

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ АНТИКОРРОЗИОННЫХ СОСТАВОВ НА УСТАЛОСТЬ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Karuskevich M.,
National Aviation University, Kyiv, Ukraine (mkaruskevich@hotmail.com)

EXPRESS-METHOD FOR THE ESTIMATION OF THE INFLUENCE OF THE SURFACTANT ANTICORROSION COMPOUNDS ON THE ALUMINIUM ALLOYS FATIGUE

В статье показана возможность экспресс-оценки влияния антикоррозионной обработки пленкообразующими ингибированными нефтяными составами на усталость алюминиевых сплавов. В основе метода – явление формирования и развития деформационного рельефа поверхности, по насыщенности которого можно судить о накопленном усталостном повреждении. Сравнение деформационного рельефа поверхности элементов конструкций, обработанных антикоррозионными составами и не имеющих антикоррозионного покрытия, позволяет судить о влиянии покрытия на процесс усталостного повреждения.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, коррозия, поверхностно-активные материалы, усталость, деформационный рельеф.

Введение

Длительная эксплуатация воздушных судов приводит к коррозии различных частей конструкции. Особенную опасность представляет коррозия тонкостенных оболочек, например фюзеляжа. Конструкция фюзеляжа подвержена коррозии в местах размещения аккумуляторных батарей, под туалетными помещениями и буфет-кухнями, в местах скопления конденсата и других жидкостей в подпольной части.

Для защиты от коррозии алюминиевые конструкционные сплавы плакируются слоем чистого алюминия, анодируются, покрываются защитными грунтами и красками. Однако, наличие многочисленных отверстий, в основном под заклепки, минимизирует эффект антикоррозионной защиты.

Одним из эффективных средств дополнительной антикоррозионной защиты является применение пленкообразующих ингибированных нефтяных составов (ПИНС).

ПИНСы — это средства на основе высокомолекулярных пленкообразующих нефтепродуктов с добавками ингибиторов коррозии и растворителей. После нанесения на металл и испарения растворителя ПИНС образуют на металле пленки.

ПИНСы обладают высокой проникающей способностью, что обеспечивает вытеснение ими влаги из зазоров и щелей, предотвращают контакт агрессивных жидкостей с поверхностью металла, замедляют процесс коррозии, если предотвратить ее полностью не удастся. Эффективность защиты от коррозии с помощью ПИНС доказана испытаниями и практическим опытом их использования. Однако, принимая во внимание повышенные требования к надежности и долговечности авиационных конструкций, очевидна необходимость исследований, направленных на изучение возможных побочных эффектов применения ПИНС.

Примером побочного негативного эффекта применения ПИНС является снижение долговечности заклепочных соединений, описанное в работе [1].

Учитывая, что многие нефтяные смазочные материалы являются поверхностно-активными веществами (ПАВ), можно предположить и возможность их влияния на усталостную прочность, вызванного эффектом Ребиндера [2]. Влияние ПАВ на прочность металлов впервые было обнаружено Ребиндером в 1928 году [2], 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 из окружающей среды также вызывает облегчение деформации и разрушения металлов и иногда в значительно большей степени, чем в случае прямого химического превращения.

Эффект адсорбционного облегчения деформации или адсорбционного понижения прочности обусловлен прежде всего тем, что поверхностно-активные вещества, понижая поверхностную энергию металла, тем самым способствуют зарождению пластических сдвигов.

Несмотря на многолетние исследования эффекта Ребиндера, выводы, сделанные на основе усталостных испытаний различных конструкционных материалов, касающиеся влияния ПАВ, являются противоречивыми.

Так, например, в работе [3] было показано, что смазочные и другие поверхностно-активные среды вызывают адсорбционное снижение выносливости сталей на 7-26 % относительно их выносливости на воздухе. Это объясняется адсорбцией поверхностно-активных веществ, содержащихся в смазочных маслах, и в связи с этим понижением уровня поверхностной энергии, а, соответственно, и облегчением деформирования и разрушения циклически нагружаемых деталей.

В тоже время, в работах [4-7] показано, что снижение долговечности может быть вызвано иными причинами. В процессе изготовления в смазочных маслах образуются различные ПАВ в виде органических кислот, спиртов, смолисто-асфальтовых веществ и пр. Добавляемые в масла синтетические присадки, улучшающие одно или несколько их свойств одновременно, также содержат в себе различные ПАВ. Однако в смазочное масло даже после непродолжительного хранения в условиях свободного доступа атмосферного воздуха попадает незначительное количество воды. Отмечено, что такое масло заметно понижает выносливость стали, и высказано предположение об отрицательной роли малых примесей содержащейся в нем воды [8]. Следовательно, на сопротивление усталости стали в смазочном масле могут одновременно влиять адсорбционный и коррозионный факторы. Принимая во внимание химический состав пленкообразующих ингибированных нефтяных составов, можно предположить, что их взаимодействие с металлическими конструкциями будет сопровождаться эффектом Ребиндера.

Цель работы

Целью исследования, представленного в статье является разработка метода, позволяющего оценить влияние антикоррозионной обработки металлических конструкций пленкообразующими ингибированными нефтяными составами на процесс накопления усталостного повреждения.

Экспериментальное обоснование метода

В последние годы в НАУ проводятся исследования процесса накопления усталостного повреждения в поверхностном слое [9-11]. В качестве индикатора усталости используется деформационный рельеф поверхности. Предложен и апробирован в многочисленных экспериментах новый параметр повреждения, параметр D , который вычисляется как отношение площади поверхности с признаками деформационного рельефа к общей площади поверхности, которая контролируется. Для определения параметра повреждения используется участок поверхности размером 0,3 x 0,3 мм около концентратора напряжений, обычно отверстия. С помощью оптического микроскопа при увеличении $200^x - 300^x$ получают цифровые изображения. Насыщенность рельефа определяется с помощью специально разработанного программного обеспечения.

На рис. 1 показано одно из окон программы, позволяющей определять значение параметра повреждения D . Представлен этап обработки цифрового изображения рельефа, в ходе которого исходная фотография преобразуется в контрастное монохромное изображение. На завершающем этапе обработки данных выполняется подсчет площади поверхности, занятой признаками деформационного рельефа и вычисление отношения площади «темных» участков к общей площади в зоне контроля.

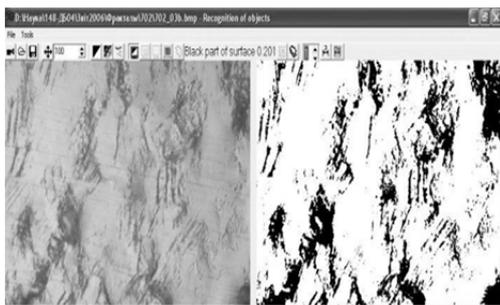


Рис. 1. Окно программы, определяющей параметр деформационного повреждения

В представленной работе насыщенность деформационного рельефа рассматривается не только как показатель усталостного повреждения, но и как индикатор эффекта Ребиндера, являющегося побочным результатом применения антикоррозионного материала.

В ходе проведения исследований, направленных на обоснование экспресс-метода оценки влияния поверхностно-активных антикоррозионных материалов на усталость алюминиевых сплавов проводятся испытания образцов алюминиевого сплава Д16АТ при осевом растяжении с частотой нагружения 11 Гц и консольном изгибе с частотой 25 Гц. В обоих случаях испытания проводились с коэффициентом асимметрии $R=0$.

В процессе исследования влияния поверхностно-активных веществ на усталость конструкционных алюминиевых сплавов использовались: а) антикоррозионный

пленкообразующий состав DINITROL AV-25; б) оливковое масло.

DINITROL AV-25 используется для защиты всех применяемых в авиационной промышленности металлов и сплавов. Материал соответствует требованиям Технических Условий ведущих производителей авиационной техники и стандартам: Airbus Industrie TN 007 10138, Type I, Grade 2; AMS 3066; Boeing Material Specification BMS 3-226, Type I; I.P.T.H. NMS 3-26; McDonnell Douglas DMS 2150 and 2414; MBL-C-16 173 D; SAANN Aircraft STD 161454.

Оливковое масло выбрано из-за того, что содержит олеиновую кислоту. По жирнокислотному составу представляет собой смесь триглицеридов жирных кислот с очень высоким содержанием эфиров олеиновой

кислоты. Олеиновая кислота (*цис*-9-октадеценовая кислота) $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ — мононенасыщенная жирная кислота. Бесцветная вязкая жидкость, $t_{\text{пл}}=13,4^\circ\text{C}$ (для нестабильной бета-модификации) и $16,3^\circ\text{C}$ (для стабильной альфа-модификации) $t_{\text{кип}}=286^\circ\text{C}$. Олеиновая кислота является традиционным ПАВ в исследованиях эффекта Ребиндера [12].

На рис. 2 представлено сравнение результатов мониторинга деформационного рельефа поверхности образцов, покрытых в области концентраторов напряжений пищевым оливковым маслом и образцов без ПАВ.

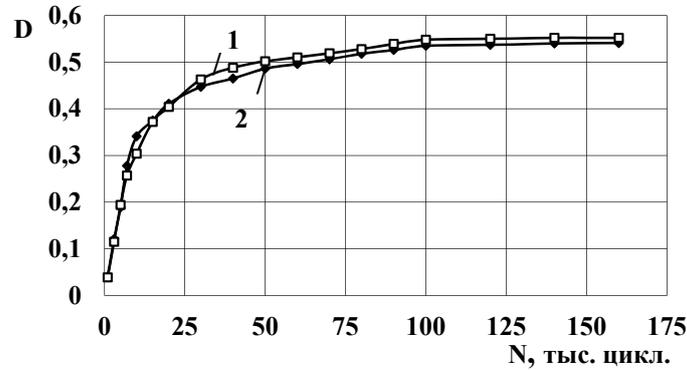


Рис. 2. Эволюция насыщенности деформационного рельефа в процессе циклического нагружения:
1 – без покрытия; 2 – обработка оливковым маслом ($\sigma=235,0$ МПа)

Как видно из рис. 2, при максимальном напряжении цикла нагружения 235,0 МПа наличие оливкового масла практически не оказывает влияния на процесс развития деформационного рельефа.

Ранее проведенные исследования других авторов показали, что влияние ПАВ на деформационные процессы определяется многочисленными факторами: концентрацией ПАВ, свойствами материала, обрабатываемого ПАВ, режимом нагружения.

В ходе представленного исследования проводился поиск наиболее значимых факторов.

В связи с этим, рассмотрим эволюцию деформационного рельефа поверхности образцов сплава Д16АТ, обработанных оливковым маслом, при несколько меньшем уровне циклического напряжения. На рис.3 показана эволюция рельефа при максимальном напряжении цикла 196,0 МПа.

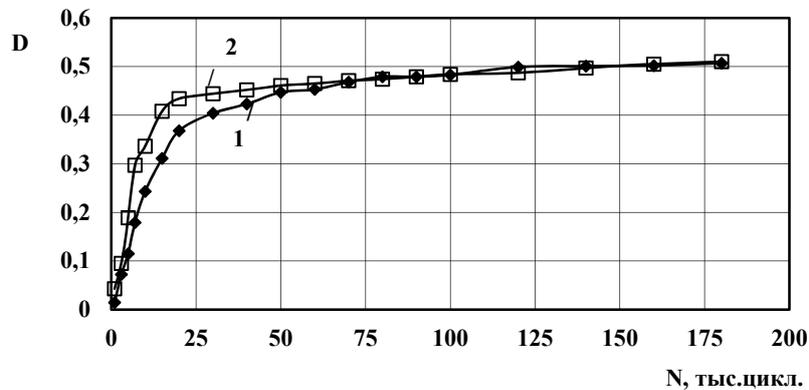


Рис. 3. Эволюция насыщенности деформационного рельефа в процессе циклического нагружения:
1 – без покрытия; 2 – обработка оливковым маслом; ($\sigma=196,0$ МПа)

Представленные на рис. 3 данные указывают на наличие влияния оливкового масла на начальный период процесса накопления повреждений, проявляющееся в ускоренном развитии деформационного рельефа и отсутствие такого влияния при достижении состояния насыщения.

Таким образом, уменьшение уровня циклических напряжений приводит к проявлению эффекта Ребиндера на инкубационной стадии усталости.

На рис. 4 показано влияние применяемого в авиации антикоррозионного покрытия AV-25 DINITROL на развитие деформационного рельефа поверхности. Максимальное напряжение цикла $\sigma=196,0$ МПа. И в этом случае наблюдается ускоренное, по сравнению с образцом без ПАВ, изменение насыщенности деформационного рельефа. Однако, при достижении стадии насыщения, также как и в рассмотренном выше случае, процессы накопления повреждения не выявляют видимых отличий.

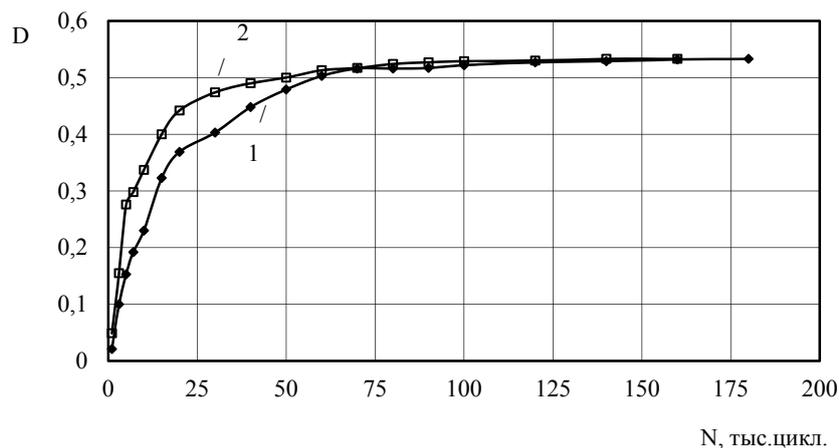


Рис. 4. Эволюция насыщенности деформационного рельефа в процессе циклического нагружения: 1 – без обработки ПАВ; 2- обработка DINITROL AV-25 ($\sigma=196,0$ МПа)

Как видно из рис. 3-4 обработка ПАВ может оказывать влияние на протекание начальной стадии инкубационного периода усталости алюминиевого сплава Д16АТ.

Одним из факторов, определяющих степень влияния ПАВ на процесс накопления повреждения, является режим циклического нагружения.

Можно предположить, что ослабление влияния ПАВ на формирование деформационного рельефа при дальнейшем нагружении связано с одновременным действием различных механизмов повреждения: продолжающимся ростом насыщенности и развитием кластеров деформационного рельефа, появлением микротрещин, релаксацией напряжений по берегам трещин.

Выводы

1. Применение пленкообразующих ингибированных нефтяных составов для защиты авиационных конструкций от коррозии требует проведения исследований возможных побочных эффектов, в частности оценки влияния на усталостные характеристики.
2. Проведенные эксперименты показывают возможность экспресс-оценки влияния поверхностно-активных антикоррозионных материалов на усталость алюминиевых сплавов.

Анотація. В статті показана можливість експрес-оцінки впливу антикорозійної обробки плівкоутворюючими інгібованими нафтовими сполуками на втому алюмінієвих сплавів. В основі методу – явище формування і розвитку деформаційного рельєфу поверхні, по насиченості якого можна судити про накопичене втомне пошкодження. Порівняння деформаційного рельєфу поверхні елементів конструкцій, що були оброблені антикорозійними сполуками та тих, що не мають покриття, дозволяє судити про вплив покриття на процес втомного пошкодження.

Ключові слова: алюмінієві сплави, корозія, поверхнево-активні матеріали, втома, деформаційний рельєф.

Abstract. The purpose of the research presented in the paper is to create the express-method for the estimation of the influence of the anticorrosive treatment made by surfactant compounds on aluminium alloys fatigue. As a material for the tests the aluminium alloy D16AT widely used in aviation industry has been selected. The method is based on the phenomenon of the initiation and development of the deformation relief on the surface of alclad alloys under the cyclical loading. The intensity of the relief indicates the accumulated fatigue damage. The analysis of the relief is provided by the computer aided optical method.

The comparison of the deformation relief on the specimens covered by the inhibiting corrosion compounds with the surface relief of uncovered components gives the possibility to make conclusion about the influence of the covering on the fatigue process. The influence of the surfactants on the metal fatigue can be observed and monitored on the initial stage of fatigue. The application of the method allows preventing negative side effects of the anticorrosive treatments, selecting the optimum compound for the protections.

Keywords: aluminium alloys, corrosion, surfactants, fatigue, deformation relief.

1. Jaya Aditya. The influence of corrosion treatments on fatigue of aircraft structural joints/ Aditya Jaya, Ung Hing Tiong, Reza Mohammed, Cees Bil, Graham Clark// Proc. of 27th international congress of the aeronautical sciences, 19 - 24 September 2010, Nice, France, - P.1-8.
2. П.А. Ребиндер, Избранные труды, Поверхностные явления в дисперстных системах, - М.: 1978. - Наука. – С. 371.
3. Карпенко Г.В. Влияние активных жидких сред на выносливость стали. - К.: Изд-во АН УССР, 1955. - 207 с.

4. *Веденкин С.Г.* О коррозии металлов под напряжением // Коррозия металлов и методы борьбы с нею. - М.: Оборонгиз, 1955. - С. 3 - 25.
5. *Романов В.В.* Влияние коррозионной среды на циклическую прочность металлов. - М.: Наука, 1969.- 220 с.
6. *Никольс Х.* Хрупкое разрушение стали в присутствии органических жидкостей / Х. Никольс, У. Ростокер// Чувствительность механических свойств к действию среды. - М.: Мир, 1969. - С. 234 - 254.
7. *Чаевский М.И.* Повышение работоспособности сталей в агрессивных средах при циклическом нагружении/ М.И.Чаевский, В.Ф. Шатинский. - К.: Наук. думка, 1970. – 212 с.
8. *Степуренко В.Т.* К вопросу о влиянии поверхностно-активных веществ на выносливость стали/ В.Т. Степуренко // VI Всесоюзная конференция по физико-химической механике конструкционных материалов. Тез. докл. - Львов: АН УССР, 1974. - С. 66 - 68.
9. *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.
10. *Karuskevich M.V.* Fatigue life prediction by the structurally sensitive damage indicator / M.V. Karuskevich // Вісник НАУ. – 2012. – № 1. – P. 139–143.
11. *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.
12. *В.И. Лихтман.* Физико-химические явления при деформации металлов, Успехи физических наук, т. LIV, С. 587-618.

REFERENCES

1. *Jaya Aditya.* The influence of corrosion treatments on fatigue of aircraft structural joints/ Aditya Jaya, Ung Hing Tiong, Reza Mohammed, Cees Bil, Graham Clark. Proc. of 27th international congress of the aeronautical sciences, 19 - 24 September 2010, Nice, France, P.1-8.
2. *P.A. Rebinder,* Izbrannie trudy, Poverhnostnie yavleniia v disperstnih sistemah (Surface phenomena in dispersion systems), Moscow: Nauka, 1978. 371 p.
3. *Karpenko G.V.* Vliianie aktivnykh zhidkykh sred na vinoslivost staly (Influence of active liquids on durability of steels). K.: AS USSR, 1955, 207 p.
4. *Vedenkin S.G.* (Korroziia metallov i metody borby s ney (Metal corrosion and methods against corrosion). Moscow: Oborongiz, 1955, pp. 3 – 25.
5. *Romanov V.V.* Vlijanine korrozionnoy sredy na ustalostnuju prochnost metallov (Influence of the corrosive medium on cyclical strength of metals). Moscow: Nauka, 1969. 220 p.
6. *Nikols H.* Hrupkoje razrusheniye staly v prisutstvii organicheskikh zhidkostey (Brittle fracture of steels in organic liquids). Moscow: Mir, 1969. 234 – 254 pp.
7. *Chaevsky M.I., Shatinsky V.F.* Povishenie rabotosposobnosti staley v agressivnykh sredah pri ciclicheskom nagruzhении (Improvement of the steels' efficiency in aggressive medium under the cyclical loading). K.: Nauk.dumka, 1970. 212 p.
8. *Stepurenko V.T.* K voprosu o vlijanii poverhnostno-aktivnykh veschestv na vinoslivost staly: VI vsesoyuznaja konferencija po phisico-himicheskoy mekhanike konstrukcionnykh materialov (To the problem on the influence of the surfactant on durability of steels, VI conf. on phisico-chemical mechanic of constructional materials, abstracts of reports). Lvov: Academy of science of the USSR, 1974. pp. 66 - 68.
9. *Karuskevich M.V., Корчук Е.Ю., Маслак Т.П., Якушенко А.С.* Strength of materials, 2008, no 6 (396), pp. 128–135.
10. *Karuskevich M.V.* Fatigue life prediction by the structurally sensitive damage indicator, proceedings of the NAU, 2012, no 1. pp. 139–143.
11. *Karuskevich M., Karuskevich O., Maslak T., Schepak S.* Extrusion/intrusion structures as quantitative indicators of accumulated fatigue damage. International Journal of Fatigue. 2012, no 39. pp. 116–121.
12. *Lichtman V.I.* Phisiko-chimicheskie javlenija pri deformacii metallov (Physic-chemical phenomenon under the deformation of metals), v. LIV, pp. 587-618.