

052-083.051.6

УДК 621.793:621.891

характеристика триботехн. покриття

упрочнення деталей, восстановление деталей

ремонт авиационной техники

А.П. Кудрін, здобувач,

В.Ф. Лабунець, канд. техн. наук, проф.

## СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

*Розглянуто сучасні методи поверхневого зміцнення та відновлення деталей авіаційної техніки. Показано, що комплексні методи дозволяють у широкому діапазоні зовнішніх чинників керувати триботехнічними характеристиками покриттів, що забезпечує працездатність деталей, їх надійність та довговічність.*

Надійність та довговічність сучасної авіаційної техніки значною мірою визначається надійністю агрегатів і механізмів, працездатність яких залежить від багатьох зовнішніх чинників.

У комплексі заходів, спрямованих на вирішення проблеми забезпечення їх працездатності, важливе місце займають питання розробки технологічних процесів поверхневого зміцнення та відновлення деталей сучасної техніки. За даними роботи [1], 85–90% машин виходять з ладу через зношування деталей, а витрата металу на виробництво запасних частин перевищує 20% від щорічної виплавки. Поверхнєве зміцнення деталей машин нанесенням на їх поверхні зносостійких покриттів може суттєво зменшити витрати матеріальних, енергетичних та трудових ресурсів, забезпечити їх працездатність у різних умовах експлуатації, підвищити якість. Не менш актуальною є проблема підвищення жаростійкості та корозійної стійкості деталей авіаційної техніки, втомленої міцності, фретингостійкості та ін.

Усе це нагально потребує розробки і впровадження нових технологічних процесів поверхневого зміцнення деталей шляхом нанесення функціональних покриттів. У цьому випадку реалізується принципово новий підхід до виготовлення конструкційних матеріалів: механічна міцність деталі гарантується за рахунок матеріалу основи, а зносо-, жаро-, окалина стійкість забезпечуються функціональними покриттями, які мають науково-обґрунтований склад, структуру та перевірені на практиці властивості. Нанесення таких покриттів не тільки підвищує працездатність деталей, але і дозволяє економити велику кількість дорогих та дефіцитних легуючих елементів у зв'язку з тим, що покриття наносяться в більшості випадків товщиною від 5–8 до 250–300 мкм.

Згідно з даними роботи [2] існує більше 150 видів поверхневого зміцнення деталей машин, які можна об'єднати в 21 основних технологічних методах [3], що включають як давно відомі і широко розповсюджені методи (гальванічні покриття, хіміко-термічну обробку, наплавку та ін.), так і нові методи (лазерну обробку, саморозповсюджуючий високотемпературний синтез, гелепокриття та ін.).

Пріоритетним напрямком у технологічних процесах поверхневого зміцнення деталей є комплексні методи, що передбачають як послідовне, так і одночасне використання двох та більшої кількості методів: газотермічне напилення з подальшою лазерною обробкою, поверхнєву механотермічну обробку, електромагнітну наплавку з одночасним поверхневим пластичним деформуванням [4].

Одними з найбільш поширених покриттів, які використовуються в авіаційних технологіях, є гальванічні та електрохімічні [5]. Ці покриття наносять на деталі шасі, гідронасосів, штоків циліндрів гідроагрегатів та ін. На заводі 410ЦА проводять електролітичне бронзування деталей з нарощуванням мідно-свинцевого покриття товщиною до 0,5 мм без зниження механічної міцності деталей. Номенклатура відновлених деталей складає 36 найменувань. Значно підвищити зносостійкість та корозійну стійкість і відновити розміри зношення до 300 мкм деталей дозволяє хромування. Для запобігання схоплення на хвостовики лопаток компресора наносять гальванічне срібло, яке виконує роль антифрикційного покриття.

Більш перспективними у цьому напрямку є електролітичні покриття із введенням у процесі осадження в матрицю дисперсних частинок з різними фізико-механічними властивостями [6]. На відміну від звичайних гальванічних та хімічних осадків у структурі таких покриттів знахо-

диться друга фаза, що суттєво впливає на їх фізико-механічні властивості та особливо трибо-технічні. Як другу фазу використовують бориди, карбіди, нітриди, силіциди, графіт і вуглецеві матеріали, абразивні порошки, мастильні матеріали та ін. Матричним матеріалом частіше є такі метали, як нікель, залізо, кобальт, мідь, хром, благородні метали [4].

З метою підвищення працездатності деталей вузлів тертя, їх антифрикційних та фрикційних властивостей, а також для відновлення зношених деталей АТ широко використовують методи газотермічного нанесення покриттів. Як матеріали, що напиляються на робочу поверхню деталі, використовують порошки різних матеріалів, дроти, стержні та гнучкі шнури. Порошки виготовляють із металів (Al, Ni, Mo, Ti, Cr, Co, Cu), сплавів на основі цих металів, оксидів заліза, алюмінію, хрому, титану, цирконію, безкисневих тугоплавких сполук і твердих сплавів (TiC, WC, Cr<sub>2</sub>C<sub>3</sub> та ін.), композицій: плакованих порошків (Ni+графіт, Ni+Al), конгломерованих порошків (Ni-Al), механічних сумішей.

Висока продуктивність процесу напилення покриттів, можливість отримання покриттів із матеріалів, які плавляться при температурах до 3000<sup>0</sup>С, відносно низький рівень шуму і променивих випромінювань, простота обслуговування, невисока вартість і мобільність обладнання дозволяють використовувати газополуменеве напилення для відновлення зношених деталей.

Так, у процесі ремонту авіадвигуна АІ-25 використовується газополуменеве напилення металізатором МПІ-4 деталей турбіни покриттям КНА з метою зменшення радіального зазору між ротором і статором турбіни, що забезпечує збільшення ККД турбіни та зменшує питому витрату палива. Враховуючи номенклатуру матеріалів, що напиляються, невелику міцність зчеплення покриття з основою (5–25 МПа), високу поруватість покриттів (5–25%), невисокий коефіцієнт використання енергій газополуменевого струменя (2–12%), цю технологію напилення використовують обмежено.

Більш перспективними є плазмові покриття. У порівнянні з газополуменевим методом температура плазмового струменя досягає до 20 000<sup>0</sup>С, що дозволяє застосовувати для напилення порошки тугоплавких матеріалів, а висока швидкість (300–600 м/с) і температура розпалених частинок сприяють вищій щільності покриттів та міцності зчеплення їх з основою.

На заводі 410ЦА плазмові покриття наносять на деталі, виготовлені з матеріалів 40Х, 30ХГСА, 30ХГСНА, Х18Н10Т, ЖС6У, ВЖЛ-12У, ВТЗ-1 та ін. Для напилення використовують порошки самофлюсувальних сплавів на основі нікелю (Ni-Cr-B-Si-C), а також матеріали ПКТСРЗ, ПНХАТ, ПКТХСРЗ тощо.

Плазмовий метод напилення рекомендується для відновлення робочих поверхонь деталей великих розмірів. Для нанесення плазмових покриттів раціонально використовувати серійне обладнання типу УПУ, УМП, ЧПКП та інших марок, а як енергоносії – аргон-азот-водневі або пропан-бутан-повітряні суміші. Паруватість покриттів складає 2–5%.

Низька для деяких умов експлуатації міцність зчеплених покриттів з основою (10–40 МПа), висока паруватість, невисокий коефіцієнт корисного використання енергії плазмового струменя для нагрівання порошку, високий рівень шуму (110–130 дБ) і випромінювання, відносно висока вартість обладнання та його стаціонарність гальмують використання цього прогресивного методу поверхневого зміцнення та відновлення деталей сучасної авіаційної техніки.

У разі використання детонаційного методу напилення частину цих недоліків можливо запобігти. Детонаційні покриття отримують на простішому обладнанні, паруватість покриттів складає 0,5 – 1,0 %, а міцність зчеплення покриття з основою досягає 160 МПа. Детонаційний метод нанесення покриттів доцільно використовувати для зміцнення деталей, робочі поверхні яких невеликі і не потребують великої кількості матеріалу, що напиляється.

На заводі 410ЦА застосовують метод детонаційного напилення порошком ніхрому ПХ20Н80 приставки КВД двигуна Д-36, корпусу 2-го та 3-го ступеня газової турбіни цього двигуна.

Газотермічні методи використовуються для відновлення деталей авіаційної техніки, які в більшості випадків дуже дорогі, а це – монорейки головної ланки закрилків ЗЧК літака Іл-76ТД, камера згорання газотурбінного двигуна літака Як-38, лопатки вентилятора двигуна Д-36, вал компресора, корпус опори КВД, бандажні полиці лопаток газотурбінного двигуна, поршень ви-

пуску – забирання кришки бункера для добрив літака Ан-2 та ін. Ці деталі та конструкції відновлюються на авіаційних заводах та підприємствах країн СНД: 410ЦА, 402ЦА, 406ЦА, НВО «Союз», НВО «Сатурн» та ін. Вибір матеріалу проводиться з урахуванням умов експлуатації деталей, екологічних та економічних вимог.

Більш перспективним методом газотермічного напилення є плазово-детонаційне нанесення покриттів [7]. Розроблене обладнання дозволяє вводити додаткову електричну енергію в продукти згорання, забезпечує керування щільністю потужності плазми від  $10^3$  до  $10^7$  Вт/см<sup>2</sup>, температурою від  $2 \cdot 10^3$  до  $10^4$  К, швидкістю від 600 до 8000 м/с. Установка для плазово-детонаційного нанесення покриттів забезпечує високоякісні функціональні покриття на поверхні деталей машин. При цьому продуктивність процесу досягає 10 кг/ч порошку при встановленій потужності 10 кВт. Ефективним методом підвищення потужності імпульсу є здійснення детонації горючої газової суміші в реакційній камері, де діє електричне поле, яке формується двома коаксіальними електродами. Якість покриттів, отриманих плазово-детонаційним методом, вища, ніж при газодетонаційному методі.

З метою підвищення ККД компресора і турбіни двигуна АІ-25 на робочі лопатки методом електроіскрового легування (ЕІЛ) наплавляють сплав ніхрому (ЕІ435). Зміцнення металічних поверхонь способом ЕІЛ [8] базується на явищі електричної ерозії матеріалів в імпульсному електричному розряді, яка у випадку проходження процесу в газовому середовищі супроводжується переважним перенесенням матеріалу аноду (легуючий електрод) на катод (деталь). Значна частина продуктів ерозії матеріалу анода в розплавленому і пароподібному стані, досягаючи поверхні катоду, взаємодіє з нею. На поверхні деталі формується шар, який складається, в основному, з матеріалу аноду і продуктів взаємодії матеріалу електродів між собою і з елементами середовища.

Для підвищення твердості та зносостійкості контактних поверхонь деталей двигуна Д-36, які працюють в умовах підвищених температур, методом ЕІЛ на установці «Електрон-22» наносяться покриття карбідом вольфраму. На сьогодні номенклатура деталей, які зміцнюються методом ЕІЛ, складає сім найменувань.

Покриття, отримані методом ЕІЛ, своїми фізико-механічними властивостями знаходяться на рівні покриттів, отриманих електромагнітним наплавленням [9]. Сутність процесу ЕМН [10] полягає у розплавленні зерен феромагнітного порошку імпульсами електричних розрядів і направленому перенесенні капель розплаву на робочу поверхню деталі у постійному магнітному полі.

Серед впроваджених методів поверхневого зміцнення деталей авіаційної техніки слід відмітити дифузійні методи насичення робочих поверхонь різними елементами. Так, методом дифузійного хромування в газовому захисному середовищі зміцнюються деталі електромагнітного клапана двигуна Д-36. При цьому зносостійкість зміцнених деталей зростає в 2–2,5 рази, корозійна стійкість – у 5–10 разів, а магнітна проникність сталі збільшується в 2–3 рази.

Нанесення гальванічних та електрохімічних покриттів на деталі, обладнання та інструмент з подальшою термічною або лазерною обробкою, термодифузійним насиченням різними елементами, газотермічне напилення з подальшою лазерною обробкою, електромагнітна наплавка з одночасним поверхневим пластичним деформуванням значно збільшують міцність зчеплення покриттів з основою, зменшує їх пористість, підвищує якість та працездатність покриттів у різних умовах експлуатації. Ці методи застосовують для зміцнення деталей шасі.

У вузлах тертя авіаційних конструкцій широко використовуються деталі, виготовлені з алюмінієвих бронз БрАЖН10-4-4, БрАЖМц10-3-1,5, які мають високі механічні та трибологічні властивості [5]. Вони працюють у парі зі сталевими деталями і електролітичним хромом у середовищі ЦІАТІМ-201, ЦІАТІМ-202, АМГ-10. У процесі експлуатації деталі, виготовлені із цих бронз (втулки шарнірно-болтових з'єднань шасі, букси амортизаційних опор, вкладиші), зношуються, у результаті чого зазор у парі тертя значно збільшується. Це призводить до того, що при кожному ремонті літака бракується до 70–80% втулок.

Для відновлення зношених бронзових втулок використовується комплексний метод, який передбачає послідовне використання двох технологічних процесів: гальванічне нанесення на

зношену поверхню деталі шару міді необхідної товщини і дифузійне насичення його алюмінієм при температурі 950 °С впродовж двох годин. У результаті комплексної методики на поверхні деталі виникає покриття товщиною 0,5–1 мм, структура та триботехнічні властивості якого близькі до алюмінієвої бронзи.

Для зміцнення прецизійних деталей і підвищення довговічності підшипників ковзання рекомендується іонна імплантація поверхонь тертя азотом, бором, берилієм та іншими елементами. Для зміцнення деталей методами лазерного випромінювання, саморозповсюджувального синтезу використовують електронно-променеву технологію (ЕПТ), яка розроблена в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона. За допомогою цієї технології на робочих поверхнях деталей можливо отримувати покриття із заданим складом і структурою, і, що дуже важливо для вузлів тертя, – аморфні і дрібнокристалічні нерівноважні структури.

Покриття, отримані методом ЕПТ, можуть мати однофазну, двофазну, мікрошарову та градієнтну структуру. Вони використовуються як жаростійкі, корозійностійкі, теплозахисні, зносостійкі, антифрикційні, біосумісні покриття з особливими електричними, магнітними і хімічними властивостями, а також для з'єднання матеріалів. Згідно з роботою Б.Є. Патона [11] ці покриття наносять на лопатки турбін різного призначення: жаростійкі, корозійностійкі і особливо термобар'єрні із зовнішнім керамічним шаром з оксиду цирконію.

Отже, нанесення комплексних покриттів та покриттів методом ЕПТ відноситься до найбільш наукоємних високих технологій, які мають велику перспективу і ефективність використання. Застосування прогресивних покриттів сприятиме підвищенню якості, надійності та довговічності авіаційної техніки, збільшенню міжремонтного строку і зменшенню витрат на запчастини, що призведе до економії матеріалів та трудових ресурсів.

#### Список літератури

1. *Поверхностная прочность материалов при трении* / Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, А.К. Караулов и др. – К.: Техника, 1976. – 296 с.
2. *Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Бершадский Л.И., Караулов А.К.* Надежность и долговечность машин. – К.: Техника, 1975. – 408 с.
3. *Лабунец В.Ф., Али Різк.* Триботехнічні характеристики покриттів з аморфно-кристалічною структурою // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – Запоріжжя: ЗДТУ, 1999. – №2. – С. 67–69.
4. *Лабунец В.Ф., Ворошин Л.Г., Киндрачук М.В.* Износостойкие боридные покрытия. – К.: Техника, 1989. – 158 с.
5. *Гаркунов Д.Н., Поляков А.А.* Повышение износостойкости деталей конструкций самолетов. – М.: Машиностроение, 1974. – 200 с.
6. *Бородин И.Н.* Упрочнение деталей композиционными покрытиями. – М.: Машиностроение, 1982. – 141 с.
7. *Тюрин Ю.Н.* Совершенствование оборудования и технологий детонационного нанесения покрытий // Автоматическая сварка. – 1999. – №5. – С.13–18.
8. *Самсонов Г.В., Верхотуров А.Д., Бовкун Г.А., Сычев В.С.* Электроискровое легирование металлических поверхностей. – К.: Наук. думка, 1975. – 219 с.
9. *Лабунец В.Ф., Градыский Ю.А., Сычев В.С.* Влияние способа упрочнения на триботехнические характеристики стали 45 // Автоматическая сварка. – 1999. – №6. – С. 42–44, 52.
10. *Поляков В.Н.* Поверхностное упрочнение деталей ферромагнитным порошком в магнитном поле // Технология машиностроения. – 1973. – №7. – С. 52–53.
11. *Патон Б.Е.* Современные электронно-лучевые технологии Института электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины // Автоматическая сварка. – 2001. – №2. – С. 3–8.

Стаття надійшла до редакції 01.07.02.