



## References

- [1] Kompozitsionnyie materialy / pod red. L. Brautmana, R. Kroka. – V 8 t. – M.: Mashinostroenie, 1978. – T.8: Analiz i proektirovanie konstruktsiy. – 264 p.
- [2] Karpov Ia.S. Metodika eskiznogo proektirovaniya diskretno-opertyih trehsloynnyih paneley iz kompozitsionnyih materialov / Ia.S. Karpov, V.P. Kopyichko // Voprosy optimizatsii tonkostennyih silovyyih konstruktsiy letatelnyih apparatov: temat. sb. nauch. tr. / M-vo vyssh. i srednego spets. obrazovaniya SSSR, Hark. aviats. in-t im. N. E. Zhukovskogo. – Vyip. 4. – H., 1983. – P. 3 – 7.
- [3] Gaydachuk V.E. O printsipah i problemah proektirovaniya aviakonstruktsiy iz kompozitsionnyih materialov / V.E. Gaydachuk // Samoletostroenie. Tehnika vozdušnogo flota: resp. mezhved. temat. nauch.-tehn. sb. – Vyip. 36. – H., 1975. – P. 51 – 56.
- [4] Karpov Ia.S. Obschiy podhod k proektirovaniyu konstruktivno-silovoy shemy diskretno-opertyih agregatov samoletov iz kompozitov / Ia.S. Karpov, Ia.O. Golovchenko // Voprosy proektirovaniya i proizvodstva konstruktsiy letatelnyih apparatov: sb. nauch. tr. Nats. aerokosm. un-ta im. N.E. Zhukovskogo «NAI». – Vyip. 3 (75). – H., 2013. – P. 7 – 12.
- [5] Karpov Ia.S. Proektirovanie detaley i agregatov iz kompozitov: uchebnyk / Ia.S. Karpov. – H.: Nats. aerokosm. un-t «Hark. aviats. in-t», 2010. – 768 p.

УДК 629.7.083.025

Бологін А.С.

Державний науково-дослідний інститут авіації. Київ, Україна

## КОРОЗІЙНІ УРАЖЕННЯ СТИКОВИХ НАКЛАДОК КІЛІВ ЛІТАКІВ ТИПУ МІГ-29

*Наведено результати досліджень щодо встановлення причин розвитку корозії на силових елементах кілів літаків типу МіГ-29.*

*Ключові слова:* літак; кіль; експлуатація; корозія; стикова накладка.

Наприкінці 2008 року у засобах масової інформації була опублікована інформація про катастрофу літака типу МіГ-29 Військово-повітряних Сил Російської Федерації внаслідок руйнування кіля. За даними проведеного розслідування встановлено, що причинами авіаційної події стало руйнування стикових накладок кілів 5.12.3410.2301.98 та 5.12.3410.2401.98 літака.

За результатами аналізу наявної інформації у Повітряних Силах Збройних Сил України (далі – ПС ЗС України) було проведено діагностування кілів усіх літаків типу МіГ-29, що перебувають в експлуатації, та тих, що перебувають на ремонті на Державному підприємстві «Львівський державний авіаційний завод» (далі – ДП «ЛДАРЗ»). Аналіз результатів діагностування накладок 5.12.3410.2301.98, 5.12.3410.2401.98 кілів літаків типу МіГ-29 показав, що значна кількість кілів має корозійні uszkodженні досліджуваних конструктивних елементів.

Під час діагностування стикових накладок кілів літаків типу МіГ-29, проведеного у військових частинах, були виявлені такі небезпечні корозійні ураження, що виникли сумніви щодо перспективи подальшого використання літаків цього типу. Оскільки причина розвитку корозії залишилась не встановленою, було висунуто гіпотезу, що її слід пов'язувати з особливостями конструкції кілів літаків цього типу, а саме з наявністю в їх конструкції силових елементів, виготовлених з композиційного матеріалу на основі вуглепластику КМ-4 [1].

Сама по собі думка, що пластмаса може проводити електричний струм і перетворитися на електрод, раніше не виникала, але, як це виявилось у серії проведених експериментів, пара «вуглець – сплав алюмінію» спроможна в певних умовах експлуатації створити гальванічний елемент, робота якого і здібна спричинити розвиток корозійних

процесів. Для цього потрібен лише електроліт, роль якого може взяти на себе атмосферна вологість з домішками природних забруднювачів — це пил, бруд, агресивне газове оточення промислового та атмосферного походження. Заклепки, які з'єднують вуглепластикову панель з матеріалом основної конструкції, сприяють короткому замиканню електричного ланцюга.

Вертикальне оперення літака типу МіГ-29 включає два кілі з рулями напрямку та підкільові надбудови [2].

Кілі встановлюються на підкільові надбудови з боків хвостової частини корпусу літака і кріпляться на них за допомогою стикових накладок 5.12.3410.2301.98, 5.12.3410.2401.98. (рис.1)

У конструкцію кіля входять: носок, кесон і підкільова надбудова. Основним силовим елементом є кесон, що складається з силового каркасу і приклепаного до стрингерів обшивки з композиційного матеріалу на основі вуглепластика КМУ-4Л. Це перший випадок застосування вуглепластика в конструкції основних силових елементів планера літака-винищувача у радянському літакобудуванні.

Незвичайною особливістю конструкції кіля з точки зору передачі моменту згину є те, що в зоні кріплення кіля до підкільової надбудови встанов-

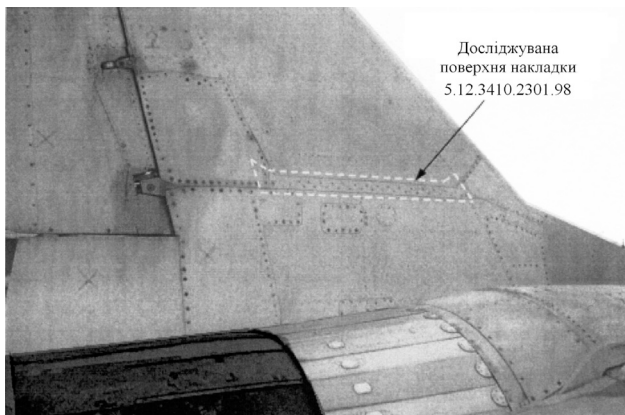


Рис. 1. Зона візуального контролю стикових накладок кріплення кіля до підкільової надбудови літаків типу МіГ-29

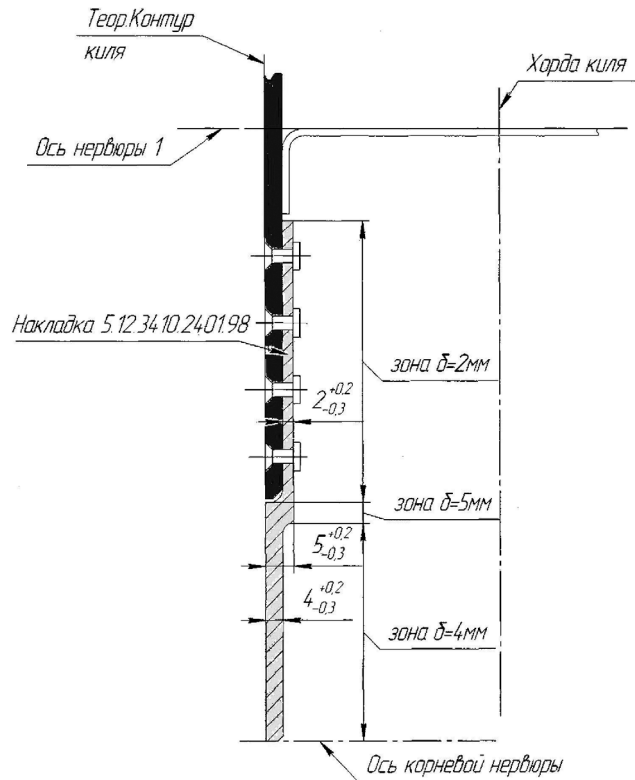


Рис. 2. Стикання кіля з підкільовою надбудовою літака типу МіГ-29

люються стикові накладки, на яких стрингерний набір переривається, створюючи таким чином зону концентрації напружень.

Самі накладки вифрезовано з галтельними переходами з товщини 2 мм на 5 мм і з товщини 5 мм на 4 мм, що створює ще дві зони концентрації напружень і значно підвищує небезпеку розвитку втомних ушкоджень в цих місцях. Це підтверджується практикою експлуатації — саме тут виникають вкрай небезпечні тріщини втоми (рис. 2).

Поперечна сила передається в основному зсувом стінок лонжеронів і далі зсувом горизонтальних стінок бічних коробчастих балок хвостової частини корпусу, які при цьому працюють на поперечний згин [3].

Кіль літака типу МіГ-29 тримається на вузькій ділянці тільки на пластинці товщиною 2 мм, до того ж і навантаження на цю пластинку прикладене позацентренно, що погіршує її напружено-деформований стан, створюючи «критичну зону».

Найбільшу небезпеку спричиняє виконання на літаках цього типу досить поширеної фігури вищого пілотажу «ніж» — літак протягом виконання цієї фігури перебуває у горизонтальному прямолінійному польоті з креном 90°. Підйомна сила при цьому створюється кілями та фюзеляжем при майже повному відхиленні рулів напрямку, які в даному випадку виконують роль рулів висоти [4]. Оскільки фігура виконується на малій висоті і на



Рис. 3. Початок корозійного процесу в зоні непроклею на стиковій накладці кіля літака типу МіГ-29

значній швидкості (понад 800 км/год), навантаження на кілі досягають максимуму.

Контакт елементів конструкції із матеріалів з різними електрохімічними потенціалами (вуглепластикової обшивки зі стиковими накладками кіля з матеріалу типу Д-19) при наявності «природного» електроліту утворює гальванічну пару, яка характеризується значною різницею потенціалів і у високий мірі сприяє розвитку корозійних процесів.

Розвиток корозійних процесів на стикових накладках кілів літаків типу МіГ-29 здійснюється саме через механізм електрохімічної корозії в місцях контакту пластин вуглепластику з матеріалом основної конструкції літака – це алюмінієвий сплав типу Д-19. За 15–20 років експлуатації почалося руйнування клейової плівки, яка раніше захищала гальванічну пару від попадання вологи, до того ж проведені дослідження показали, що ця плівка не є суцільною – вона має значні зони непроклею, які в першу чергу становляться осередками корозії (рис. 3).

Крім того з наведеного рисунку видно, що перша стадія корозійного процесу починається з заклепок.



Рис. 4. Ультразвуковий товщиномір УДТ-40

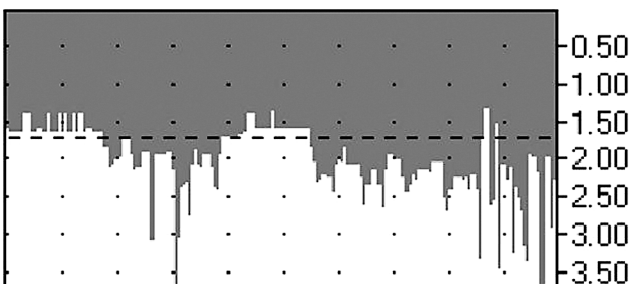
Головка заклепки разом з поверхневим шаром вуглепластику створює гальванічну мікропару, тіло заклепки замикає електричний ланцюжок. Руйнується головка заклепки, відкривається доступ вологи до зони непроклею і запускається основний корозійний процес.

Результати розрахунків напружено-деформованого стану стикових накладок кіля літака типу МіГ-29 показали нерівномірність поля напружень і наявність значної їх концентрації в зоні гальтельного переходу з товщини 2 мм до 5 мм, а також в місцях з'єднання стикових накладок зі стрингерами.

Оскільки зона контролю є недоступною для здійснення візуального огляду, для діагностування застосовується ультразвукова апаратура. Наявність корозійних уражень виявляється за ступенем стоншення основного матеріалу стикових накладок (початкова товщина дорівнює 2 мм, допуск на стоншення – не більш 0,3 мм).

Державне підприємство ЛДАРЗ в цілях діагностування використовує прилад УДТ-40 (рис. 4), який дозволяє проводити вимірювання товщини непошкодженого корозією шару матеріалу з точністю до 0,01 мм.

T = 30.0 / 30.0 секунд; Min = 1.342 мм



T = 30.0 / 30.0 секунд; Min = 1.474 мм

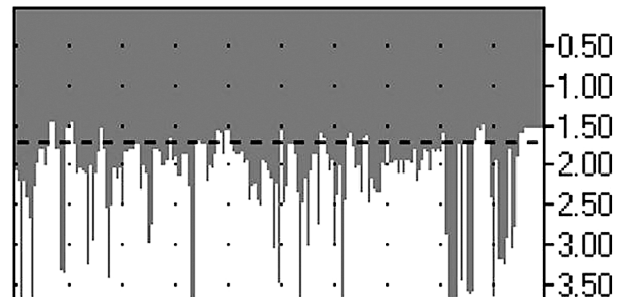


Рис. 5. Показання товщиноміра в місцях зі стоншенням матеріалу накладок

При діагностуванні стикових накладок кілів виявлено осередки корозії значних розмірів та стоншення матеріалу накладок (рис. 5).

При проведенні контролю технічного стану накладок кілів виявлено місця зі значним аж до наявності наскрізних пошкоджень матеріалу накладок і навіть тріщин у зоні галтельного переходу товщини накладок з 2 до 5 мм (рис. 6, 7).

Розрахунки методами теорії крихкої міцності та скінченно-елементного моделювання для таких варіантів ушкоджень стикових накладок показують, що подальша експлуатація літаків з такими ушкодженнями накладок їх кілів обумовлює виникнення і швидкий розвиток тріщин в зоні галтельного переходу і, відповідно, катастрофічне зниження їх міцності. Експлуатаційних заходів по підтриманню справності зазначених елементів виявляється вже недостатньо. Без виконання капітального ремонту кілів, або без впровадження інших технологічних рішень, подальша експлуатація таких літаків недопустима, це може привести до руйнування кіля в польоті.

Корозійні ураження елемента конструкції мають наслідками:

- втрату статичної міцності з-за зменшення робочої площини перерізів і перерозподілу напружень, внаслідок чого створюються зони концентрації напружень;
- втрату крихкої міцності при виникненні тріщин, або наскрізних корозійних уражень, внаслідок чого знижуються критичні напруження крихкої міцності;
- втрату втомної міцності внаслідок збільшення робочих напружень з-за зменшення площини робочих перерізів і концентрації напружень.

З наведеного витікає, що при виникненні корозійних уражень зменшується несуча спроможність конструкції, зменшується її живучість та реальні наявні запаси ресурсних показників.

У зв'язку з тим, що технологія ремонту зазначених стикових накладок виробником попередньо не відпрацьовувалась, проблема визначення та застосування нових технологічних рішень для запобігання виникненню корозії накладок кілів є на сьогоднішній день актуальною та життєво важливою.

### Висновки

Завдання забезпечення безаварійної експлуатації літаків типу МіГ-29, які мають певні корозійні ураження силових елементів конструкції, передбачає розробку та виконання комплексу заходів, які розподіляються на експлуатаційні та конструктивно-технологічні.

До експлуатаційних заходів, більшість з яких вже впроваджено в експлуатацію, відносяться діаг-

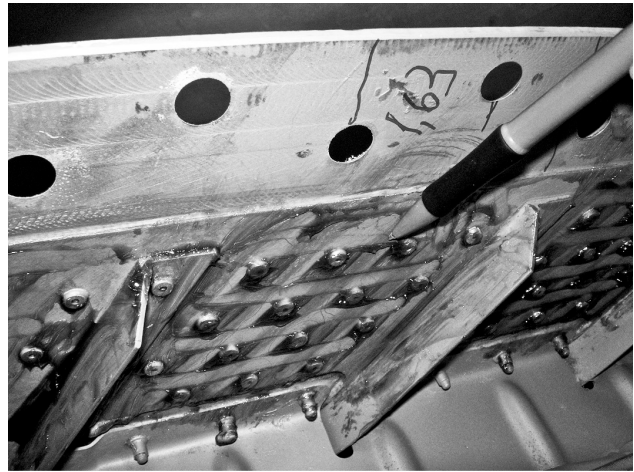


Рис. 6. Місця конструкції, де спостерігається стоншення матеріалу стикових накладок кіля, спричинені корозійними ураженнями

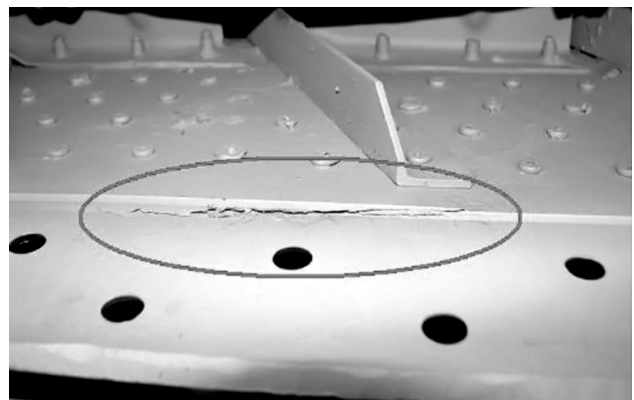


Рис. 7. Тріщина стикової накладки кіля в зоні галтельного переходу

ностування та періодичний контроль технічного стану стикових накладок за розробленими, на основі відповідних розрахунків та експериментів, методиками. Це дозволяє контролювати зміни технічного стану досліджуваних конструктивних елементів з метою недопущення виникнення небезпечного дефекту в експлуатації.



Розроблення та впровадження відповідних конструктивно-технологічних заходів є актуальним та необхідним завданням на сучасному етапі експлуатації літаків типу МіГ-29. Внесення науково обґрунтованих змін в конструкцію силових елементів в зоні контакту матеріалу основної конструкції з елементами, виготовленими з композиційних матеріалів, з метою недопущення корозійних уражень, дозволить покращити характеристики надійності конструкції літака.

## Література

- [1] Томашов Н. Д. Теория коррозии и защиты металлов. М., Изд-во АН СССР, 1959, — 591 с.
- [2] Зайцев В.И., Рудаков В.Л. Конструкция и прочность самолетов. Киев, Вища школа, 1978, — 488 с.
- [3] Стригунок В.М. Расчет самолета на прочность. Москва, Машиностроение, 1984г.
- [4] Конструкція літальних апаратів. Під редакцією Терещенка Ю.М., Київ, Вища освіта, 2001, — 383 с.

*Bologin A.S.*

The State scientific research institute of aviation. Kiev, Ukraine

## CORROSION DAMAGES OF CONNECTIVE PLATE OF TAILS OF PLANES TYPE MIG-29

*Results of researches on an determination of the reasons of development corrosion on elements of tails of planes type MiG-29.*

*Keywords:* airplane; kiel; exploitation; corrosion; connective plate.

## References

- [1] Tomashov N.D. Teorija korrozii i zachity metallov. M., Izd.AN SSSR, 1959, — 591 p. (in Russian)
- [2] Zaicev W.I., Rudakov W.L. Konstrukcija i prochnost samoletov. Kiev, Wycha shkola, 1978, — 488 p. (in Russian)
- [3] Strigunok W.M. Raschet samoleta na prochnost. Moskwa, Mashinostroenie, 1984, — 355 p. (in Russian)
- [4] Konstrukcija litalnych aparativ. Pid redakciey Tereshenka J.M., Kiev, Wycha osvita, 2001, — 383 p. (in Ukrainian)