

УДК 667.6

М.А. Фомина¹, К.Е. Захаров¹, И.А. Волков¹, А.Л. Иванов¹**ИЗУЧЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ АГРЕССИВНОСТИ СМЫВОК
ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ЗАРУБЕЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА,
ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ЛКП**

DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-12-73-85

Исследована смывающая способность смывок на кислотной, щелочной и органической основах, проведено исследование коррозионного воздействия смывок на типовые металлические материалы, применяемые в авиационной технике, а именно алюминиевые сплавы 1163-T, B95-T2 и сталь 30ХГСА. Экспериментально обоснован факт коррозионного воздействия смывок на металлические материалы. Исследована степень отрицательного воздействия смывок (в случае их смешивания), возникающего вследствие последовательного их применения, на коррозионное состояние поверхности фрагментов обшивки из алюминиевых сплавов и, соответственно, на ресурсные характеристики (малоцикловую усталость) на примере сплава B95-T2.

Ключевые слова: смывки, коррозионная агрессивность, металлические материалы, алюминиевые сплавы, ускоренные испытания, лакокрасочные покрытия, питтинг, малоцикловая усталость.

М.А. Fomina¹, К.Е. Zakharov¹, I.A. Volkov¹, A.L. Ivanov¹**RESEARCH OF THE CORROSION AGGRESSIVENESS
OF STRIPPERS OF NATIVE AND FOREIGN PRODUCTION USED
FOR REMOVAL OF PAINT COATINGS**

In this work was explored the removal possibility of strippers by acid, alkaline and organic bases, was explored the corrosion effect of strippers for typical metal materials for aircrafts the aluminium alloys 1163-T, B95-T2, the steel 30HGSA. The fact of the corrosive effect of strippers for metal materials was experimentally substantiated. The negative impact of the several strippers (in the case of their mixing) for the surface of the fragments of the aluminum alloy cladding, and, accordingly, on the resource characteristics (low-cycle fatigue), is studied, using the example of the B95-T2 alloy.

Keywords: painting removers, corrosion aggressiveness, metal materials, aluminum alloys, accelerated tests, paint coatings, pitting, low-cycle fatigue.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute»]; e-mail: admin@viam.ru

Введение

С целью поддержания летной годности изделий авиационной техники к ней предъявляются достаточно жесткие требования в части соблюдения технологических процессов при серийном производстве, при проведении капитальных и планово-предупредительных ремонтных работ, а также при техническом обслуживании воздушного судна [1].

Одним из основных факторов, определяющим срок службы изделия авиационной техники, является применение эффективных способов защиты от

коррозии, причем не только в исходном состоянии и при выпуске, но и после проведения ремонтных работ [2–4]. Как известно, основным способом защиты от коррозии воздушного судна является система оксидных или гальванических покрытий в сочетании с лакокрасочными покрытиями (ЛКП) [5–7].

В настоящее время разработка различных составов и методов удаления ЛКП приобрела особое значение для авиационной промышленности в связи с широким распространением новых видов лакокрасочных материалов, обладающих высокой адгезионной прочностью [8–12]. В частности, распространение терморезистивных пленкообразователей (эпоксидных, полиуретановых и т. д.) требует более сложных рецептур смывок [13].

От состава используемых смывок зависит безопасность эксплуатации авиационной техники, так как, являясь эффективными по отношению к трудноудаляемым ЛКП, они в то же время не должны вызывать коррозию металлических поверхностей авиационной техники. Помимо этого, анализ мировых тенденций развития составов для удаления ЛКП показывает, что в настоящее время достаточно много внимания уделяется их экологической составляющей [13, 14]. Кроме того, металлические материалы, используемые в авиационной технике, применяются с противокоррозионной защитой, которая обеспечивается при нанесении различных покрытий: оксидных, кадмиевых, цинковых [15–17]. Указанные покрытия не только обладают высокими защитными свойствами, но и обеспечивают адгезию ЛКП. При обработке металлических поверхностей применяемые смывки не должны разрушать существующую противокоррозионную защиту.

Все вышеперечисленные факторы обуславливают эффективность применения смывок при проведении ремонтных и регламентных работ изделий авиационной техники.

По характеру своей рецептуры смывки делятся на щелочные, кислотные, на основе органических растворителей и водоэмульсионные. В зависимости от вида ЛКП, назначения обрабатываемых деталей и требований по эффективности, пожаробезопасности и экологичности, для использования выбирают смывки разной рецептуры [18, 19].

Однако в случае, если выбранная к применению смывка не справляется с поставленной задачей ввиду каких-либо неучтенных факторов («состарившееся» ЛКП, повышенная толщина на некоторых участках и т. п.), допускается применение более активной смывки. Обязательным условием такого применения является полная очистка от остатков использованной ранее смывки, поскольку при их смешивании на поверхности алюминиевого сплава возникает чрезвычайно активная коррозионная среда. Для очистки поверхностей допускается применение моющих составов по следующей схеме: промывка поверхности водой → промывка поверхности моющим составом → промывка поверхности водой. Таким образом, смешивание на поверхности смывки и моющего состава также не допускается.

Однако, как показывает производственный опыт, в реальных условиях добиться полной очистки поверхности чрезвычайно сложно – используемая смывка проникает в ЛКП и остается в нем, не справляясь с удалением; дальнейшее же применение более активной смывки для удаления вышеуказанных остатков покрытия неизбежно приводит к смешению смывок.

В данной работе рассмотрены вопросы коррозионной агрессивности различного класса смывок, а также их совместимость с моющей жидкостью применительно к типовым металлическим материалам, используемым в конструкции летательного аппарата, а именно – алюминиевым сплавам 1163 и В95, применяемым в качестве обшивочных листов, и конструкционной стали 30ХГСА [20, 21].

Материалы и методы

В данной работе проведено исследование коррозионного воздействия смывок на кислотной, щелочной и органической основах (табл. 1) на типовые металлические материалы, применяемые в авиационной технике, а именно – алюминиевые сплавы 1163-Т и В95-Т2 и сталь 30ХГСА. Следует отметить, что все исследуемые марки смывок, а также моющий состав имели соответствующие сертификаты качества от производителей.

Таблица 1

Перечень исследованных смывок

| Условный номер смывки | Тип смывки | Страна-производитель |
|-----------------------|---|--|
| 1, 2 | На органической основе (основной компонент – дихлорметан) | Российская Федерация |
| 3 | Щелочная (основной компонент – гидроген пероксид) | Великобритания |
| 4, 5 | Кислотная (основной компонент – карбоновые кислоты) | 4 – Великобритания, 5 – Российская Федерация (НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ) |

Смывающая способность указанных смывок определена визуально на образцах из сплава 1163-АТ Ан.Окс.нхр с системой ЛКП на основе грунта ЭП-0215 (2 слоя горячей сушки) и эмали ЭП-140 (2 слоя холодной сушки).

Для определения коррозионной агрессивности смывок выбраны образцы размером 100×50 мм толщиной от 1,2 до 2 мм в зависимости от марки материала, в том числе образцы с плакирующим слоем (сплавы 1163-Т и В95-Т2), с неметаллическим неорганическим покрытием (Ан.Окс.нхр) на образцах алюминиевых сплавов и гальваническими покрытиями Кд9 хр и Ц9 Фос.окс на стали 30ХГСА.

Определение коррозионного воздействия проводили в соответствии с ОСТ1 90257–89 с помощью следующих методов ускоренных испытаний.

– Металлические образцы полностью погружали в исследуемые растворы на 1 ч при температуре 20±2 °С. Образцы из металлов взвешивали до и после испытаний. После выдержки в растворах образцы промывали проточной водой и сушили при комнатной температуре. Образцы из алюминиевых сплавов после промывки водой для удаления продуктов коррозии обрабатывали в 20 %-ном растворе азотной кислоты (HNO₃).

– Испытания в условиях влажной атмосферы (экспозиция в течение 30 сут при температуре 20±5 °С и относительной влажности 98±2 %) в камере марки АRS-0220-АЕ проводили на образцах, обработанных следующим образом:

- контрольные образцы – без обработки исследуемыми растворами;
- образцы с нанесенными исследуемыми растворами;
- образцы после нанесения исследуемых растворов и промытые водой.

Оценку коррозионного воздействия осуществляли по изменению внешнего вида образцов после окончания испытаний в камере влаги и с периодическим визуальным осмотром ежедневно в течение первых 5 сут испытаний и в последующем – один раз в 5 сут.

Оценку коррозионного воздействия исследуемых растворов на металлы проводили путем визуального осмотра – по изменению внешнего вида поверхности образцов (фиксация наличия коррозионных очагов) и гравиметрическим методом – по изменению массы образцов с определением скорости потери массы в соответствии с ГОСТ 9.908–85.

С учетом того, что смывки применяются при проведении ремонтных работ, а значит, поверхность детали из алюминиевого сплава подвергается механическому

воздействию (удаление забоин, царапин и пр.), испытания по оценке влияния нарушений технологии применения смывок проводили на образцах без лакирующего слоя.

Для имитации нарушения технологии смешивали между собой смывки на кислотной и пероксидной основах в пропорции 50:50 % (по массе). Смесь наносили на предварительно обезжиренную поверхность образцов из расчета по 10 образцов на смесь, после чего выдерживали 6 ч при температуре 23 ± 2 °С и влажности не менее 30 %. По завершении выдержки смесь удаляли с поверхности образцов шпателем из нержавеющей стали, затем поверхность образцов промывали под струей холодной деминерализованной воды до полного удаления смесей. Образцы высушивали при температуре 60 °С в течение 60 мин, после чего проводили визуальный осмотр поверхности, замер коррозионных поражений на 3D-профилометре Plu Neox и вырезали поперечные шлифы для определения глубины коррозионных поражений металлографическим методом на микроскопе Olympus GX-51.

Проведена оценка влияния выдержки составов смывок на поверхности металлических образцов из сплава В95-Т2 с последующим определением усталостной долговечности по ГОСТ 25.502–79 при частоте нагружения $f = 10$ Гц и двух уровнях нагрузки ($\sigma_{\max 1} = 157$ МПа, $\sigma_{\max 2} = 196$ МПа) на испытательной сервогидравлической машине Amsler 100НВ. Испытания на малоцикловую усталость (МЦУ) проводили на образцах размером 100×30 мм с отверстием (шифр Н01-136) из сплава В95п.ч.-Т2 после воздействия смывок при условии нарушения технологии их применения (неполное удаление смывок с поверхности образцов, смешивание смывки и средства для промывки).

Результаты и обсуждение

Определена смывающая способность смывок – фиксировалось время до вспучивания ЛКП. Все исследуемые смывки (за исключением смывки 3) обладают хорошей смывающей способностью, вспучивание ЛКП зафиксировано через 1–2 ч после нанесения состава (рис. 1). Смывка 4 обладает пониженной реакционной способностью из-за отсутствия в ее составе пленкообразующих веществ (парафин и др.) для сохранения летучих компонентов. Следует также отметить, что при ее использовании должны соблюдаться специальные требования к параметрам окружающей среды: необходимо поддерживать влажность не менее 30 % для исключения преждевременного высыхания состава на поверхности. Однако смывки данного типа находят широкое применение в производстве благодаря своей экологичности – в их составе отсутствуют галогенсодержащие растворители.

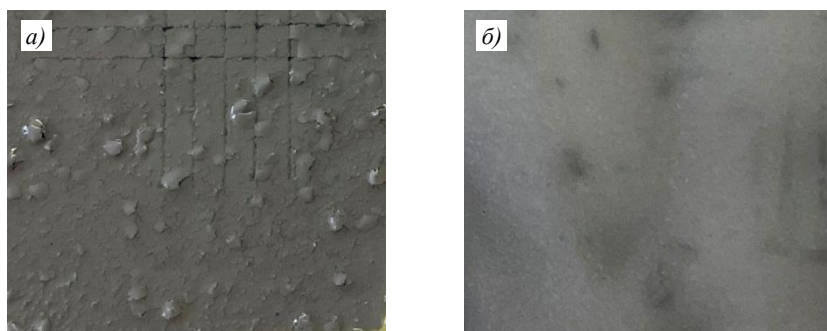


Рис. 1. Поверхность лакокрасочного покрытия после 1 ч взаимодействия с кислотной смывкой (а) и смывкой на пероксидной основе (б)

По результатам испытаний на определение коррозионной агрессивности установлено, что исследуемые смывки оказывают допустимое коррозионное воздействие на алюминиевые сплавы 1163-Т и В95-Т2, в том числе на образцы без лакирующего слоя и с покрытием Ан.Окс.нхр: внешний вид образцов после выдержки

в течение 1 ч при полном погружении в растворы не изменяется, коррозия и травление поверхности отсутствуют. Потери массы образцов в смывках приведены в табл. 2. На образцах из алюминиевых сплавов с защитным покрытием Ал.Окс.нхр потери массы отсутствуют, наблюдается небольшой привес, за исключением образцов после воздействия смывки 4 на кислотной основе. Потери массы для конструкционной стали 30ХГСА составляют от 0,04 до 0,09 г/(м²·ч), для стали 30ХГСА с покрытием Кд9 хр среднее значение потери массы составляет 0,53 г/(м²·ч), за исключением образцов после воздействия смывки 4, где наблюдается привес. В случае образцов из стали 30ХГСА с покрытием Ц9 Фос.окс наибольшие потери массы зафиксированы при воздействии смывки 2 на органической основе и кислотной смывки 4 и составляют 12,81 и 19,44 г/(м²·ч) соответственно; потери массы после смывок 1 и 5 составили соответственно 0,54 и 0,08 г/(м²·ч).

Таблица 2

Средние значения скорости потери массы образцов в смывках

| Материал | Потери массы за 1 ч, г/(м ² ·ч), в смывках | | | | |
|--|---|--------|--------|--------------------|--------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Алюминиевый сплав 1163-Т | 0,01 | Привес | Привес | Потери отсутствуют | 0,02 |
| Алюминиевый сплав 1163-АТ | 0,07 | 0,09 | 0,08 | 0,10 | 0,09 |
| Алюминиевый сплав 1163-АТ с покрытием Ал.Окс.нхр | Привес | Привес | Привес | 0,10 | Потери отсутствуют |
| Алюминиевый сплав В95п.ч.-Т2 | 0,05 | 0,09 | 0,05 | 0,02 | 0,05 |
| Алюминиевый сплав В95п.ч.-АТ2 | 0,07 | 0,10 | 0,06 | 0,04 | 0,07 |
| Алюминиевый сплав В95п.ч.-АТ2 с покрытием Ал.Окс.нхр | Привес | Привес | Привес | 0,09 | Потери отсутствуют |
| Конструкционная сталь 30ХГСА | 0,09 | 0,07 | 0,04 | 0,08 | 0,08 |
| Конструкционная сталь 30ХГСА с покрытием Кд9 хр | 0,60 | 0,62 | 0,77 | Привес | 0,10 |
| Конструкционная сталь 30ХГСА с покрытием Ц9 Фос.окс | 0,54 | 12,81 | Привес | 19,44 | 0,08 |

По результатам испытаний алюминиевых образцов из сплавов 1163-Т и В95-Т2 после 30 сут экспозиции в условиях влажной атмосферы при температуре 20±5 °С и относительной влажности 98±2 % установлено, что обработка образцов смывками 1–3 и 5 с последующей промывкой водой не приводит к ухудшению состояния поверхности; коррозионных поражений не обнаружено.

Обработка образцов смывками 1 и 2 в течение 1 ч без промывки водой приводит к ухудшению состояния поверхности всех исследованных материалов по сравнению с состоянием поверхности контрольных образцов. Внешний вид металлических образцов алюминиевого сплава 1163-Т и стали 30ХГСА, в том числе с остатками смывок 1 и 2, после 30 сут экспозиции в условиях влажной атмосферы при температуре 20±5 °С и относительной влажности 98±2 % представлен на рис. 2 и 3.

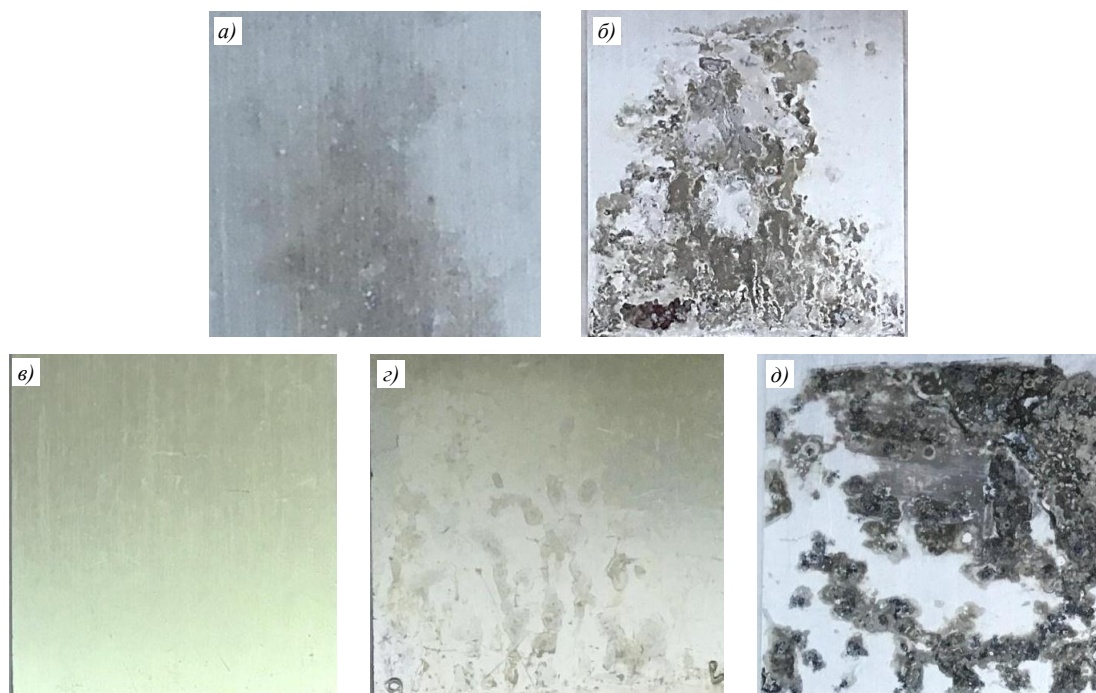


Рис. 2. Внешний вид поверхности алюминиевых сплавов 1163-Т (а, б, д) и 1163-АТ с покрытием Ан.Окс.нхр (е, з) после 30 сут экспозиции в условиях влажной атмосферы при температуре 20 ± 5 °С и относительной влажности 98 ± 2 % контрольных образцов (а, е) и образцов с остатками смывок 1 (б, з) и 2 (д)

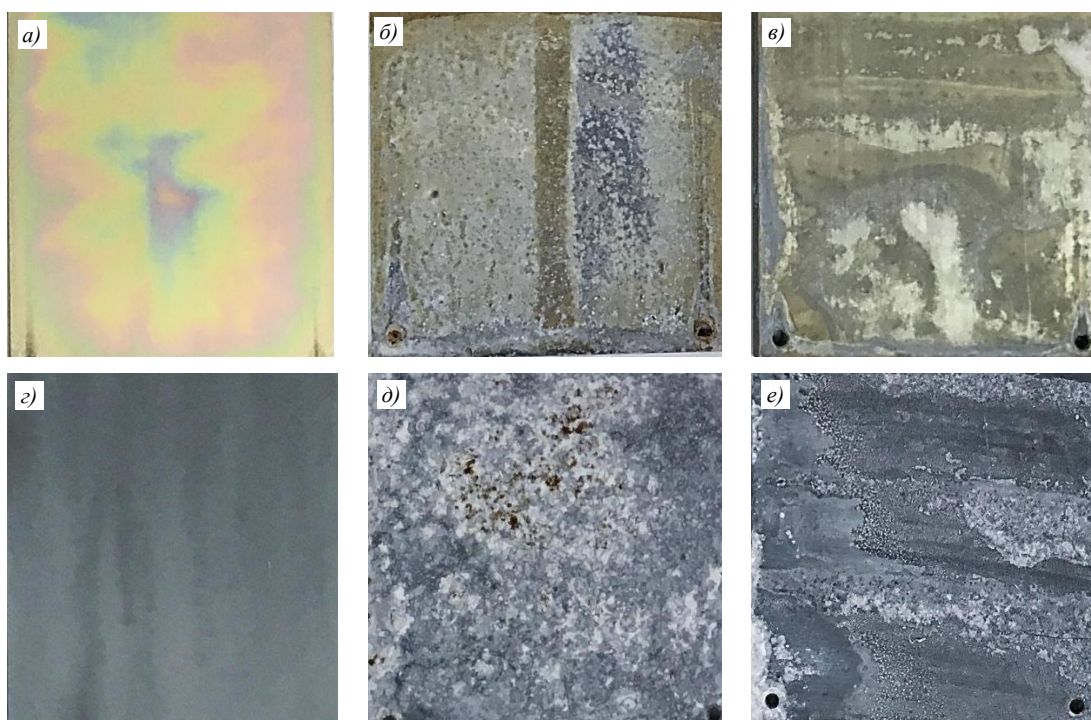


Рис. 3. Внешний вид поверхности конструкционной стали 30ХГСА с гальваническими покрытиями Кд9 хр (а–е) и Ц9 Фос.окс (з–е) после 30 сут экспозиции в условиях влажной атмосферы при температуре 20 ± 5 °С и относительной влажности 98 ± 2 % контрольных образцов (а, з) и образцов с остатками смывок 1 (б, д) и 2 (в, е)

Обработка образцов смывкой 3 в течение 1 ч без промывки водой приводит к ухудшению состояния поверхности алюминиевых сплавов (по сравнению с состоянием

поверхности контрольных образцов) и изменению цвета гальванических покрытий, образуя несмываемый налет.

По результатам испытаний алюминиевых образцов из сплавов 1163-Т и В95п.ч.-Т2 после 30 сут экспозиции в условиях влажной атмосферы при температуре 20 ± 5 °С и относительной влажности 98 ± 2 % установлено, что обработка образцов смывкой 4 с последующим удалением смывки промывкой водой не приводит к ухудшению состояния поверхности; коррозионных поражений не обнаружено.

Обработка металлических образцов смывкой 4 в течение 1 ч без промывки водой приводит к коррозии конструкционной стали 30ХГСА с защитным цинковым покрытием и к усилению коррозии стали 30ХГСА без покрытия. Состояние поверхности образцов остальных исследованных материалов не ухудшилось по сравнению с состоянием поверхности контрольных образцов.

Внешний вид поверхности металлических образцов из алюминиевого сплава 1163-Т и стали 30ХГСА, в том числе с остатками смывок 3 и 4, после 30 сут экспозиции в условиях влажной атмосферы при температуре 20 ± 5 °С и относительной влажности 98 ± 2 % представлен на рис. 4 и 5.

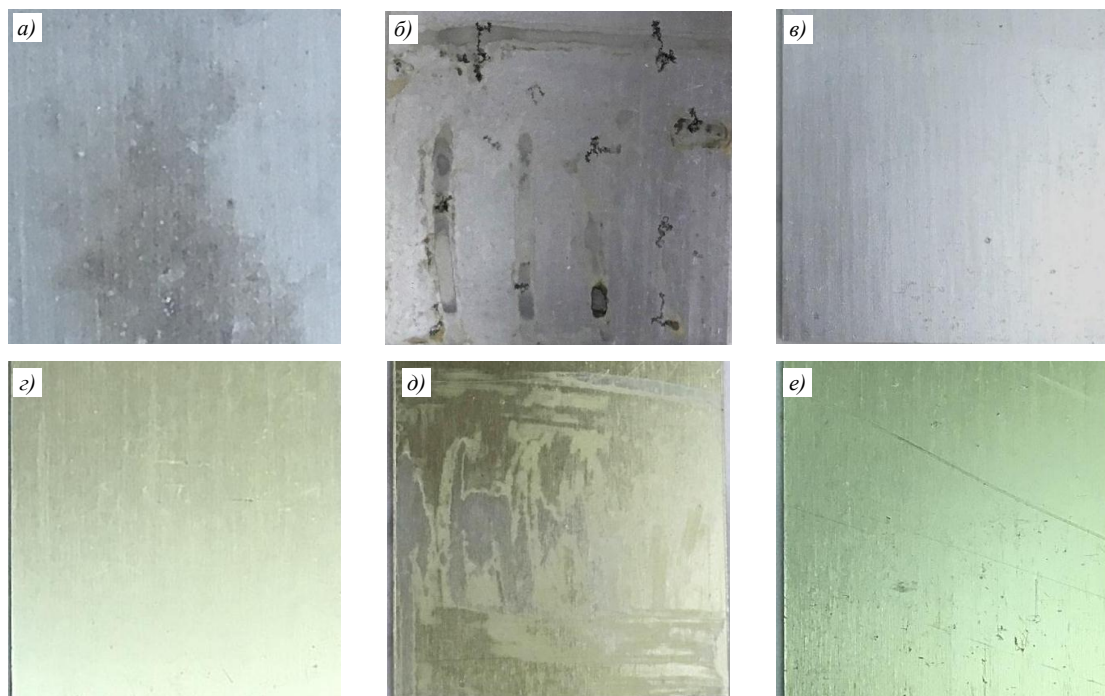


Рис. 4. Внешний вид поверхности алюминиевого сплава 1163-Т без покрытия (а–в) и с покрытием Ан.Окс.нхр (г–е) после 30 сут экспозиции в условиях влажной атмосферы при температуре 20 ± 5 °С и относительной влажности 98 ± 2 % контрольных образцов (а, г) и образцов с остатками смывок 3 (б, д) и 4 (в, е)

По результатам испытаний установлено, что смывка 5 не оказывает коррозионного воздействия на алюминиевые сплавы 1163-Т (в том числе с плакирующим слоем и покрытием Ан.Окс.нхр) и В95-Т2, в том числе с плакирующим слоем и покрытием Ан.Окс.нхр. Внешний вид образцов после выдержки в течение 1 ч при полном погружении в смывки не изменяется, коррозионные поражения и травление поверхности отсутствуют. Потери массы для алюминиевых сплавов приведены в табл. 2. Потери массы для конструкционной стали 30ХГСА равны $0,08$ г/(м²·ч), для стали 30ХГСА с покрытием Кд9 хр потери массы составили $0,1$ г/(м²·ч), на образцах конструкционной стали 30ХГСА с покрытием Ц9 Фос.окс они составили $0,08$ г/(м²·ч).

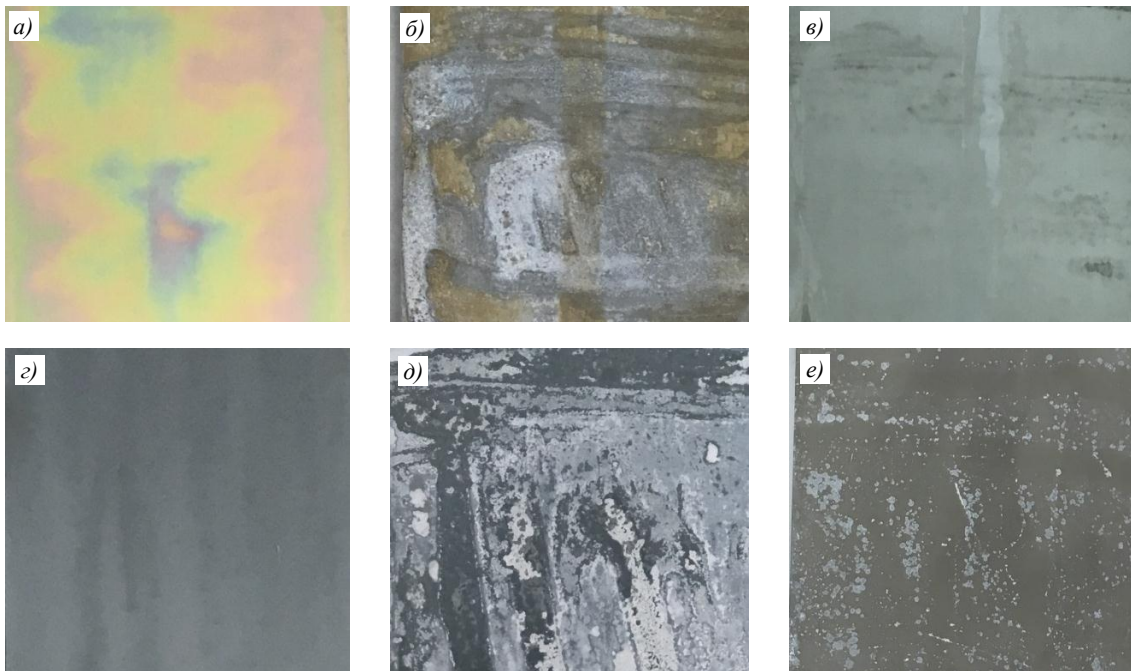


Рис. 5. Внешний вид поверхности конструкционной стали 30ХГСА с гальваническими покрытиями Кд9 хр (а–в) и Ц9 Фос.окс (z–e) после 30 сут экспозиции в условиях влажной атмосферы при температуре 20 ± 5 °С и относительной влажности 98 ± 2 % контрольных образцов (а, z) и образцов с остатками смывок 3 (б, d) и 4 (в, e)

По результатам испытаний образцов из алюминиевых сплавов 1163-Т и В95-Т2 после 30 сут экспозиции в условиях влажной атмосферы при температуре 20 ± 5 °С и относительной влажности 98 ± 2 % установлено, что обработка образцов смывкой 5 с последующей промывкой водой и без нее не приводит к ухудшению состояния поверхности образцов, коррозионных поражений не обнаружено.

С учетом того, что все исследуемые смывки (за исключением смывки 3) имеют высокую реакционную способность и склонны к образованию кислот при взаимодействии с остатками технических средств, минералов, содержащихся в воде, применение смывок должно быть четко регламентировано в технологической рекомендации. Отсутствие четкого регламента может привести к возникновению коррозионных поражений металлических материалов и нарушению защитных неметаллических неорганических и гальванических покрытий. Все эти факторы могут повлечь за собой снижение прочностных характеристик и сопротивления усталости металлических элементов конструкции летательного аппарата и, как следствие, повышение затрат на проведение ремонтных мероприятий по их устранению [22, 23].

Как показал реальный опыт общения с компаниями, занимающимися сервисным обслуживанием воздушных судов, появились случаи возникновения коррозионных поражений на элементах обшивки летательных аппаратов (рис. 6).

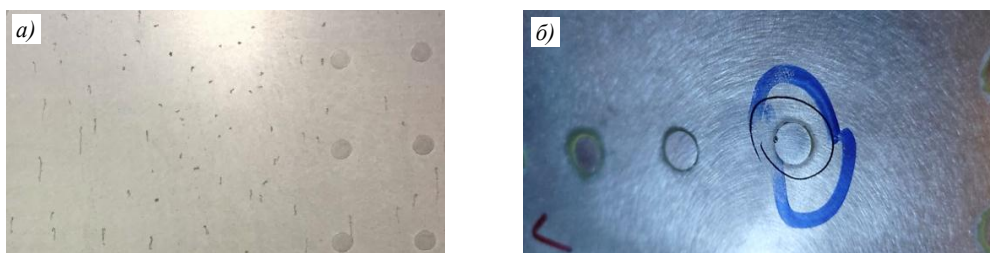


Рис. 6. Коррозионные поражения на поверхности обшивки воздушного судна

В результате проведения ряда исследовательских работ, направленных на определение причин возникновения коррозионных поражений, установлено, что последовательное применение смывок (в частности, фактически неизбежное смешивание кислотных и пероксидных смывок) приводит, как было указано ранее, к формированию на поверхности детали чрезвычайно активной коррозионной среды.

Проведены исследования на сканирующем электронном микроскопе Phenom ProX продуктов коррозии в питтингах на поверхности обшивки воздушного судна, а также питтингов, образовавшихся на поверхности образцов из алюминиевого сплава 1163-Т в лабораторных условиях при имитации воздействия смывок 4 и 3 при их последовательном применении. Результаты исследований показали, что химический состав продуктов коррозии в обоих случаях идентичен, в нем присутствуют следы наличия фосфора и калия, сочетание которых, в свою очередь, является характерным для состава исследуемых смывок (рис. 7).

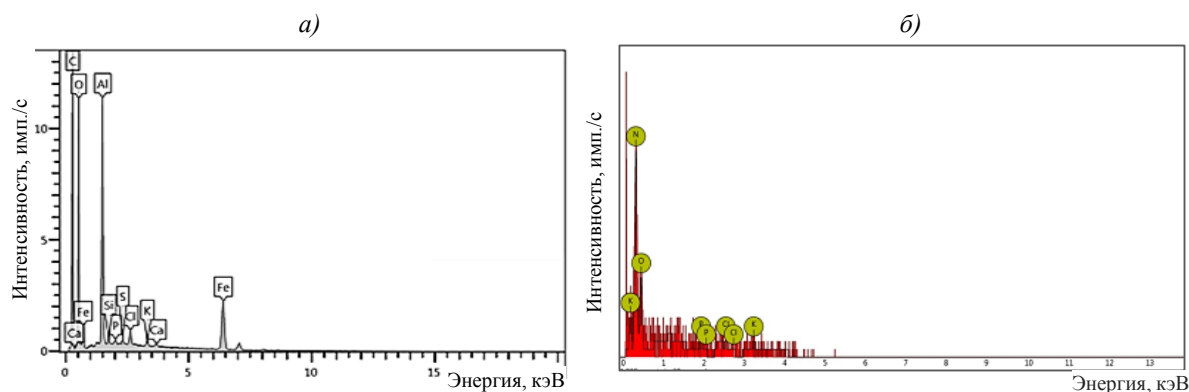
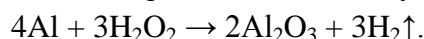


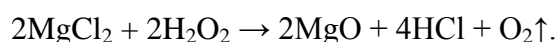
Рис. 7. Спектры химических элементов, присутствующих в продуктах коррозии, образовавшихся в питтингах на поверхности обшивки воздушного судна (а) и на образцах из алюминиевого сплава 1163-Т в лабораторных условиях (б)

Данный факт образования питтингов теоретически можно объяснить следующим. Одним из основных активных компонентов смывок 3 и 4 являются перекись водорода и органическая карбоксильная кислота соответственно. Данные компоненты используются в составе смывок для разрыхления полимерного материала и облегчения диффузии растворителей в лакокрасочные материалы. Одновременно с этим данные компоненты разрушают адгезионные связи полимерных покрытий с материалом подложки путем их замещения, при этом происходит восстановление водорода, что приводит к интенсивному его выделению и, как следствие, вспучиванию слоя ЛКП.

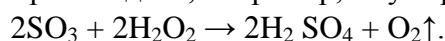
Взаимодействие с алюминием происходит по следующей реакции:



При этом на поверхности алюминия образуется химически стойкая пленка оксида, которая предотвращает дальнейшее окисление. Однако на обрабатываемой поверхности воздушного судна возможно наличие загрязнений – разнородных химических элементов, находящихся в промывочной воде или осажденных из воздуха рабочей зоны. На примере реакции хлорида магния с перекисью водорода видно, что перекись водорода может проявлять не только окислительные свойства, но и восстанавливать сильные основания:



Такие реакции могут происходить, например, с сульфидами:



Реализация такого процесса приводит к подкислению среды и существенной интенсификации процесса коррозии алюминиевых сплавов. Следует отметить, что в таких реакциях присутствие перекиси водорода кратно увеличивает скорость протекания реакций. Это относится как к минеральным (серная, фосфорная и соляная кислоты), так и к карбоксильным кислотам (уксусная, муравьиная, лимонная и т. п.).

С целью демонстрации степени отрицательного воздействия смывок (в случае их смешивания), возникающего вследствие последовательного их применения, на коррозионное состояние поверхности фрагментов обшивки из алюминиевых сплавов и, соответственно, на ресурсные характеристики (а именно – малоцикловую усталость) проведены испытания образцов из сплава В95-Т2 по следующей схеме: выдержка смеси смывок и смеси смывки и моющего средства в течение 6 ч → исследование геометрических размеров возникших коррозионных поражений → испытания на МЦУ при частоте нагружения $f = 10$ Гц и двух уровнях нагрузки ($\sigma_{\max 1} = 157$ МПа, $\sigma_{\max 2} = 196$ МПа).

По результатам проведенных испытаний установлено, что смесь смывок в пропорции 50:50 % (по массе) вызывает множественные коррозионные поражения по всей поверхности на всех испытанных образцах (рис. 8). Усредненный диаметр коррозионных поражений составляет 530 мкм, усредненная глубина 36 мкм (рис. 9).



Рис. 8. Внешний вид образца из алюминиевого сплава В95 после выдержки на его поверхности смеси смывок

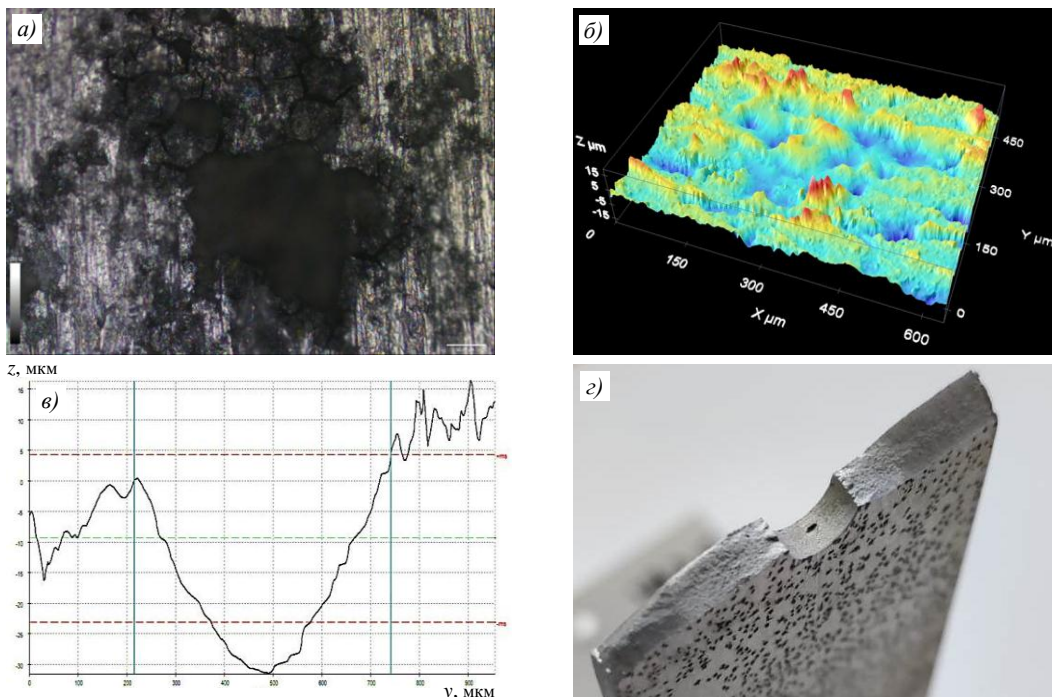


Рис. 9. Вид коррозионного поражения после выдержки образца в течение 6 ч со смесью смывок (а – $\times 200$, вид сверху) и его 3D-проекция (б), а также геометрические размеры (z×y) типичного коррозионного поражения (в) и излом образца после испытаний на МЦУ (г)

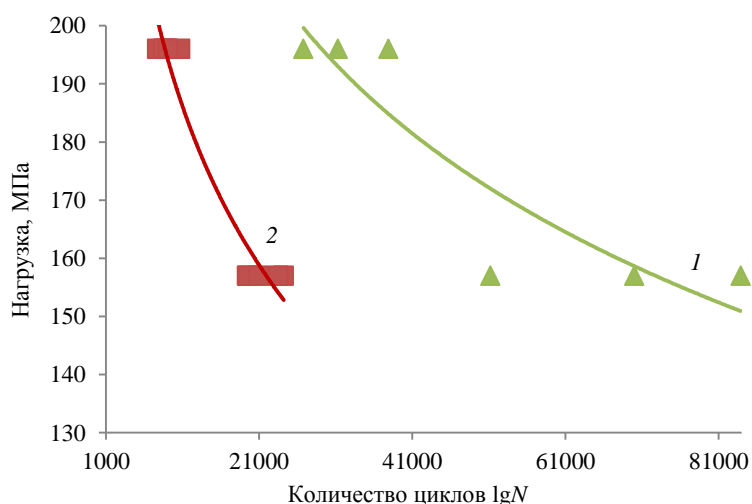


Рис. 10. Кривые усталости для образцов в исходном состоянии (1) и после выдержки со смесью смывок (2)

По результатам испытаний на МЦУ установлено, что значения сопротивления усталости в сравнении с исходными значениями снижаются в среднем в 3 раза. Так, исходные значения МЦУ находятся в диапазоне 40000–80000 циклов в зависимости от уровня нагрузки; в условиях зарождения коррозионных очагов на поверхности образцов при имитации нарушения технологического процесса применения смывок показатели МЦУ снижаются до значений порядка 10000–20000 циклов. На рис. 10 приведены кривые усталости для образцов из сплава В95-Т2 в исходном состоянии и после имитации воздействия смывок в условиях нарушения технологического процесса их применения. Необходимо отметить, что разрушение образцов происходит в местах зарождения питтингов.

Заключения

Для обеспечения высокой смывающей способности лакокрасочных материалов на эпоксидной основе требуется применение химических компонентов с высокой реакционной способностью, вследствие чего возрастает их агрессивность к металлическим материалам.

Возникновение коррозии металлических материалов при применении смывок, имеющих кислотные добавки, предположительно связано с наличием на поверхности пленки влаги, которая обеспечивает электрохимическое взаимодействие компонентов с металлическими поверхностями и снижает эффективность ингибиторов коррозии.

Применение метилхлорида и других четыреххлористых углеводородов в составе смывок должно быть регламентировано с целью снижения опасности образования кислот и, как следствие, разрушения металлов.

Во избежание негативного влияния смывок необходимо регламентировать мероприятия по предварительной подготовке поверхности металлических материалов и последующей нейтрализации смывок после снятия ЛКП с целью избежать рисков возникновения коррозионных поражений в условиях неполного удаления смывок с поверхности или их смешивания друг с другом. В случае перемешивания смывок на пероксидной и кислотной основах на поверхности детали из алюминиевого сплава возникает чрезвычайно активная коррозионная среда. С учетом того, что производителями допускается последовательное применение указанных составов (при условии полного промежуточного смывания), а реальный производственный опыт свидетельствует

о практически невозможной полной очистке поверхности (по причине проникновения первого применяемого состава в неудаленное ЛКП), фактически последовательное применение исследованных составов недопустимо.

На примере образцов из сплава В95-Т2 продемонстрировано отрицательное влияние смывок на ресурсные характеристики обшивочных листов в условиях нарушения технологического процесса применения составов для удаления ЛКП. Установлено что характеристики МЦУ снижаются на 60–70 % в сравнении с исходными значениями. Данный факт еще раз подтверждает необходимость четко регламентировать временные интервалы воздействия смывок, степень полноты их удаления с поверхности и последовательность проведения операций.

Библиографический список

1. Каблов Е.Н. Авиационное материаловедение: итоги и перспективы // Вестник Российской академии наук. 2002. Т. 72. № 1. С. 3–12.
2. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. № 6. С. 520–530.
3. Каблов Е.Н. Коррозия или жизнь // Наука и жизнь. 2012. № 11. С. 16–21.
4. Нефедов Н.И., Семенова Л.В., Кузнецова В.А., Веренинова Н.П. Лакокрасочные покрытия для защиты металлических и полимерных композиционных материалов от старения, коррозии и биоповреждения // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 5. С. 393–404. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-393-404.
5. Кравченко Д.В., Козлов И.А., Никифоров А.А. Способы подготовки поверхности алюминиевых сплавов для нанесения гальванических покрытий (обзор) // Труды ВИАМ. 2021. № 6 (100). Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.08.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-6-82-99.
6. Коврижкина Н.А., Кузнецова В.А., Козлов И.А., Вдовин А.И., Силаева А.А. Влияние силикатных наполнителей на эксплуатационные свойства покрытий на основе защитных полимерных составов с пониженным содержанием хрома стронция // Труды ВИАМ. 2020. № 4–5 (88). Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.08.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-45-80-88.
7. Кравченко Н.Г., Козлов И.А., Щекин В.К., Ефимова Е.А. Составы моющих композиций для промывки авиационного двигателя (обзор) // Труды ВИАМ. 2021. № 1 (95). Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.08.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-1-105-113.
8. Кузнецова В.А., Деев И.С., Семенова Л.В. Влияние модификации эпоксидных пленкообразующих композиций на их фазовую микроструктуру и адгезию к алюминиевому сплаву // Авиационные материалы и технологии. 2016. № 1 (40). С. 72–78. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-1-72-78.
9. 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. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-1-32-37.
10. Wolf K., Krincher R., Ermalovich J. Laser Strip: A Portable Hand-held Laser Stripping Device for Reducing VOC, Toxic and Particulate Emissions // Report under Innovative Clean Air Technologies grant number 06-010 from the California Air Resources Board Institute for Research and Technical Assistance. IRTA, California, 2009. P. 4–11.
11. Merati A., Yanishevsky M., Bombardier Y. Effect of Alternative Paint Stripping Processes on the Fatigue Performance of Aluminium Alloys-Atmospheric Plasma De-painting. Springer, 2019. P. 589–599.
12. Оспенникова О.Г., Козлова А.А., Козлов И.А. Лазерные технологии для удаления лакокрасочных покрытий в процессе ремонта и обслуживания авиационной техники (обзор) // Труды ВИАМ. 2021. № 4 (98). Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.08.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-4-110-123.

13. Состав для удаления лакокрасочных покрытий с внешних металлических поверхностей: пат. 2686928С1 Рос. Федерация. № 2018133349; заявл. 20.09.18; опубл. 06.05.19.
14. Uang S.N., Shih T.S., Chang C.H. et al. Exposure assessment of organic solvents for aircraft paint stripping and spraying workers // *Science of the Total Environment*. 2006. No. 356. P. 38–44.
15. Демин С.А., Петрова А.П., Козлов И.А., Никифоров Н.Н. Термостойкое композиционное покрытие для защиты от коррозии стальных деталей // *Современные достижения в области создания перспективных легких сплавов и покрытий для авиационной и космической техники: сб. докладов Всерос. науч.-техн. конф.* М.: ВИАМ, 2021. С. 9–11.
16. Виноградов С.С., Никифоров А.А., Демин С.А., Чесноков Д.В. Защита от коррозии углеродистых сталей // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № 5. С. 242–263. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-242-263.
17. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М. Обзор зарубежного опыта исследований коррозии и средств защиты от коррозии // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 2 (35). С. 76–87. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-2-76-87.
18. Ицко Э.Ф. Удаление лакокрасочных покрытий. Л.: Химия, 1991. 96 с.
19. Newman P. Peroxide-Activated paint removers in Aerospace application // *Metal Finishing*. 2004. No. 3. P. 6–11.
20. Каблов Е.Н. Материалы для авиакосмической техники // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2007. № 5. С. 7–27.
21. Ткаченко Е.А., Сенаторова О.Г., Милевская Т.В., Иванов А.Л. Влияние размера зерна на комплекс свойств обшивочных лакированных холоднокатаных листов из базовых сплавов 1163 и В95пч // *Цветные металлы*. 2013. № 9. С. 57–63.
22. Луценко А.Н., Гриневич А.В., Скрипачев С.Ю., Баканов А.В. К вопросу определения расчетных характеристик авиационных металлических материалов с учетом воздействия коррозионной среды // *Вопросы материаловедения*. 2017. № 4. С. 169–182. DOI: 10.22349/1994-6716-2017-92-4-169-182.
23. Нестеренко Б.Г. Экспериментальное исследование деградации прочности самолетных конструкций // *Научный вестник Московского государственного университета гражданской авиации*. 2010. № 153. С. 146–149.