

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

А.П. Зиньковский<sup>а</sup>, А.А. Котляренко<sup>а</sup>, К.Н.Подгорский<sup>б</sup>, И.Л.Гликсон<sup>б</sup>

<sup>а</sup>Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины,  
Киев, Украина

<sup>б</sup> АО «МОТОР СИЧ», Запорожье, Украина

Experimental results of fatigue crack propagation rate (FCPR) in titanium alloys are present. The possibility of using correlation between the experimental data of FCPR at different temperatures was analyzed in this work

**Введение.** Одним из основных требований развития современного авиа двигателестроения является повышение ресурса создаваемых газотурбинных двигателей, в значительной мере определяемого ресурсом таких их высоконапряженных конструктивных элементов, как диски и лопатки рабочих колес. В основе методологического обеспечения установления ресурса по концепции безопасного развития трещины лежит, как известно [1], знание скорости роста трещины усталости (СРТУ)  $dl/dN$  в указанных конструктивных элементах, где  $l$  - длина трещины усталости,  $N$ -число циклов нагружения.

В соответствии с нормативными документами [2,3] для определения скорости используется второй установившийся участок кинетической диаграммы ( $j = 2$ ), который хорошо описывается уравнением Пэриса

Достоверность установления скорости роста трещины усталости зависит от точности определения коэффициентов уравнения Пэриса, т.е. правильности выделения точек второго участка кинетической диаграммы. Стандартом [2] установлено, что этому участку соответствует СРТУ в диапазоне  $10^{-5} \div 10^{-3}$  мм/цикл. Учитывая, что указанный диапазон лишь приблизительно характеризует второй участок, в [4] предложена методика повышения точности определения коэффициентов уравнения позволяющая исключить из рассмотрения значения СРТУ точки, несоответствующие рассматриваемому участку.

В работах [5-7] была отмечена существующая закономерность взаимосвязи коэффициентов уравнения Пэриса  $C$  и  $n$ , представленная уравнением регрессии.

$$\lg C = a + bn, \quad (1)$$

где  $a$  и  $b$  – константы.

В дальнейшем многими учеными проводились исследования по определению констант  $a$  и  $b$  для многих марок сталей и алюминиевых сплавов. Результаты испытаний образцов разной ширины, в разнообразных средах и отличающихся степенью термообработки, которые нашли обобщение в [8] показывали стабильные значения константы  $a$  и  $b$  при сильно изменяющихся  $C$  и  $n$ . Справедливость зависимости (1) подтверждается результатами испытаний компактных образцов из никелевых сплавов ЭП741НП и ЭК151ИД, при температурах  $T=20$  и  $400$  °С [9], а также данными обобщения результатов, полученных на основании испытаний образцов из титановых и никелевых сплавов в различных научно-технических организациях, в том числе и авторами данной работы в Институте проблем прочности имени Г.С. Писаренко НАН Украины [10]. При этом был сделан вывод, что зависимость (1) имеет универсальный характер для данных типов сплавов.

Целью данной работы является экспериментальное исследование на основании единого методологического подхода по определению закономерности изменения скорости роста трещины усталости указанных в титановых сплавах с учетом влияния температуры и установление для них корреляционной зависимости между коэффициентами уравнения Пэриса.

**Результаты исследования.** Для решения задачи, в соответствии с требованиями [2,3], были проведены испытания компактных (СТ) образцов по определению СРТУ с последующим выведением коэффициентов уравнения Пэриса для двух титановых сплавов (в дальнейшем марки 1 и 2) при температурах 20, 200, 300 и 400 °С. Среднеарифметические приведенные значения коэффициентов  $C$  и  $n$  уравнения Пэриса, определенные по результатам испытания образцов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Средние приведенные значения коэффициентов  $C$  и  $n$  уравнения Пэриса испытанных образцов из титановых сплавов марок 1 и 2

Материал	Значения приведенных коэффициентов $C$ и $n$ при температуре $T$ , равной:							
	20 °С		200 °С		300 °С		400 °С	
	$C$	$n$	$C$	$n$	$C$	$n$	$C$	$n$
Марка 1	$1,66 \cdot 10^{-08}$	2,89	$2,09 \cdot 10^{-8}$	2,28	$4,40 \cdot 10^{-08}$	2,28	$4,30 \cdot 10^{-8}$	2,35
Марка 2	$5,63 \cdot 10^{-10}$	2,56	$1,19 \cdot 10^{-9}$	2,36	$1,27 \cdot 10^{-9}$	2,40	$9,01 \cdot 10^{-10}$	2,47

Как следует из полученных результатов, не существует тривиальной зависимости между коэффициентами уравнения Пэриса и температурой. Таким образом, на данном этапе, при наличии имеющегося набора экспериментальных данных, не предоставляется возможным с достаточной достоверностью интерполировать значения коэффициентов уравнения Пэриса между крайними значениями температуры испытаний.

Таблица 2

Приведенные значения коэффициентов уравнения (2) для рассматриваемых материалов и сплавов ЭП741НП и ЭК151ИД

Материал	$a$	$b$
Марка 1	-3,01	-1,08
Марка 2	-3,21	-1,44
ЭП741НП и ЭК151ИД	-5,58	-1,80

По результатам испытаний образцов из выбранных материалов были построены зависимости (1), которые приведены на рис.1. Здесь же представлена указанная зависимость для сплавов ЭП741НП и ЭК151ИД, полученная в [9].

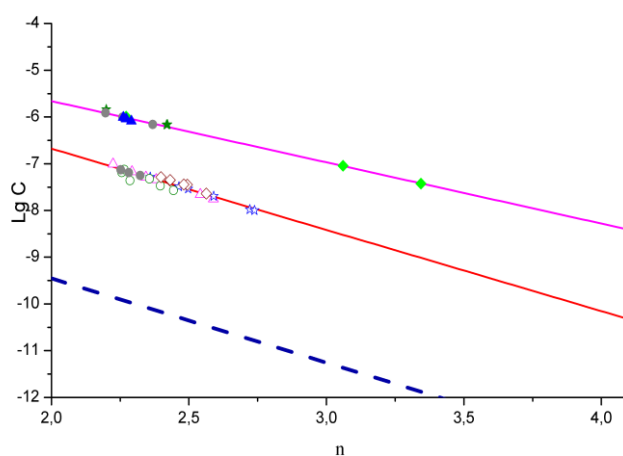


Рис. 1. - Экспериментальные значения  $\lg C$  и  $n$  для сплавов марки 1 (★ -20 °С, ● - 200 °С, ▲ - 300 °С, ◆ - 400 °С) и марки 2 (☆ -20 °С, ○ - 200 °С, △ - 300 °С, ◇ - 400 °С), а также зависимости (2) (сплошные линии). Штриховая линия – зависимость для сплавов ЭП741НП и ЭК151ИД, полученная в [6].

Приведенные значения коэффициентов уравнения (1) приведены в табл. 2. Как следует из представленных данных, подтверждается гипотеза, высказанная в [10] о справедливости корреляционной зависимости (2) для титановых сплавов между коэффициентами уравнения Пэриса. Но как видно из графика, отображенного на рис.1, нельзя говорить об универсальности данной зависимости для однотипных титановых сплавов, о чем делается вывод в [9] на основе результатов испытаний образцов из никелевых сплавов с различной технологической наследственностью.

**Выводы.** На основании результатов экспериментально-расчетных исследований по определению характеристик скорости роста трещины усталости титановых сплавов полученных с использованием разработанного методического обеспечения проведения испытаний компактных образцов, подтверждена справедливость гипотезы о существовании корреляционной зависимости между коэффициентами уравнения Пэриса установленная другими исследователями. При этом показано, что нельзя утверждать о её универсальности. Кроме того, на данном этапе исследований не представляется возможным применять тривиальные корреляционные зависимости между коэффициентами уравнения Пэриса и температурой испытаний.

### Литература

1. Потапов С.Д. Определение ресурсных показателей основных деталей авиационных двигателей на основе методики оценки остаточной долговечности / С.Д. Потапов, Д.Д. Перепелица // Двигатель № 5(71) 2010 г. С 28-29.
2. ОСТ1 92127-90 Металлы. Метод определения скорости роста усталостной трещины при испытаниях с постоянной амплитудой нагрузки.
3. E647-00 Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates // In Annual Book of ASTM Standards.
4. Потапов С.Д. Способ обработки результатов испытаний образцов на трещиностойкость с целью определения коэффициентов уравнения Пэриса / С.Д. Потапов, Д.Д. Перепелица // Вестник МАИ. – 2010. – Т.17, №6. – С.49-54.
5. Kitagawa H. Application of fracture mechanics to fatigue crack growth / H. Kitagawa // J. Jap. Soc. Eng. – 1972. – **75**, No. 642. – P.1068-1080.
6. Yokobori T. The effects of ferrite grain size on the stage II fatigue crack propagation in plain low carbon steel / T. Yokobori, I. Kawada, H. Hata //– Reports Res. Inst. Strength and Fract. Mater. Tohoku Univ. – 1973. – **9**, No. 2. – P. 35-64.
7. Niccolls E.H. A correlation for fatigue crack growth rate / E.H. Niccolls // – Scr. Met. – 1976. – **10**, No. 4. – P.295-298.
8. Ярема С.Я. О корреляции параметров уравнения Париса и характеристиках циклической трещиностойкости материалов / С.Я. Ярема // Пробл. прочности. – 1981. – № 9. – С. 20-27.
9. Голубовский Е.Р. Оценка скорости развития трещины усталости (СРТУ) в никелевых сплавах для дисков ГТД / Е.Р.Голубовский, М.Е.Волков, Н.М. Эммаусский // Вестник двигателестроения. – 2013. - №2. – С.229-235.
10. Потапов С.Д. Исследование характеристик циклической СРТ в материалах основных деталей авиационных ГТД / С.Д.Потапов, Д.Д. Перепелица // Вестник МАИ. – 2013. – Т.20, №1. – С. 124-139.