

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ МАТЕРИАЛОВ
ПО ДАННЫМ ИСПЫТАНИЙ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБРАЗЦОВ С ШЕВРОННЫМ НАДРЕЗОМ**А.А. Богданов¹Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. Е.Е. Дерюгин²¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634021

E-mail: paradox_of_plenty@mail.ru**ANALYTICAL CALCULATION OF FRACTURE TOUGHNESS OF MATERIALS
ON TESTS OF SMALL-SIZED SAMPLES WITH A CHEVRON NOTCH**A.A. Bogdanov¹Scientific Supervisor: Prof., Dr. Ye.Ye. Deryugin²¹Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050²Institute of Strength Physics and Materials Science of the SB RAS, Russia, Tomsk, Academic str., 2/4, 634021E-mail: paradox_of_plenty@mail.ru

Abstract. *On the example of technical titanium VT1-0, a new technique for determining the crack resistance of materials is described in the data of tests of small-sized samples with a chevron notch. The problem of displacement the points of application of the part load due to the variation in the compliance of the sample during the propagation of a crack is solved. Equations for the calculation of the specific fracture energy from the experimental data of small-sized samples with a chevron notch are obtained.*

Введение. В настоящее время существуют аналитические и численные способы расчета трещиностойкости материалов. Преимуществом аналитического метода является скорость расчёта т.к. нет необходимости в моделировании процесса разрушения и геометрии образца. Численный метод требует длительного времени, а также большого ресурса вычислительных систем. При разработке аналитических методов принято проводить их проверку численными методами. Наиболее широко применяется метод испытания образцов стандартных размеров с предварительно нанесенной на них усталостной трещиной [1]. Этот метод построен на измерении характеристик диаграмм нагружения, а также длины полученной трещины, и последующем расчете характеристик трещиностойкости по полуэмпирическим формулам. Наиболее важная характеристика трещиностойкости – критический коэффициент интенсивности напряжений I рода (для трещины отрыва). Для корректности производимых стандартных испытаний требуется условие плоско-деформированного состояния нагружаемого образца, поэтому для этого используют образцы толщиной не менее 10 мм.

Применяемые способы имеют следующие недостатки: невозможность оценки трещиностойкости материала образцов малой толщины; требование нанесения предварительной усталостной трещины; металлоёмкость образцов; необходимость в нагружаемом оборудовании большой мощности;

необходимость периодически разгружать образец, чтобы оценить изменение его податливости; наличие феноменологических констант в уравнениях расчёта для учёта геометрии образца и условий нагружения.

Существующие аналитические методы расчета пригодны для расчёта образцов простой конфигурации – двухконсольный образец с прямолинейным надрезом. Недостатком прямолинейного надреза является то, что образовавшаяся трещина не распространяется вдоль плоскости надреза.

При испытании малоразмерных образцов, как правило, используют образцы с шевронным надрезом. Использование образцов с шевронным надрезом позволяет задавать направление распространения трещины и делает его стабильным [2]. Под действием нагрузки на конце шеврона возникает концентрация напряжений и зарождается трещина, что исключает необходимость предварительного нанесения усталостной трещины.

В настоящей работе излагается метод аналитического расчёта трещиностойкости двухконсольного образца с шевронным надрезом, разработанный в лаборатории физической мезомеханики ИФПМ СО РАН. Метод позволяет определить характеристики трещиностойкости без жестких ограничений на пластическую деформацию образца. В расчётных формулах нет эмпирических констант и феноменологических зависимостей. Характеристики трещиностойкости получают в условиях непрерывного нагружения, без операции «нагрузка-разгрузка».

Метод исследования и материалы. Для определения условия разрушения малоразмерных образцов используется энергетический подход. Формулировка энергетического критерия разрушения такова: рост трещины может быть только в том случае, если система способна выделить энергию, необходимую для начала распространения трещины. Эта энергия появляется за счет упругой деформации, возникающей в объеме материала при приложении внешней силы. Критическая скорость высвобождения упругой энергии при распространении трещины G_c является характеристикой, позволяющей оценить трещиностойкость образцов малых размеров [3]. Данная характеристика имеет размерность кДж/м². Для краткости далее будем называть ее удельной энергией разрушения (УЭР).

Распространение трещины сопровождается увеличением податливости η образца:

$$\eta = \lambda_e / P,$$

где P – нагрузка, λ_e – смещение точки приложения нагрузки при упругой деформации образца.

На стадии стабильного распространения трещины УЭР определяется изменением податливости в процессе распространения трещины:

$$G = \frac{P^2 d\eta}{2adl},$$

где a – толщина образца (рис. 1).

Критическую удельную энергию разрушения определяли по методике, разработанной в лаборатории физической мезомеханики ИФПМ СО РАН, согласно формуле:

$$G_c = \frac{3E\lambda_e^2 b^3}{16l^4}. \quad (1)$$

Величина упругого прогиба балки образца с шевронным надрезом равна:

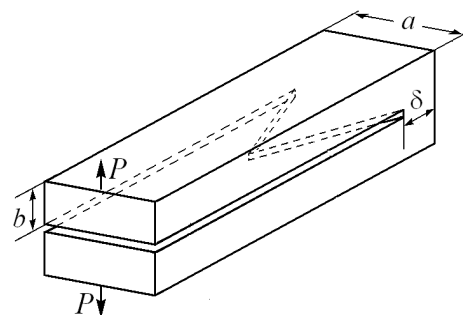


Рис. 1. Образец с шевронным надрезом

$$\lambda_c = \frac{8P}{Ea} \left(\frac{l}{b} \right)^3 \left[\frac{2\Delta l}{a} \tan \frac{\alpha}{2} + \left(1 - \frac{2\Delta l}{a} \tan \frac{\alpha}{2} \right) \left(\frac{l}{l_0} \right) \frac{4 + \frac{a}{l_0} \cot \frac{\alpha}{2} + \frac{2\Delta l}{l_0}}{\left[2 + \frac{a}{l_0} \cot \frac{\alpha}{2} \right]^2} \right]^{-1}, \quad (2)$$

Уравнения (1) и (2) выведены на основе определяющих уравнений механики разрушения. Рассчитав λ_c по формуле (2) и подставив полученное значение в (1), получим критическое значение УЭР. Переход от УЭР к коэффициенту интенсивности напряжений K_I осуществляется согласно зависимости [4]:

$$K_I = \sqrt{\frac{EG}{1-\nu^2}},$$

где E – модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона.

Настоящая методика применена для расчета трещиностойкости технического титана ВТ1-0, характеризуемого значениями упругих характеристик $E = 110$ ГПа и $\nu = 0.3$.

Результаты. На рис. 2 приведена экспериментальная диаграмма нагружения « P - λ_c ». Используя описанную в работе

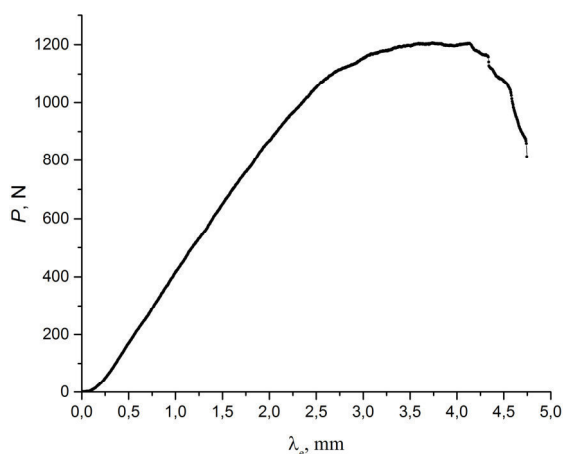


Рис. 2. Диаграмма нагружения образца ВТ1-0

методику для малоразмерных образцов из технического титана ВТ1-0, получены следующие характеристики трещиностойкости: критическая величина удельной энергии разрушения $G_c = 26.05$ кДж / м² и критический коэффициент интенсивности напряжений $K_{Ic} = 56.12$ МПа · √м. Трещина возникает еще до достижения максимума нагрузки. Значение G_c высчитано при максимальном значении внешней нагрузки, при которой наблюдается стабильное распространение трещины.

Заключение. В данной работе описан новый метод определения трещиностойкости конструкционных материалов с использованием малоразмерных образцов с шевронным надрезом. В расчетных формулах отсутствуют феноменологические зависимости и эмпирические константы. Значения, полученные на примере расчёта характеристик трещиностойкости технического титана ВТ1-0, соответствуют данным стандартных методов испытаний [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. ГОСТ 25.506-85. – 1985. – М: Издательство стандартов.
2. Дроздовский Б.А., Полищук Т.В., Волков В.П. Шевронный надрез как средство уменьшения толщины образца при определении величины K_{Ic} // Заводская лаборатория. – 1987. – № 6. – С. 74-76.
3. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. – 1975. М.: Наука. – 576 с.
4. Брок Д. Основы механики разрушения. –М: Высшая школа. – 1980.
5. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник. – М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. – 520 с.