

УДК 620.191.33

DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-s4-55-59

В.С. Ерасов¹, О.В. Митраков¹, С.М. Швец¹, А.В. Лавров¹**ВЫРАЩИВАНИЕ ИСХОДНОЙ ТРЕЩИНЫ ПРИ ИСПЫТАНИИ НА ВЯЗКОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ (ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ)**

Предложено использование для выращивания исходной трещины при испытании на вязкость разрушения (трещиностойкость) современных электромеханических высокочастотных пульсаторов. Представлена методика определения исходной трещины заданной длины по величине изменения резонансной частоты электромеханического высокочастотного пульсатора. Приведены экспериментальные данные по выращиванию предварительной длины трещины на компактных образцах с шевронным надрезом из титанового сплава VT23M на электромеханическом высокочастотном пульсаторе Amsler 100 HFP 5100 фирмы Zwick/Roell (Германия) для проведения последующих испытаний по определению критического коэффициента интенсивности напряжений (K_{1c}).

Ключевые слова: выращивание исходной трещины, электромеханический высокочастотный пульсатор, изменение резонансной частоты.

The usage of modern electromechanical high-frequency pulsators for growing of the initial crack at testing of fracture toughness (crack resistance) was proposed. A technique for determining the initial crack of a given length by the change of the resonance frequency of high-frequency electromechanical pulsator is described. Experimental data on growing cracks of the initial length for compact specimens made from VT23M titanium alloy with chevron notch by the use of high-frequency electromechanical pulsator Amsler 100 HFP 5100 (Zwick/Roell, Germany) for the subsequent tests to determine the critical stress intensity factor (K_{1c}) are given.

Keywords: growing of the initial crack, electromechanical high-frequency pulsator, change in resonant frequency.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации

[Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

Введение

В настоящее время характеристики механики разрушения широко используются при оценке трещиностойкости авиационных материалов, применяемых в ответственных деталях и конструкциях, работающих в условиях статических и динамических нагрузок [1–11].

Важной характеристикой вязкости разрушения является величина коэффициента интенсивности напряжений при статическом нагружении, которая позволяет более корректно прогнозировать ресурс летательного аппарата [6–11].

Для определения характеристик вязкости разрушения при статическом нагружении необходимо предварительное выращивание усталостной трещины на образцах, что занимает довольно продолжительное время. Проведение предварительного выращивания трещины на электромеханических высокочастотных пульсаторах позволяет значительно уменьшить время и снизить энергозатраты.

Материалы и методы

Для определения вязкости разрушения и скорости роста трещины усталости (СРТУ) руководствуются отечественными и зарубежными стандартами [12–19].

Определение вязкости разрушения при статическом нагружении или СРТУ, согласно стандартам, проводится путем испытания образца с предварительно выращенной трещиной. Трещина определенной длины: $0,3b \leq 2l \leq 0,5b$ (где $2l$ – длина трещины, b – ширина образца) – для плоского образца (рис. 1, а) и $0,45b \leq l \leq 0,55b$ – для компактного образца (рис. 1, б), выращивается на машинах с механическим или сервогидравлическим приводом.

Образование трещины из концентратора напряжений и ее выращивание до требуемых размеров можно контролировать различными способами: визуальным (с помощью лупы с увеличением порядка $\times 24$ или катетометра), с помощью изменения электрического потенциала, токовихревой, ультразвуковой, акустической эмиссии, а также используя тензометрический датчик раскрытия и специальную программу. Контроль над выращиванием трещины требует постоянного присутствия оператора, так как большинство методов контроля не позволяет вовремя автоматически остановить испытательную машину.

Целью данной работы являлась разработка методики выращивания предварительной усталостной трещины на электромеханическом высокочастотном пульсаторе Amsler 100 HFP 5100 фирмы Zwick/Roell (Германия). Использование

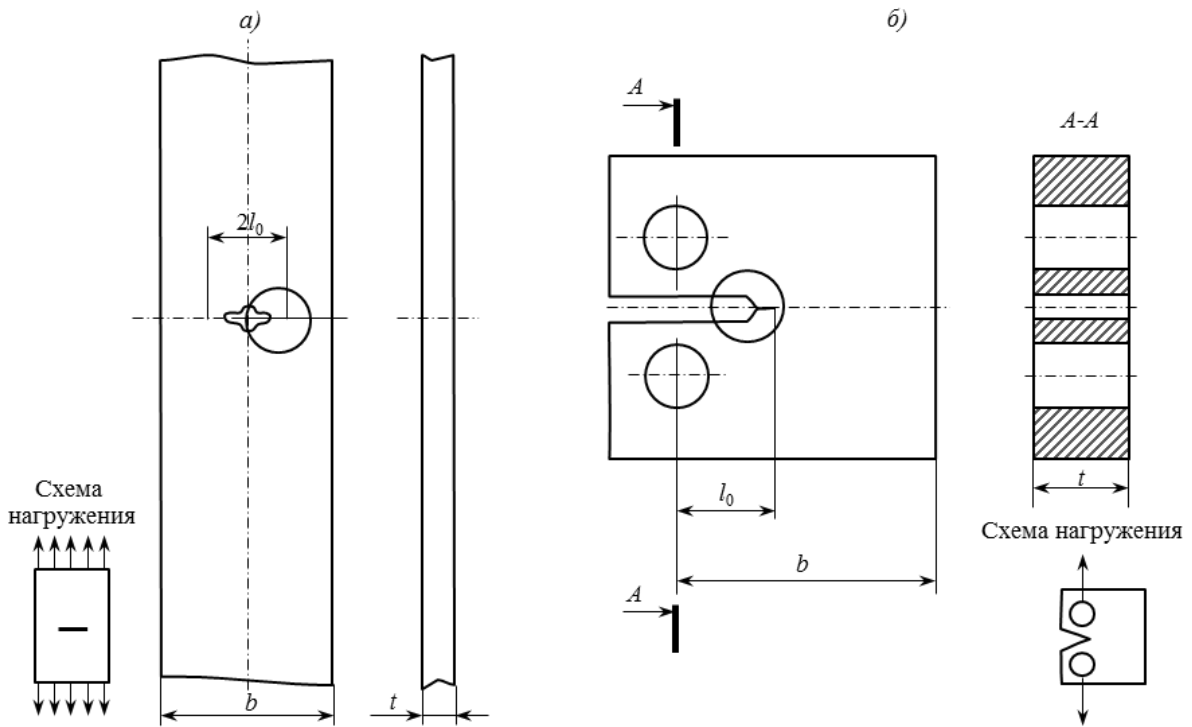


Рис. 1. Образцы (l_0 – длина трещины; b, t – ширина и толщина образца) для определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения): a – плоский прямоугольный образец с центральной трещиной для испытаний на осевое растяжение; b – прямоугольный компактный образец для испытаний на внецентренное растяжение

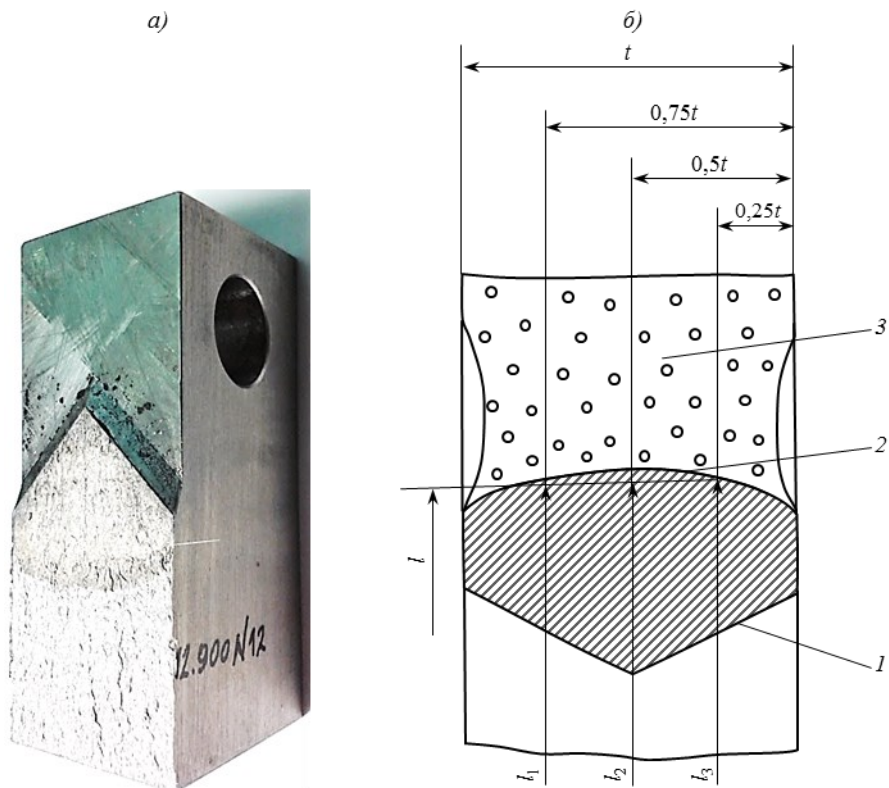


Рис. 2. Внешний вид компактного образца (a) с шевронным надрезом из титанового сплава VT23M и схема выращивания трещины (b):
 l – средняя длина трещины ($l = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{3}$); t – толщина образца; l – граница надреза; 2 – контур усталостной трещины; 3 – статический долом

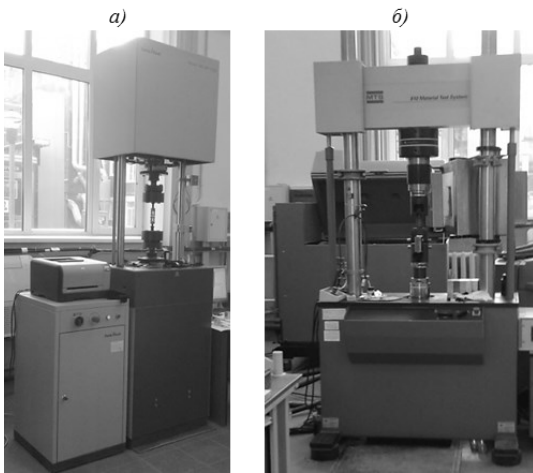


Рис. 3. Электромеханический высокочастотный пульсатор Amsler 100 HFP 5100 (а) и сервогидравлическая испытательная система MTS-810 (б)

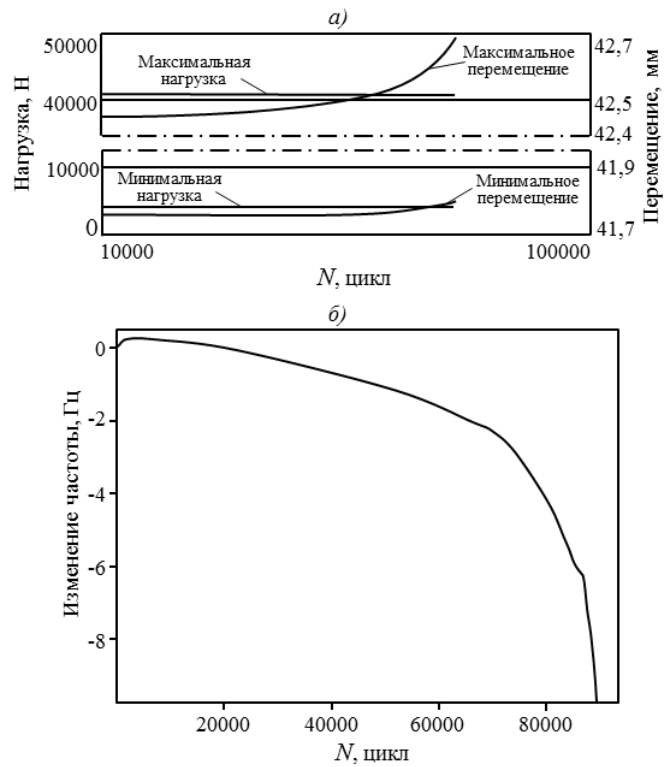


Рис. 4. Временные зависимости перемещения поршня (а) на дисплее ЭВМ сервогидравлической испытательной системы MTS-810 и изменение частоты (б) на дисплее ЭВМ высокочастотного пульсатора Amsler 100 HFP 5100

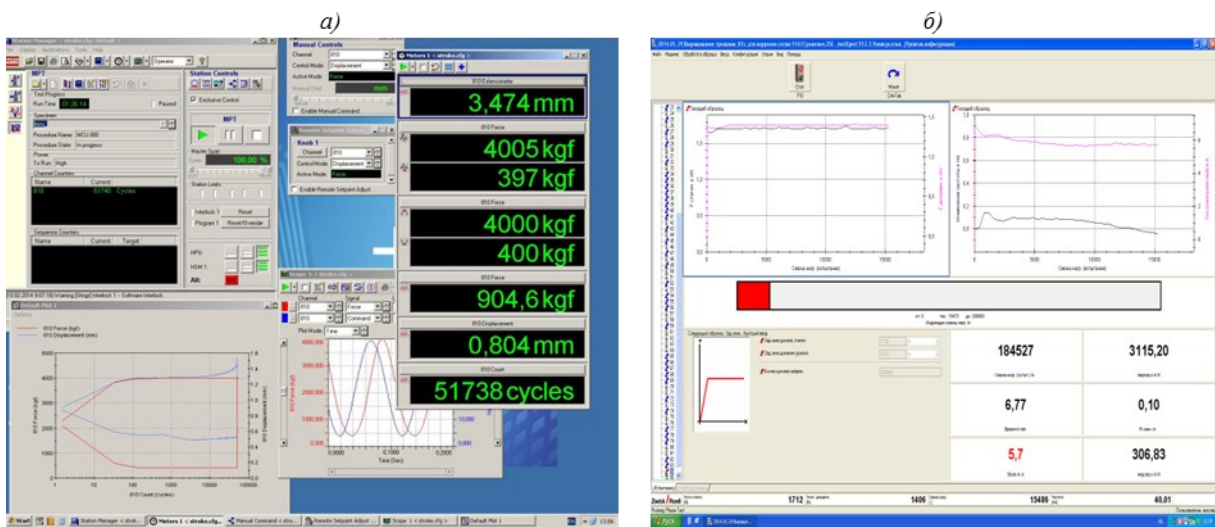


Рис. 5. Типовые окна программ MultiPurpose TestWare (а) и testXpert v12.3 (б)

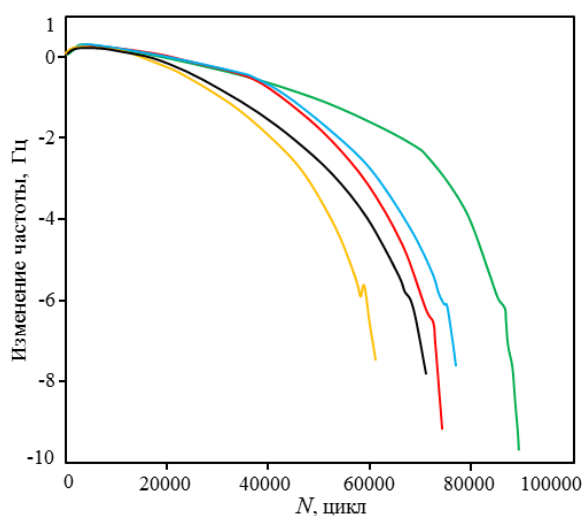


Рис. 6. Изменение резонансной частоты от количества циклов при испытании образцов титанового сплава VT23M в зависимости от длины трещины: 27,1 (—); 27,9 (—); 28,3 (—); 29,6 (—) и 29,7 мм (—)

современных электромеханических высокочастотных пульсаторов типа Amsler 100 HFP 5100 с определенным программным обеспечением значительно облегчает важный этап – выращивание трещины до нужного размера на образцах, предназначенных для проведения последующих испытаний по определению критического коэффициента интенсивности напряжений (K_{Ic}), условного коэффициента интенсивности напряжений (K_c^y).

Выращивание трещины проводили на компактных образцах (см. рис. 1, б) из титанового сплава VT23M, внесенного в чертежно-конструкторскую документацию как основной сплав для изготовления перспективного маневренного самолета [20].

На рис. 2 показан образец с шевронным надрезом после испытания на определение K_{Ic} путем статического разрыва.

Для выращивания исходной трещины на компактных образцах использовали электромеханический высокочастотный пульсатор Amsler 100 HFP 5100 (рис. 3, а) с потребляемой мощностью 1 кВт и сервогидравлическую испытательную систему MTS-810 (рис. 3, б) с потребляемой мощностью 45 кВт.

Время, затраченное на выращивание трещины длиной $l \approx 27$ мм (при длине исходного надреза 25 мм), составило $\sim 0,5$ и $2,5$ ч соответственно для электромеханического высокочастотного пульсатора Amsler 100 HFP 5100 и сервогидравлической испытательной системы MTS-810 (при числе циклов $N \approx 60000$ – 90000). Таким образом, время (при том же самом количестве циклов), затраченное для выращивания трещины на одном образце, на высокочастотном пульсаторе Amsler 100 HFP 5100 в ~ 5 раз меньше, чем на испытательной системе MTS-810 (частота 10 Гц), в основном за

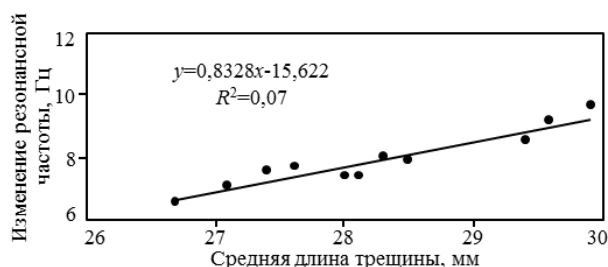


Рис. 7. Зависимость средней длины трещины от изменения резонансной частоты при испытании образцов из титанового сплава VT23M

счет увеличения частоты на пульсаторе – до 50 Гц.

Замер длины трещины на сервогидравлической испытательной системе MTS-810 осуществляли как визуально, так и с помощью графика «перемещение поршня–время», выводимого на дисплей ЭВМ (рис. 4, а); на высокочастотном пульсаторе Amsler 100 HFP 5100 – визуально (что сопровождалось некоторыми трудностями, так как на пульсаторе при такой большой частоте сложно наблюдать за ростом трещины) и по графику «изменение частоты–время», выводимому на дисплей ЭВМ (см. рис. 4, б).

Для выращивания трещин использовалось программное обеспечение MultiPurpose TestWare для сервогидравлической испытательной системы MTS-810 (рис. 5, а) и testXpert v12.3 – для высокочастотного пульсатора Amsler 100 HFP 5100 (рис. 5, б). Эти программы позволяют проводить испытания на СРТУ в соответствии с ASTM E647.

Результаты

При использовании программного обеспечения типа testXpert v12.3 удастся определить зависимость средней длины трещины от изменения резонансной частоты силовой цепочки, включающей образец, захваты, датчик нагрузки. Программа позволяет выращивать трещины необходимой длины. Процесс выращивания трещины удастся контролировать, не прибегая к использованию других методов наблюдения за ее ростом.

На рис. 6 показаны зависимости изменения резонансной частоты от количества циклов при испытании образцов титанового сплава VT23M, полученные в виде набора числовых данных и построенные затем в программе Excel. На образцах после выращивания предварительной трещи-

ны и после испытаний на K_{Ic} проведен замер длины трещин согласно ГОСТ 25.506–85 и взята средняя длина. Исходя из значения изменения резонансной частоты и средней длины трещины построен график (рис. 7), с помощью которого определяют величину изменения резонансной частоты, необходимую для контроля длины исходной трещины при испытании на вязкость разрушения.

Обсуждение и заключения

Предварительное выращивание трещины до нужного размера из исходного надреза на электромеханическом высокочастотном пульсаторе

Amsler 100 HFP 5100 позволяет значительно уменьшить время выращивания усталостной трещины на образцах (особенно при больших количествах образцов) и снизить энергозатраты.

Для большой партии однотипных образцов программное обеспечение типа testXpert v12.3 дает возможность контролировать выращивание усталостной трещины по монитору, наблюдая за изменением резонансной частоты. Зная это изменение, можно определить среднюю длину трещины и вовремя остановить испытательную машину.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ерасов В.С. Физико-механические характеристики как основные интегральные показатели качества авиационных конструкционных материалов: Метод. пособие. М.: ВИАМ. 2011. 16 с.
2. Ерасов В.С., Гриневич А.В., Сенник 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.
3. Ерасов В.С., Яковлев Н.О., Нужный Г.А. Квалификационные испытания и исследования прочности авиационных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 440–448.
4. Ерасов В.С., Нужный Г.А. Жесткий цикл нагружения при усталостных испытаниях //Авиационные материалы и технологии. 2011. №4. С. 35–40.
5. Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Ерасов В.С., Анчевский И.Э., Ильин В.В., Вальтер Р.С. Стенд для испытания на климатической станции ГЦКИ крупногабаритных конструкций из ПКМ /В сб. докл. IX Международ. науч. конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон–2012». 2012. С. 122–123.
6. Хохлатова Л.Б., Колобнев Н.И., Антипов В.В., Каримова С.А., Рудаков А.Г., Оглодков М.С. Влияние коррозионной среды на скорость роста трещины усталости в алюминиевых сплавах //Авиационные материалы и технологии. 2011. №1. С. 16–20.
7. Каблов Е.Н., Гриневич А.В., Ерасов В.С. Характеристики прочности металлических авиационных материалов и их расчетные значения /В сб. 75 лет. Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932–2007. М.: ВИАМ. 2007. С. 370–379.
8. 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 (viam-works.ru).
9. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
10. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 7–17.
11. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники //Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
12. ГОСТ 25.506–85 Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении.
13. ОСТ 1.92127–90 Металлы. Метод определения скорости роста усталостной трещины при испытании с постоянной амплитудой нагрузки.
14. ОСТ 1.92122–88 Металлы. Метод определения кривой сопротивления распространению трещины при статическом нагружении (R-кривой) обшивочных материалов при плоском напряженном состоянии.
15. ОСТ 1.90356–84 Металлы. Метод определения статической трещиностойкости (вязкости разрушения) обшивочных материалов при плоском напряженном состоянии.
16. ASTM E 1820–06 Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness (Метод испытаний для определения вязкости разрушения).
17. ASTM E 647–05 Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates (Стандартный метод испытания для измерения скоростей роста трещины при усталостном нагружении).
18. ASTM E 399 Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials (Метод испытания металлических материалов на вязкость разрушения при плоской деформации).
19. ASTM E 561–98 Standard Practice for R-Curve Determination (Стандартная практика для определения R-кривой).
20. Хорев А.И. Основы создания перспективных конструкционных титановых сплавов /В сб. 75 лет. Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932–2007. М.: ВИАМ. 2007. С. 75–89.