролю робочих лопаток другої ступені ТВТ ГТД-10В виготовлених з ЧС70-ВИ.



Рис.4 Діаграма частотного контролю лопаток другої ступені ТВТ ГТД-10В виготовлених з і ЧС88У-ВИ праворуч.

Аналогічно були побудовані діаграми по трьох комплектах першої і другої ступені робочих лопаток ТВТ, які показали аналогічні результати частотного контролю.

Тому при виконанні частотного контролю робочих лопаток ГТД по першій згинальній формі допускається використати в першому наближенні наступний розрахунок:

$$f_{\phi} = f_c \times ((f' - f_c) / 100) \dots \dots \dots (1)$$

У рівнянні (1) f_{ϕ} – це фактична частота коливань в першому наближенні, f_c – частота коливань еталонної лопатки виготовленої з марки матеріалу відповідно до ТВ креслення, f' – середня сумарна частота коливань лопаток при заміні на марку матеріалу аналогічній ТВ креслення.

IV. ВИСНОВКИ

У зв'язку з цим для підвищення експлуатаційних характеристик газотурбінних двигунів типу ДР59, ДР59Л і ГТД-10В, та їх аналоги, в плані ресурсу, надійності і зниження вартості виробництва і ремонту підприємствам, що виготовляють робочі лопатки з заміною марки матеріалу та виконують частотний контроль по першій згинальній формі необхідно:

- 1) провести статистичні дослідження частотного контролю робочих лопаток при заміні марки матеріалу на аналог з метою визначення допустимого відхилення від вимог ТВ креслення;
- 2) ввести в конструкторську документацію обов'язковий частотний контроль робочих лопаток по «еталону» з урахуванням вживаних марок матеріалів.
- 3) при першому наближенні виконати розрахунок відповідно до формули (1).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Структура, фазовий состав и свойства коррозионностойкого жаропрочного сплава ЧС88У./ Е.В. Монастырская, Г.И. Морозова, Ю.Б. Власов // *Металловедение и термическая обработка металлов*, №8, 2006г.
- [2] Методы регулирования частот собственных колебаний рабочих лопаток компрессора ГТД. / О.Н. Бабенко, Т.И. Прибора // *Вестник двигателестроения*, №1, 2016г.
- [3] Инструкция «Система качества. Отливки из жаропрочных сплавов вакуумной заливки. Технические требования. Правила приемки и методы контроля» И ЖАКИ.105.015-89 / Г.Ф.Мяльница, Л.И. Жак, И.Ш.Мокшенинова и др./ ОГМет НПП «Машпроект», презид. с изм №13, 2001г.
- [4] Методика «Испытания стендовые сборочных единиц газотурбинных двигателей и установок. Частотный контроль рабочих лопаток ГТД по первой изгибной форме» М ЖАКИ.103.014-98 / Система управления качеством / НПКГ «Зоря»-«Машпроект», 1998г., утверждено главным конструктором Б.В. Исаковым 2006 г.