

Список литературы

1. Колобов Ю.Р., Валиев Р.З., Грабовецкая Г.П., Жилыев А.И., Дударев Е.Ф., Иванов К.В., Иванов М.Б., Кашин О.А., Найденкин Е.В. и др. Зернограничная диффузия и свойства наноструктурных материалов. – Новосибирск: Наука, 2001. – 232 с.
2. Носкова Н.И., Мулюков Р.Р. Субмикроструктурные и нанокристаллические металлы и сплавы. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 278 с.
3. Грабовецкая Г.П., Мишин И.П., Колобов Ю.Р. Влияние дисперсного упрочнения на закономерности и механизмы ползучести меди с субмикронным размером зерен // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2009.– №2.–С. 38–43.
4. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, 2000. – 272 с.
5. Stepanova E.N., Grabovetskaya G.P., Mishin I.P., Bulinko D.Yu Structure and Mechanical Properties of a Zr-1Nb Alloy, Obtained by the Method of Severe Plastic Deformation // Materials Today Proceedings.– 2015.– No.2.– 365 – 369.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT1-0

Г.В. ПРОСКУРНИКОВ¹, Е.Е. ДЕРЮГИН²

¹Томский политехнический университет. E-mail: galen.marek.00@mail.ru

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

DETERMINATION OF RESISTENCE TO CRACKING TITANIUM ALLOY VT1-0

G.V. PROSKURNIKOV¹, Ye.Ye. DERYUGIN²

¹Tomsk Polytechnic University. E-mail: galen.marek.00@mail.ru

²Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS

Annotation. The problem of the experimental determination of fracture toughness of titanium alloy VT1-0. Spend specific fracture energy calculation according to the method developed by ISPM SB RAS. The characteristics of crack resistance of titanium alloy VT1-0.

Трещиностойкость является одной из важных характеристик конструкционных материалов. Она характеризует способность материала сопротивляться зарождению и распространению трещин. В линейной механике разрушения разработаны определенные критерии трещиностойкости для хрупких и малопластичных материалов. Известно, что в металлах и сплавах, как правило, потери энергии на пластическую деформацию в вершине трещины велики. Поэтому прогнозирование разрушения, основанное на моделях для трещины Гриффитса [1], не пригодно для пластичных материалов. Стандартные испытания материалов на трещиностойкость проводятся при жестких ограничениях на размеры образцов. Толщина даже малопластичных образцов должна быть не менее 10 мм, чтобы соблюдать условие плоскодеформированного состояния, ограничивающее развитие зоны пластической деформации у вершины трещины.

В данной работе приводятся результаты оценки трещиностойкости титанового сплава VT1-0. В качестве основной характеристики трещиностойкости материала

использовали удельную энергию разрушения G_{cr} (критическую скорость высвобождения упругой энергии при распространении трещины), которую рассчитывали согласно новой методике, разработанной для малоразмерных образцов с шевронным надрезом [2]. В отличие от подходов линейной механики разрушения, данная методика не накладывает жестких ограничений на размеры пластической зоны у вершины трещины.

Известно, что при нестабильном распространении трещины длиной l на элементарное расстояние dl в образце шириной a энергия разрушения определяется уравнением [3, 4]:

$$G_{cr} = \frac{P_{max}^2 d\eta}{2dl \cdot a}, \quad (1)$$

где η – податливость образца (величина, обратная жесткости образца $M = P/\lambda$); λ – упругое смещение под действием внешней нагрузки P ; P_{max} – максимальная внешняя нагрузка, при которой возникает спонтанное распространение трещины.

Образец с шевронным надрезом можно рассматривать как двухконсольную конструкцию. Узкий надрез в образце можно представить, как трещину длиной l_0 (рисунок 1). Допустим, что в процессе нагружения материал потерял сплошность на участке Δl (рисунок 2).

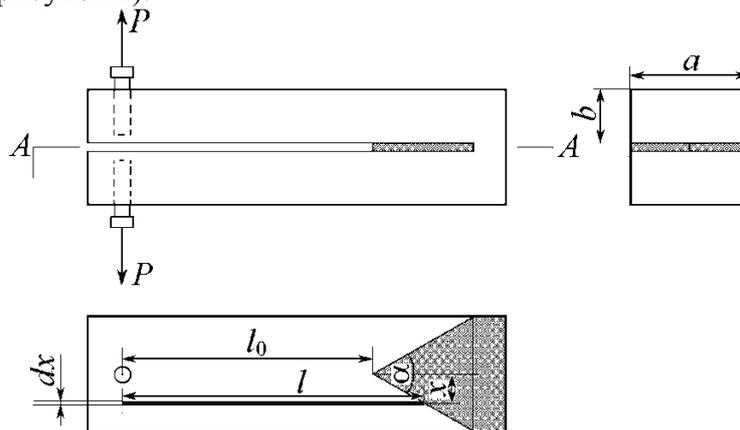


Рисунок 1 – Схема образца с шевронным надрезом

Будем считать, что фронт трещины представляет собой прямую линию длиной x , ориентированную перпендикулярно к оси образца (рисунок 2).

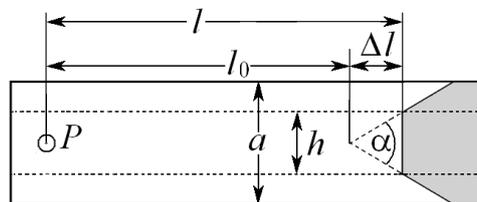


Рисунок 2 – К определению удельной энергии разрушения G

Выделим среднюю часть образца шириной x . Согласно [5], упругий прогиб балки шириной x и длиной l на величину $\lambda/2$ обеспечивает нагрузка

$$P = \frac{E\lambda x}{8} \left(\frac{b}{l}\right)^3. \quad (2)$$

Ширина балки, согласно геометрическим построениям, равна $x = 2\Delta l \cdot \text{tg}(\alpha/2)$, где α – угол шевронного надреза. Податливость выделенной части образца определяется выражением

$$\eta = \frac{\lambda}{P} = \frac{8}{E\lambda} \left(\frac{l}{b}\right)^3 = \frac{4}{E\Delta l \cdot \text{tg}(\alpha/2)} \left(\frac{l}{b}\right)^3.$$

Изменение податливости при увеличении длины трещины на величину dl равно

$$\frac{\partial \eta}{\partial l} = \frac{12l^2}{E\Delta l b^3 \text{tg} \alpha / 2}.$$

Подставляя это значение и выражение (2) в уравнение (1), получим

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

В [6] показано, что λ_e равно

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

где $l = l_0 + \Delta l$, Δl – смещение клина.

Испытание проводили растяжением образцов с шевронным надрезом со скоростью движения захватов испытательной машины $v = 5$ мкм/с при комнатной температуре. Образцы длиной 20 мм вырезали из прутка квадратной формы сечением 6×6 мм². Шевронный надрез наносили электроэрозионным способом в виде узкой щели шириной 0,25 мм, разделяющей толщину образца на две равные части. Границу надреза задавали в виде V-образной линии с углом $\alpha = \pi/3$ (рисунок 1). В процессе нагружения с помощью зеркальной камеры PENTAX K-5 с интервалом 4с фиксировали изображения нагружаемого образца. По изображениям измеряли изменение ширины щели в точках приложения нагрузки и у конца шевронного надреза, а также раскрытие и длину трещины, в процессе нагружения. Полученные данные использовали для расчета критериев трещиностойкости.

В таблице 1 приведены результаты эксперимента.

Таблица 1 – Результаты полученные в ходе работы

№ кадра	t, c	P_1, H	$\Delta l, мм$	$K_I, МПа \cdot м^{1/2}$	$G, кДж/м^2$
6875	535	879,76	0	69,40	43,78
6878	545	821,41	2,70	57,75	30,32
6881	557	801,22	2,87	56,42	28,94
6887	582	816,21	3,54	58,50	31,12
6896	617	829,66	3,80	60,13	32,87
6909	670	830,46	4,63	57,77	30,34

Испытания малоразмерных образцов сплава ВТ1-0 показали, что для этого материала на диаграмме «нагрузка P – смещение клина Δl » четко фиксируется мо-

мент спонтанного распространения трещины (рисунок 3), т.е. хорошо определяется значения критической нагрузки P_{\max} , и критическое значение берегов надреза λ_e . Расчеты G_{cr} на стадии стабильного распространения получили усреднением значение $G_{cr} = 30,7 \pm 2,2$ кДж/м² и $K_{Ic} = 58.1 \pm 2.0$. Полученное значение K_{Ic} практически соответствует значениям для технического титана, приведенным в монографии [7].

Известно, что распространение трещины сопровождается увеличением податливости образца $\eta = \lambda_e/P$ [3], где λ_e – смещение точек приложения нагрузки P , связанное с увеличением длины трещины. Расчеты по уравнению (3) показывают, что величина λ_e всегда меньше экспериментально измеренного значения λ . Это объясняется тем, что пластическая деформация вносит в смещения дополнительный вклад λ_p , не связанный с изменением податливости образца. В процессе нагружения наблюдаются моменты, когда не происходит увеличения длины трещины. Увеличение смещения точек приложения нагрузки происходит за счет пластической деформации впереди трещины. В общем случае λ можно представить в виде суммы $\lambda = \lambda_e + \lambda_p$. Очевидно, что величина λ_p будет тем больше, чем более вязко будет разрушаться материал. Поэтому отношение λ_p/λ_e является важной характеристикой вязкости разрушения. На стадии зарождения трещины данное отношение равно 0,03 для ВТ1-0.

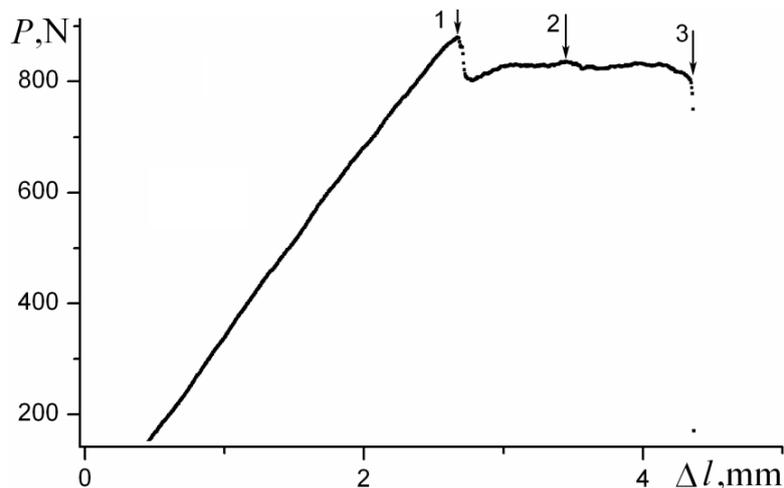


Рисунок 3 – Диаграмма нагружения «Нагрузка-смещение»: 1 – стадия зарождения трещины; 2 – стадия стабильного распространения трещины на участке 1-3; 3 – стадия спонтанного распространения трещины

Список литературы

1. Griffith A.A. The phenomenon of rupture and flow in solids. London 1920. – 221 P.
2. Дерюгин Е.Е., Панин В.Е., Суворов Б.И. и др. Характеристики трещиностойкости малоразмерных образцов с ультрамелкозернистой структурой. – Международная конференция «Актуальные проблемы прочности». Уфа 2012. – 214 с.
3. Брок Д.. Основы механики разрушения. – Высшая школа. Москва 1980. – 368с.

4. Херцберг Р.В.. Деформация и механика разрушения конструкционных материалов. – Металлургия. Москва 1989. – 575 с.
5. Тимошенко С.П., Гудьер Дж., Теория упругости. – Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука». Москва 1975. – 576с.
6. Дерюгин Е.Е., Суворов Б.И.. Определение вязкости разрушения малоразмерных образцов с ултрамелкозернистой структурой. – Вестник Сам-ГТУ. Серия «Технические науки». Самара 2012. – 129 с.
7. Ильин А.А., Колачев Б.А. и др. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. – «ВИЛС - МАТИ». Москва 2009. – 520 с.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ СПЛАВА В96ЦЗ С ПОМОЩЬЮ ВОЛН ЛЭМБА

В.В. ПИЧУГОВ¹, Р.Т. ШАХ¹, М.В. БУРКОВ^{1,2}

¹Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: vvp15@tpu.ru

NUMERICAL EVALUATION OF DEFORMATION AND FRACTURE PROCESSES OF AA7068 SPECIMENS USING LAMB WAVES

V.V. PICHUGOV¹, R.T. SHAH¹, M.V. BURKOV^{1,2}

¹Tomsk Polytechnic University

²Institute of Strength Physics and Materials Science

E-mail: vvp15@tpu.ru

Abstract. *The Lamb wave technique for quantitative analysis of deformation and fracture processes of aluminum alloy specimens has been investigated. In order to study the evolution of propagation of ultrasonic elastic waves throughout static and fatigue mechanical tests the set of informative parameters has been calculated. There are two frequencies used: 60 kHz and 350 kHz. The informative parameters of registered signals are plotted versus elongation (for static test) and number of cycles (for fatigue test). The behavior and features of the obtained graphs have been analyzed and discussed in order to establish the relation between stress-strain (or fatigue) state of the specimens and changes of Lamb wave propagation through the gage length of the specimen.*

Введение. Неразрушающий контроль (НК) на всем протяжении времени остается одной из наиболее важных проблем в процессе эксплуатации машиностроительных изделий. На данный момент разработано множество методов НК, благодаря которым имеется возможность находить дефекты в деталях из металлов и сплавов в процессе производства и ремонта. Одним из основных недостатков НК является остановка эксплуатации изделия, что экономически не выгодно. Результаты контроля показывают, что обнаружение дефектов происходит в небольшом количестве деталей, в остальных же случаях дефекты в конструкции еще не образовались. Однако интервал контроля изделий расширить невозможно, так как конструкции, в которых зародились дефекты, в процессе эксплуатации могут разрушиться, что непозволительно во многих опасных отраслях промышленности: авиакосмической, нефтехимической и др.

Одним из актуальных направлений исследований в сфере НК, привлекающих множество инженеров и исследователей, является концепция Structural Health