

ЗАВИСИМОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ТИТАНА ВТ1-0 ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

А.А. БОГДАНОВ¹, Е.Е. ДЕРЮГИН²

¹Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: aab65@tpu.ru

Надежность металлоизделий наряду с конструктивными факторами в значительной мере определяется структурой и свойствами используемых материалов, зависящих от температурных условий эксплуатации (южные, средние и северные широты). Поэтому исследование механических характеристик металлов в области различных эксплуатационных температур является весьма актуальным. Целью работы является исследование температурной зависимости характеристик трещиностойкости технического титана ВТ1-0 по оригинальной методике расчета, разработанной в Институте прочности и материаловедения СО РАН в лаборатории физической мезомеханики и неразрушающих методов контроля.

Материалом исследования был выбран технический титан ВТ1-0 в исходном крупнокристаллическом (КК) состоянии (размер зерна 20 мкм). Использовались малоразмерные образцы с шевронным надрезом. Испытания образцов проводились методом расклинивания на разрывной машине типа Instron со скоростью движения клина $v = 2,0$ мкм/с. В качестве характеристики трещиностойкости материала рассчитывали удельную энергию разрушения G согласно уравнению [1]

$$G = \frac{3E\lambda_c^2 b^3}{4(l_0 + \Delta l)^4}$$

На рисунке 1 представлена схема расклинивания образца с шевронным надрезом. Для перехода от нагрузки F на клин к силе P , изгибающей консоль, используется формула

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

где F – нагрузка на клин, μ и γ – соответственно коэффициент трения и угол между клином и консолью, β – угол раствора клина (рисунок 1).

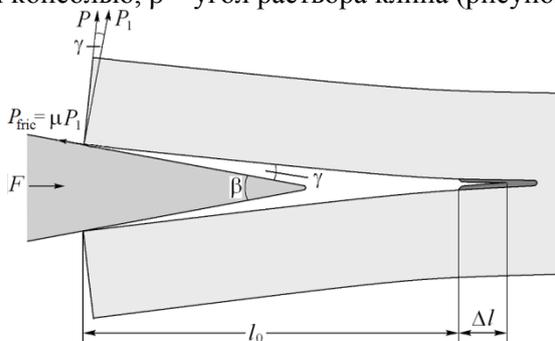


Рисунок 1 - Схема расклинивания

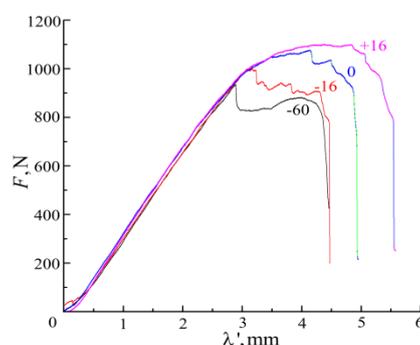


Рисунок 2 - Диаграммы нагружения при различных температурах

Переход от удельной энергии разрушения к коэффициенту интенсивности напряжений K_I осуществляется согласно зависимости

$$K_I = [EG / (1 - \nu^2)]^{1/2} \quad (1)$$

На рисунке 2 изображены диаграммы нагружения титана ВТ1-0 при различных температурах. Качественный вид кривых сильно зависит от температуры. Анализ показал, что с понижением температуры уменьшается критическая нагрузка, при которой зарождается трещина на конце шеврона, и уменьшается напряжение стабильного распространения трещины. При положительных температурах трещина возникает еще до достижения макси-

мального напряжения. При этом распространение трещины требует роста внешней нагрузки. По мере понижения температуры наступает момент, когда зарождение трещины происходит на пике внешней силы. Далее наблюдается падение напряжения и наступает стадия стабильного распространения трещины практически при постоянной внешней нагрузке.

На рисунке 3 приведена температурная зависимость коэффициента интенсивности напряжений, рассчитанного согласно уравнению (1) на стадии стабильного распространения трещины. Видно, что с понижением температуры трещиностойкость титана уменьшается.

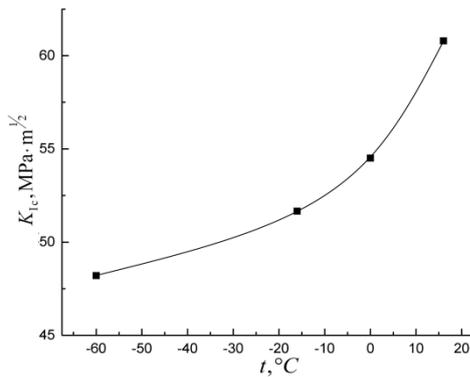


Рисунок 3 - Зависимость K_{Ic} от температуры

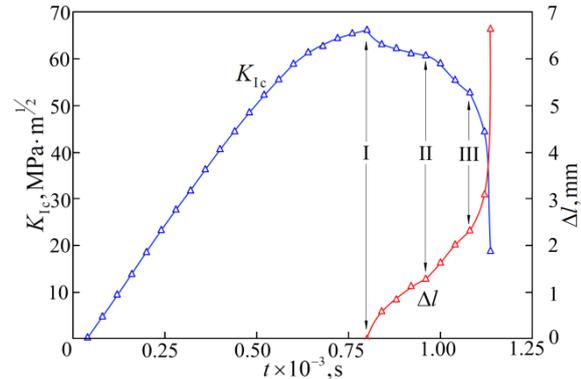


Рисунок 4 - Зависимости K_{Ic} и Δl от времени нагружения

На рисунке 4 изображены временные зависимости коэффициента интенсивности напряжений K_{Ic} и прироста трещины Δl при температуре $T = 16^\circ\text{C}$. На кривой K_{Ic} выделено 3 точки: первая соответствует моменту зарождения трещины, после которого идет стабильное распространение трещины; вторая точка характеризует конец стабильного распространения трещины; третья точка указывает на момент выхода трещины за пределы шевронного надреза, т.е. началу спонтанного разрушения образца. Резкое изменение скорости распространения в точке II связано с ускоренным развитием пластической деформации [2].

В ходе эксперимента аналитически рассчитывали упругое смещение λ_e точек приложения нагрузки (рис. 1) согласно формулам [1]

$$\lambda_e = \frac{4P}{Ea} \cdot \left(\frac{l_0 + \Delta l}{b} \right)^3 \cdot k^{-1},$$

$$k = 2 \frac{\Delta l}{a} \text{tg} \frac{\alpha}{2} + \frac{l_0 + \Delta l}{l_0} \left(1 - 2 \frac{\Delta l}{a} \text{tg} \frac{\alpha}{2} \right) \left(4 + \frac{a}{l_0} \text{ctg} \frac{\alpha}{2} + 2 \frac{\Delta l}{l_0} \right) \left(2 + \frac{a}{l_0} \text{ctg} \frac{\alpha}{2} \right)^{-2}.$$

Экспериментально измеренное смещение λ обусловлено вкладами, как упругой деформации, так и пластической деформации. К моменту разрушения вклад пластической деформации опережает вклад упругой деформации. Относительная величина λ_p/λ_e может служить в качестве дополнительной характеристики трещиностойкости материала.

Список литературы

1. 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>.
2. Дерюгин Е.Е., Суворов Б.И., Деревягина Л.С. Трещиностойкость материалов с ультрамелкозернистой структурой // Письма о материалах. – 2013. – Т.3. – № 2. – С.106-109.