

**ДЕФЕКТЫ СТЫКОВОЧНОЙ ЛЕНТЫ УЗЛА КРЕПЛЕНИЯ КИЛЯ
К ПОДКИЛЕВОЙ НАДСТРОЙКЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ,
ПРИВОДЯЩИЕ К НИМ**

Введение. Планер летательного аппарата (ЛА) и его элементы являются основой несущей конструкции самолёта. Прочность и жёсткость этой конструкции обеспечивает устойчивость её к воздействиям различных факторов в полёте. Изменения механических свойств планера как конструкции приводит как к поломке отдельных элементов планера, так и к более существенным разрушениям.

Выявление причин и факторов приводящих к изменению механических свойств планера – одна из важнейших задач проектирования ЛА.

Однако, не все факторы, особенно эксплуатационные можно учесть на этапе разработки. Многие из них выявляются в процессе эксплуатации, иногда в результате расследования катастроф и лётных происшествий. Кроме того, дефекты могут быть обнаружены как при выполнении периодических, регламентных работ, контрольных и целевых осмотров эксплуатирующей организации, так и при надзоре разработчиков (изготовителей) за эксплуатацией ЛА [1].

Изложение основного материала. Многообразие и стохастический характер воздействия различных факторов на ЛА приводят к тому, что при одной и той же наработке, или продолжительности эксплуатации ЛА имеют различные технические состояния.

Так, после катастрофы 2008 года ЛА МиГ-29 (разрушение вертикального оперения планера) на основании дополнения к методике от 06.02.2009 года осмотра накладок (стыковочная лента) 5.12.3410.2301.98, 5.12.3410.2401.98 крепления киля к подкилевой надстройке МиГ-29 с применением методов неразрушающего контроля (визуально и ультразвуковым толщиномером), разработанной научно-исследовательским центром «ОКБ им. А.И. Микояна», Государственным предприятием Министерства обороны Украины «Львовский государственный авиационный ремонтный завод» проведён осмотр всего парка МиГ-29. По результатам осмотра выявлено наличие трещин и расслоения металла в силовых элементах планеров и разрушение заклёпок обшивки, в результате коррозии металла, у 30 % МиГ-29 одного года выпуска, имеющих минимальный запас назначенного срока службы и наработкой 10 % от назначенного ресурса.

На фотографиях (рисунок 1) представлены элементы конструкции вертикального хвостового оперения планера ЛА со сроком эксплуатации более 18 лет и наработке около 250 часов, на котором видны трещины, расслоение металла, разрушение заклёпок обшивки, выявленные при оптико-визуальном осмотре места крепления киля к килевой надстройке с применением лупы 4-х кратного увеличения.

При выполнении диагностики элементов, стыковочной ленты, конструкции крепления киля к подкилевой надстройке ЛА, рисунок 2, неразрушающим методом контроля при помощи ультразвукового толщиномера, выявлено отклонения заданных параметров конструкции в зонах контроля, рисунок 3.

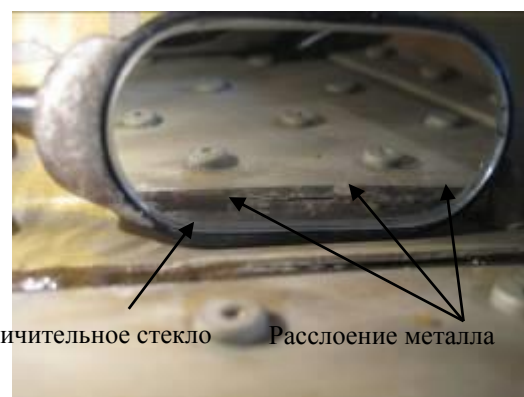
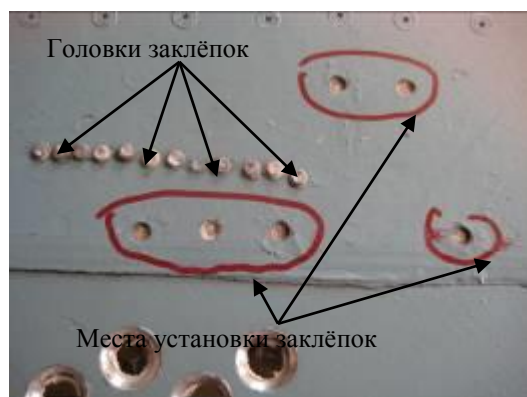


Рисунок 1 – Дефекты, выявленные при визуальном осмотре места крепления кия к подкилевой надстройке ЛА:
а) – разрушение заклёпок; б) – расслоение металла

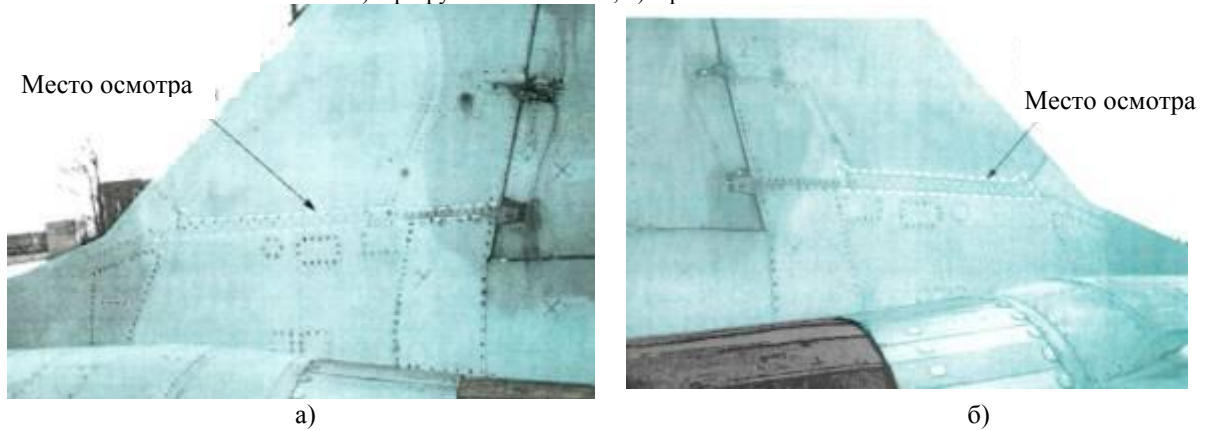


Рисунок 2 – Зона визуального контроля (стыковочная лента обведена штриховой линией) места крепления кия к килевой надстройке ЛА:
а) – левая стыковочная лента; б) – правая стыковочная лента

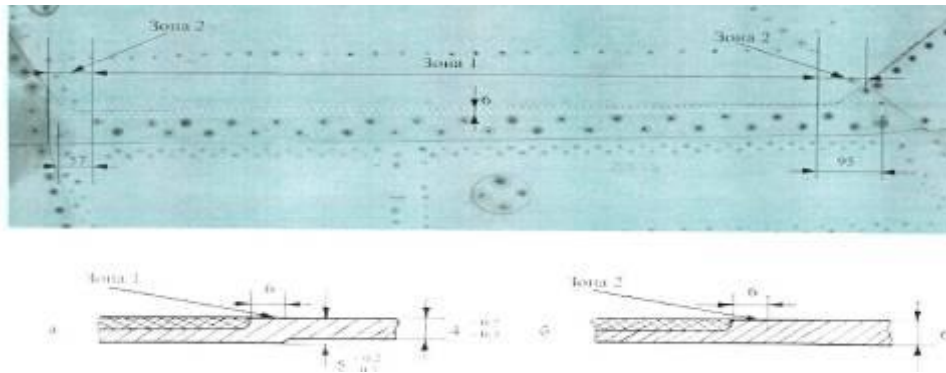


Рисунок 3 – Зона контроля при помощи ультразвукового толщиномера

Рассматривая более углубленно вопрос об изменении заданных параметров, рисунок 4, а именно толщины изделия $\delta_{\text{задан}}$ в контрольных зонах, толщина $\delta_{\text{узд}} < \delta_{\text{задан}}$ после измерения ультразвуковым толщиномером. При этом производились измерения толщины, тех же зон электронным штангенциркулем $\delta_{\text{штанг}} = \delta_{\text{задан}}$, было выявлено зону основного очага коррозии, рисунок 5, в области которого находится заклёпочное соединение.

Уменьшение толщины деталей приводит к снижению механических свойств конструкции планера ЛА, образованию зазоров и люфтов [2–4], что впоследствии может привести к необратимым последствиям.

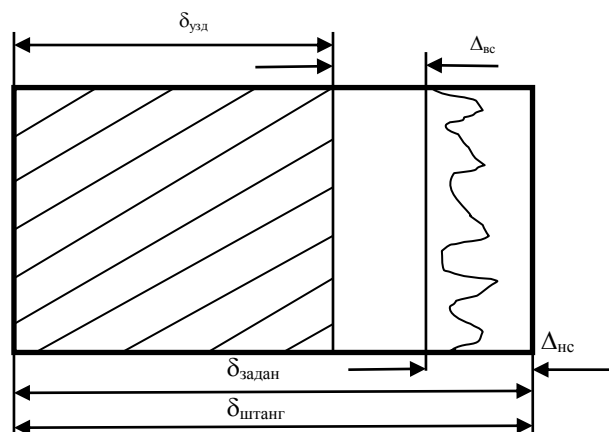


Рисунок 4 – Изменения толщины металла при диагностике ультразвуковым толщиномером

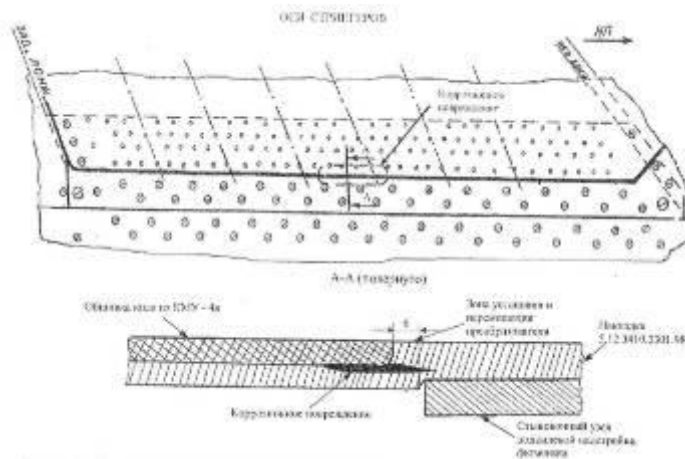


Рисунок 5 – Зона выявленного очага коррозии

Физическая картина процессов, которые могут привести к выявленному состоянию стыковочной ленты крепления кия к подкилевой надстройке, может быть представлена следующим образом.

Стыковочная лента крепления кия к подкилевой надстройке приклеена и прикреплена по нижней стороне кия к панелям кия, которые изготовлены из композиционного материала КМУ-4л. Место стыка панели и стыковочной ленты залито герметиком. Стыковочная лента изготовлена из алюминиевого сплава Д19чАТ. С её помощью киль крепится к полкам бортовой нервюры подкилевой надстройки двухрядным винтовым соединением на анкерных гайках [5] и находится в газовой негерметичной среде.

На земле во время длительной стоянки (хранения) на стыковочную ленту крепления кия к подкилевой надстройке воздействуют параметры атмосферы T_b , P , $d(\varphi)$. При этом влажность воздуха $\varphi \neq 0$, т.е. воздух всегда влажный. Также на неё воздействуют атмосферные факторы, такие как потоки газа, жидкости, твёрдых частиц, которые приводят к эрозии (разрушению) поверхностного защитного слоя элементов конструкции планера. На фотографии (рисунок 6) показано нарушение герметичного слоя в районе стыка панели кия и стыковочной ленты крепления кия к подкилевой надстройке и образование зоны очага коррозии, показано на рисунке 5.



Рисунок 6 – Место стыка панели кия и стыковочной ленты крепления кия к подкилевой надстройке

При совершении полёта T_b понижается, причём начиная с высоты 1500 м $T_b < T_d$, где T_d – температура точки росы, что приводит к конденсации влаги на поверхностях конструкции. $T_{ла} \leq T_d$, также в полёте ЛА может попасть в зону атмосферных осадков в зависимости от метеорологических условий [6,7].

Ети капли влаги находятся на всей поверхности планера ЛА (фюзеляж, крыло, вертикальное и горизонтальное оперение, gondoly авиационных двигателей, воздухозаборники). В результате нарушения защитного слоя элементов конструкции планера, дальнейший процесс взаимодействия капель влаги и поверхности определяется химической и электрохимической активностью конструкционных материалов [8] из которых изготовлены элементы конструкции планера. В данном случае нарушение защитного слоя в месте стыка обшивки и стыковочной ленты крепления килья к подкилевой надстройке привело к попаданию капель влаги под обшивку, и дальше к заклёпкам заклёпочного соединения. Кроме того эти свойства могут определить условия механического сопротивления материалов в узлах крепления [9]. За счёт механического воздействия при образовании люфтов и зазоров в местах контакта элементов конструкции разрушается оксидная плёнка не только стыковочной ленты крепления килья к подкилевой надстройке, но и заклёпок заклёпочного соединения, а также место проклейки и герметизации крепления к панели килья.

Низкая плотность и механическая прочность в сочетании с удовлетворительной стойкостью к коррозии делают алюминий конструкционным материалом, который широко используется в авиационной промышленности.

Коррозионная стойкость алюминия [10] в значительной степени зависит от содержания примесей других металлов. Как известно, при контакте двух металлов, погруженных в среду электролита, образуется гальваническая пара, где более активный металл становится анодом, а менее активный – катодом. В результате электрохимической реакции анод разрушается, рисунок 7.

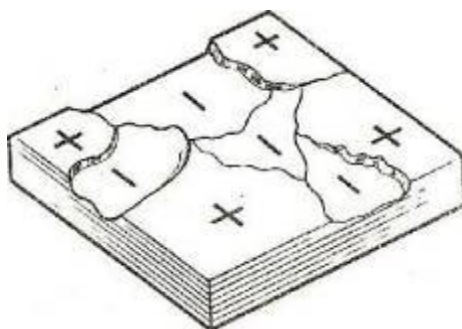


Рисунок 7 – Коррозионная повреждаемость самолётной обшивки

Большинство примесей (за исключением металлов, более активных, чем алюминий) играют роль катода по отношению к алюминию, т.е. способствуют его разрушению. По этой причине алюминий высокой чистоты отличается более высокой коррозионной стойкостью, чем технический металл, который, в свою очередь, более устойчив к коррозии, чем сплавы алюминия. Кроме того, коррозионная стойкость алюминия зависит от характеристик окружающей среды и от химических реакций, вызываемых этой средой в алюминии.

В присутствии окислителей поверхность алюминия покрывается защитным слоем оксида алюминия.

Защитный слой $\Delta_{кор}$ (Al_2O_3), в свою очередь, состоит из двух слоев, рисунок 4,8:

– внутреннего слоя $\Delta_{вс}$, который образуется при непосредственной реакции кислорода с металлом. Внутренний слой оксида прочно прилегает к металлу основы, а его структура и толщина зависят от температуры окисления.

– наружного слоя $\Delta_{нс}$, образующегося в результате реакции внутреннего слоя с внешней средой, в основном, с водой. Толщина этого слоя зависит от времени протекания коррозии и концентрации агрессивных веществ в окружающей среде. Увеличение толщины наружного слоя происходит за счет окисления металла основы. Наружный слой порист, он пропускает воздух и влагу.

В том случае, если герметичность оксидной плёнки не нарушена, алюминиевый сплав полностью защищён от воздействия воздуха и влаги. Но после образования хотя бы одного центра коррозии (химической, электрохимической) процесс коррозии происходит уже под оксидной плёнкой.

По электрохимическому механизму корродируют металлы в контакте с растворами электролитов (морская вода, растворы кислот, щелочей, солей). В обычных атмосферных условиях металлы корродируют также по электрохимическому механизму, т.к. на их поверхности имеются капли влаги с растворенными компонентами воздуха, которые проникают через $\Delta_{нс}$. Электрохимическая коррозия является гетерогенным и многостадийным процессом. Её причиной является термодинамическая неустойчивость металлов в данной коррозионной среде [11].

В техническом алюминии (или в его сплавах) содержатся примеси металлов в виде отдельных вкраплений (магний, титан, железо, марганец и др.) Благодаря наличию таких вкраплений сплав, погруженный в электролит, представляет собой совокупность большого количества микроскопических гальванических очагов. В результате электрохимической реакции, возникающей в этих очагах, металл, выступающий в роли анода (а в нашем случае это основной компонент сплава, алюминий), растворяется, в то время как на микрокатодах выделяется водород, рисунок 9.

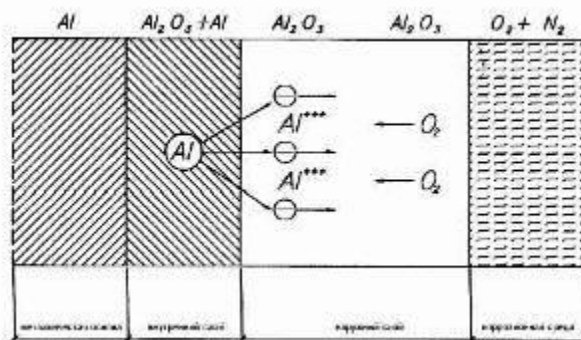


Рисунок 8 – Механизм образования слоя Al₂O₃

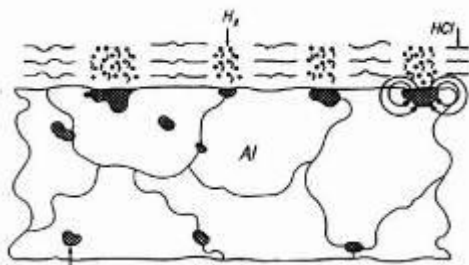


Рисунок 9 – Механизм электрохимической реакции в поверхностном слое алюминиевого сплава

Электрохимические реакции происходят также и при атмосферной коррозии, которая является наиболее распространенным видом коррозии разрушения металлов.

Основной причиной атмосферной коррозии является тонкий слой влаги, который образуется на поверхности металла, если его температура находится ниже температуры точки росы. С понижением температуры или при увеличении содержания водяного пара в воздухе конденсат оседает в виде капель воды. Если поверхность негладкая, покрыта пылью и слоями продуктов коррозии, то значительно раньше достигается температуры точки росы во всех углублениях, порах и трещинах конденсируется пар и образуется слой воды (так называемые центры конденсации или фазовых превращений), рисунок 10.

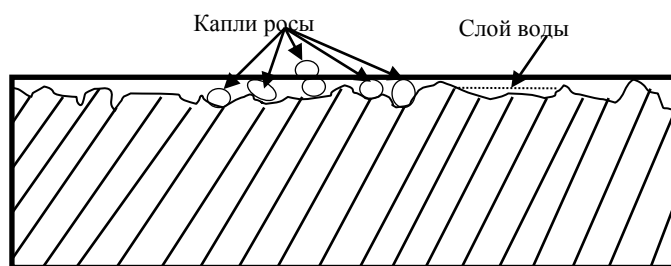


Рисунок 10 – Образование капель росы и слоя воды на поверхности металла

Некоторые газообразные вещества, содержащиеся в атмосфере, такие как оксиды азота, серы, хлорид водорода и другие, растворяются в конденсированной влаге, образуя кислоты. Поскольку растворимость этих веществ в воде очень высока, они концентрируются в слое воды даже тогда, когда их содержание в воздухе сравнительно невелико.

Скорость коррозии зависит как от характеристик коррозионной среды (внешних факторов), так и от свойств самого металла (внутренних факторов).

К внешним факторам относятся: состав среды; температура; атмосферное давление; ветровые нагрузки; блуждающие токи.

К внутренним факторам относятся: химический состав сплава; структура металла; внутренние напряжения; особенности конструкции планера и его элементов.

Влияние атмосферы на процесс коррозии зависит от климатической зоны, уровня развития промышленности в регионе и загрязненности атмосферы. Наиболее существенными факторами, определяющими коррозионные свойства атмосферы, являются, содержание пыли, газов, влажность и температура. Влиянием этих факторов объясняется различная скорость процесса коррозии. Так, чем ближе к морю, тем больше в воздухе солей, ускоряющих коррозию, особенно NaCl. В промышленных регионах в воздухе повышенное содержание соединений SO₂, NO₂ [12,13]. Отметим, что скорость коррозии на воздухе, как правило, значительно ниже, чем в пресной воде или почве.

На границе раздела двух разнородных фаз происходит переход заряженных частиц – ионов или электронов из одной фазы в другую, следовательно, возникает разность электрических потенциалов, распределение упорядоченных электрических зарядов, т.е. образование двойного электрического слоя.

Возникновение межфазового скачка потенциала можно объяснить следующими основными причинами, которые приводят к коррозии металлов, а именно:

- переход катионов металла из электролита на металл (электродный потенциал);
- адсорбция анионов электролита на металле (адсорбционный потенциал);
- возникновение ионно-адсорбционного потенциала за счёт одновременной адсорбции поляризуемого атома кислорода и перехода катионов из металла в электролит.

По известным причинам, абсолютное значение межфазовой разности потенциалов измерить нельзя, эту величину можно измерить относительно другой величины, и тогда за точку отсчета принимается стандартный водородный потенциал. Эта величина составляет 1,663 В относительно стандартного водородного электрода. Более полную картину можно представить, используя метод построения диаграмм

pH – электродный потенциал.

Однако, диаграммы электрохимического равновесия дают неполную информацию для практической оценки коррозионного поведения алюминиевых сплавов. С этой точки зрения при изучении кинетики коррозионных процессов практический интерес представляет построение поляризационных диаграмм, определяющих взаимосвязь скорости коррозии со значениями электродного потенциала [14].

Наличие на межфазовой границе "металл-раствор" электролита двойного электрического слоя оказывает существенное влияние на процесс, а в частности, на скорость коррозии металлов. При изменении концентрации (плотности) положительных или отрицательных частиц в растворе или металле может измениться скорость процесса растворения металла. Именно из этих соображений электродный потенциал является одной из важнейших характеристик, определяющих скорость коррозии металла.

Вывод. В результате проведенного анализа физико-химического процесса вызывающего дефект стыковочной ленты крепления киля к подкилевой надстройке возникает ряд задач:

- разработка и внесение дополнений в эксплуатационную документацию по осмотру мест соединения элементов конструкции из композиционных материалов с элементами конструкции из металла, на предмет нарушения герметизации стыков, вздутия лакокрасочного покрытия в местах заклёпочного соединения;
- заменить стыковочную ленту крепления киля к подкилевой надстройке во время выполнения капитального, среднего ремонта и модернизации на авиационных ремонтных заводах;
- при проектировании новых образцов ЛА с аналогичной компоновочной схемой крепления киля, учесть выявленный дефект или разработать новую конструктивную схему.

Литература

1. ГОСТ В 15.704-83 "Авторский надзор в процессе эксплуатации изделий", – М.:ИПК издательство стандартов, 1984. – 22 с.
2. Волков Л.И., Шишкевич А.М. Надёжность летательных аппаратов, М.: Высшая школа, 1975. – 150 с.
3. Когг Ю.К., Майский Р.А. Основы надёжности авиационной техники, М.: Машиностроение, 1993. – 176 с.
4. Клячко М.Д., Арнаутв Е.В. Лётные прочностные испытания самолётов. Статистические нагрузки, М.: Машиностроение, 1985. – 128 с.

5. Дубинский В.И. Планер и взлётно-посадочное устройство самолёта истребителя типа МиГ-29, М.: Авиация, 1997. – 169 с.
6. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология. 7-е изд., М.: Наука, 2006. – 582 с.
7. Яковлев А.Н. Авиационная метеорология, М.: Транспорт, 1971. – 248 с.
8. Батраков В.В., Батраков В.П., Пивоваров Л.Н., Соболев В.В. Коррозия конструктивных материалов. Газы и неорганические кислоты. В двух книгах. Кн. 1. Газы и фреоны, М.: Металлургия, 1990. – 344 с.
9. Пирогов Е.Н., Гольцев В.Ю. Сопротивление материалов, М: МИФИ, 2008. – 200 с.
10. Луц А.Р., Суслина А.А. Алюминий и его сплавы, Самара: Самарский гос.техн. ун-т, 2013. – 81 с.
11. Гонтовой С.В., Долгова О.И., Третьяк В.Г. Коррозия, методы защиты и повышения долговечности металлов, МО СССР, 1977. – 108 с.
12. Скалкин Ф.В., Канаев А.А., Копп И.З. Энергетика и окружающая среда, Л: Энергоиздат, 1981. – 280 с.
13. Безуглая Э.Ю., Расторгуева Г.П., Смирнова И.В. Чем дышит промышленный город, Л: Гидрометеиздат, 1991. – 256 с.
14. Синявский В.С., Вальков В.Д., Будов Г.М. Коррозия и защита алюминиевых сплавов, М.: Металлургия, 1979. – 224 с.

Bibliography (transliterated)

1. GOST V 15.704-83 "Avtorskiy nadzor v protsesse ekspluatatsii izdeliy", – М.: ИПК издательство standartov, 1984. – 22 p.
2. Volkov L.I., Shishkevich A.M. Nadyozhnost letatelnykh apparatov, М.: Vysshaya shkola, 1975. – 150 p.
3. Kogg Yu.K., Mayskiy R.A. Osnovyi nadyozhnosti aviatsionnoy tekhniki, М.: Mashinostroyeniye, 1993. – 176 p.
4. Klyachko M.D., Arnautov E.V. Lyotnyye prochnostnyye ispytaniya samolyotov. Statisticheskie nagruzki, М.: Mashinostroyeniye, 1985. – 128 p.
5. Dubinskiy V.I. Planer i vzlyotno-posadochnoe ustroystvo samolyota istrebitelya tipa MiG-29, М.: Aviatsiya, 1997. – 169 p.
6. Hromov S.P., Petrosyants M.A. Meteorologiya i klimatologiya. 7-e izd., М.: Nauka, 2006. – 582 p.
7. Yakovlev A.N. Aviatsionnaya meteorologiya, М.: Transport, 1971. – 248 p.
8. Batrakov V.V., Batrakov V.P., Pivovarov L.N., Sobol V.V. Korroziya konstruktivnykh materialov. Gazyi i neorganicheskie kislotyi. V dvukh knigakh. Kn. 1. Gazyi i freonyi, М.: Metallurgiya, 1990. – 344 p.
9. Pirogov E.N., Goltsev V.Yu. Soprotivlenie materialov, М: MIFI, 2008. – 200 p.
10. Luts A.R., Suslina A.A. Alyuminiy i ego splavyi, Samara: Samarskiy gos.tehn. un-t, 2013. – 81 p.
11. Gontovoy S.V., Dolgova O.I., Tretyak V.G. Korroziya, metodyi zaschityi i povyisheniya dolgovechnosti metallov, MO SSSR, 1977. – 108 p.
12. Skalkin F.V., Kanaev A.A., Kopp I.Z. Energetika i okruzhayushchaya sreda, L: Energoizdat, 1981. – 280 p.
13. Bezuglaya E.Yu., Rastorgueva G.P., Smirnova I.V. Chem dyishit promyshlennyiy gorod, L: Gidrometeoizdat, 1991. – 256 p.
14. Sinyavskiy V.S., Valkov V.D., Budov G.M. Korroziya i zaschita alyuminievykh splavov, М.: Metallurgiya, 1979. – 224 p.

УДК 629.7.017

Аніпко О.Б., Фененко О.О.

ДЕФЕКТИ СТИКУВАЛЬНОЇ СТРІЧКИ ВУЗЛА КРІПЛЕННЯ КІЛЯ ДО ПІДКІЛЬОВОЇ НАДБУДОВИ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ, ЯКІ ПРИВОДЯТЬ ДО НИХ

Виконано аналіз дефекту стикувальної стрічки кіля до підкілевої надбудови планера літального апарата. Виявлено причини та фактори які привели до дефекту під час тривалої експлуатації літального апарата. За результатами аналізу було сформувано ряд задач які необхідно виконати, щодо подальшого запобігання цього дефекту.

Anipko O.B., Fenenko O.O.

**DEFECTS IN THE DORSAL FIN- TO- THE LOWER FIN PART SPLICE STRIP ATTACHMENT
AND PHYSICOCHEMICAL PROCESSES, LEADING TO THEM**

The analysis of the defect in the dorsal fin- to- the lower fin part splice strip attachment has been done. Causes and factors leading to the defect during continuous service of the aircraft have been found out. As a result of the analysis, a number of tasks have been set as to avoiding this defect in the future.