УДК 621.38

П.І. Мельничук, Є.В. Цегельник

Аналіз сучасних методів видалення лакофарбових покриттів з об’єктів авіаційної техніки

ТОВ «ЦентроБуд»
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»

Проведено аналіз сучасних методів видалення лакофарбових покриттів при ремонті об'єктів авіаційної техніки. Показано, що існуючі методи морально застарівають, їхнє оновлення відбувається вкрай повільно, що не дозволяє забезпечити ефективність оптимальності технології ремонту, впровадження нових прогресивних технологічних процесів і обладнання. Показано перспективність використання лазерних технологій для видалення лакофарбових покриттів із елементів конструкцій літальних апаратів у сучасних умовах.
Ключові слова: ремонт літаків, видалення лакофарбових покриттів, хімічний метод, біотехнологічний метод, лазерна очистка поверхні.

Вступ

У процесі експлуатації літаків і вертольотів їх зовнішні й внутрішні поверхні забруднюються. Для сучасних літаків, особливо надзвукових, чистота поверхонь, що перебувають у повітряному потоці, є неодмінною умовою ефективності експлуатації. По даним багатьох авіакомпанії коефіцієнт лобового опору для дозвукового літака із забрудненою обшивкою зростає на 3…5 %, а надзвукового – на 10…12 %. Втрати палива із цієї причини для одного середнього магістрального літака при перельоті на відстань близько 2000 км можуть скласти до 2000 кг. Зниження ефективності експлуатації відбувається також за рахунок непродуктивного збільшення маси конструкції по мірі накопичення забруднень [1].

Визначити технічний стан, особливо в умовах ремонту авіаційних конструкцій без видалення забруднень найчастіше неможливо. Усі існуючі методи неруйнуючого контролю можуть бути ефективно застосовані тільки при очищених поверхнях. Забруднення можуть сховати тріщину, ослаблення з'єднань і інші дефекти. Сторонні частинки в рухомих зчленуваннях прискорюють процес зношування. Не можна застосувати методи відновлення зношених поверхонь без їхнього очищення [2].

Забруднення сприяють розвитку процесів корозії, тому що можуть затримувати вологу й корозійно-агресивні речовини. Забруднення найчастіше порушують функціонування багатьох систем, закупорюючи отвори малих діаметрів, зменшуючи зазори в рухомих зчленуваннях [1].

Навіть цей короткий перелік несприятливих наслідків експлуатації забруднених конструкцій свідчить про прямий зв'язок цього фактору з надійністю, довговічністю та іншими життєво важливими елементами. Крім того, будь-які забруднення деталей інтер'єру пасажирських і пілотських кабін різко погіршують їхній зовнішній вигляд, знижують рівень естетики й комфорту для пасажирів і екіпажа. Усе це викликає необхідність при ремонті приділяти саму серйозну увагу видаленню забруднень, а також покриттів у деяких технологічних процесах.

Очищення поверхні проводиться не тільки при наявності забруднень, які утворилися в процесі експлуатації, але й для виконання наступних технологічних операцій відновлення. Наприклад, неможливо відновити металізоване покриття без видалення верхнього лакофарбового покриття. Для багатьох типів літаків і вертольотів трудомісткість промивання та очищення становить 10…15 % від усієї

трудомісткості ремонту.

Таким чином, мета очищення і промивання – це підготовка поверхонь до технічного діагностування, ремонту, виконання операцій відновлення та поліпшення зовнішнього вигляду ремонтованих літаків і вертольотів.

Ступінь чистоти оброблюваної поверхні – поняття відносне. В одному випадку досить видалити пил, бруд, зварювальні бризи, окалину, наприклад при підготовці виробу до дефектації за допомогою просвічування. У той же час наявність жирових плівок на поверхнях, які склеюються або покриваються лакофарбовими матеріалами, неприпустимо [3]. З урахуванням цих особливостей призначають методи видалення забруднень, у тому числі лакофарбових покриттів, з поверхні деталей. Вирішальними факторами, що визначають вибір методів і способів очищення, є – природа речовин, які видаляються, ступінь їх адгезії щодо поверхні, що очищається. Крім того супроводжувальними факторами, які відіграють роль у визначенні необхідних способів очищення, є – вплив технологічного процесу на здоров'я обслуговуючого персоналу, можливість механізації і автоматизації видалення забруднень.

Сучасні методи видалення лакофарбрвих покриттів із елементів авіаційної техніки

Для видалення лакофарбових покриттів з конструктивних елементів авіаційної техніки відомі декілька способів, і, у цілому, такі способи можуть бути розподілені на кілька категорій: механічні, термічні, хімічні, біотехнологічні й комбіновані методи. Далі будуть розглянуті найбільше широко поширені з них [4].

Механічне зачищення лакофарбових покриттів звичайно виконується, або ножем-шпателем, або шпателем, або і тим, і іншим. Ножі-шпателі, особливо шпателі з ріжучою гранню, повинні використовуватися акуратно щоб уникнути «подряпин».

Також до ручного механізованого інструмента для очищення поверхні від старих покриттів відносять різні шліфувальні і зачисні машинки, які приводяться в дію за допомогою стисненого повітря. Шліфувальні і зачисні машинки не є ефективним інструментом, тому що при очищенні відбувається засолювання абразивного матеріалу (шліфувальні круги, наждакова шкурка) лакофарбовим покриттям, що видаляється [5].

Інші механічні способи видалення фарби включають обробку наждаковим папером, піскоструминну обробку, водоструминну обробку, обробку пластиковим середовищем і подібні.

До пневмоабразивних методів очищення поверхні відносять піскоструминний, гідропіскоструминний та дробоструминний, включаючи очищення за допомогою полімерних частинок. Руйнування лакофарбових покриттів при пневмоабразивному очищенні відбувається в результаті абразивного зношування, яке виникає при зіткненні твердої частинки з поверхнею. Ефективність руйнування покриття залежить від пластичних властивостей частинки й часу контакту з оброблюваною поверхнею [5].

Абразивним матеріалом в установках служать: кварцовий пісок, чавунний, сталевий або алюмінієвий дріб, електрокорунд, кісточкова крихта, полімерні частинки або пластмасовий дріб, гранули льоду. Залежно від застосовуваного абразивного матеріалу розрізняють установки піскоструминні, гідропіскоструминні, дробоструминні.

Піскоструминне очищення здійснюється за допомогою кварцового піску, який

подається на поверхню в струмені стисненого повітря під тиском. Внаслідок шкідливого впливу на організм працюючого (можливе захворювання силікозом) піскоструминне очищення за допомогою сухого піску в цей час застосовується обмежено. З метою зниження й навіть виключення запиленості робочого місця застосовуються безпилові піскоструминні апарати і установки дистанційного керування, а також добре вентильовані камери [5].

Дробоструминний метод очищення поверхні є модифікацією піскоструминного методу, у якому пісок замінений на металевий дріб, кісточкову крихту, порошки полімерів, пластмасовий дріб. В установках застосовується металевий дріб наступних марок: чавунний – литий ДЧЛ і колотий ДЧК; сталевий – литий ДСЛ, колотий ДСК, рубаний ДСР та із дроту. Алюмінієвим дробом видаляють лакофарбові покриття з алюмінієвих поверхонь, намагаючись при цьому не допускати руйнування анодної плівки. Продуктивність процесу при роботі з алюмінієвим дробом становить 4.0…7.5 м/год. Пластмасовий дріб і порошки полімерів служать для видалення покриттів з алюмінієвих поверхонь, поверхонь пластмас, склопластиків і інших неметалічних матеріалів. Твердість полімерних абразивних частинок становить 92…97 по шкалі Роквела. У дробометних установках дріб подається на оброблювану поверхню не під дією стисненого повітря, а за допомогою робочого колеса ротора, що обертається із частотою 2000…3000 об/хв. Для очищення застосовується дріб марки ДЧК. Різновидом дробометного методу є очищення виробів в обертових барабанах за допомогою сталевих кульок [5].

Аерозольно-газодинамічний метод заснований на розпиленні суспензії абразивних часток у воді швидкісним надзвуковим газовим потоком. Абразивні частинки являють собою розмелену глину, що складається з 60…80 % SiO_2 і 10…20 % Al_2O_3. У суспензію додають 2…3 % поверхнево активних речовин. Метод забезпечує високу продуктивність і гарну якість очищення. Співвідношення в суспензії твердих часток і рідини повинне знаходитися в інтервалі від 1:5 до 1:2. Витрата суспензії при видаленні лакофарбових покриттів становить 0,008 кг/с, що в багато разів менше в порівнянні з іншими пневмоабразивними методами очищення.

Крім того, для авіаремонтних робіт іноді використовується метод видалення покриттів льодовими гранулами. Очищення здійснюється за допомогою низькотемпературних гранул льоду, отриманих у середовищі рідкого азоту. Температура частинок льоду повинна бути нижче -53 °С (220 К).

Руйнування лакофарбових покриттів під дією гранул сухого льоду відбувається в такий спосіб (рис. 1). Очищувальна дія методу струминного очищення сухим льодом ґрунтується на трьох ефектах. За рахунок механічної енергії гранули сухого льоду бомбардують поверхню зі швидкістю, що перевищує 150 м/с. За рахунок передачі теплової енергії відбувається різке охолодження до -79 °С, що призводить до окрихченню поверхневого шару. Далі гранули проникають у тріщини, яки були формовані ними в шарі покриття, і сублімуються з ефектом вибуху, пов'язаного з 400-кратним об'ємним розширенням [6].

Достоїнством методу є високий ступінь очищення і відсутність руйнування анодируваного шару поверхні. До недоліків слід віднести дуже низьку продуктивність (5 мм/м^2).

Усі описані вище способи характеризуються модифікуванням оброблюваної поверхні та її абразивним зношуванням, і, крім того, вони мають тенденцію бути повільними й трудомісткими. Так, наприклад, на рис. 2 показані мікрофотографії стану поверхні після піскоструминної обробки поверхні [7].

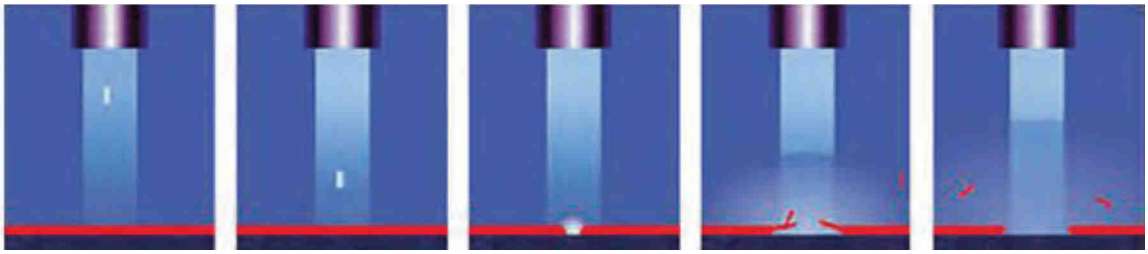

Рисунок 1 – Схема видалення лакофарбових покриттів гранулами сухого льоду

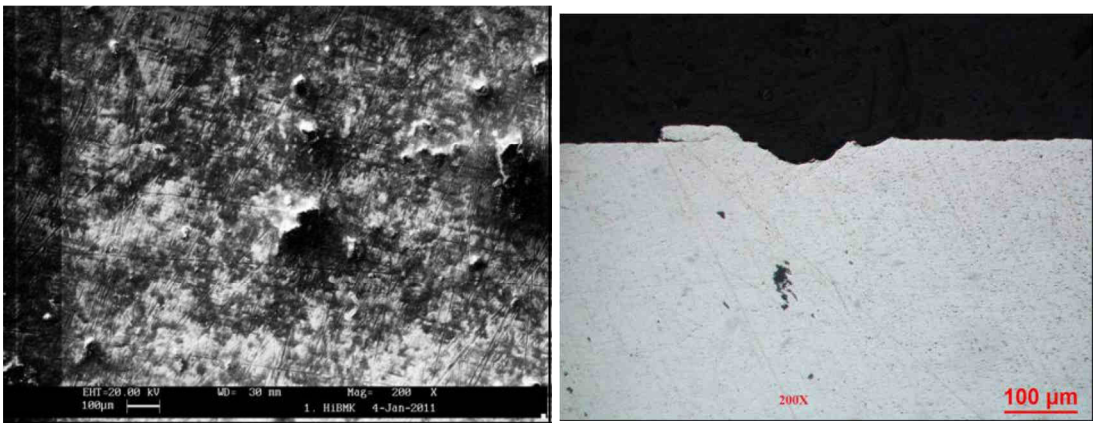

Рисунок 2 – Поверхневі дефекти після піскоструминної обробки [7]

Гідравлічний метод видалення з поверхні старих покриттів заснований на використанні води під тиском порядку 72,5 МПа [8], і поєднаний з хімічним, складається з наступних операцій:

– нагрівання виробу до 40…60 °С шляхом набризкуванням на нього води з температурою 60…100 °С при швидкості струменя 8.7…15.2 м/с;

– набризкування на виріб водяного 4…5 %-го розчину суміші їдкого натру і солей з температурою 80…100 °С протягом 10…25 хв при швидкості струменя 12.4…21.5 м/с;

– промивання очищеної поверхні водою з температурою 40…70 °С протягом 5…20 хв при швидкості струменя 8.7…15.2 м/с.

Гідроочищення має високу продуктивність і відносно низьку вартість. Недоліком цього методу є та обставина, що він не в змозі надати поверхні оптимальну шорсткість (рис. 3). Перед нанесенням нового покриття поверхню висушують, а при необхідності піддають повторному очищенню сухими методами.

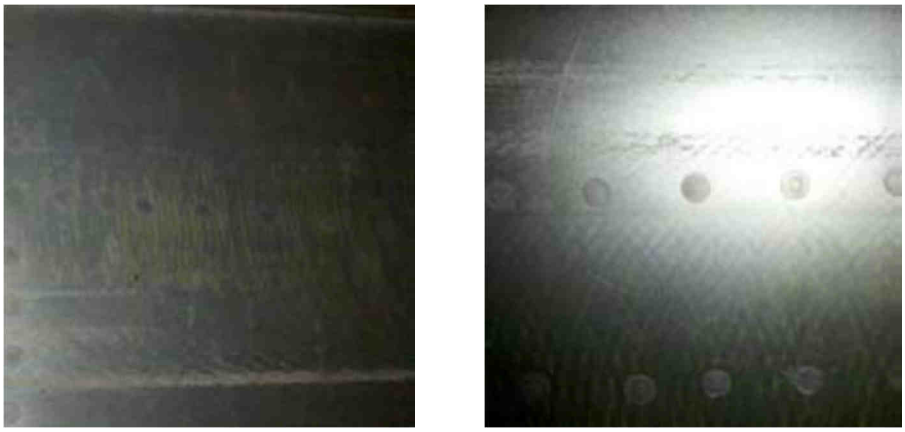

Рисунок 3 – Стан поверхні після гідравлічного методу видалення лакофарбових покриттів при подачі води 2.4 м/хв (ліворуч) і 1.5 м/хв (праворуч) [8]

У роботі [9] був запропонований біотехнологічний метод за допомогою мікроорганізмів для очищення деталей авіаційної техніки від нагароподібних забруднень і старих лакофарбових покриттів. Результатом цієї роботи з'явилося те, що автору вдалося визначити ряд найбільш активних мікроорганізмів і підібрати найбільш придатні умови для їхньої життєдіяльності з метою видалення забруднень у вигляді нагарів і старих лакофарбових покриттів із поверхонь деталей авіаційної техніки. Однак, як показують результати робіт, проведені ВІАМ [10], вплив продуктів життєдіяльності мікроорганізмів спричиняє виникнення біокорозії металів, що є складовою частиною проблеми біопошкоджень. Дослідження впливу цвілевих грибів на металеві матеріали встановили, що вплив мікроорганізмів і їх метаболітів може призводити до збільшення швидкості корозії зразків сплаву Д16, що неминуче веде до втрати його міцності.

Серед комбінованих методів слід зазначити метод FlashJet [11]. Даний метод був розроблений у результаті співробітництва Центру авіаційної логістики ВПС США з корпорацією Boeing. У результаті вийшла екологічно безпечна технологія видалення старих лакофарбових покриттів. Суть методу полягає в наступному, головка, яка оснащена ксеноновою лампою, імпульсно пульсуючи підігріває лакофарбове покриття, після чого це покриття підривається методом сухого бластінгу низького тиску (рис. 4).

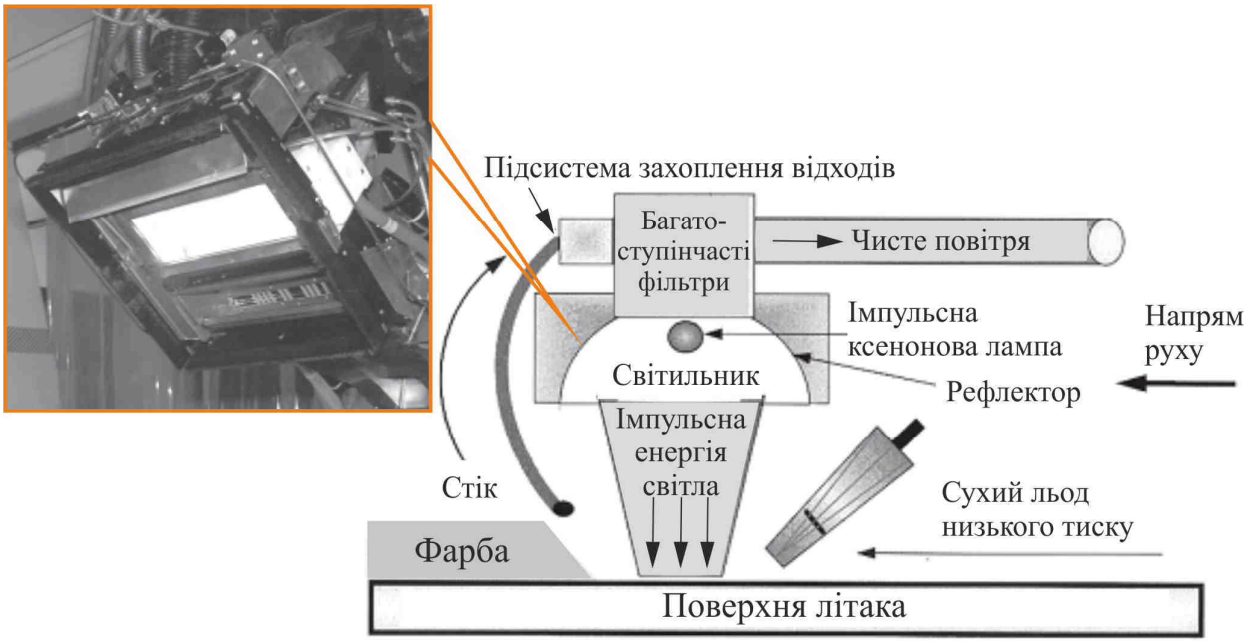

Рисунок 4 – Схема методу видалення лакофарбових покриттыв FlashJet [11]

Система складається із самої головки із ксеноновою лампою, пульта керування, силового модуля, системи доставки часток сухого льоду, сховища рідкого CO_2, компресора й системи очищення стічних вод.

При випробуваннях даної технології було показано, що даний процес значно зменшує потік небезпечних відходів. Також було продемонстровано, що даний процес не ушкоджує механічні властивості алюмінієвих сплавів. Однак далі дана технологія не знайшла широкого застосування.

На сьогоднішній день саме широке поширення дістав хімічний метод видалення лакофарбових покриттів, при якому очищення поверхні здійснюється за допомогою спеціальних составів – змивок на основі органічних розчинників, лугів

або кислот [12, 13]. Нерідко цей метод використовується в комбінації з іншими методами – механічними, термічними, ультразвуковими та ін. Хімічно агресивні середовища в результаті взаємодії з компонентами лакофарбових покриттів викликають у них необоротні руйнування, яким піддаються зв'язуюче, пігменти й інші компоненти покриття (рис. 5).

Рисунок 5 – Стан поверхні літака після хімічної обробки

Фізично агресивні середовища викликають у лакофарбових покриттях оборотні зміни, зв'язані, наприклад, з набуханням і розчиненням зв'язуючих. Такі покриття надалі можуть бути повністю відновлені практично без зміни їх властивостей. Однак присутність у зв'язуючих низькомолекулярних домішок і екстракцій їх з покриття при розчиненні може привести до необоротних змін покриття. При цьому звичайно не зачіпаються неорганічні компоненти лакофарбових покриттів, наприклад, пігменти й наповнювачі. Змивки на основі кислот, лугів і солей розглядають як хімічно агресивні середовища, а змивки на основі органічних розчинників в основному є фізично агресивними. Однак часто змивки проявляють змішану дію, що пов'язане як із багатокомпонентністю лакофарбових покриттів, так і зі складністю рецептур змивок [13].

При впливі агресивних середовищ на лакофарбові покриття протікають наступні основні процеси:

– адсорбція агресивного середовища на поверхні лакофарбового покриття;

– дифузія агресивного середовища в об'єм лакофарбового покриття;

– хімічна й фізична взаємодія з компонентами лакофарбового покриття;

– дифузія продуктів деструкції зв'язуючих і розчинних компонентів до поверхні лакофарбової плівки;

– десорбція продуктів деструкції з поверхні лакофарбового покриття;

– заміщення молекул зв'язуючих, адсорбованих на підложці, молекулами агресивного середовища, руйнуванні адгезійної зв'язки і відшаровування покриттів.

Характер руйнування лакофарбового покриття залежить від властивостей, як самого покриття, так і агресивного середовища, яке впливає на нього. Агресивні середовища по-різному впливають на компоненти лакофарбових покриттів – зв'язуючі, пігменти, наповнювачі, пластифікатори, допоміжні речовини. У той же час різні компоненти агресивних середовищ – у цьому випадку змивок – виявляють різноманітні дії на лакофарбові покриття.

Хімічний метод простий у реалізації, має мінімальний рівень енергоспоживання і високо продуктивність, забезпечує можливість видалення покриття у важкодоступних місцях повітряного судна. При використанні хімічного методу застосовуються травильні розчини, компоненти яких забезпечують максимальну швидкість знімання покриття при мінімальному впливі на матеріал.

Основними недоліками даного методу є необхідність ретельного видалення залишків змивок, особливо з місць з'єднання елементів, щілин і інших важкодоступних місць, тому що їхня наявність сприяє швидкому руйнуванню покриттів заново нанесених. Крім того з погляду екології існує проблема забруднення навколишнього середовища й подальшої утилізації використаних видаткових матеріалів.

Існує ряд методів видалення лакофарбових покриттів не з самого повітряного судна, а з окремих його частин. До таких методів можна віднести ультразвукове очищення, кріогенний метод, очищення в псевдозрідженому шарі і спалюванням.

Ультразвукове очищення засноване на кавітаційних явищах, які протікають у рідинах у результаті впливу ультразвуку. При проходженні ультразвукової хвилі через рідину в момент розрідження виникають розтяжні зусилля, і в рідині утворюється безліч розривів у вигляді дрібних пухирців, які після короткочасного існування захлопуються. При цьому в мікроб’ємах рідини розвивається високий тиск ударного характеру, який поширюється по всьому об'єму [3, 5].

Ультразвукові установки для видалення з виробів старих лакофарбових покриттів звичайно складаються з генератора, ультразвукового перетворювача і ванни, у яку завантажують підлягаючі очищенню вироби. Генерування змінного електричного струму для одержання ультразвукових коливань здійснюється за допомогою лампових генераторів УЗГ, УЗМ і інших, які мають потужність до 30 кВт і частоту коливань 15…30 кГц. Частоти 15…24 кГц відповідають оптимальним умовам виникнення кавітації, яка обумовлює ефективність очищення. Перетворення електричного струму ультразвукової частоти в пружні коливання рідини може здійснюватися п'єзоелектричними перетворювачами, виготовленими з монокристалів кварцу або титанату барію, а також магнітострикційними перетворювачами, найбільше часто застосовуваними в ультразвукових установках.

Видалення лакофарбових покриттів кріогенним методом роблять у ваннах з низько киплячим зрідженим газом, зазвичай азотом. При цьому покриття стають тендітними, втрачають адгезію й легко видаляються механічним шляхом [5].

Метод видалення покриттів у псевдозрідженому шарі, який запропонований американською фірмою Procedyne Co., полягає в наступному: деталь занурюють у шар вогнестійких твердих частинок кераміки, піску або оксиду алюмінію, які знаходяться при температурі 400…800 °С у псевдозрідженому стані [5].

Псевдозрідження здійснюється повітрям, яке містить таку кількість кисню, що це гарантує перевагу процесу піролізу над процесом окиснення. Тому що при піролізі можуть у незначній кількості виділятися пожежо- і вибухонебезпечні речовини, повітря безпосередньо над псевдозрідженим шаром розбавляється паром або газом. Достоїнством методу є відсутність перегріву виробів, які очищаються, і їх корозії.

Видалення лакофарбового покриття можна проводити шляхом спалювання, при цьому вироби нагрівають полум'ям киснево-ацетиленового пальника, електричної дуги або в печах з доступом або без доступу кисню (піроліз). Термічні методи рекомендується застосовувати для очищення металевих конструкцій з товщиною стінок більш 6 мм, при меншій товщині можливе жолоблення металу. У

ряді випадків термічні методи поєднують із механічним або хімічним очищенням [5].

Електричний метод видалення покриттів заснований на тому, що імпульси струму з великою амплітудою напруги і високою щільністю діють на поверхню покриття, викликаючи крапкові теплові струми, які приводять до відшаровування покриття. При цьому відбувається розігрів поверхні до 200…400 °С. Метод екологічно нешкідливий і дозволяє регулювати швидкість видалення покриття [5].

Однак описані вище термічні методи мають один загальний недолік – вони суттєво перегрівають основний матеріал, з якого видаляють лакофарбові покриття, що неприпустимо згідно з рекомендаціями [14].

Крім того, слід зазначити, що існуючі методи видалення лакофарбових покриттів морально застарівають, їхнє відновлення відбувається вкрай повільно, що не дозволяє забезпечити ефективність оптимальності технології ремонту, впровадження нових прогресивних технологічних процесів і встаткування [15].

На даний момент активно розвиваються високотемпературні технології видалення лакофарбових покриттів концентрованими потоками енергії. До таких методів можна віднести плазмовий і лазерний методи.

Плазмові технології давно активно використовуються в різних галузях промисловості і авіаційна галузь не є виключенням. Останнім часом почалися активні розробки для впровадження даної технології для завдань очищення лакофарбових покриттів. Так, наприклад, у роботі [16] була розроблена плазмова головка (рис. 6) для завдань очищення старих лакофарбових покриттів.

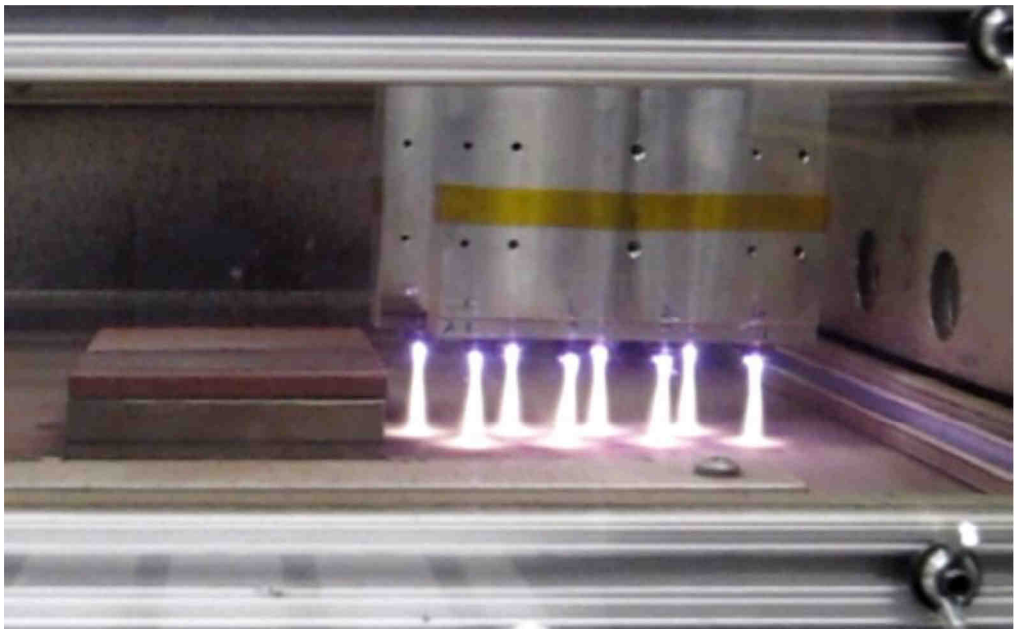

Рисунок 6 – Плазмова технологія видалення лакофарбових покриттів

Однак даний метод поки має ряд недоліків, одним з яких є нерівномірність видалення покриття, що на теперішній момент не дозволяє повною мірою використовувати потенціал даної технології.

На сьогоднішній день найбільш перспективним методом видалення старих лакофарбових покриттів є лазерний. Цей метод почав розроблятися 1980-х роках, однак широке застосування одержав у цей час, коли завдяки новим технологіям були створені нові короткохвильові лазери, які дозволяють керувати енергією і глибиною проникнення, що дозволяє його використання для видалення лакофарбових покриттів із металевих і композитних поверхонь [4, 17].

Перспективи технології лазерного видалення лакофарбрвих покриттів із елементів авіаційної техніки

Продуктивність лазерної обробки забезпечується її високою швидкістю – швидкість різання до 1000 см/хв, швидкість зварювання до 30 см/сек, швидкості термообробки до 200 $см^2$/хв дозволяють судити про лазерний пучок, як про високопродуктивний обробний інструмент [17].

У цей час активно ведуться розробки мобільних лазерних установок для автоматизаціх процессів видалення лакофарбових покриттів як з єлементів авіаційних конструкцій, так і з літака вцілому [18]. Застосування мобільних лазерних установок для виконання очищення лакофарбових покриттів уможливлює провадити очищення без розбирання конструкції повітряного судна. Це суттєво скорочує час виконання регламентних робіт і, відповідно, дозволяє заощаджувати кошти за рахунок зменшення часу простою дорогого встаткування. У табл. 1 наведене порівняння різних технологій очищення поверхонь методом експертних оцінок.

Таблица 1

Порівняння методів очищення поверхонь методом експертних оцінок

Найменування методу очищення	Обсяг забруднень			Очищення пор	Немає теплових ушкоджень	Немає механічних ушкоджень	Немає небезпечних хімікатів	Немає рідин	Мінімальний спецодяг	Сума балів	Місце
	Росте	Не змінюється	Падає								
Механічний		v			v		v	v		4	3-5
Абразивний або повітряний	x				v		v	v		3	6-7
Очищення сухим льодом		v			?	v	v	v		4	3-5
Водоструминний	x				v					1	9
Криогенний		v			?	v	v	v		4	3-5
Хімічний	x				v	v				2	8
Знімаючимися покриттями	x				v	v		v		3	6-7
Лазерний (безперервний)			v	v		v	v	v	v	6	2
Лазерний (імпульсний)			v	v	v	v	v	v	v	7	1

Як видно з таблиці – лазерний метод має технічні переваги перед іншими методами такі, як відсутність збільшення обсягу забруднень, відсутність рідких хімічних відходів, відсутність ушкоджень поверхні, яка очищається.

Однак для застосування в авіації необхідне вдосконалювання технології, шляхом додавання елементів контролю товщини шару лакофарбового покриття, яке знімається, глибини проникнення, застосовуваній потужності, сканерів контролю положення, а також безпосередньо необхідний вибір джерела лазерного випромінювання, що відповідає конкретним технологічним цілям [19].

Висновки

1. Технології видалення лакофарбових покриттів, які використовуються в цей час при проведенні регламентних ремонтів повітряних суден, вимагають ручної праці і не завжди задовольняють умовам обробки сучасних повітряних суден.

Найпоширеніша з них – хімічна технологія, яка пов'язана з утворенням великої кількості токсичних відходів, утилізація яких вимагає великих витрат. Крім того при її використанні персоналу доводиться працювати в шкідливих і небезпечних умовах.

2. Технології лазерного видалення лакофарбових покриттів із авіаційних конструкцій пройшли етап первісного дослідження. Отримані результати підтверджують можливість їх використання для очищення авіаційних конструкцій без порушення вимог, встановлених міжнародними галузевими стандартами.

Список літератури

1. Орлов К.Я., Пархимович В.А. Ремонт самолетов и вертолетов. М. : Транспорт, 1986. 295 с.

2. Техническая эксплуатация летательных аппаратов / Н.Н. Смирнов, Н.И. Владимиров, Ж.С. Черненко и др. М. : Транспорт, 1990. 423 с.

3. Чинючин Ю.М., Полякова И.Ф. Основы технической эксплуатации и ремонта авиационной техники. Часть II. М. : Моск. гос. техн. ун-т гражд. авиации, 2006. 74 с.

4. Then M.J. The Future of Aircraft Paint Removal Methods : Master of Science Thesis : Logistics Management / Air Force Institute of Technology. Wright-Patterson AFB, 1989. 169 p.

5. Ицко Э.Ф. Удаление лакокрасочных покрытий. Л. : Химия, 1991. 96 с.

6. Очистка. Окраска: новые технологии, оборудование, техника безопасности, обслуживание : дайджест / под ред. Д.Ю. Козлова. Екатеринбург: ИД «Оригами», 2008. 320 с.

7. Üner Ü., Orak S., Sofuoğlu M.A. Effect of plastic media blasting method on mechanical properties of Al 2024-T6 alloy // Journal of Mechanical Science and Technology. 2016. Vol. 30, iss. 10. P. 4559–4564.

8. Paint Removal of Airplane & Water Jet Application / X. Sheng-xiong, C Zheng-wen, R. Qi-le et al. // International Journal of Fluid Machinery and Systems. 2014. Vol. 7, no. 3. P. 125–129.

9. Доценко Г.И. Разработка принципов очистки деталей авиационной техники от нагароподобных загрязнений биотехнологическим методом: дис. … канд. техн. наук : 05.22.14 / Моск. гос. техн. ун-т гражд. авиации. М., 2000. 206 с.

10. Микробиологические испытания авиационных материалов / Е.Н. Каблов, А.В. Полякова, А.А. Васильева и др. // Авиационная промышленность. 2011. Вып. 1. С. 35–40.

11. Kozol J. An Environmentally Safe and Effective Paint Removal Process for Aircraft // JOM. 2001. Vol. 53, iss. 3. P. 20–21.

12. Технология ремонта ЛКП на внешней поверхности изделий АТ / В.Н. Владимирский, М.Г. Офицерова, Т.А. Новикова и др. // Авиационные материалы и технологии. 2003. № 2. С. 86–89.

13. Семенова Л.В., Новикова Т.А., Нефедов Н.И. Изучение смывающей способности смывок для удаления систем лакокрасочных покрытий // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 1 (46). С. 32–37.

14. Белецкий В.М., Кривов Г.А. Алюминиевые сплавы (состав, свойства, технология, применение) : справ. / под общей ред. И.Н. Фридляндера. Киев: Коминтех, 2005. 365 с.

15. Макин Ю.Н. Теоретические основы проектирования технологических процессов ремонта авиатехники в условиях рыночной экономики: автореф. дис. … д-ра техн. наук : 05.22.14 / Моск. гос. техн. ун-т гражд. авиации. Москва, 2002. 37 с.

16. Alternate Environmentally Friendly De-Painting Process for Aircraft Structures – Atmospheric Plasma / A. Merati, M. Yanishevsky, T. Despinic et al. // Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. 2017. Vol. 5, no. 4. P. 223–235.

17. Цегельник Е. В. Перспективные направления применения лазерных технологий в авиационной промышленности // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2015. Вып. 70. С. 121–129.

18. Цегельник Е.В., Мельничук П.И. Современные подходы к автоматизации процессов лазерной очистки элементов авиационных конструкций от лакокрасочных покрытий // АВИА-2015 : материалы XII Междунар. науч.-техн. конф. (28–29 апр. 2015 г.) / Нац. авиац. ун-т. Киев, 2015. С. 16.35–16.38.

19. Вибір джерела лазерного випромінювання для цілей промислового очищення деталей авіаційної техніки / С.І. Планковський, Є.В. Цегельник, І.І. Головін, П.І. Мельничук // Наукоємні технології. 2014. № 4 (24). С. 503–507.

Поступила в редакцию 27.10.2017

Анализ современных методов удаления лакокрасочных покрытий с объектов авиационной техники

Проведен анализ современных методов удаления лакокрасочных покрытий при ремонте объектов авиационной техники. Показано, что существующие методы морально устаревают, их обновление происходит крайне медленно, что не позволяет обеспечить эффективность оптимальности технологии ремонта, внедрения новых прогрессивных технологических процессов и оборудования. Показана перспективность использования лазерных технологий для удаления лакокрасочных покрытий с элементов конструкций летательных аппаратов в современных условиях.

Ключевые слова: ремонт самолетов, удаление лакокрасочных покрытий, химический метод, биотехнологический метод, лазерная очистка поверхности.

Analyses of Modern Methods of Paint Stripping from Aircraft Objects

The analyses of modern methods paint stripping for the repair of aircraft objects are carry out. It is shown that the existing methods becoming obsolete, their update is extremely slow, which does not allow for optimal efficiency technology of repair, the progressive introduction of new processes and equipment. Perceptivity of using laser technology to paint stripping from aircrafts structural elements today is shown.

Keywords: aircraft repairing, paint stripping, chemical method, biotechnological method, laser surface cleaning.

Відомості про авторів:

Мельничук Петро Іванович – заступник генерального директора ТОВ «ЦентроБуд», Україна.

Цегельник Євген Володимирович – канд. техн. наук, доцент кафедри технології виробництва літальних апаратів, Національный аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Україна.