

М.Б. Сушак, М.М Деревянко, С.О. Фокін

Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СПОСОБІВ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ РЕМОНТУ ВИРОБІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Представлено результати аналізу якості ремонту виробів авіаційної техніки на авіаційних ремонтних підприємствах (АРП). Знання закономірностей впливу технології виготовлення на показники надійності літальних апаратів (ЛА) забезпечує розробку раціонального виробничого процесу, при якому прийнятні показники якості продукції гарантують необхідні показники надійності авіаційної техніки (АТ). Значна частка відмов, виявлених при експлуатації АТ після капітального (середнього) ремонту, є наслідком виробничих недоліків комплектуючих виробів (деталей), які були встановлені на ЛА.

Використання розглянутих у статті технологічних способів дозволяють забезпечити достатню якість ремонту та досягти суттєвого зменшення ризиків виникнення виробничих недоліків.

Ключові слова: ремонт, технологія, якість, імпортозаміщення, надійність, довговічність, ресурсні показники.

Вступ

Постановка проблеми. Основним напрямом забезпечення заданого рівня справності АТ Збройних Сил України (ЗС України) в період бойових дій залишається ремонт та модернізація АТ (у разі доцільності), що дозволяє забезпечити відповідність її бойових можливостей вимогам сучасної війни при обмежених фінансових ресурсах.

Результати аналізу існуючого стану парку АТ ЗС України показують, що експлуатація значної її кількості здійснюється за межами попередньо встановлених ресурсних показників, що зазвичай призводить до ситуації, коли відмова, яка виникла в процесі гарантійного обслуговування зразків АТ, пов'язана з якістю проведення ремонту на АРП. Як наслідок, у цих обставинах АРП несе незаплановані фінансові витрати на відновлення гарантійного виробу в цілому, в тому числі на повторне відновлення (ремонт) вузлів та деталей виробу, що вийшли з ладу.

Вирішення вищезазначеного проблемного питання полягає у визначенні об'єктивних властивостей технологічного процесу відновлення зразків АТ, що експлуатуються за межами попередньо встановлених ресурсних показників. Це дозволить усунути невідповідність між існуючими потребами забезпечення заданого рівня справності парку АТ ЗС України та реальними (об'єктивними) можливостями АРП щодо якісного ремонту зразків АТ [1, с 71...79].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На певних етапах життєвого циклу повітряного судна можливо забезпечувати підтримку його основних експлуатаційних характеристик: безвідмовності, ремонтпридатності, довговічності та зберігаємості. На сьогоднішній день, в умовах воєнного стану в Україні, актуальним питанням є розробка програми забезпечення надійності АТ, в якій має бути комплекс взаємообумовлених організаційно-технічних вимог та заходів, що спрямовані на забезпечення заданих показників до надійності при імпортозаміщенні.

Під час формування договорів між Замовником (Міністерство оборони України) та Виконавцем (АРП) про надання послуг із ремонту АТ неможливо передбачити всі заходи щодо запобігання виникнення відмов, які можуть виникнути в період виконання підприємством гарантійних зобов'язань.

Закони розподілу відмов, які виникають на зразках АТ ЗС України в післяремонтний період мають велике значення для теорії і практики робіт щодо забезпечення надійності виробів. Знання цих законів дозволяє розраховувати та прогнозувати надійність виробів на етапах їх гарантійного обслуговування. Особливо велике значення мають врахування прогнозованих законів розподілу відмов при оцінці обґрунтованості встановлення та продовження ресурсу виробів АТ до граничного рівня, адже від цього залежить безпека польотів кожного типу ЛА, що експлуатується в міжремонтний період [2, т. 3, с. 120; 3, с. 52...60].

На сьогодні, серед відкритих для публікації робіт, які б освітлювали питання відновлення виробів АТ та існуючі при цьому проблеми заслуговують на увагу [4, с. 164...168; 5, с. 21...26; 6, с. 150...163; 7, с. 71...79].

Мета статті полягає в узагальненні результатів аналізу технологічних способів покращення якості ремонту військової авіаційної техніки на АРП.

Виклад основного матеріалу

Аналіз бойового досвіду застосування АТ Збройних Сил України в період з 24 лютого 2022 року по теперішній час показав його реальну ефективність. Практично підтверджено той факт, що початково закладений рівень проєктно-конструкторської розробки кожного типу ЛА, що успішно експлуатується вже більше тридцяти років, не може давати гарантії надійної роботи в експлуатації, якщо при ремонті ЛА не забезпечений належний рівень якості. Доля відмов в післяремонтний період експлуатації АТ через виробничо-технологічні недоліки складає в середньому приблизно 35 %. На жаль, там, де застосовувались заходи з імпортозаміщення, цей показник складає більше, ніж 45 %. Безвідмовність елементів основних систем ЛА визначається шляхом збору й обробки статистичних даних щодо відмов та несправностей, які виникли в процесі експлуатації АТ після її ремонту.

Відомо, що надійність ЛА формується при розробці, забезпечується при виготовленні та підтримується при експлуатації. В процесі тривалої експлуатації АТ надійність її, яка закладена при розробці, може бути покращена за рахунок підвищення якості підготовки, регламентних робіт, доробок за бюлетенями, профілактичних робіт та якісного ремонту з використанням сучасних методів контролю якості виконаних робіт, впровадження на АРП комплексних систем управління якістю.

Проведений аналіз показав, що більшу частку експлуатаційних витрат складають витрати на капітальний ремонт агрегатів, блоків газотурбінного двигуна (ГТД), які становлять близько 28% від загальних витрат. Середня вартість капітального ремонту ГТД складає від 15 до 30 його закупівельної вартості [7]. Залежності між показниками якості ремонту літаків та показниками їх надійності є результатом аналізу причин відмов під час експлуатації та вивчення фізичних процесів, що їх викликають. Зазвичай необхідність визначення такої залежності виникає щодо критичних з точки зору надійності вузлів та

агрегатів ЛА. При цьому проводиться аналіз інформації, висвітленої в карточці відмов щодо конкретного агрегату, результати дослідження інших екземплярів, які відмовили, та технічний стан цих агрегатів при ремонті ЛА, а також вивчаються особливості технології виробництва агрегату, випуск якого освоїло підприємство (суміжні підприємства) при виконанні заходів імпортозаміщення в процесі заводського ремонту.

Знання закономірностей впливу технології виготовлення на показники надійності ЛА забезпечує розробку оптимального виробничого процесу, при якому прийнятні показники якості продукції гарантують необхідні показники надійності АТ [8, с. 80...88].

Значна частка відмов, виявлених при експлуатації АТ після капітального (середнього) ремонту, є наслідком виробничих недоліків комплектуючих виробів (деталей), які були встановлені на ЛА. На основі аналізу статистики пропонується класифікація причин виробничих недоліків ЛА, що наведена нижче:

1. Знижені значення прийнятих показників якості напівфабрикатів (заготовок), готових виробів (деталей, агрегатів і систем), запасних частин.

2. Методичні недоліки технології виготовлення, збирання та випробувань виробів АТ.

3. Низька стабільність виробничих процесів через відхилення параметрів матеріалів (заготовок, сировини) та готових виробів, недостатня надійність виробничого обладнання.

Для забезпечення заданого рівня надійності елементів конструкції та систем ЛА необхідно регламентувати технологію виробництва такими значеннями показників якості, які б визначали допустимі відхилення режимів виробничого процесу від оптимальних. Номенклатура та конкретні значення показників якості, які зазначені в технічних умовах (ТУ) на ремонт, виготовлення та постачання, визначають середній рівень організації виробничих процесів ремонту ЛА, в процесі налагодження виробництва комплектуючих виробів (деталей), що використовуються в процесі ремонту в ході імпортозаміщення.

Вказані у відповідних ТУ значення показників якості продукції мають забезпечувати необхідні значення показників надійності АТ. Обґрунтовані та достатньо високі значення показників якості напівфабрикатів, готових виробів, агрегатів, систем, що зазначені в ТУ необхідні, але не достатні для налагодження їх серійного виробництва. Потрібно, щоб фактичні значення показників якості реальної продукції були не нижчі,

ніж зазначені в ТУ. Відхилення від ТУ у виробництві можуть виникнути як через порушення теоретичних основ побудови технологічних процесів виготовлення, збирання та випробувань, так і через зовнішні причини нестабільності виробничих процесів: постачання некондиційних (несертифікованих) матеріалів, напівфабрикатів та готових виробів, порушення технологічної дисципліни персоналом, а також через низьку надійність обладнання. Суттєвою ознакою відмови через виробничий недолік є час його прояву – малий наліт ЛА після ремонту. Протягом перших ста годин нальоту приховані виробничі недоліки, зазвичай, проявляються за експоненціальним законом [8, с. 80...88]. Виробничі недоліки, у залежності від походження, можливо розділити на наступні три основні групи:

- недоліки матеріалів (сировини);
- недоліки обробки;
- недоліки збирання виробів (агрегатів).

Недоліки матеріалів (у тому числі металургійні) – це такі відхилення від ТУ або стандарту на напівфабрикати та вихідні матеріали, які знижують міцність деталей та призводять до виникнення дефектів ЛА в процесі експлуатації. У матеріалів (заготовок) недоліки бувають як місцеві – в формі порушень суцільності та розподіл їх як у обмежених зонах (зони неоднорідності хімічного складу, неповного загартування, місцевого наклепу та корозійного ушкодження), так і по всьому об'єму напівфабрикату (відхилення за хімічним складом та структурою) [11, с. 105...110].

Технологічна спадкоємність – це збереження та накопичення недоліків у послідовних стадіях виробничого процесу. Недоліки матеріалів також пов'язані з неякісною технологічною спадкоємністю. В процесі виплавки та виливання металевих заготовок деталей утворюються усадочні та газові раковини (рихлини), неметалеві включення, неоднорідність хімічного складу та структури, ливарні напруження. Так, тріщини деталей, зазвичай, є наслідком міжкристалічної пористості або послідовних мікропустот, що підтверджується дослідженням мікрошліфів під мікроскопом. Наприклад, усадочні раковини призводили до втомлювального руйнування підшипників. Неметалеві включення в сплав у вигляді окислів, сульфідів, силікатів та нітридів при розташуванні в ланцюговій формі часток перпендикулярно діючим напруженням також призводять до утворення тріщин та втомлювального руйнування деталей. Ліквіація (неоднорідність хімічного складу, що виникає при кристалізації сплаву) призводить до руйнування деталей в процесі експлуатації. Ливарні

напруження, що виникають при усадці, призводять до утворення тріщин в заготовці (відливці) або до втомлювального руйнування виробу (деталі) в процесі експлуатації внаслідок перевищення сумарних напружень межі втомлюваності сплаву [12, с. 50...63].

Недоліки обробки деталей проявляються, починаючи від процедури пластичної деформації заготовок. Успадковуючи недоліки виливання металевих заготовок деталей, процес пластичної деформації вносить такі недоліки, як розшарування, розриви, волосовини, окисні плівки та закови. Волосовини – це такі порушення суцільності заготовки, які виникають в результаті розкочування підшарових газових бульбашок або скупчень неметалевих включень. Волосовина є значним концентратором напружень та призводить до швидкого втомлювального руйнування деталі. Закови утворюються в процесі кування або штампування, коли на поверхні деталі залишаються порушення суцільності матеріалу у місцях усадкових раковин або пухлин. Закови в процесі експлуатації призводять до утворення втомлювальних тріщин в деталях. Розшарування являє собою значне порушення суцільності поковки або прутка в зоні, не видаленої при обробці тиском усадочної раковини або усадочної деформації зливку заготовки.

При холодному деформуванні тонкостінних заготовок можливе утворення розривів та надривів. Так, в процесі розвальцювання надриви утворюються у формі малопомітних наскрізних тріщин. Окисні плівки в товщі заготовки також є прихованим металургійним дефектом та призводять до передчасного руйнування відповідальних (директивних) деталей АТ. При порушенні режимів термічної обробки деталей утворюються гартівні тріщини та залишкові напруження при загартуванні. Часткове чи повне невиконання регламентованих операцій термічної обробки деталей призводить до їх руйнування в процесі експлуатації.

Порушення технології хіміко-термічної обробки деталей призводить до зниження твердості поверхневого шару, підвищення крихкості тонкостінних ділянок. Все це викликає передчасне руйнування відповідальних (директивних) деталей, що небезпечно. Для прикладу – порушення суцільності проміжного захисного покриття деталі з різьбою призводить до послаблення її міцності. Незадовільне виконання операцій діагностичного травлення деталей з метою виявлення тріщин утворює розтравлення поверхневого шару, глибоку міжкристалічну корозію та втомлювальне руйнування [11, с. 200...207].

Недоліки антикорозійних покриттів деталей ЛА, які утворюються внаслідок порушень технології, призводять до ушкоджень поверхневого шару та, як наслідок, послідовного втомлювального руйнування. Це відноситься до процесів анодирування з наповненням плівки хромпіком для деталей з алюмінієвих сплавів, кадміювання та цинкування з наступною пасивацією для сталевих деталей. Для глибокопрофільних деталей зі сталевих сплавів додатково застосовується фосфатування в цинко-фосфатній ванні. Відшарування хромового покриття поверхонь пар тертя призводить до втомлювального руйнування деталей, що виготовлені з високоміцних сталевих сплавів.

Виробничі недоліки механічної обробки деталей проявляються частіше всього у викривленні геометрії, що передбачена кресленням конструкторської документації. Ступенева розточка отворів, вихід діаметра за межі поля допуску, місцеве зменшення товщини панелей та стінок, які фрезеруються, risks та підрізи галтельних переходів, шліфувальні тріщини та обпалювання поверхні – все це в процесі експлуатації призводить до відмов АТ, а інколи й до авіаційних подій (аварій, катастроф).

В процесі зварювання можуть виникнути недоліки різного характеру. Напруження у зварному шві, непровари, пори та тріщини в зоні розплаву викликають утомлювальне руйнування деталі. Наслідком неякісної пайки може бути витікання робочої рідини в стику трубопроводу гідросистеми, а також тріщини по межах зерен в зоні паяного шву. Дефекти склеювання та зборки агрегатів на герметик пов'язані з порушенням технології виконання окремих операцій. Неякісна підготовка поверхні та недотримання режимів сушіння належать до найбільш частих причин несклеювання та відшарування. При формуванні та пресуванні агрегатів з полімерних композиційних матеріалів утворюються пористість, розшарування, ділянки неповного затвердіння, складки, різнотовщинність, тріщини, обриви ниток та волокон. Ці виробничі недоліки призводять до зниження фізико-механічних властивостей конструкції та її передчасного руйнування в процесі експлуатації ЛА.

До недоліків механічного збирання агрегатів АТ слід віднести:

- створення внутрішніх напружень в конструкції;
- порушення посадок;
- перекоси;
- нерівномірну затяжку;
- механічні ушкодження деталей;

порушення захисного покриття деталей.

Для зменшення ризиків виникнення вищезазначених виробничих недоліків важливо проводити їх систематичний аналіз. Це дозволить розробити ефективні технологічні заходи щодо підвищення надійності ЛА, удосконалювати методи та засоби неруйнівного контролю.

До можливих заходів щодо підвищення післяремонтної надійності АТ військової авіації при виконанні заходів імпортозаміщення в процеси заводського ремонту можливо запропонувати технологічні способи зменшення виробничих недоліків. Усі заходи щодо удосконалення виробничих процесів повинні здійснюватися на основі комплексної програми забезпечення надійності. При підготовці виробництва до випуску нового виду продукції має бути розроблений комплекс технологічних заходів, впровадження яких гарантує зменшення виробничих недоліків готового виробу до прийнятного рівня [8 с. 80...88].

Існуючий досвід сучасного літакобудування та ремонту повітряних суден, узагальнений в теоретичних основах технології ремонту ЛА (виготовлення необхідних комплектуючих деталей (виробів)), служить основою для розробки раціональної схеми основних виробничих процесів. Та все ж, тільки експериментальна технологічна обробка основних процесів виробництва, що реалізується, як в рамках спеціальних програм експериментальних робіт, так і при виготовленні головної серії нових виробів АТ, може остаточно підтвердити досягнення необхідного рівня якості виготовлення деталей (виробів) [9, с. 23...31].

На етапі технологічної обробки здійснюється також зворотній зв'язок:

уточнюються ТУ та креслення генерального конструктора;

в ТУ деталізуються окремі вимоги;

усуваються зайві обмеження, що ускладнюють виробництво;

в кресленнях змінюються розмірні бази, допуски на розміри, чистота поверхонь (шорсткість), захисні покриття та інше.

Для ряду елементів конструкції ЛА роль технологічної обробки у забезпеченні їх надійності особливо висока. Це, наперед всього, відноситься до зварних, клейових та паяних з'єднань, конструкцій з композитних матеріалів, герметизації паливних відсіків та антикорозійного захисту деталей.

На всіх етапах ремонту ЛА технологія спричиняє суттєвий вплив на характеристики готових деталей та агрегатів, що виготовлені вітчизняними підприємствами в рамках

імпортозаміщення, які визначають безвідмовність, довговічність та збережуваність.

На металургійному етапі виробництва при прокатці великогабаритних плит з високоміцного алюмінієвого сплаву впровадження таких технологічних способів, як попереднє підпресування та тристороннє уковування злитку перед прокатом, дозволяють збільшити відносно подовження за товщиною від 0,1 % до 3 %. Зменшення ймовірності розшарувань та включень (домішок) досягається вакуумним обробленням розплавленого металу. Схильність сплаву В-95 до міжкристалічної корозії та корозії під напруженням значно знижується при використанні ступеневого штучного старіння. Зменшення виробничих недоліків вилитих деталей з титанового сплаву BT5-1 можливо досягти за рахунок виплавлення та розливання у вакуумі до 0,13 Па, використанням електрода для розплаву, виплавленого з високочистої шихти у вакуумі з послідовним пресуванням та відцентровим заливанням в графітовані форми при температурі 1800°C з компонентів високої чистоти. Повне обпалювання деталей з титанового лиття також може суттєво підвищити їх надійність [11, с. 27].

В ході імпортозаміщення необхідно мати на увазі те, що на етапі налагодження виробництва нових деталей (комплектуючих), їх робочі поверхні є основним об'єктом застосування технологічних способів зменшення зношення, підвищення утомлювальної міцності та корозійної стійкості. В залежності від способу загострення ріжучого інструменту втомлювальна довговічність виточеної деталі може значно вирости. Наприклад, незначна оптимальна зміна кута різця при практично однаковій чистоті поверхні деталі зі сталі ЭИ-643 значно збільшує її витривалість [10, с. 19...24].

Обробку поверхонь, як засіб підвищення надійності, можливо розділити на три види: механічну обробку, хіміко-термічну обробку та спеціальну обробку.

Застосовуючи той чи інший вид поверхневого зміцнення, мають на меті покращення певних одних властивостей, але інколи це може призвести до погіршення інших властивостей.

До позитивних факторів зміцнення деталей належать:

- зниження впливу місцевих концентраторів напруження;

- місцеве підвищення міцності;

- підвищення зносостійкості.

Погіршенню експлуатаційних властивостей виробу може сприяти наступне:

- лушення поверхні до 0,1...0,15 мм при термодифузійній обробці та поверхневому

- загартуванні, а також її значна деформація при газовому наплавленню спеціальних металів на деталі;

- зниження чистоти поверхні при хіміко-термічній обробці;

- неякісна газова обробка та вібродугове наплавлення;

- неякісна плазмове та газове напилювання;

- виникнення залишкових напружень розтягнення, які знижують фактичний запас статичної міцності та опір втомлюваності при наплавленні, плазмовому та газовому напилюванні.

При пластичному деформуванні поверхневого шару (наклепу) та при хіміко-термічній обробці підвищується твердість та утворюються залишкові напруження стиснення, які понижують загальний рівень діючих напружень розтягнення в зоні концентраторів і тим самим зменшують їх вплив на опір втомлювальності. Необхідно, щоб зміцнений шар суцільно проходив по найбільш небезпечним зонам з точки зору концентрації напружень розтягнення.

Технологічні способи поверхневого пластичного деформування, такі як дробо-струмінне та віброзміцнення, дозволяють суттєво підвищити довговічність деталей. Інші способи деформаційного зміцнення поверхневого шару застосовуються в залежності від форми та розмірів деталей, що працюють при помірно високих температурах. До них відносяться такі способи, як ультразвукове деформаційне зміцнення, деформаційне зміцнення мікрокульками, алмазне вигладжування, деформаційне зміцнення енергією мікробибуху.

Розвальцювання отворів завадить розвитку на контактних поверхнях вушок болтових з'єднань фретинг-корозії. Ультразвукове зміцнення після фрезерування великогабаритних панелей зі сплаву АК4-1 зменшує розміри зерен у поверхневому шарі, підвищує чистоту поверхні і, як наслідок, значно підвищує витривалість та знижує швидкість корозійного ураження поверхні. Поверхнево-термічна обробка є ефективним способом підвищення надійності деталей із звичайних та легованих сталей. Закалювання з нагрівом токами високої частоти забезпечує більш високу поверхневу твердість та чистоту поверхні за рахунок великої швидкості нагрівання. Спосіб високочастотного закалювання, на відміну від таких способів зовнішнього нагрівання, як киснево-ацетиленовий, в рідинній ванні з розплавленим свинцем або в електроліті, забезпечує утворення структури дрібногочастого мартенситу у всьому об'ємі зміцненого шару. Для зняття залишкових напружень після механічної обробки у

відповідальних деталях здійснюється обпалювання в аргоні або в вакуумі.

Різні способи дифузійних покриттів забезпечують насичення поверхневого шару деталей, який зношується, вуглецем (цементация сталі), карбідами хрому, ванадію, ніобію, молібдену або вольфраму, азотом (азотування), бором (борування), кремнієм (силіціювання), хромом (хромування) або алюмінієм (алітування). Покриття напилюванням (газополум'яне, дитонаційне, електродугове, плазмове, височастотне індукційне) підвищують зносостійкість, термостійкість та корозійну стійкість деталей, що працюють в тяжких умовах.

Більша частина деталей планеру літака обробляється електролітичним покриттям (м'яке та тверде хромування, тверде нікелювання, оксидування та фосфатування). Застосовуються також хімічні покриття нікелю, хрому та кобальту, покриття з неметалевих матеріалів (жаростійке, емалеве покриття деталей гарячого тракту ГТД та покриття для підвищення зносостійкості деталей гарячого тракту ГТД і спеціальні покриття для підвищення зносостійкості деталей пар тертя, стійкості до корозії та ерозії. Якість вищезазначених способів зміцнення поверхневого шару деталей визначається конкретним складом технології, значеннями параметрів режимів виробничих процесів та рівнем оснащення сучасним високотехнологічним обладнанням.

На етапі збирання агрегатів ЛА технологічні способи виконання окремих операцій відіграють суттєву роль при забезпеченні потрібної надійності. Фактична взаємозамінність директивних агрегатів та вузлів безпосередньо впливає на експлуатаційну технологічність ЛА. Точне витримування зовнішніх обводів крила, горизонтального та вертикального оперення літака забезпечує витримування конструктивно закладених аеродинамічних характеристик на всіх режимах польоту.

Для підвищення втомлювальної довговічності з'єднань електричним зварюванням застосовується підвищений тиск електродів. Цей технологічний спосіб, одночасно з утворенням більш глибоких слідів від електродів на поверхні, дозволяє частково компенсувати усадку литого ядра, зменшити залишкові напруження та імовірність утворення тріщин. Подібний вплив дозволяє створити додаткове кільцеве втиснення у матеріалі навколо ядра місця контакту електроду. Всередині кільцевого втиснення утворюються радіальні стискаючі напруження, що компенсують залишкові напруження розтягування в зоні зварювання. Виробничі недоліки електричного зварювання залежать від якості підготовки поверхні.

Технологічні способи травлення алюмінієвих і титанових сплавів та технологічно правильне зберігання травлених деталей перед зварюванням дозволяють підвищити надійність зварних з'єднань.

Надійність клейових з'єднань забезпечується такими технологічними способами, які дозволяють отримати стабільно високу якість підготовки поверхонь, що склеюються. Для прикладу, це в рівній мірі відноситься до вкладишів рейок закрилка літака. Кількість виробничих дефектів конструкцій з композиційних матеріалів суттєво залежить від технологічних способів насичення армуючого матеріалу композитних матеріалів зв'язуючим, сушки армуючого матеріалу, формування заготовок з напівфабрикатів, затвердіння заготовок в оснастці.

До суттєвих виробничих недоліків в процесі ремонту ЛА відноситься негерметичність паливних відсіків. Враховуючи високу проникаючу властивість авіаційного керосину та складність виявлення місця розгерметизації у багатoelementній конструкції великого об'єму, а також тривалість процесів знежирення відсіку та полімеризації нових шарів герметика, усунення негерметичності у експлуатаційних умовах вкрай небажано. Прикладом технологічного способу, який підвищує надійність герметизації паливних відсіків, може служити заливання всієї внутрішньої поверхні відсіку рідким герметиком з попереднім плівково-клейовим захистом раніше нанесеного джгутового герметика від розчинення та здуття.

Ресурс ЛА в значній мірі залежить від технологічних способів виконання заклепкових та болтових з'єднань. Застосування комбінованого інструменту (свердло – зенківка) для формування отворів свердлувальних машин (зі змінною подачею інструменту протягом циклу обробки) забезпечує високу якість формування отворів. Застосування клепальних автоматів, які здійснюють стискування пакету протягом усіх наступних операцій, дозволяє уникнути утворення задири на стику деталей, які склепуються, та зберегти необхідну вісьову затяжку. Остаточна обробка отворів за 2...3 класом точності методом розгортання здійснюється набором пневматичних машин з автоматичною подачею та самоцентруванням розверток. Таку ж витривалість з'єднанню забезпечує більш ефективний спосіб гвинтового протягування. Здійснення болтових з'єднань з пружно-пластичним натягом механізованим безударним способом також супроводжується низкою технологічних особливостей, які істотно впливають на призначений ресурс виробів АТ. Послідовність постановки кріплення в конструкції ЛА також

впливає на рівень залишкових напружень та довговічність. Тому технологічне опрацювання оптимального варіанту маршрутною обробки клепаних швів, наприклад, при клепанні панелей стрижневими заклепками на автоматах з числовим програмним управлінням має велике значення.

При виборі того чи іншого технологічного способу виконання операцій необхідно враховувати наслідки ймовірних порушень обраної технології, тобто оцінювати надійність технологічного процесу.

Технологічні способи неруйнівного контролю агрегатів, виробничі випробування агрегатів та ЛА в цілому, у тому числі і льотні, мають великий вплив на кількість виробничих дефектів, що можуть виникнути при їх експлуатації. Застосовуючи більш сучасні, технологічно оснащені способи контролю та випробувань, можливо підвищити надійність літака у міжремонтний період експлуатації.

У період впровадження на вітчизняних АРП заходів імпортозаміщення розробка нових технологічних способів виготовлення деталей (комплектуючих виробів) та агрегатів ЛА лежить в основі забезпечення підтримання льотної придатності авіаційної техніки військової авіації [13, 14]. Хоча технологічним способом ремонту і належить провідна роль у забезпеченні процесу відновлення АТ з потрібними значеннями показників надійності, контроль якості та надійності продовжує залишатись необхідним засобом виявлення браку, збоїв та відхилень від прийнятої технології. Сучасні методи контролю продукції є важливою складовою виробничого процесу та незамінним інструментом оперативного управління якістю при виконанні заходів імпортозаміщення у процесі заводського ремонту. Підготовлені належним чином фахівці відділу головного контролера авіаремонтного підприємства та відділів технічного контролю виробничих підрозділів, які мають володіти новітніми методами та технічними засобами, повинні здійснювати перевірку показників якості на всіх етапах виробничого циклу ремонту АТ. Під контролем розуміється перевірка відповідності продукції або процесу, від якого залежить якість продукції встановленим технічним вимогам.

Звісно, вхідний контроль матеріалів, напівфабрикатів та готових виробів призначений для оцінки відповідності параметрів їх якості значенням, що закріплені в технічних умовах на постачання. В процесі вхідного контролю всі матеріали та вироби, які поступають на АРП від підприємств-суміжників (співвиконавців) перевіряються (випробовуються) в спеціальних

лабораторіях. Матеріали та напівфабрикати випробовуються на міцність на різні види навантажень в експлуатаційному діапазоні температур. Готові вироби проходять перевірку на функціонування в умовах, максимально наближених до експлуатаційних. Забраковані на вхідному контролі матеріали та готові вироби з рекламційними актами відправляються назад підприємствам-постачальникам.

Контроль виробничих процесів називають активним, якщо за його результатами здійснюється підналагодження обладнання, уточнення режимів, відсорткування бракованих деталей або призупинення виготовлення продукції. Розвиток автоматизації виробничих процесів та методів активного контролю дозволяє створювати лінії, що самоналаштовуються, в яких, попри зміни умов та режимів обробки без втручання людини, підтримуються потрібні показники якості виробів (деталей). Всі види контролю, які застосовуються для виявлення виробничих дефектів, можливо віднести до руйнівних та неруйнівних.

Руйнівні методи контролю призводять до псування деталей, що контролюються, та не дозволяють виявити браковані деталі в партії. Наприклад, контроль діаметра гідравлічного золотника індикаторним приладом є руйнівним методом, оскільки шарик індикатора залишає неприпустимий слід. Подібні деталі контролюються безконтактним методом.

Руйнівні методи контролю застосовуються при оцінці механічних властивостей партій матеріалів (заготовок). Різні зразки, що виготовлені з листів, плит, панелей, прутків та поковок, які періодично відбираються, дозволяють робити технологічні проби, металографічний аналіз, визначення твердості та міцності при декількох видах навантаження.

Неруйнівні методи контролю відкривають широку перспективу застосування новітнього обладнання для оцінки якості виготовлення складних деталей та агрегатів ЛА. Використання проникаючих випромінювань різних спектрів дозволяють отримувати об'єктивну інформацію про наявність прихованих виробничих дефектів. Рентгено- та гама-просвічування застосовуються для контролю якості лиття та стикових з'єднань. Виявляються поверхневі та глибинні тріщини, раковини, рихлини, ліквіаційні зони, вклучення. Поверхні деталей контролюються капілярним методом. При цьому фіксуються втомлювальні, закалювальні та шліфовочні тріщини, пори та рихлини. Ультразвукові методи застосовуються для контролю розшарувань, тріщин та пористості в листах, трубах, прокаті, поковках, а також в

агрегатах із полімерних композиційних матеріалів. Магнітні та електромагнітні методи неруйнівного контролю знайшли широке використання при виявленні дефектів поверхневих шарів деталей та зварних з'єднань деталей. Інфрачервона дефектоскопія агрегатів з композиційних матеріалів забезпечує ефективний контроль внутрішньої структури. На фотодефектограмах чітко відображаються пори, раковини, складки та взаємне розташування повздожних та поперечних елементів. Для стільникових конструкцій застосовується мікрохвильова дефектоскопія, за допомогою якої чітко фіксуються непоклейвання та розшарування. Перспективні також методи контролю, які ґрунтуються на застосуванні лазера та голографічні методи.

Приймальний контроль деталей (виробів), агрегатів та ЛА в цілому здійснюється на завершальних етапах ремонту (виробництва). Використовується широке залучення підготовлених фахівців до виконання контрольних операцій та оснащення контрольних ділянок новітніми технічними засобами. Контроль надійності ЛА в процесі ремонту (виробництва) істотно доповнює інформацію, що поступає з експлуатуючих частин (організацій). За результатами великої кількості контрольних наземних та льотних випробувань ЛА на підприємстві фіксуються всі відмови та дефекти, оцінюються показники надійності та розробляються заходи щодо управління якістю.

Наземні контрольно-здавальні випробування кожного відремонтованого ЛА повинні складатися з: перевірки параметрів радіопрозорості конусів, відпрацювання та юстирування радіоелектронного обладнання, випробування двигунів, перевірки функціонування основних систем та спрацювання всіх пристроїв. Якщо передбачається збільшення встановлених (ресурсних) показників, на окремих ЛА повинні проводитись льотні ресурсні випробування. Також окремо на повторну статику випробовується літкар кабіни екіпажу ЛА. Підвісні баки та контейнери повинні проходити випробування на статику та вібронестійкість. Рухомі шланги та електроджгути мають бути випробувані на тривалу міцність при згинаючих деформаціях. Стендові ресурсні випробування повинні проходити агрегати паливної системи, засоби аварійного покидання, агрегати шасі, системи управління, кондиціонування, гідро та пневмосистеми ЛА.

Льотні приймально-здавальні випробування кожного ЛА після капітального ремонту забезпечують контроль його працездатності. Всі випробування на АРП аналізуються у відділі надійності, при цьому має приділятися особлива

увага перспективним питанням післяремонтної надійності АТ при виконанні заходів імпортозаміщення в процесі заводського ремонту.

Для оперативного прийняття рішення щодо визначення можливості подальшої експлуатації літака, що зазнав різного виду бойові та експлуатаційні пошкодження, розглядаються два основні варіанти щодо стану силових елементів конструкції планера:

повне руйнування силових елементів конструкції планера через втрату несучих властивостей по напруженням, або виникнення в них залишкових деформацій, що перевищують експлуатаційні (допустимі) обмеження;

відсутність будь-яких руйнувань (деформацій) в силових елементах конструкції планера. В несилових елементах конструкції планера наявні незначні або повністю відсутні будь-які руйнування. Нівелірувальні характеристики даного літака знаходяться в межах встановлених допусків.

Можливість подальшої експлуатації літака, що зазнав різного виду бойових та експлуатаційних пошкоджень, встановлюється на основі об'єктивних даних, що отримані в ході досліджень його технічного стану, з урахуванням можливості проведення ремонту або заміни окремих зруйнованих несилових елементів конструкції. При цьому оцінка зміни характеристик міцності конструкції планера літаків здійснюється за деформаційними та силовими критеріями. За деформаційними критеріями приймається величина відхилення силових параметрів навантаження критичних елементів конструкції планера відносно розрахункових значень, що встановлені розробником (виробником).

Висновки

Таким чином, технічний стан АТ ЗС України характеризується поступовим зношенням елементів конструкцій і обладнання ЛА, вичерпанням їх призначених показників, у першу чергу, строків служби. Тривала експлуатація значної кількості АТ за умовами особливого періоду та воєнного стану (з 24.02.2022), відсутність необхідного запасу справних агрегатів, блоків (вузлів), деталей, запасних частин та іншого авіаційно-технічного майна значно ускладнюють забезпечення справності та боєздатності всього парку АТ ЗС України. Очевидно, вже в найближчій перспективі їх буде неможливо забезпечити без значного збільшення обсягів капітально-відновлювального ремонту АТ. Вся АТ, яка експлуатувалась за технічним станом, потребує виконання на ній капітального (середнього) ремонту.

Використання розглянутих у статті технологічних способів ремонту АТ зменшать ризики виникнення виробничих недоліків, дадуть можливість у певній мірі уникнути відмов АТ, які пов'язані з якістю проведення її ремонту на АРП при врахуванні тривалого терміну експлуатації.

Подальші наукові дослідження доцільно спрямувати на якісне висвітлення проблем ремонту літаків, вертольотів, безпілотних літальних апаратів, що зазнали бойових пошкоджень.

Окремо має бути опрацьовано питання щодо вибору найбільш доцільного варіанту оновлення всього парку АТ із всіх варіантів, що можливі.

Список літератури

1. Борохвостов В.К., Рябець О.М., Сушак М.Б. Оцінка ефективності та проблемні фінансові, економічні та виробничо-технологічні питання впровадження на підприємствах України імпортозаміщення під час заводського ремонту авіаційної техніки // Зб. наук. праць ЦНДІ ОВТ ЗС України. 2019. – № 2 (73). – С. 71 – 79.
2. Справочник по надёжности / Пер. с англ. под ред. Б.Е. Бердичевского. М.: Мир, 1969, т. 1, 329 с.; 1970, т. 2, 304 с.; 1970, т. 3, 376 с.
3. Р.Барлоу, Ф.Прошан. Математическая теория надёжности. Пер. с англ. под ред. Б.В. Гнеденко. М.: “Советское радио”, 1969, – 488 с.
4. Міщенко В.Б., Сушак М.Б. Василенко О.А. Проблеми питання матеріального забезпечення заходів бойової підготовки у військових частинах та шляхи їх вирішення // Збірник матеріалів науково-практичної конференції “Актуальні проблеми застосування ЗС України, управління ними, їх оперативного та логістичного забезпечення” 4 листопада 2020 року. – Київ, ЦНДІ ЗС України. – С. 164 – 168.
5. Масыгин В.І., Сушак М.Б., Бездельний В.В. Визначення ймовірних властивостей процесу гарантійного обслуговування зразків авіаційної техніки, які експлуатуються за межами попередньо встановлених ресурсних показників // Зб. наук. праць Національного університету “Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка”. 2021. – № 2(64). – С. 21 – 26.
6. Сушак М.Б., Грицюк Ю.Д. Аналіз технічних аспектів проблем якості ремонту військової авіаційної техніки // Тези доповідей IV Всеукраїнської науково-практичної конференції “Проблеми якості оборонної продукції: організаційні, технічні та фінансово-економічні аспекти” 30 червня 2022 року. – Київ, НУОУ ім. Івана Черняховського. – С. 150 – 163.
7. Масыгин В.І., Сушак М.Б., Ладик А.М. Забезпечення надійності деталей газотурбінного двигуна, налагодження виготовлення яких при імпортозаміщенні здійснюється за директивними процесами // Зб. наук. праць Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. 2018. – № 4 (58). – С. 71 – 79.
8. Сушак М.Б., Грень В.М., Клобукова Н.В., Чернозубкін І.О. Методичний підхід щодо визначення основних показників надійності зразків авіаційної техніки в міжремонтний період експлуатації // Зб. наук. праць ДНДІА, 2021. – № 17(24). – С. 80 – 88.
9. Кривов Г.А., Матвиенко В.А., Резников В.А. Система управления качеством производства авиационной техники. К.: Техніка, 2004. – 272с.
10. Современные процессы механической обработки и качество поверхности деталей машин. Сборник научных трудов НАН Украины. Институт сверхтвердых материалов. Киев, 1998. – 198с.
11. Новиков И.И. Дефекты кристаллического строения металлов. М.: Металлургия, 1975. – 208 с.
12. Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций. М.: Атомиздат, 1972. – 599 с.
13. Методичні рекомендації державної авіації щодо розробки рішень з питань підтримання льотної придатності авіаційної техніки державної авіації, за якою не здійснюється авторський нагляд (МРДА-04/16), які затверджено наказом начальника Управління регулювання діяльності державної авіації України від 24 травня 2016 № 30.
14. Правила схвалення організацій з технічного обслуговування та ремонту авіаційної техніки державної авіації (Частина 145-В), які введено в дію наказом Міністерства оборони України від 23.12.2016 № 714.

Надійшла до редколегії 10.10.2022

Схвалена до друку 20.12.2022

Відомості про авторів:

Сушак Михайло Борисович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
звступник начальника науково-дослідного візжиду
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7747-2303>

Дерев'янко Михайло Миколайович

старший науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5470-4164>

Фокін Сергій Олексійович

старший науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4198-1074>

Information about the authors:

Mykhaylo Sushak

Candidate of Technical Sciences
Senior Researcher
Deputy Head of Research Department
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7747-2303>

Mykhailo Derevianko

Senior Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5470-4164>

Sergiy Fokin

Senior Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4198-1074>

**ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL METHODS OF INCREASING REPAIR QUALITY OF
THE UKRAINIAN ARMED FORCES AVIATION**

M. Sushak, M. Derevianko, S. Fokin

The article presents the results of the analysis of the aircraft equipment repair quality at aircraft repair enterprises. The analysis of the current state of the Armed Forces of Ukraine aircraft fleet showed gradual wear and tear of the elements of aircraft structures and equipment, the exhaustion of their intended indicators, first of all, the service life. Long-term operation of a significant amount of aviation equipment under the conditions of a special period and martial law, the lack of the necessary stock of serviceable units, blocks (assemblies), spare parts and other aviation equipment greatly complicates ensuring the serviceability and combat capability of the entire fleet of Armed Forces of Ukraine aircraft.

All aviation equipment that was operated according to its technical condition requires a major (medium) repair. Knowledge of the regularities of the influence of manufacturing technology on aircraft reliability indicators ensures the development of an optimal production process, in which acceptable quality indicators guarantee the necessary reliability indicators for aviation equipment. A significant part of failures identified during the operation of aviation equipment after a major (medium) repair is a consequence of manufacturing deficiencies in components (parts) installed on aircraft.

Based on the analysis of statistics, a classification of the causes of manufacturing deficiencies in aircraft is proposed. The use of the proven technological methods considered in the article makes it possible to ensure a sufficient quality of repairs and to achieve a significant reduction in the risks of production deficiencies. They also allow, to a certain extent, to avoid aviation equipment failures, which are related just to the quality of its repair, taking into account the long service life.

Keywords: repair, technology, quality, import substitution, reliability, durability, resource indexes.