

УДК 621

ОЦЕНКА ПОВРЕЖДАЕМОСТИ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ¹

© А. Б. Лаптев, В. С. Ерасов, В. В. Мурашов, А. Н. Луценко²

Статья поступила 2 сентября 2016 г.

Согласно авиационным правилам (АП25.571) «оценка прочности уровня проектирования и качества производства должна показать, что аварийной или катастрофической ситуации из-за усталости, коррозии, дефектов производства или случайного повреждения можно избежать в течение всего времени эксплуатации самолета». Показано, что назначение ресурса эксплуатации воздушного судна, которое базируется на определении физико-механических характеристик материалов, и испытания самих материалов с учетом концепции безопасной повреждаемости должны проводиться на образцах при одновременном воздействии механических нагрузок и внешних факторов, включая климатические. Оценка влияния последних связана с проведением длительных испытаний на специализированных климатических станциях, где в настоящее время используются визуальные методики фиксации момента разрушения образца. Известно, что момент начала роста дефекта связан с выделением энергии, которая частично переходит в тепловую и вызывает звуковые колебания. Звуковой сигнал, а следовательно, и момент разрушения, могут быть определены, в частности, с помощью датчиков акустической эмиссии. Поэтому для повышения точности звуковой фиксации и момента разрушения образца предложено использовать метод акустической эмиссии.

Ключевые слова: повреждаемость материалов; климатические факторы; акустическая эмиссия.

Климатические испытания материалов для обеспечения безопасности эксплуатации воздушных судов и, в частности, защиты деталей и конструкций от коррозии — приоритетное направление развития материалов и технологий [1, 2].

Климатические факторы (атмосферные осадки, морской туман, пыль и песок, коррозионно-активные агенты морской воды и почвенно-грунтовой среды, тепловой удар, атмосферное давление и солнечное излучение и др.) оказывают существенное влияние на структуру и свойства материалов при хранении и эксплуатации техники [3].

Проектирование воздушных судов по принципу «безопасного повреждения» допускает появление дефектов конструкции и их развитие в процессе экс-

плуатации до не критических размеров. Подобный подход требует такой конструкции (статически неопределимой), в которой силовые элементы подстраховывают друг друга, а используемые материалы характеризуются высокими показателями сопротивления развитию повреждаемости и разрушению, гарантирующими межремонтный срок эксплуатации.

Факторы, влияющие на работоспособность элементов технических устройств, могут быть классифицированы по следующим признакам: вид материала; точка максимального воздействия и протекания процессов, вызывающих изменение свойств и состояния материала и элемента конструкции; энергия, определяющая характер процесса; тип эксплуатационного воздействия (возникающего только в условиях активной работы элементов или существующего независимо от того, работают они или выключены); механизм протекания процессов [6].

Сроки службы полимерных материалов в изделиях, выпускаемых авиационной промышленностью,

¹ Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (соглашение № 14.595.21.0002. уникальный идентификатор № RFMEFI59514X0002).

² ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, Москва, Россия;
e-mail: laptev@bk.ru

определяют в соответствии с [7]. При их установлении учитывают условия работы и внешние воздействующие факторы (ВВФ).

Характеристики материала, используемые для прогнозирования сроков его службы в конструкции, должны отвечать следующим требованиям: монотонность изменения свойств во времени и чувствительность к процессам коррозии и старения при типовых условиях эксплуатации.

За допустимый уровень критического показателя (наиболее чувствительного к эксплуатационным и климатическим факторам) принимают такое его экстремальное значение, при котором материал в данном изделии при расчетных параметрах эксплуатации сохраняет свою служебную пригодность, способен выполнять основную функцию и не является причиной отказа, дефекта или разрушения.

Для учета ВВФ в настоящее время приняты два основных вида климатических испытаний изделий и образцов материалов: натурные испытания на открытых площадках, находящихся в различных климатических зонах, и ускоренные (лабораторные), позволяющие оценить стойкость сплавов и полимерных композиционных материалов (ПКМ) при воздействии искусственно созданных факторов окружающей среды.

Для установления механизма разрушения в металлических материалах при натурной экспозиции необходимы длительные (10 – 15 лет) испытания [8, 9]. В условиях ускоренных испытаний результаты можно получить в течение 1 года [10]. При этом, как правило, занижается прогнозный срок безопасной эксплуатации металла и меняется механизм коррозионного разрушения. Однако большинство производителей ограничивается именно лабораторными испытаниями ввиду необходимости ускоренного внедрения новых разработок.

Цель работы — оценка повреждаемости материалов в условиях климатического воздействия методом акустической эмиссии и определение оптимального контролируемого при эксплуатации критерия разрушения [4, 5].

Ресурс службы планера воздушного судна (20 лет), в период его эксплуатации продлеваемый «по состоянию» (при условии тщательной диагностики и проведения ремонтных работ в условиях авиаремонтного предприятия), может достигать 50 лет [10]. Для материалов, планируемых к применению в изделиях всеклиматического исполнения [11], отсутствие данных по климатической стойкости не позволяет гарантировать сохраняемость свойств материала в процессе длительной эксплуатации изделия.

Как известно, ресурс — наработка объекта (изделия) от начала эксплуатации или ее возобновления после среднего или капитального ремонта до наступления предельного состояния [12]. Для самолетов и авиационных двигателей мерой ресурса служит налет

в часах, для автомобилей — пробег в километрах, для прокатных станов — масса прокатанного металла в тоннах и т.д. Если наработку измерять числом произведенных циклов, то ресурс будет принимать дискретные значения [13 – 15].

Время эксплуатации изделия в общем случае включает не только период его полезного функционирования, но и перерывы, в течение которых суммарная наработка возрастает, а объект подвергается воздействию окружающей среды, нагрузкам, возникающим при транспортировке, и др. При этом свойства материалов могут меняться. Так, коррозия снижает прочность, старение ухудшает характеристики лакокрасочных покрытий, воздействие бактерий, плесневых грибов и водорослей (биологических процессов) приводит к серьезным локальным повреждениям.

Важный показатель при разработке нового изделия, например, воздушного судна, — назначенный ресурс и непосредственно связанный с ним срок службы, определяемый как продолжительность эксплуатации объекта до его списания и измеряемый в единицах календарного времени. С учетом знания изменения во времени характеристик прочности применяемых при создании изделия материалов задача прогнозирования ресурса сводится к определению времени до наступления предельного состояния материала.

Согласно авиационным правилам «оценка прочности, уровня проектирования и качества производства должна показать, что аварийной или катастрофической ситуации из-за усталости, коррозии, дефектов производства или случайного повреждения можно избежать в течение всего времени эксплуатации самолета» [16]. Указанные параметры во многом определяют так называемый запас прочности для отдельных узлов, агрегатов и изделия в целом. Его снижение приводит к значительному уменьшению массы воздушного судна и, как следствие, к увеличению грузоподъемности и повышению эффективности эксплуатации [17].

Снижение коэффициента запаса прочности за счет повышения точности измерений характеристик материала — важная составляющая при выполнении климатических испытаний.

На основе большого массива данных [18] оценили погрешность измерений. Она составила 10 – 23 %. Вместе с тем анализ статистики климатических испытаний и расчет минимального количества параллельных опытов для получения статистически значимых интервалов варьирования показали, что интервалы варьирования 10, 5, 2 и 1 % (например, предела прочности ПКМ при изгибе [20]), можно получить при 11, 51, 441 и 2163 параллельных испытаниях соответственно.

Получить точные (с интервалами варьирования 1 – 2 %) значения механических характеристик при климатических испытаниях можно в результате

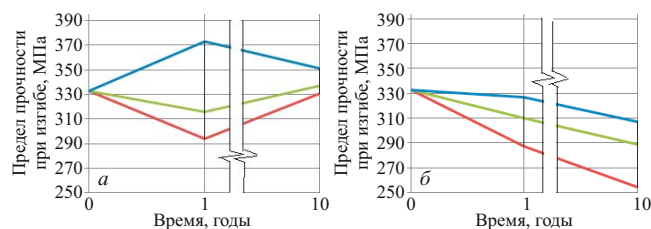


Рис. 1. Результаты измерения предела прочности на изгиб образца стеклопластика при натурной экспозиции в субтропическом влажном климате на открытой (а) и закрытой (б) площадках (красный — миним., зеленый — средн., синий — максим.)

уменьшения погрешности измерений, например, при использовании для фиксации роста трещины в образце при статическом нагружении в коррозионной атмосфере видеокамер или, что более перспективно и экономически целесообразно, датчиков акустической эмиссии.

Вклад механических опытов в погрешность находится в пределах 3 %, остальные 7 – 20 % зависят от условий проведения климатических испытаний и подготовки образца. Большую роль играет период снятия и постановки объекта контроля, так как от года к году климатические параметры (температура, влажность, количество осадков, солнечная радиация) существенно меняются.

На рис. 1 приведены результаты натурной экспозиции образца ПКМ (стеклопластика) во влажном субтропическом климате. Видно, что значения предела прочности при экспонировании под навесом и на открытом воздухе в течение 10 лет заметно отличаются.

Оценка механических свойств материала при климатических испытаниях в нагруженном состоянии необходима при расчете конструкций с учетом так называемой безопасной повреждаемости. Наиболее важный показатель при таком виде опытов — время начала роста критического дефекта (трещины).

Для вывода критерия разрушения твердого тела с дефектом в виде трещины рассмотрим растягиваемую изотропную бесконечную пластину конечной толщины, в которой длина трещины $2l$ значительно меньше ширины пластины b (рис. 2) [21].

При росте трещины на величину δl упругая энергия в пластине, нагруженной напряжением σ , преобразуется в поверхностную энергию трещины. На основе закона сохранения энергии запишем

$$\delta G + \delta W = 0 \text{ при } \delta l > 0, \quad (1)$$

где δG и δW — приращение поверхностной и уменьшение упругой энергии за счет разгрузки области около трещины.

При принятых допущениях об удельной объемной энергии упругой деформации, разгрузке и высвобождении упругой энергии в дефектной области, величине свободной поверхности трещины [22 – 25] из урав-

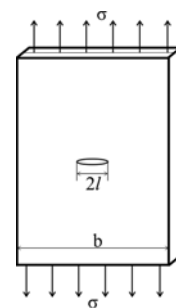


Рис. 2. Пластина со сквозной трещиной

нения (1) получаем выражение для напряжения разрушения σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{2E\gamma}{\pi l}}, \quad (2)$$

где E — модуль упругости; γ — работа, затраченная на образование единицы новой поверхности (поверхностная энергия); l — полудлина трещины.

Рассматриваемая модель предполагает, что разрушение — следствие развития трещины, основная характеристика которой — ее длина (линейный размер), а величина $\sigma\sqrt{l}$ — константа материала. Разрушение представляется как двухстадийный процесс: сначала медленный рост трещины до критической длины, затем (после ее достижения) быстрый распад.

Момент начала роста дефекта сопряжен с выделением энергии, которая расходуется на образование новой поверхности и частично переходит в тепловую энергию, вызывая звуковые колебания. Звуковой сигнал может быть определен методами фиксации с помощью датчика акустической эмиссии.

Механизм развития дефекта (трещины) — предмет изучения механики разрушения, модельные построения которой основаны на определенных упрощающих допущениях. Так, линейная упругая механика разрушения предполагает, что материал имеет линейно-упругие свойства и представляет однородную изотропную среду. Трещина в исходном состоянии рассматривается как разрыв материала, боковые поверхности которого (берега трещины) разделены бесконечно малым расстоянием, а вершины имеют предельно заостренную форму. В случае металлов последнее выполняется лишь приближенно, поскольку при нагружении в вершине трещины происходит локальная пластическая деформация. Использование линейно-упругой модели применительно к металлическим материалам возможно, если размер зоны пластической деформации значительно меньше длины трещины.

На рис. 3 показаны поглощаемая (–) и выделяемая (+) энергии (I — энергия, прикладываемая к образцу, 2 — выделяемая энергия при образовании новых свободных поверхностей в процессе роста трещины, 3 — суммарный энергетический эффект, позволяющий графически определить критическое значение длины

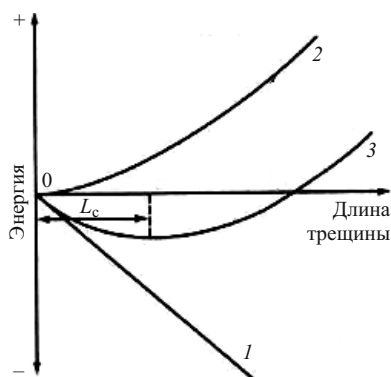


Рис. 3. Распределение энергии при развитии трещины

трещины L_c , при котором начинается «лавинообразный» ее рост) при росте дефекта.

Упругопластическая модель допускает не только наличие больших пластически деформированных зон в вершинах трещины, но и полное пластическое течение материала [26]. Так как вязкость разрушения (трещиностойкость) металлов и сплавов сильно зависит от температуры и скорости деформирования, зачастую при исследовании применяют различные концепции механики разрушения.

Исследовали климатическую стойкость образцов сталей при воздействии динамических циклических нагрузок. На рис. 4 представлена взаимосвязь пределов прочности и усталости для различных типов образцов.

Видно, что начиная с определенного уровня σ_B , предел выносливости (усталости) не повышается с увеличением предела прочности, а в некоторых случаях даже уменьшается. Из этого следует, что во многих случаях нельзя беспрестанно повышать прочностные характеристики путем увеличения плотности дислокаций, степени легирования, дисперсионного упрочнения, получения ультрамелкодисперсного размера зерна, а также различными методами механико-термических и термомеханических обработок [28].

К эффективным средствам повышения надежности изделий, включая летательные аппараты, относятся неразрушающие методы выявления нарушений сплошности ПКМ и непрочные в клееных конструкциях [29–32], а также методы технической диагностики, позволяющие оценивать физико-механические свойства материалов непосредственно в контролируемых деталях и конструкциях без их разрушения [33–37].

Большое применение в высоконагруженных деталях и агрегатах авиационной техники нашли угле- и стеклопластики. Часто встречающиеся опасные макродефекты монолитных деталей и конструкций из углепластиков — дефекты, связанные с нарушением сплошности (расслоения, непрочные, трещины, крупные воздушные или газовые раковины, инородные включения). Кроме того, возможны также дефекты на уровне микроструктуры (зоны повышенной по-

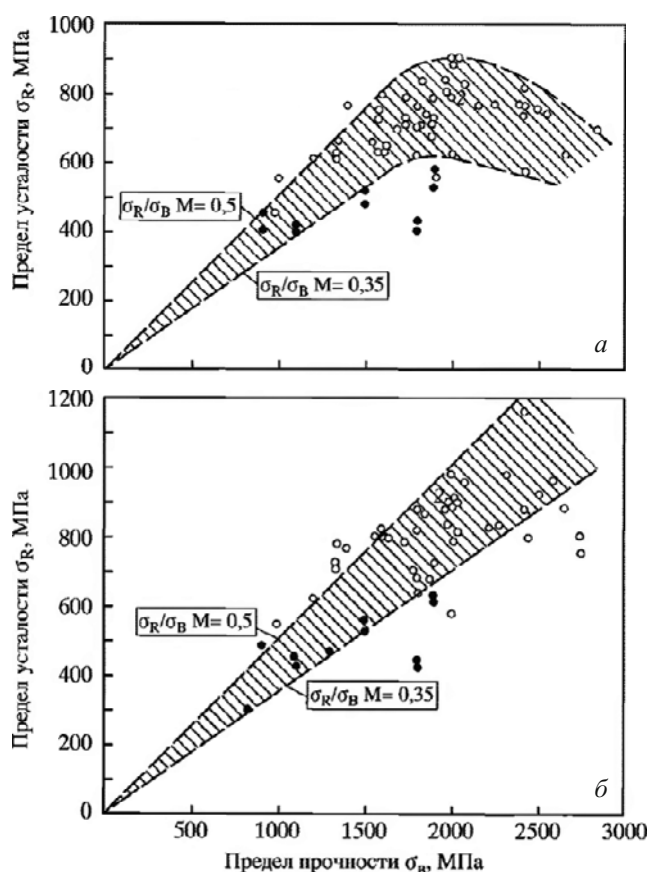


Рис. 4. Взаимосвязь пределов усталости и прочности для ряда высокопрочных сталей, выплавленных в вакууме (а) и на воздухе (б) (○ — круглые образцы, ● — плоские образцы)

риности, отклонения от оптимального соотношения матрицы и армирующего наполнителя, низкая степень отверждения связующего при формовании, нарушения ориентации волокон, складки, свили, поверхностные подмятия и царапины и др.). Дефектные зоны характеризуются пониженной прочностью.

Для дефектоскопии и оценки физико-механических свойств ПКМ применяют специальные методы диагностики. Основные из них (по числу решаемых задач) — ультразвуковые (УЗ) методы, которые не требуют громоздкой аппаратуры для реализации и могут применяться не только в лабораторных, но и в цеховых (и даже полевых) условиях. УЗ-методы основаны на взаимодействии упругих колебаний и волн широкого диапазона частот с контролируемым изделием [38].

Акустические методы неразрушающего контроля (НК) подразделяются на две большие группы: активные и пассивные. Активные основаны на излучении и приеме упругих волн, пассивные (включая акустико-эмиссионный метод) — только на приеме волн, источником которых служит сам объект контроля (ОК).

В основе акустико-эмиссионного (АЭ) метода лежит регистрация упругих волн, возникающих в результате акустической эмиссии — образовании акустических волн при динамической внутренней локальной перестройке структуры материала ОК.

Формирование и развитие дефектов в изделии под нагрузкой [39] сопровождаются акустическими колебаниями, фиксируемыми методом АЭ.

В отличие от других методов НК, применяемых для контроля композитов, метод АЭ позволяет регистрировать сигналы на начальных этапах разрушения, когда дефекты возникают на микроуровне, а также получать интегральную картину локализации дефектов, классифицировать повреждения по степени опасности, оценивать остаточный ресурс конструкции [40–42].

При проектировании современных изделий по принципу «безопасного повреждения» допустимо наличие дефектов конструкции их развитие в процессе эксплуатации до не критического уровня. Особенность климатических испытаний состоит в том, что отсутствуют посторонние шумы, поэтому можно с высокой достоверностью определять сигнал именно от АЭ. Использование датчиков АЭ при испытаниях материалов и конструктивно-подобных элементов в статически напряженном состоянии позволяет с достаточной точностью (± 1 с) определить время начала роста дефекта, динамику его роста и время до разрушения.

Таким образом, широко применяемый в промышленности и регламентируемый государственными и международными стандартами [43, 44] АЭ-метод, дает возможность оценить ресурс работы ОК в условиях воздействия климатических факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е. Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» / *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 1. С. 3–33.
2. Каблов Е. Н. Авиакосмическое материаловедение / *Все материалы*. Энциклопедический справочник. 2008. № 3. С. 2–14.
3. ГОСТ 26883–86. Внешние воздействующие факторы. Термины и определения. — М.: Издательство стандартов, 1992. — 10 с.
4. Каблов Е. Н. Контроль качества материалов — гарантия безопасности эксплуатации авиационной техники / *Авиационные материалы и технологии*. Вып. Методы испытаний и контроля качества металлических и неметаллических материалов. 2001. С. 3–8.
5. Каблов Е. Н., Старцев О. В., Кротов А. С., Кириллов В. Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. III. Значимые факторы старения / *Деформация и разрушение материалов*. 2011. № 1. С. 34–40.
6. Меламедов И. М. Физические основы надежности. — Л.: Энергия, 1970. — 152 с.
7. Паншин Б. И., Коровина И. А., Котова Л. П., Меркулова В. М. Методы прогнозирования сроков службы полимерных материалов в изделиях. Инструкция ВИАМ № 1014–78. — ОНТИ ВИАМ, 1974. — 157 с.
8. Каблов Е. Н., Кириллов В. Н., Жирнов А. Д., Старцев О. В., Вапиров Ю. М. Центры для климатических испытаний авиационных ПКМ / *Авиационная промышленность*. 2009. № 4. С. 36–46.
9. Kablov E., Murashov V., Rummyantsev A. Diagnostics of Polymer Composites by Acoustic Methods / *Ultrasound*. Kaunas: Technologija. 2006. N 2. P. 7–10.
10. Курс М. Г., Лаптев А. Б., Кутырев А. Е., Морозова Л. В. Исследование коррозионного разрушения деформируемых алюминиевых сплавов при натурно-ускоренных испытаниях / *Вопросы материаловедения*. 2016. № 1(85). С. 116–126.
11. ГОСТ 15150–69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнение для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. — М.: Стандартинформ, 2010. — 66 с.
12. ГОСТ 13377–75. Надежность в технике. Термины и определения. — М.: Издательство стандартов, 1976. — 23 с.
13. Ахияров Р. Ж., Лаптев А. Б., Ибрагимов И. Г. Повышение промышленной безопасности эксплуатации объектов нефтедобычи при биозаражении и выпадении солей методом комплексной обработки пластовой воды / *Нефтепромысловое дело*. 2009. № 3. С. 44–46.
14. Лаптев А. Б., Навалихин Г. П. Повышение безопасности эксплуатации промысловых нефтепроводов / *Нефтепромысловое дело*. 2006. № 1. С. 48–52.
15. Ахияров Р. Ж., Матвеев Ю. Г., Лаптев А. Б., Бугай Д. Е. Ресурсосберегающие технологии предотвращения биозаражения пластовых вод предприятий нефтедобычи / *Нефтегазовое дело*. 2011. № 5. С. 232–242.
16. Ахияров Р. Ж., Лаптев А. Б., Мовенко Д. А., Белова Н. А. Исследование anomalно низкой коррозионной стойкости трубной стали теплообменной аппаратуры для нефтепереработки / *Нефтяное хозяйство*. 2016. № 1. С. 118–121.
17. Ерасов В. С., Нужный Г. А., Гриневич А. В., Терехин А. Л. Трещиностойкость авиационных материалов в процессе испытания на усталость / *Труды ВИАМ*. 2013. № 10. Ст. 06.
18. Ерасов В. С. Физико-механические характеристики как основные интегральные показатели качества авиационных конструкционных материалов: методическое пособие. — М.: ФГУП «ВИАМ», 2011. — 16 с.
19. Авиационные материалы. Справочник / Под ред. Е. Н. Каблова. — М.: ВИАМ, 2015. — 270 с.
20. Лаптев А. Б., Барботько С. Л., Николаев Е. В., Скирта А. А. Обработка результатов климатических испытаний стеклопластиков / *Пластические массы*. 2016. № 3, 4. С. 58–62.
21. Ерасов В. С., Гриневич А. В., Сеник В. Я., Коновалов В. В., Трунин Ю. П., Нестеренко Г. И. Расчетные значения характеристик прочности авиационных материалов / *Авиационные материалы и технологии*. 2012. № 2. С. 14–16.
22. Griffith A. A. The Phenomenon of Rupture and flow in solids / *Roy. Soc. London*. 1921. Vol. 221. Ser. A. P. 163–198.
23. Ерасов В. С., Байрамуков Р. Р. Роль фактора времени при проведении механических испытаний, обработке данных и представлении результатов / *Авиационные материалы и технологии*. 2013. № S2. С. 62–67.
24. Ерасов В. С., Подживотов Н. Ю. Методы оценки расчетных значений характеристик прочности авиационных материалов в России и за рубежом / *Все материалы*. Энциклопедический справочник. 2013. № 12. С. 2–8.
25. Ерасов В. С., Нужный Г. А., Гриневич А. В. Об оценке повреждаемости металлических материалов методами механических испытаний / *Деформация и разрушение материалов*. 2015. № 3. С. 42–47.
26. Ерасов В. С., Орешко Е. И., Луценко А. Н. Повреждаемость материалов при статическом растяжении / *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 4. С. 91–94.
27. Hempel M., Hillnhagen E. Dauerschwingverhalten unterschiedlichhergestellter Schmelzen des Walzlagertstahles ¹⁰⁰Cr 6 / *Archiv für das Eisenhüttenwesen*. 1965. Vol. 36. N 12. S. 877–885.
28. Терентьев В. Ф., Бицофен С. Я., Кораблева С. А., Слизов А. К., Ашмарин А. А. Анализ структурных изменений трип-стали ВНС-9Ш при циклическом деформировании / *Деформация и разрушение материалов*. 2013. № 6. С. 16–20.
29. Мурашов В. В. Неразрушающий контроль клеевых соединений / *Клеи. Герметики. Технологии*. 2008. № 7. С. 21–28.
30. Murashov V. V. Attestation of Glued Articles by Acoustic Impedance Method / *Polymer Sci. Ser. D. Glues Sealing Mater*. 2010. Vol. 3. N 4. P. 267–273.
31. Murashov V. V. Control of Laminated Structures by the Acoustic Free Vibration Method / *Polymer Sci. Ser. D. Glues Sealing Mater*. 2012. Vol. 5. N 4. P. 341–345.
32. Murashov V. V. Nondestructive Testing of Glued Joints / *Polymer Sci. Ser. D. Glues Sealing Mater*. 2009. Vol. 2. N 1. P. 58–63.
33. Бакунов А. С., Мурашов В. В., Сысоев А. М. Контроль лопастей воздушного винта средствами низкочастотной акустики / *Контроль. Диагностика*. 2012. № 6. С. 72–74.
34. Мурашов В. В., Генералов А. С. Контроль многослойных клеевых конструкций низкочастотными акустическими методами / *Авиационные материалы и технологии*. 2014. № 2. С. 59–67.
35. Мурашов В. В., Румянцев А. Ф. Дефекты монолитных деталей и многослойных конструкций из полимерных композиционных мате-

- риалов и методы их выявления. Часть 1. Дефекты монолитных деталей и многослойных конструкций из полимерных композиционных материалов / Контроль. Диагностика. 2007. № 4. С. 23 – 31.
36. **Karabutov A. A., Murashov V. V., Podymova N. B., Oraevsky A. A.** Nondestructive Characterisation of Layered Composite Materials with a Laser Optoacoustic Sensor / Nondestructive Evaluation of Materials and Composites II. San Antonio: Published by SPIE — The International Society for Optical Engineering. 1998. Vol. 3396. P. 103 – 111.
 37. **Ермолов И. Н., Ланге Ю. В.** Ультразвуковой контроль. Неразрушающий контроль: Справочник / Под общ. ред. В. В. Клюева. — М.: Машиностроение, 2006. — 864 с.
 38. **Иванов В. И., Власов И. Э.** Метод акустической эмиссии. Неразрушающий контроль: Справочник / Под общ. ред. В. В. Клюева. — М.: Машиностроение, 2005. — 340 с.
 39. **Gupta A., Duke Jr.** Investigation of the process of destruction of items from the right-acoustic-emission method / Mater. Eval. 2012. Vol. 70. N 4. P. 461 – 469.
 40. **Болотин В. В.** Прогнозирование ресурса машин и конструкций. — М.: Машиностроение, 1984. — 312 с.
 41. **Иванов В. И., Бигус Г. А., Власов И. Э.** Акустическая эмиссия: учеб. пособие / Под общ. ред. В. В. Клюева. — М.: Спектр, 2011. — 192 с.
 42. ГОСТ Р ИСО 12716–2009. Контроль неразрушающий. Акустическая эмиссия. Словарь. — М.: Стандартинформ, 2010. — 12 с.
 43. ГОСТ Р ИСО 22096–2015. Контроль состояния и диагностика машин. Метод акустической эмиссии. — М.: Стандартинформ, 2016. — 8 с.

UDC 621

PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF ACOUSTIC EMISSION FOR ASSESSING THE VULNERABILITY OF MATERIALS EXPOSED TO THE IMPACT OF VARIOUS CLIMATIC FACTORS

© A. B. Laptev, V. S. Yerasov, V. V. Murashov, and A. N. Lutsenko

Submitted September 2, 2016.

Assignment of the aircraft service life is based on the determination of the physical and mechanical characteristics of materials. Testing of the materials with allowance for fail-safe concept should be carried out under simultaneous exposure of the samples to mechanical loads and external impacts. To increase the accuracy of experiments we propose to use acoustic emission for nondestructive testing of the samples.

Keywords: materials vulnerability; climatic factors; acoustic emission.

REFERENCES

1. **Kablov E. N.** Innovative development FGUP “VIAM” SSC RF on implementation of the “Strategic directions of development of materials and technologies of their reprocessing for the period till 2030” / Aviat. Mater. Tekhnol. 2015. N 1. P. 3 – 33 [in Russian].
2. **Kablov E. N.** Aerospace materials / Vse Mater. Entsikloped. Spravochn. 2008. N 3. P. 2 – 14 [in Russian].
3. RF State Standard GOST 26883–86. External influencing factors. Terms and definitions. — Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1992. — 10 p. [in Russian].
4. **Kablov E. N.** The quality control of materials — guarantee of safety of operation of aircraft equipment / Aviat. Mater. Tekhnol. Issue Metody ispytaniy i kontrolya kachestva metallicheskih i nemetallicheskih materialov. 2001. P. 3 – 8 [in Russian].
5. **Kablov E. N., Startsev O. V., Krotov A. S., Kirillov V. N.** Climatic aging of composite materials aviation applications. III. Significant factors of aging / Deform. Razrush. Mater. 2011. N 1. P. 34 – 40 [in Russian].
6. **Melamedov I. M.** Physical basis of reliability. — Leningrad: Energiya, 1970. — 152 p. [in Russian].
7. **Panshin B. I., Korovina I. A., Kotova L. P., Merkulova V. M.** Methods of forecasting of service life of polymeric materials in products. VIAM instruction N 1014–78. — ONTI VIAM, 1974. — 157 p. [in Russian].
8. **Kablov E. N., Kirillov V. N., Zhirnov A. D., Startsev O. V., Vapiron Yu. M.** Centers for climatic testing of aircraft PCM / Aviat. Promyshl. 2009. N 4. P. 36 – 46 [in Russian].
9. **Kablov E., Murashov V., Rummyantsev A.** Diagnostics of Polymer Composites by Acoustic Methods / Ultrasound. Kaunas: Technologija. 2006. N 2. P. 7 – 10.
10. **Kurs M. G., Laptev A. B., Kutuyev A. E., Morozova L. V.** Investigation of the corrosive destruction wrought aluminum alloys in outdoor accelerated tests / Vopr. Materialoved. 2016. N 1(85). P. 116 – 126 [in Russian].
11. RF State Standard GOST 15150–69. Machines, instruments and other technical products. Performance for different climatic regions. Categories, conditions of use, storage and transportation of the impact of climatic factors in the external environment. — Moscow: Standartinform, 2010. — 66 p. [in Russian].
12. RF State Standard GOST 13377–75. Reliability in technique. Terms and definitions. — Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1976. — 23 p. [in Russian].
13. **Akhiyarov R. Zh., Laptev A. B., Ibragimov I. G.** Increase of industrial safety of operation of oil production facilities in bizarrerie and the salt precipitation method for complex processing of produced water / Neftepromysl. Delo. 2009. N 3. P. 44 – 46 [in Russian].
14. **Laptev A. B., Navalikhin G. P.** Improving the safety of operation of oil-field pipelines / Neftepromysl. Delo. 2006. N 1. P. 48 – 52 [in Russian].
15. **Akhiyarov R. Zh., Matveev Yu. G., Laptev A. B., Bugai D. E.** Resource-saving technologies prevent biosurgery formation waters of oil production / Neftegaz. Delo. 2011. N 5. P. 232 – 242 [in Russian].
16. **Akhiyarov R. Zh., Laptev A. B., Movenko D. A., Belova N. A.** The study abnormally low corrosion resistance of pipe steel heat exchange equipment for oil refining / Neft. Khoz. 2016. N 1. P. 118 – 121 [in Russian].
17. **Erasov V. S., Nuzhnyi G. A., Grinevich A. V., Terekhin A. L.** Fracture toughness of aviation materials in the process of fatigue testing / Trudy VIAM. 2013. N 10. Art. 06 [in Russian].
18. **Erasov V. S.** Physico-mechanical characteristics as the main integral indicators of the quality of aviation structural materials. — Moscow: FGUP «VIAM», 2011. — 16 p. [in Russian].
19. **Kablov E. N.** (ed.). Aviation materials. Reference book. — Moscow: VIAM, 2015. — 270 p. [in Russian].
20. **Laptev A. B., Barbot'ko S. L., Nikolaev E. V., Skirta A. A.** Processing of the results of climatic testing of fiberglass / Plast. Massy. 2016. N 3, 4. P. 58 – 62 [in Russian].
21. **Erasov V. S., Grinevich A. V., Senik V. Ya., Kononov V. V., Trunin Yu. P., Nesterenko G. I.** Calculated values of the strength characteristics of aircraft materials / Aviat. Mater. Tekhnol. 2012. N 2. P. 14 – 16 [in Russian].
22. **Griffith A. A.** The Phenomenon of Rupture and flow in solids / Roy. Soc. London. 1921. Vol. 221. Ser. A. P. 163 – 198.

23. **Erasov V. S., Bairamukov R. R.** The role of the time factor in conducting mechanical tests, data processing and presentation of results / *Aviats. Mater. Tekhnol.* 2013. N S2. P. 62 – 67 [in Russian].
24. **Erasov V. S., Podzhivotov N. Yu.** Methods of assessment of calculated values of the strength characteristics of aircraft materials in Russia and abroad / *Vse Mater. Éntsikloped. Spravochn.* 2013. N 12. P. 2 – 8 [in Russian].
25. **Erasov V. S., Nuzhnyi G. A., Grinevich A. V.** On the assessment of damage to metal materials by mechanical testing / *Deform. Razrush. Mater.* 2015. N 3. P. 42 – 47 [in Russian].
26. **Erasov V. S., Oreshko E. I., Lutsenko A. N.** Damage of materials under static tension / *Aviats. Mater. Tekhnol.* 2015. N 4. P. 91 – 94 [in Russian].
27. **Hempel M., Hillnhagen E.** Dauerschwingverhalten unterschiedlichhergestellter Schmelzen des Walzlagerstahles ¹⁰⁰Cr 6 / *Archiv für das Eisenhüttenwesen*. 1965. Vol. 36. N 12. S. 877 – 885.
28. **Terent'ev V. F., Bitsofen S. Ya., Korableva S. A., Slizov A. K., Ashmarin A. A.** Analysis of structural changes of trip steel VNS-9Sh under cyclic deformation / *Deform. Razrush. Mater.* 2013. N 6. P. 16 – 20 [in Russian].
29. **Murashov V. V.** Nondestructive testing of adhesive joints / *Klei. Germet. Tekhnol.* 2008. N 7. P. 21 – 28 [in Russian].
30. **Murashov V. V.** Attestation of Glued Articles by Acoustic Impedance Method / *Polymer Sci. Ser. D. Glues Sealing Mater.* 2010. Vol. 3. N 4. P. 267 – 273.
31. **Murashov V. V.** Control of Laminated Structures by the Acoustic Free Vibration Method / *Polymer Sci. Ser. D. Glues Sealing Mater.* 2012. Vol. 5. N 4. P. 341 – 345.
32. **Murashov V. V.** Nondestructive Testing of Glued Joints / *Polymer Sci. Ser. D. Glues Sealing Mater.* 2009. Vol. 2. N 1. P. 58 – 63.
33. **Bakunov A. S., Murashov V. V., Sysoev A. M.** Control of the propeller blades by means of low-frequency acoustics / *Kontrol'. Diagn.* 2012. N 6. P. 72 – 74 [in Russian].
34. **Murashov V. V., Generalov A. S.** Control multilayer adhesive constructions of low-frequency acoustic methods / *Aviats. Mater. Tekhnol.* 2014. N 2. P. 59 – 67 [in Russian].
35. **Murashov V. V., Rummyantsev A. F.** Defects in parts of monolithic and multilayer structures made of polymer composite materials and methods for their detection. Part 1. Defects in monolithic parts and multilayer constructions made of polymeric composite materials / *Kontrol'. Diagn.* 2007. N 4. P. 23 – 31 [in Russian].
36. **Karabutov A. A., Murashov V. V., Podymova N. B., Oraevsky A. A.** Nondestructive Characterisation of Layered Composite Materials with a Laser Optoacoustic Sensor / *Nondestructive Evaluation of Materials and Composites II*. San Antonio: Published by SPIE — The International Society for Optical Engineering. 1998. Vol. 3396. P. 103 – 111.
37. **Ermolov I. N., Lange Yu. V.** Ultrasonic control. Non-destructive testing: Reference book. — Moscow: Mashinostroenie, 2006. — 864 p. [in Russian].
38. **Ivanov V. I., Vlasov I. É.** Acoustic emission Method. Non-destructive testing: Reference book. — Moscow: Mashinostroenie, 2005. — 340 p. [in Russian].
39. **Gupta A., Duke Jr.** Investigation of the process of destruction of items from the right-acoustic-emission method / *Mater. Eval.* 2012. Vol. 70. N 4. P. 461 – 469.
40. **Bolotin V. V.** Forecasting of resource of machines and structures. — Moscow: Mashinostroenie, 1984. — 312 p. [in Russian].
41. **Ivanov V. I., Bigus G. A., Vlasov I. É.** Acoustic emission: manual. — Moscow: Spektr, 2011. — 192 p. [in Russian].
42. RF State Standard GOST R ISO 12716–2009. Nondestructive testing. Acoustic emission. Dictionary. — Moscow: Standartinform, 2010. — 12 p. [in Russian].
43. RF State Standard GOST R ISO 22096–2015. Monitoring and diagnostics of machines. The method of acoustic emission. — Moscow: Standartinform, 2016. — 8 p. [in Russian].