

Министерство высшего и среднего специального образования
РСФСР

КАЗАНСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
И ОРДЕНА ДРУЖБЫ НАРОДОВ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени А.Н. ТУПОЛЕВА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ РАЗРУШЕНИЯ (ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ)
ПРИ ПЛОСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Методические указания к лабораторной работе

Казань 1985

Министерство высшего и среднего специального образования
РСФСР

КАЗАНСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
И ОРДЕНА ДРУЖБЫ НАРОДОВ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени А.Н. ТУПОЛЕВА

Кафедра материаловедения

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ РАЗРУШЕНИЯ (ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ)
ПРИ ПЛОСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Методические указания к лабораторной работе

Авторы-составители

И.Н. Шканов, А.С. Маминов,
В.Н. Шлянников, И.В. Демьянушко

Под редакцией Э.Н. Дарчинова

Казань 1985

УДК 624.04:539.4

Определение вязкости разрушения (трещиностойкости) при плоской деформации: Методические указания к лабораторной работе / Авт. - сост. И.Н. Шканов, А.С. Маминов, В.Н. Шлянников, И.В. Демьянушко: Под ред. Э.Н. Дарчинова. - Казань: КАИ, 1985. - II с.

Рассматривается метод определения вязкости разрушения (трещиностойкости) при плоской деформации (K_{Ic}), основанный на результатах испытания на внецентренное растяжение; на конкретном примере показана последовательность экспериментального определения этой характеристики: приводится порядок выполнения работы и составления отчета.

Табл. - 1. Ил. - 3. Библиогр. - 2 назв.

Рецензенты кафедра технологии конструкционных материалов
Казанского химико-технологического института;
канд. техн. наук Ф.И. Азимов

Цель работы: освоение метода определения одной из основных силовых характеристик трещиностойкости металлов и сплавов при кратковременном статическом нагружении в условиях плоской деформации (K_{Ic}).

Данный метод может быть использован:

- для сравнения по этой характеристике различных вариантов химического состава, технологических процессов изготовления, обработки и контроля качества металлов и сплавов;
- для сопоставления материалов при обосновании их выбора для машин и конструкций;
- для расчетов прочности несущих элементов с учетом их дефектности, конструктивных форм и условий эксплуатации;
- для анализа причин разрушения конструкций.

Методика определения K_{Ic} по результатам испытания на внецентренное растяжение

В изделиях из технических материалов (металлов и сплавов) трещины, как правило, содержатся еще до начала нагружения или возникают в результате деформации.

Под действием статических и переменных напряжений трещина развивается постепенно и часто достаточно медленно, пока не достигнет критических размеров и не возникнет критическое состояние, которому соответствует начало хрупкого разрушения. Возможность такого разрушения особенно вероятна для высокопрочных сплавов, хотя они могут иметь удовлетворительные характеристики пластичности, но хрупко разрушаются при наличии надрезов и трещин. Из-за стесненности деформации, обусловленной свойствами самого материала или видом напряженного состояния (значительной толщиной сечения), опасность хрупкого разрушения для пластичных низкопрочных сплавов воз-

никает в крупногабаритных элементах конструкций. Склонность металла детали к хрупкому разрушению определяется в первую очередь видом напряженно-деформированного состояния и свойствами материала.

Теоретической базой определения параметра K_{Ic} является линейная механика разрушения, позволяющая количественно оценить склонность материалов к хрупкому разрушению. Механика разрушения исходит из того, что сопротивление разрушению определяется скоростью изменения потенциальной энергии в области вершины трещины. Источником энергии служит поле упругих напряжений у этой вершины.

Напряженно-деформированное состояние в области вершины трещины описывается исходя из основных соотношений теории упругости. При этом параметром, контролирующим распределение напряжений и перемещения в районе трещины, является следующая интегральная характеристика:

$$K = Y \sigma \sqrt{l} \quad (I)$$

Здесь K — коэффициент интенсивности напряжений, характеризующий локальное напряженно-деформированное состояние у переднего края трещины;

σ — номинальное напряжение вдали от трещины;

l — длина трещины;

Y — коэффициент, зависящий от геометрии образца и трещины.

Величина K может быть определена аналитически, численно и экспериментально. В большинстве практических случаев критическое значение коэффициента K , соответствующее началу разрушения, оценивается путем испытаний компактных образцов при объемном напряженном состоянии, когда разрушение происходит путем отрыва, перпендикулярно плоскости трещины. В этом случае коэффициент интенсивности напряжений обозначают K_{Ic} и называют его вязкостью разрушения при плоской деформации.

Таким образом, K_{Ic} — критическое значение коэффициента интенсивности напряжений при максимальном стеснении пластических деформаций и разрушении нормальным отрывом.

Испытания для определения K_{Ic} проводятся предпочтительно по схеме внецентренного растяжения или изгиба. В обоих случаях используют образцы с прямоугольным поперечным сечением толщиной t и односторонним надрезом с углом при вершине 45° (рис. I).

Соотношения размеров образца, показанного на рис. I, следующие:

$$\begin{aligned} \ell &= (0,45 - 0,55) \hat{b} ; \hat{b} = 2t ; & c &= 1,25 \hat{b} \\ F &= 0,55 \hat{b} ; J = (0,25 - 0,45) \hat{b} ; & H &= 1,2 \hat{b} \\ K &= 1/16 \hat{b} \text{ (если } \hat{b} \leq 25 \text{ мм, то } K = 1,5 \text{ мм)}. \end{aligned}$$

Ориентировочная толщина образца, кроме магниевых сплавов, устанавливается с использованием модуля упругости и предела текучести $\sigma_{0,2}$ материала:

$\sigma_{0,2} / E$	t , мм
0,0050	100
0,0050 - 0,00570	75
0,0057 - 0,0062	63
0,0062 - 0,0065	50
0,0065 - 0,0071	38
0,0071 - 0,0080	25
0,0080 - 0,0095	12
0,0095	6

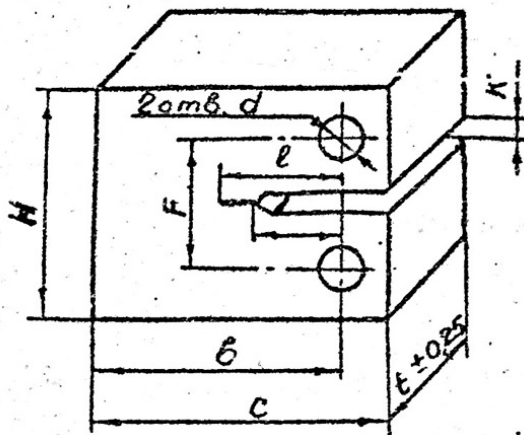


Рис. I. Образец для определения K_{IC} при растяжении

Остальные размеры образца назначаются по t .

Перед началом испытаний в образце на пульсаторе выращивается усталостная трещина, которая инициируется надрезом и развивается от его вершины вглубь образца. Длина трещины ℓ вместе с надрезом должна быть равна толщине образца t и может колебаться в пределах $(0,45 - 0,55) \hat{b}$, где \hat{b} - ширина образца, равная его удвоенной толщине.

Геометрия образца должна обеспечить условия плоской деформации у вершины трещины и упругое напряженное состояние вдали от нее. Только в этом случае возможно правильное определение вязкости разрушения K_{IC} .

Основное требование к размерам образца сводится, во-первых, к тому, чтобы максимальное утонение толщины образца в месте разрушения было не более 1,5%, во-вторых, отношение максимальной нагрузки P_c , которую может выдержать образец при внецентренном растяжении, к нагрузке, при которой начинается неконтролируемая стадия разрушения, было менее 1,1.

Следовательно, образцы из разных материалов и в разных условиях испытания должны иметь разные абсолютные размеры. Эти размеры определяются до испытания, исходя из известных значений предела текучести $\sigma_{0,2}$ и модуля упругости E .

Испытания могут проводиться на любых универсальных машинах для статических испытаний, снабженных устройствами для записи диаграммы нагрузка P – смещение V . Смещение – изменение расстояния между точками по обе стороны от трещины путем ее раскрытия. Для фиксации этого смещения на образце устанавливают тензодатчики, сигнал от которых подается на самописец. Могут применяться индикаторные часы, определение смещения с помощью которых проводится с ростом нагрузки P .

Теперь основная задача заключается в том, чтобы определить нагрузку P_Q , при которой начинается нестабильное (самопроизвольное) развитие трещины в условиях пренебрежимо малой пластической деформации в ее вершине.

Величина этой нагрузки, в зависимости от полученного типа диаграммы "P – V", определяется по схеме, приведенной на рис.2.

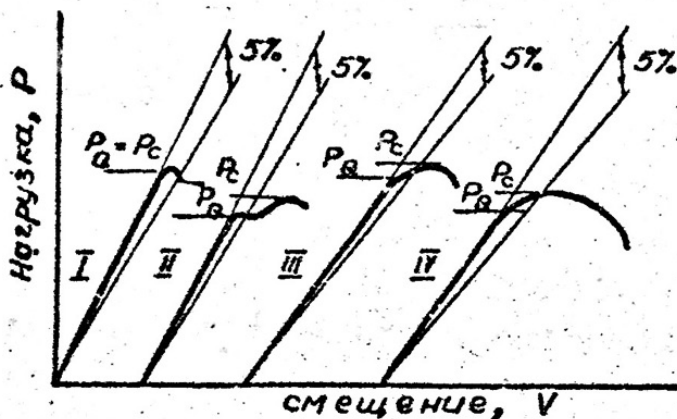


Рис.2. Типичные диаграммы нагрузка – смещение

Затем проводится оценка

корректности полученных результатов испытаний:

1. Вычисляется отношение P_c / P_Q (оно должно быть меньше или равно 1,1).

2. Измеряется максимальное утонение ψ_c толщины в месте разрушения с помощью индикаторной стойки на плите на обеих гранях образца. Максимальное утонение допускается не более 1,5%.

3. Проверяется угол отклонения усталостной трещины от плоскости надреза образца. Это отклонение может быть до 10° .

4. Измеряется длина трещины l на разрушенном образце с точностью 0,005 мм в сечениях, соответствующих 0,25; 0,5 и 0,75 l и определяется среднее значение l . Неравномерность глубины трещины не должна превышать $\pm 5\%$ от заданной глубины l .

В случае несоблюдения перечисленных условий правильный расчет K_{Ic} невозможен, и испытание следует проводить заново либо изменив размеры образца, либо устранив источник ошибок в построении диаграммы нагрузка-смещение.

Если испытание полноценно, подсчитывают коэффициент интенсивности напряжений:

$$K_a = P_a \cdot Y / t \cdot b^{1/2} \quad (2)$$

Размеры образца t и b известны до опыта, его величина устанавливается по диаграмме нагрузка - смещение; Y - безразмерная функция, зависящая от глубины трещины и эксцентриситета опасного сечения, определяемая из соотношения:

$$Y = \sqrt{t/b} [29,6 - 185(t/b) + 655(t/b)^2 - 1017(t/b)^3 + 639(t/b)^4] \quad (3)$$

или по таблице с известным отношением t/b .

В этом случае $K_a = K_{Ic}$, и испытание можно считать законченным. В противном случае следует увеличить размеры образца исходя из полученного значения K_a и провести новые испытания.

Для высокопластичных материалов требуемые размеры сечения образца могут оказаться столь большими, что их изготовление и испытание будут затруднительными. Это ограничивает область применения испытания на вязкость разрушения при плоской деформации. Данные испытания более трудоемкие по сравнению со стандартными статическими.

П р и м е р

Экспериментально-расчетным методом определить K_{Ic} для титанового сплава марки ВТ-22 путем испытания образцов из этого сплава на внецентренное растяжение.

Исходные данные: $E = 1,2 \cdot 10^5$ МПа; $\sigma_s = 1100$ МПа; $\sigma_{0,2} = 1030$ МПа.

1. Для отношения $\sigma_{0,2}/E = 1030/120000 = 0,0085833$ выбираем минимальную рекомендуемую толщину образца: $t = 20$ мм.

2. Остальные геометрические размеры определяем в зависимости от t :

а) $b = 2t = 40$ мм;

б) длина выращенной усталостной (вместе с надрезом) трещины должна быть равна толщине образца t и может колебаться в пределах $0,4 - 0,6 b$, т.е. $l = 16 - 24$ мм (см. рис. 1).

В нашем случае длина выращенной усталостной трещины оказалась длиной, равной 21,5 мм (усталостная трещина нужной длины предварительно выращивается на пульсаторе).

3. На специальной установке проводим статическое испытание на внецентренное растяжение. Получаем экспериментальную диаграмму нагрузка - смещение (см. рис. 3), по которой определяем нагрузку P_Q следующим образом:

а) через начало координат проводим секущую OP_x с наклоном на 5% меньше, чем наклон OA (см. рис. 2 и 3) начального линейного участка упругой деформации; б) по точке пересечения секущей с диаграммой определяем $P_Q = 2350$ кгс.

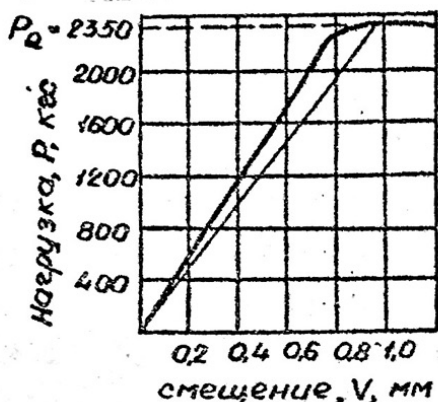


Рис. 3. Экспериментальная диаграмма нагрузка - смещение для сплава ВТ-22

4. Проводим оценку корректности полученных результатов испытаний согласно приведенной методике. В нашем случае они оказались корректными.

5. Подсчитываем коэффициент интенсивности напряжений:

$$K_Q = P_Q \cdot Y / t \cdot b^{1/2}$$

здесь $P_Q = 2350$ кгс; $t = 20$ мм; $b = 40$ мм. Коэффициент Y определяем по табл. 1 в зависимости от отношения $l/b = 21,5/40 = 0,5375$: $Y = 10,8$.

$$\text{Тогда } K_Q = 2350 \cdot 10,8 / 20 \cdot 40^{1/2} = 200,8 \text{ кгс/мм}^{3/2}.$$

6. Проводим окончательную проверку правильности выбора размеров образца. Для этого подсчитываем величину $2,5 (K_Q / \sigma_{0,2})^2$, которая должна быть меньше t и l :

$$2,5 (200,8 / 103)^2 = 9,5, \text{ что меньше } t = 20.$$

После этого можем записать:

$$K_Q = K_{Ic} = 200,8 \text{ кгс/мм}^{3/2} = 60,3 \text{ МН/м}^{3/2}.$$

Порядок выполнения работы и оформления отчета

1. Ответить на вопросы, поставленные в отчете к данной лабораторной работе.

2. Получить у преподавателя образцы для определения K_{Ic} . Для величины отношения $\sigma_{0,2} / E$ (задает преподаватель) данной марки материала по рис. 1 проверить правильность назначения толщины образца и остальных его геометрических размеров, в том числе длину предварительно выращенной трещины усталости вместе с надрезом.

3. Вычертить в масштабе эскиз образца (см. рис. 1) в соответствии с назначенными геометрическими размерами.

4. Образец с закрепленным на нем приспособлением для замера деформации установить между траверсами разрывной машины.

5. Зафиксировать в таблице значения смещения V в зависимости от возрастающей нагрузки P , вплоть до перехода разрушения образца в неконтролируемую стадию.

Изменение безразмерного коэффициента γ в зависимости от относительной
длины трещины

l/b	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
0,4	7,34	7,36	7,37	7,39	7,41	7,43	7,44	7,46	7,48	7,50
0,410	7,52	7,54	7,56	7,58	7,60	7,61	7,63	7,65	7,67	7,69
0,420	7,71	7,73	7,75	7,77	7,79	7,81	7,83	7,85	7,87	7,89
0,430	7,91	7,93	7,95	7,97	8,00	8,02	8,04	8,06	8,08	8,10
0,440	8,12	8,12	8,17	8,19	8,21	8,24	8,26	8,29	8,30	8,32
0,450	8,34	8,36	8,38	8,41	8,43	8,45	8,47	8,50	8,52	8,54
0,460	8,57	8,59	8,61	8,64	8,66	8,69	8,71	8,73	8,76	8,78
0,470	8,81	8,83	8,86	8,88	8,91	8,93	8,96	8,98	9,01	9,03
0,480	9,06	9,09	9,11	9,14	9,16	9,19	9,22	9,24	9,27	9,30
0,490	9,32	9,35	9,38	9,41	9,43	9,46	9,49	9,52	9,55	9,57
0,500	9,60	9,63	9,66	9,69	9,72	9,75	9,78	9,81	9,84	9,87
0,510	9,90	9,93	9,96	9,99	10,02	10,05	10,08	10,11	10,15	10,18
0,520	10,21	10,24	10,27	10,31	10,34	10,37	10,40	10,44	10,47	10,50
0,530	10,54	10,57	10,61	10,64	10,68	10,71	10,75	10,78	10,82	10,85
0,540	10,89	10,92	10,96	11,00	11,03	11,07	11,11	11,15	11,18	11,22
0,550	11,26									

6. Построить график изменения смещения V от нагрузки P и определить на этом графике нагрузку P_0 (см. рис. 2).

7. Провести оценку корректности полученных результатов испытания согласно приведенной методике.

8. По формуле (2) вычислить величину коэффициента интенсивности напряжений.

9. Дать заключение о параметре K_{IC} для данного класса материала в зависимости от отношения $\sigma_{0,2}/E$ (для чего использовать результаты, полученные другими студентами).

Контрольные вопросы

1. Что собой представляет вязкость разрушения (трещиностойкость) при плоской деформации K_{IC} ?

2. Для чего может служить показатель вязкости разрушения материала K_{IC} ?

3. Что является теоретической базой для количественной оценки склонности материала к хрупкому разрушению?

4. Какие методы наиболее часто применяются для определения K_{IC} ?

5. Исходя из каких параметров материала назначаются размеры образцов для определения K_{IC} при плоской деформации?

6. Какие основные требования предъявляются к размерам образца?

7. С какой целью строится диаграмма нагрузка - смещение при определении K_{IC} по результатам испытания на внецентренное растяжение или изгиб?

8. Какие параметры проверяются для оценки корректности полученных результатов испытания на K_{IC} и почему?

9. По какой зависимости производят расчет K_Q ?

10. Последовательность экспериментального определения параметра K_{IC} при кратковременном статическом нагружении в условиях плоской деформации.

Библиографический список

1. Методические указания. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик вязкости разрушения (трещиностойкости) при статическом нагружении. РД 50-260 - 81 - 14.: Изд-во стандартов, 1982. - 56 с.

2. Испытания высокопрочных металлических материалов на вязкость разрушения при плоской деформации/Пер. с англ. под ред. Б.А. Дроздовского и Е.М. Мсрозова. - М.: Мир, 1972. - 260 с.

Авторы—составители

Игорь Николаевич Шканов
Амир Салехович Маминов
Галерий Николаевич Шлянников
Ирина Вадимовна Демьянушко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ РАЗРУШЕНИЯ (ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ)
ПРИ ПЛОСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Методические указания к лабораторной работе

Под редакцией Э.Н. Дарчинова

Редактор Н.И. Данич
Технический редактор С.В. Фокеева
Корректор Ю.Т. Панкратова

Формат 60x84 1/16. Бумага оберточная. Печать офсетная.
Печ. л. 0,75. Усл. п. л. 0,69. Уч.-изд. л. 1,04. Тираж 100.
Заказ А82/Ф 309. Бесплатно.

Казанский ордена Трудового Красного Знамени
и ордена Дружбы народов
авиационный институт имени А.Н. Туполева.
420084, Казань, К.Маркса, 10.

Ротапункт Казанского ордена Трудового Красного Знамени
и ордена Дружбы народов
авиационного института имени А.Н. Туполева.
420084, Казань, К.Маркса, 10.