

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ТИТАНА VT1-0 ПО ДАННЫМ ИСПЫТАНИЙ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБРАЗЦОВ С ШЕВРОННЫМ НАДРЕЗОМ

А.А. БОГДАНОВ¹, Е.Е. ДЕРЮГИН²

¹Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: aab65@tpu.ru

В настоящее время широко используются стандартные методы испытаний материалов на трещиностойкость [1]. Но данные методы обладают следующими недостатками: необходимость нанесения усталостной трещины на образцы, строгие ограничения на геометрию и размеры образцов, расчёты ведутся по полуэмпирическим формулам. На малоразмерных образцах при испытании пластичных материалов и сплавов определить коэффициент интенсивности напряжений не представляется возможным, но возможно определение удельной энергии разрушения и через эту энергию возможно найти коэффициент интенсивности напряжений [2].

В качестве материала исследования выбран технический титан VT1-0. Он применяется для изделий с высокой прочностью, имеет высокое сопротивление хрупкому и усталостному разрушению. Нашел применение в машино- и приборостроении, а также в изделиях криогенной техники. Технический титан VT1-0 обладает следующими значениями упругих характеристик: $E = 110$ ГПа и $\nu = 0.3$.

В данной работе исследование двухконсольных образцов проводилось методом расклинивания. Испытание образцов производили на разрывной машине Instron. Для этого использован клин с углом 40° .

С помощью зеркальной фотокамеры, с интервалом в 4 сек, фиксировались изображения процесса нагружения, представленные на рисунке 1.

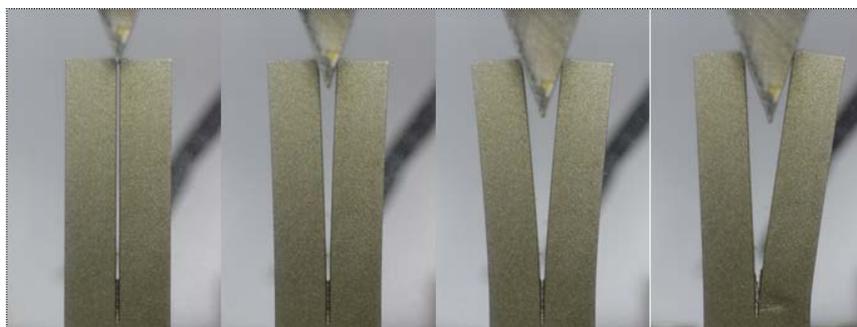


Рисунок 1 – Процесс нагружения в различное время

По полученным изображениям определяли момент зарождения трещины, длину трещины и величину прогиба консолей.

Для перехода от силы давления на клин F , рисунок 2, к силе, отгибающей консоль P , использовали формулу (1). Данный переход требует определения силы трения между клином и образцом [3].

$$P = \frac{F \cdot \cos(\gamma)}{2 \cdot (\sin(\beta/2) + \mu \cdot \cos(\beta/2))} \quad (1)$$

где F – нагрузка на клин, μ и γ – соответственно коэффициент трения и угол между плоскостями клина и консоли, β – угол раствора клина.

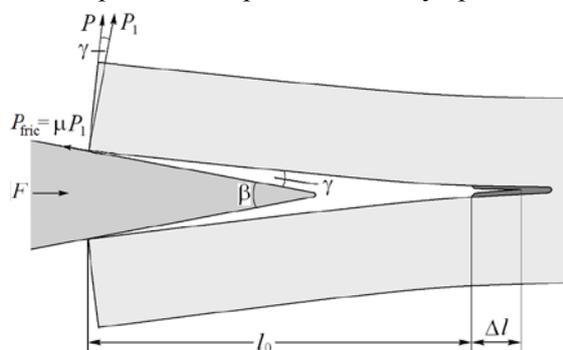


Рисунок 2 – Схема расклинивания

Силу трения определяли по формуле 2. Приняли, что коэффициент трения не меняется в процессе нагружения.

$$\mu = \frac{\Delta P \cos \gamma \cdot 2}{\Delta \lambda E \cdot a \cdot \sin(\beta/2)} \cdot \left(\frac{l_0}{b}\right)^3 \cdot \left(2 + \frac{a}{l_0} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}\right)^2 \cdot \left(4 + \frac{a}{l_0} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}\right)^{-1} - \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \quad (2)$$

где b - толщина балки, a - ширина балки, α - угол шеврона.

В методике используется энергетический подход. Из данного подхода следует, что трещина распространяется только за счет накопления и высвобождения упругой энергии деформации. Величину упругого прогиба консолей образца с шевронным надрезом определяли по формуле (3).

$$\lambda_e = \frac{8P}{Ea} \left(\frac{l}{b}\right)^3 \left[\frac{2\Delta l}{a} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \left(1 - \frac{2\Delta l}{a} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}\right) \left(\frac{l}{l_0}\right) \frac{4 + \frac{a}{l_0} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} + \frac{2\Delta l}{l_0}}{\left[2 + \frac{a}{l_0} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}\right]^2} \right]^{-1} \quad (3)$$

Далее по формуле (4) произвели расчет скорости высвобождения упругой энергии или иначе удельной энергии разрушения, которая может служить характеристикой трещиностойкости.

$$G = \frac{3E\lambda_e^2 b^3}{16l^4} \quad (4)$$

Но, поскольку параметр коэффициент интенсивности напряжений является закрепившимся, переход к нему осуществляется по известной зависимости (5) [4].

$$K_{Ic} = \sqrt{EG / (1 - \nu^2)} \quad (5)$$

В работе описан новый метод определения трещиностойкости конструкционных материалов с использованием малоразмерных образцов с шевронным надрезом. В расчетных формулах отсутствуют феноменологические зависимости и эмпирические константы. Метод позволяет использовать малоразмерные образцы и не требует предварительного наведения усталостной трещины [5].

Получены значения характеристик трещиностойкости технического титана ВТ1-0: удельная энергия разрушения $G = 51$ кДж/м² и коэффициент интенсивности напряжений $K_{Ic} = 78$ МПа·√м, что соответствуют данным стандартных методов испытаний и свидетельствует о работоспособности методики.

Список литературы

1. Матвиенко Ю. Г. Модели и критерии механики разрушения / Ю. Г. Матвиенко. – Москва: Физматлит, 2006. – 328 с.: ил. – Список литературы: С. 310-328. – ISBN 5-9221-0669-4
2. Херцберг Р. В. Деформация и механика разрушения конструкционных материалов / Р. В. Херцберг. – Москва: Металлургия, 1989. – 575 с.: ил. – Библиогр.: с. 554-573. – Предм. указ.: С. 574-575. – ISBN 5-229-00079-1
3. Deryugin Ye.Ye., Panin V.E. and Suvorov B.I. Determination of Fracture Toughness for Small-Sized Specimens with Ultrafine Grain Structure // AIP Conference Proceedings November 2014. <https://www.researchgate.net/publication/289644961>.
4. Тимошенко С. П. Теория упругости: пер. с англ./ С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер; под ред. Г. С. Шапиро. – издание второе. – Москва: Наука, 1979. – 560 с.: ил. – Именной указатель: С. 552-556. – Предметный указатель: С. 557-560
5. Дерюгин Е.Е., Суворов Б.И., Деревягина Л.С. Трещиностойкость материалов с ультрамелкозернистой структурой // Письма о материалах. – 2013. – Т.3. – № 2. – С. 106-109.