

УДК 620.197.6(045)

*Игнатович С.Р.¹, Карускевич М.В.¹, Шмаров В.Н.¹, Подреза С.М.², Кипров А.В.²*¹ Национальный авиационный университет. Украина, г. Киев² Государственное предприятие «Завод 410ГА». Украина, г. Киев

НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОБОЧНЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

В статье показана необходимость и возможность выявления негативного влияния на прочность и долговечность авиационных конструкций (побочных эффектов) при применении антикоррозионных поверхностно-активных пленкообразующих ингибированных нефтяных составов. Рассмотрены примеры влияния поверхностно активных веществ на усталость конструктивных металлов и элементов конструкций. Определены основы контроля и изучения побочных эффектов на инкубационной стадии усталости, на стадии распространения трещин, особенности влияния антикоррозионных составов на усталость реальных конструктивных элементов.

Ключевые слова: антикоррозионные покрытия; побочные эффекты; инкубационный период; усталостная трещина; заклепочные соединения.

Введение

Авиационные конструкции в процессе эксплуатации взаимодействуют с различными поверхностно активными веществами (ПАВ). К ПАВ, которые применяются в авиации, относятся разнообразные функциональные жидкости, в том числе антикоррозионные пленкообразующие ингибированные нефтяные составы (ПИНС), которые начали использоваться для дополнительной защиты авиационных конструкций от коррозии начиная с 1980-х годов. Несмотря на широкое использование ПИНС для антикоррозионной защиты в настоящее время отсутствует достоверная информация об их побочном воздействии, в частности относительно негативного влияния ПАВ на усталостную прочность конструктивных материалов и элементов конструкций. Такая информация, а также соответствующая методология ее получения были бы весьма полезны при сертификации ПАВ для их применения в гражданской авиации.

Известно, что ПАВ могут усиливать повреждающее действие циклического нагружения на конструктивные алюминиевые сплавы. При этом, учитывая стадийность усталостного разрушения, разнообразие видов авиационных конструкций, представляют интерес исследования механизмов влияния ПАВ на различные аспекты усталостной прочности. Во-первых, ПАВ может оказывать влияние на продолжительность инкубационной стадии усталости; во-вторых, важно знать, как влияют ПАВ на процесс развития трещин устало-

сти, в-третьих, попадание ПАВ в конструктивные полости (щели, зазоры) может изменять механические свойства соединений. Рассмотрим наиболее существенные, на наш взгляд, аспекты побочных явлений, вызываемых применением ПАВ, а также возможные подходы к осуществлению контроля таких явлений.

Оценка влияния ПАВ на инкубационную стадию усталости

Влияние ПАВ на прочность металлов впервые было обнаружено П.А. Ребиндером в 1928 году [1], а затем подтверждено многочисленными исследователями. Было установлено, что влияние окружающей среды на механические свойства металлов при их деформировании наблюдается не только в виде обычного химического (коррозионного) воздействия среды на металл. Адсорбция типичных поверхностно-активных веществ, присутствующих в окружающей среде, способствует развитию процессов пластического деформирования и разрушения металлов, причем, иногда в значительно большей степени, чем при прямом химическом превращении.

Эффекты адсорбционного способствования деформированию и адсорбционного снижения прочности обусловлены, прежде всего, тем, что ПАВ понижает уровень поверхностной энергии металла. При этом интенсифицируется процесс зарождения пластических сдвигов. Так как микропластическое деформирование поверхностного слоя при циклическом нагружении является определяющим фактором

накопления усталостных повреждений [2] следует ожидать усиление влияния ПАВ на инкубационную стадию усталостного разрушения.

Существуют различные подходы к индикации и проведению количественной оценки накопленного усталостного повреждения. Например, в Национальном авиационном университете (НАУ) была разработана методология количественной оценки накопленного усталостного повреждения по параметрам деформационного рельефа поверхности [3–5].

Деформационный рельеф представляет собой совокупность экструзий, интрузий, полос скольжения, возникающих на поверхности пластически деформируемых металлов при циклическом нагружении (рис. 1).

Являясь индикатором накопленного усталостного повреждения, деформационный рельеф может характеризовать степень негативного влияния ПАВ на усталость металла [6]. При этом оценка побочного эффекта на инкубационной стадии усталости может производиться оперативно с использованием небольшого количества образцов.

Оценка влияния ПАВ на развитие трещин усталости

Эксплуатация воздушных судов по техническому состоянию и реализация принципа допустимого повреждения предполагает возможность появления и развития трещин усталости в элементах конструкции.

Результаты ряда исследований свидетельствуют о негативном влиянии ПАВ на развитие трещин усталости в самолетных конструкциях. Так, например, в работе [7] представлены результаты измерений распространения трещин усталости в образцах сплава 2024-T351 в воздушной среде, в дистиллированной воде и в одном из антикоррозионных нефтяных составов, применяемых в авиации. Скорость роста трещин в дистиллированной воде

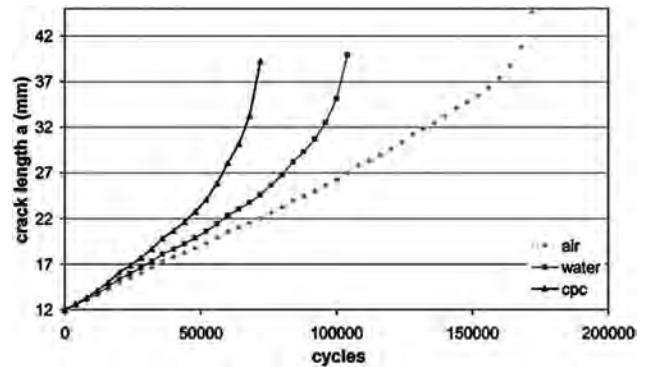


Рис. 2. Влияние среды на развитие трещин усталости в образцах из алюминиевого сплава 2024-T351 [7]

на 7 %, а в среде антикоррозионного состава на 20 % выше, чем на воздухе (рис. 2).

При анализе уравнения Пэриса

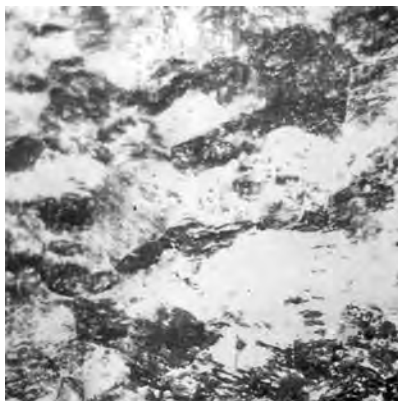
$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^n,$$

где a – длина трещины; N – число циклов нагружения; ΔK – размах коэффициента интенсивности напряжений, установлено, что влияние среды проявляется в основном в изменении постоянной C при незначительной вариации показателя степени n .

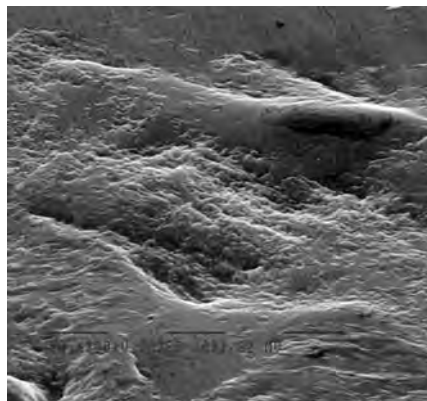
В имеющихся исследованиях рассматриваются различные механизмы влияния ПАВ на развитие трещин усталости, однако вопрос остается открытым в связи с ограниченным объемом имеющихся экспериментальных данных.

Оценка влияния ПАВ на усталость заклепочных соединений

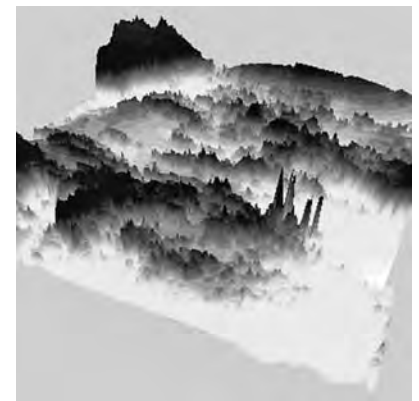
Усталость заклепочных соединений, обработанных ПАВ (которые можно отнести к ПАВ), исследовалась в ряде научно-исследовательских



a



б



в

Рис. 1. Изображения деформационного рельефа поверхности лакированного алюминиевого сплава Д16АТ, полученные различными методами регистрации: оптическая микроскопия $\times 300$ (a); электронная микроскопия $\times 5000$ (б); бесконтактная интерференционная профилометрия (в)

центрах. Исследования, проведенные в НАУ, были связаны с внедрением ПИНС в практику защиты конструктивных элементов самолетов гражданской авиации от коррозии. Результатом этих работ были научно обоснованные инструкции по применению ПИНС, например [8].

В работе [9] при испытаниях образцов заклепочных соединений внахлест было установлено, что обработка антикоррозионными составами может привести к двукратному снижению долговечности. Установленный негативный эффект зависит от уровня действующих циклических напряжений. Кроме этого в зависимости от уровня действующих напряжений наблюдался различный характер разрушения – при низких напряжениях разрушались соединяемые листы, а при высоких разрушение происходило срезом заклепок. Наличие в зазоре соединения антикоррозионного состава, обладающего свойствами смазки, приводило к такому перераспределению нагрузки между элементами соединения, что более вероятным становилось разрушение заклепок срезом. Указанный эффект объяснялся изменением сил трения между листами.

Данные о влиянии ПИНС на усталость заклепочных соединений можно найти также в работах [10, 11].

Коррозия авиационных конструкций и их защита

Несмотря на постоянное совершенствование авиационных конструкций и системы технического обслуживания, коррозия остается одним из наиболее распространенных видов дефектов (25 % от всех встречающихся в эксплуатации дефектов [12]), устранение которых требует значительных материальных затрат.

Так, проведенный анализ технического состояния самолетов Ан-32, принадлежащих ВВС Индии и проходящих ремонт на Государственном предприятии завод 410 ГА, показал, что основными эксплуатационными дефектами являются трещины и коррозия элементов конструкции. Такие дефекты располагаются в следующих характерных местах конструкции:

- в зоне подпольного пространства;
- в зализах стыка центроплана с фюзеляжем;
- на поверхностях панелей центроплана, лонжеронах и панелях килля, ОЧК, СЧК, стабилизатора;
- под стрингерами на обшивках;
- по законцовкам закрылков, хвостовым частям СЧК, центроплана;
- по верхним поясам шпангоутов в местах стыка полов и по отверстиям крепления панелей пола.

Как было отмечено выше, для защиты авиационных конструкций от коррозии активно применяются ПИНС. При внедрении таких защитных материалов главное внимание обращается на их основные функциональные свойства. При этом вопросы возможного

негативного влияния ПИНС на прочностные и ресурсные показатели конструкции являются недостаточно изученными. В этой связи возникает необходимость в проведении целенаправленных исследований повреждающего воздействия различных ПИНС на усталостные характеристики авиационных материалов и конструкций, например заклепочных соединений.

Основные направления исследований влияния ПИНС на усталостную прочность авиационных конструкций

Возможное негативное влияние от применения различных ПИНС на усталостную прочность авиационных конструкций целесообразно изучать по трем направлениям.

1. Контроль повреждаемости на инкубационной стадии усталости (до зарождения трещины) путем мониторинга показателей деформационного рельефа поверхности. В качестве основного метода контроля может служить оптический мониторинг деформационного рельефа поверхности и определение показателя насыщенности рельефа. В качестве дополнительных методов исследования деформационного рельефа могут использоваться:

а) характеристики шероховатости поверхности, определяемые с помощью бесконтактной интерференционной профилометрии;

б) особенности морфологии деформационного рельефа, выявляемые с помощью электронной сканирующей микроскопии и атомной силовой микроскопии.

2. Оценка влияния ПИНС на скорость развития трещин усталости. Указанные эксперименты могут проводиться на стандартных образцах соответствующих конструкционных материалов. Для обеспечения наиболее «жестких» условий целесообразно нанесение ПИНС на поверхность образцов в области концентраторов напряжений в процессе нагружения, что обеспечивает постоянное проникновение ПИНС в кончик усталостной трещины.

3. Оценка влияния ПИНС на усталость элементов конструкций путем испытания конструктивных элементов, усталостные характеристики которых могут быть чувствительны к наличию ПИНС. Такими элементами являются образцы, моделирующие заклепочные и клеесварные соединения. Нанесение ПИНС в процессе циклического нагружения при проведении стендовых испытаний обеспечивает проникновение ПИНС в зазоры соединений, которое в реальных эксплуатационных условиях вызывается избыточным давлением в гермокабине.

Проведение рассмотренных исследований является необходимой основой методологии контроля и выбора пленкообразующих ингибированных нефтяных составов для дополнительной антикоррозионной защиты ВС.

Выводы

Антикоррозионные пленкообразующие ингибированные составы являются поверхностно-активными веществами, взаимодействие которых с конструкционными материалами и элементами конструкций может привести к негативным побочным эффектам, в частности, к снижению характеристик усталости. Результаты предложенных в статье направлений исследования могут составить основу методологии, которая позволит предупредить ряд возможных негативных последствий применения ПИНС, выбрать оптимальный для конкретной конструкции состав, обеспечить длительный ресурс воздушных судов.

Литература

- [1] Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. Избранные труды / П.А. Ребиндер. – М.: Наука, 1979. – С. 384.
- [2] Головин С.А. Микропластичность и усталость металлов / С.А. Головин, А. Пушкар. – М.: Металлургия, 1980. – 240 с.
- [3] Игнатович С.Р., Карускевич М.В., Карускевич О.М. Эволюция поврежденности сплава Д-16АТ у концентратора на стадии до зарождения усталостной трещины, Авиационно-космическая техника и технология. – 2004. – № 4 (12). – С. 29-32
- [4] Карускевич М.В. Оценка накопленного усталостного повреждения по насыщенности и фрактальной размерности деформационного рельефа / М.В. Карускевич, Е.Ю. Корчук, Т.П. Маслак, А.С. Якушенко // Проблемы прочности – 2008. – № 6 (396). – С. 128–135.
- [5] Karuskevich M. Extrusion/intrusion structures as quantitative indicators of accumulated fatigue damage / O. Karuskevich, T. Maslak, S. Schepak // International Journal of Fatigue. – 2012. – № 39. – P. 116–121.
- [6] Karuskevich M. Deformation relief as an indicator of Rebinder effect / M. Karuskevich, T. Maslak, G. Seidametova. Proceedings of the National Aviation University. – 2013. № 1 (54), P. 82–86
- [7] Purry C. The effect of corrosion preventative compound on fatigue crack growth properties of 2024-T351 aluminium alloys / C. Purry, A. Fien, K. Shankar // International Journal of Fatigue. Fatigue. – 2003. – № 25. – P. 1175–1180.
- [8] Технологическая инструкция по уходу и защите от коррозии самолетов типа Ту-134 в эксплуатации. Федеральная служба воздушного транспорта России, – С. 150, – 2000 г.
- [9] Jaya A. The influence of corrosion treatments on fatigue of aircraft structural joints / A. Jaya, U.H. Tiong, R. Mohammed and al. // 27th International congress of the aeronautical sciences, 19–24 September 2010, Nice, France. – P. 1–8.
- [10] Mousley R.F. An effect of corrosion preventative fluids on the fatigue life of riveted joints. The Influence on fatigue. Proceedings of the Conference, London, England: Institute of Mechanical Engineers, 1977; pp. 131–137.
- [11] Machin A.S., Mann J.Y. Water-displacing organic corrosion inhibitors—their effect on the fatigue characteristics of aluminium alloy bolted joints // International Journal of Fatigue. Fatigue. – 1982. – V. 4, No. 4. – P. 199–208.
- [12] Bartelds G. Aircraft structural health monitoring, prospects for smart solutions from a European viewpoint/ G. Bartelds // NLR TP 97489: National Aerospace Laboratory NLR – Amsterdam, 1997. – 13 p.

Ignatovich S.R.¹, Karuskevich M.V.¹, Shmarov V.N.¹, Podreza S.M.², Kiprova A.V.²

¹ National Aviation University. Ukraine, Kiev

² “PLANT 410 CA”, State-owned Enterprise. Ukraine, Kiev

DRAFT FOR THE RESEARCHES OF SIDE EFFECTS PROVOKED BY APPLICATION OF THE CORROSION PREVENTIVE COMPOUNDS

The necessity and possibility to reveal the negative impact (side effects) of corrosion preventative compounds on aircraft structures strength and longevity is shown in the paper. The inhibiting petroleum corrosion preventive compounds are considered as surfactants. Examples of the surfactants' impact on the fatigue of structural metals and aircraft components are discussed. The basic points the inspection and investigation of side effects on the initial stage of the fatigue, and on the stage of the crack propagation as well as peculiarities of the corrosion preventive compounds on the fatigue of real structural components are defined.

Keywords: corrosion preventive compounds, side effects, initial stage of fatigue, fatigue crack, rivet joints.

References

- [1] Rebinder P.A. Poverhnostnye javlenija v dispersnykh sistemakh. Fiziko-khimicheskaja mekhanika. Izbrannyje trudy / P.A. Rebinder. — M.: Nauka, 1979. — P. 384. (In Russian).
- [2] Golovin S.A. Mikroplastichnost i ustalost metallov / S.A. Golovin, A. Pushkar. — M.: Metallurgija, 1980. — 240 p. (In Russian).
- [3] Ignatovich S.R., Karuskevich M.V., Karuskevich O.M. Evoljucija povrezhdennosti splava D-16AT u koncentratora na stadii do zarozhdenija ustalostnoj treshchiny, Aviacionno-kosmicheskaja tekhnika i tekhnologija. — 2004. — № 4 (12). — P. 29–32 (In Russian).
- [4] Karuskevich M.V. Ocenka nakoplennogo ustalostnogo povrezhdenija po nasyshchennosti i fraktalnoj razmernosti deformatsionnogo relefa / M.V. Karuskevich, E.Ju. Korchuk, T.P. Maslak, A.S. Jakushenko // Problemy prochnosti — 2008. — № 6 (396). — P. 128–135. (In Russian).
- [5] Karuskevich M. Extrusion/intrusion structures as quantitative indicators of accumulated fatigue damage / O. Karuskevich, T. Maslak, S. Schepak // International Journal of Fatigue. — 2012. — № 39. — P. 116–121.
- [6] Karuskevich M. Deformation relief as an indicator of Rebinder effect / M. Karuskevich, T. Maslak, G. Seidametova. Proceedings of the National Aviation University. — 2013. № 1 (54), P. 82–86.
- [7] Purry C. The effect of corrosion preventative compound on fatigue crack growth properties of 2024-T351 aluminium alloys / C. Purry, A. Fien, K. Shankar // International Journal of Fatigue. Fatigue. — 2003. — № 25. — P. 1175–1180.
- [8] Tekhnologicheskaja instrukcija po ukhodu i zashchite ot korrozii samoletov tipa Tu-134 v ekspluataciji. Federalnaja sluzhba vozdušnogo transporta Rossiji, — P. 150. — 2000 (In Russian).
- [9] Jaya A. The influence of corrosion treatments on fatigue of aircraft structural joints / A. Jaya, U.H. Tiong, R. Mohammed and al. // 27th International congress of the aeronautical sciences, 19–24 September 2010, Nice, France. — P. 1–8.
- [10] Mousley R.F. An effect of corrosion preventative fluids on the fatigue life of riveted joints. The Influence on fatigue. Proceedings of the Conference, London, England: Institute of Mechanical Engineers, 1977; pp. 131–137.
- [11] Machin A.S., Mann J.Y. Water-displacing organic corrosion inhibitors—their effect on the fatigue characteristics of aluminium alloy bolted joints // International Journal of Fatigue. Fatigue. — 1982. — V. 4, No. 4. — P. 199–208.
- [12] Bartelds G. Aircraft structural health monitoring, prospects for smart solutions from a European viewpoint / G. Bartelds // NLR TP 97489: National Aerospace Laboratory NLR — Amsterdam, 1997. — 13 p.

УДК 629.735.3

Брыкалов А.В.

Государственное предприятие «Государственное Киевское конструкторское бюро «Луч». г. Киев, Украина

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПО МНОГИМ КРИТЕРИЯМ ПРИ ВЫБОРЕ ОБЛИКА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

В статье представлен подход к решению многокритериальной задачи параметрической оптимизации при проектировании беспилотного летательного аппарата (БПЛА), приведены локальные критерии оптимизации при выборе проектных параметров БПЛА и его подсистем, сформулирована постановка задачи параметрической оптимизации по многим критериям и приведен алгоритм решения этой задачи.

Ключевые слова: концептуальное проектирование; параметрическая оптимизация; вектор проектных параметров; локальные критерии оптимальности; область Парето.

Введение

Создание конкурентоспособных БПЛА во многом определяется передовой технологией их изготовления, наличием легких и прочных материалов,

миниатюризацией электроники и другого бортового оборудования. Однако важнейшим звеном в длинной цепи создания современных БПЛА является проект, особенно его начальный этап. Это объясняется тем, что начальный поиск проектных