

12. TENACIDADE À FRATURA - EXPERIMENTAL

Prof. Dr. Julio Almeida

Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica



PGMEC



1

O ENSAIO DE TENACIDADE À FRATURA

- baseado na norma ASTM E399 – *Linear-Elastic Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials*;

2

O ENSAIO DE TENACIDADE À FRATURA

- ensaios nos quais se submetem peças pré-fissuradas do material a um estado de deformação plana. A fissura inicial é obtida submetendo uma amostra com entalhe à fadiga, enquanto que a continuação da fissura se obtém por um ensaio de tração uniaxial (*compact tension*, CT) ou por um ensaio de flexão em 3 pontos (*single edge notch beam*, SEB).

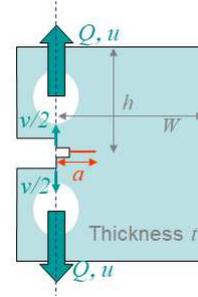
3

O ENSAIO DE TENACIDADE À FRATURA

- o carregamento deve gerar tensões de tração e as proporções dimensionais do corpo de prova devem favorecer uma condição de EPD na ponta da trinca, bem como, a formação de uma zona plástica localizada e de pequena dimensão;
- o comprimento da trinca deve se restringir ainda a um intervalo de dimensões diretamente relacionado com a própria largura (W) do corpo de prova.

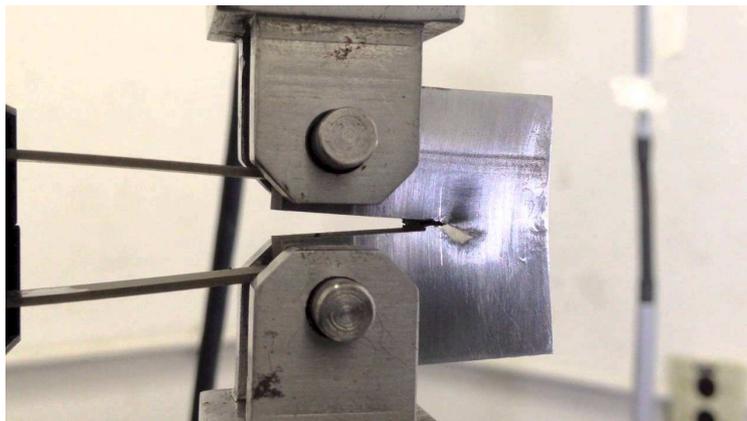
4

CORPO DE PROVA - TIPO CT



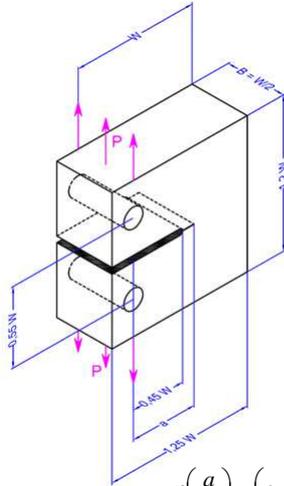
5

CORPO DE PROVA - TIPO CT



6

CORPO DE PROVA - TIPO CT

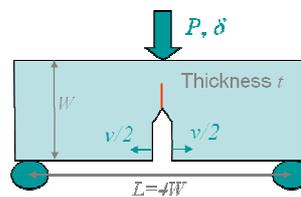
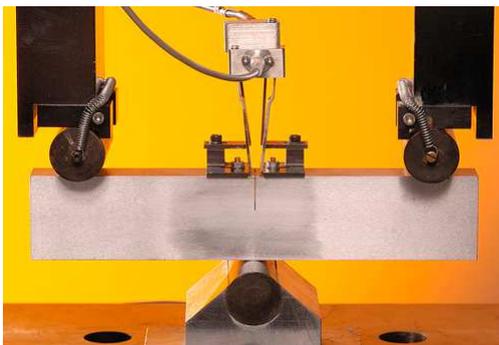


$$K_I = \left(\frac{P}{BW^{1/2}} \right) f \left(\frac{a}{W} \right)$$

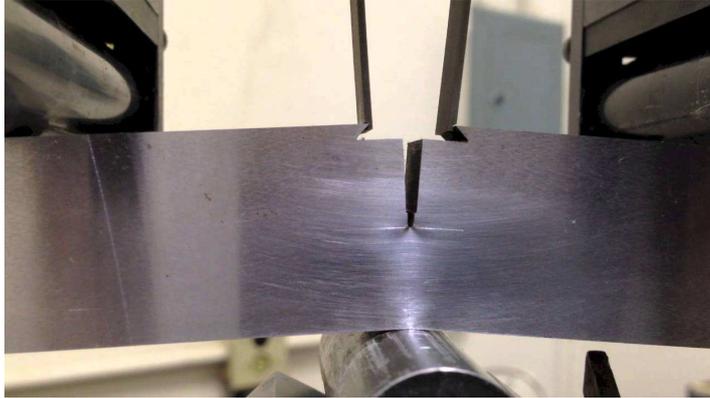
$$8,34 \leq f \left(\frac{a}{W} \right) \leq 11,36 \Rightarrow (CT)$$

$$f \left(\frac{a}{W} \right) = \left(2 + \frac{a}{W} \right) \frac{ \left(0,886 + 4,64 \frac{a}{W} - 13,32 \left(\frac{a}{W} \right)^2 + 14,72 \left(\frac{a}{W} \right)^3 - 5,6 \left(\frac{a}{W} \right)^4 \right)}{ \left(1 - \frac{a}{W} \right)^{3/2} } \quad 7$$

CORPO DE PROVA - TIPO SEB

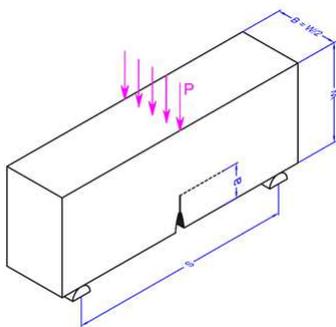


CORPO DE PROVA - TIPO SEB



9

CORPO DE PROVA - TIPO SEB



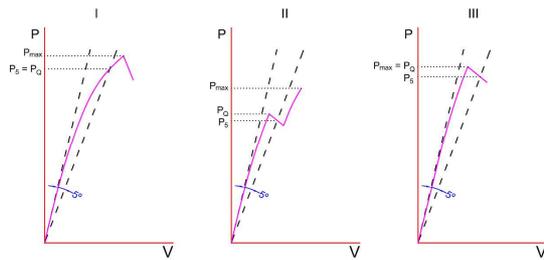
$$K_I = \left(\frac{PS}{BW^{3/2}} \right) f \left(\frac{a}{W} \right)$$

$$2,29 \leq f \left(\frac{a}{W} \right) \leq 3,14 \Rightarrow (SEB)$$

$$f \left(\frac{a}{W} \right) = 3 \left(\frac{a}{W} \right)^{1/2} \left(\frac{1,99 - \frac{a}{W} \left(1 - \frac{a}{W} \right) \left(2,15 - 3,93 \frac{a}{W} + 2,7 \left(\frac{a}{W} \right)^2 \right)}{2 \left(1 + 2 \frac{a}{W} \right) \left(1 - \frac{a}{W} \right)^{3/2}} \right)$$

10

VALIDADE DOS RESULTADOS



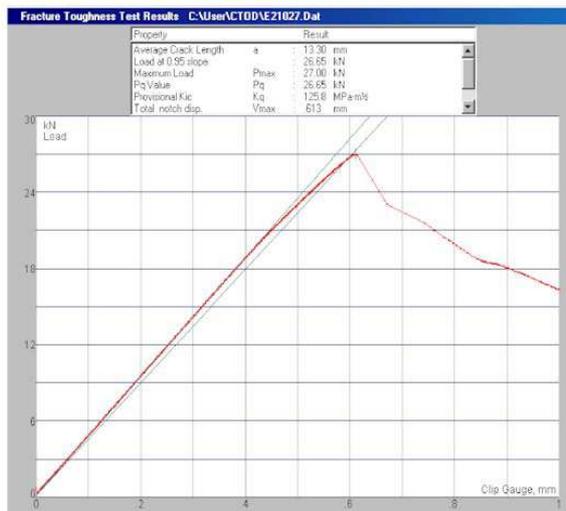
$$(W - a), a, B \geq 2,5 \left(\frac{K_{IC}}{\sigma_{esc}} \right)^2$$

$$W \geq 5,0 \left(\frac{K_{IC}}{\sigma_{esc}} \right)^2$$

$$\frac{P_{MAX}}{P_Q} < 1,10$$

11

RESULTADO DE ENSAIO - EXEMPLO



12

TENACIDADE À FRATURA SEGUNDO A ASTM E399

Materiais muito tenazes podem levar a corpos de prova com dimensões muito elevadas, situação essa que poderá vir até mesmo a inviabilizar o ensaio segundo a norma ASTM E399. Tal condição se deve aos elevados valores da tenacidade a fratura desses materiais.

13

TENACIDADE À FRATURA A PARTIR DO J_{IC}

A norma ASTM E813/E1820 – *Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness - J_{IC}* , possibilita corpos de prova com dimensões reduzidas a partir da determinação de um parâmetro limite relacionado com o conceito da integral J. Trata-se da integral J crítico - J_{IC} - cuja relação com a tenacidade à fratura do material pode ser expressa por:

$$J_{IC} = \frac{K_{IC}^2}{E} \qquad J_{IC} = \frac{K_{IC}^2}{E(1-\nu^2)}$$

14

TENACIDADE À FRATURA A PARTIR DO J_{IC}

$$J_{IC} = \frac{K_{IC}^2}{E} \quad \longrightarrow \quad K_{IC}^2 = EJ_{IC}$$

$$B = 2,5 \left(\frac{K_{IC}}{\sigma_{esc}} \right)^2 = 2,5 \frac{EJ_{IC}}{(\sigma_{esc})^2}$$

15

TENACIDADE À FRATURA A PARTIR DO J_{IC}

B = espessura mínima do corpo de prova

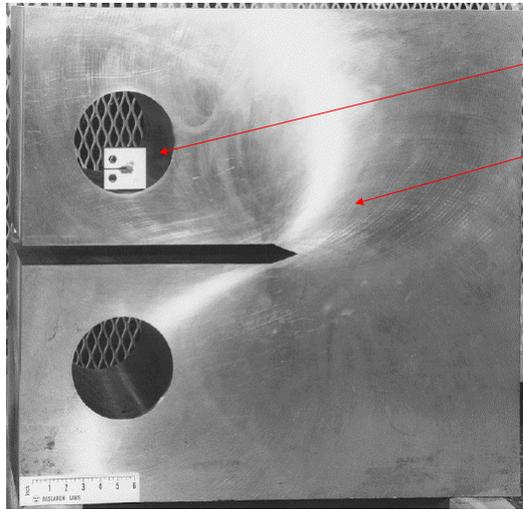
B_J = espessura mínima segundo o conceito J_{IC}

$$B_J = \frac{25J_{IC}}{\sigma_{esc}}$$

$$\frac{B}{B_J} = \frac{2,5 \frac{EJ_{IC}}{(\sigma_{esc})^2}}{25 \frac{J_{IC}}{(\sigma_{esc})}} = 0,1 \frac{E}{\sigma_{esc}}$$

16

TAMANHO RELATIVO DOS CORPOS DE PROVA



$$\frac{B}{B_j} = 0,1 \frac{E}{\sigma_{esc}}$$

17

EXEMPLO 01

Uma chapa de largura $2W = 480$ mm e espessura 27,5 mm é projetada para suportar um carregamento axial de tração mediante uma carga de 3300 kN. Sabendo-se, porém, que a mesma apresenta uma trinca central de dimensão “ $2a$ ” = 92 mm, decidiu-se efetivar uma análise no contexto da Mecânica da Fratura.

18

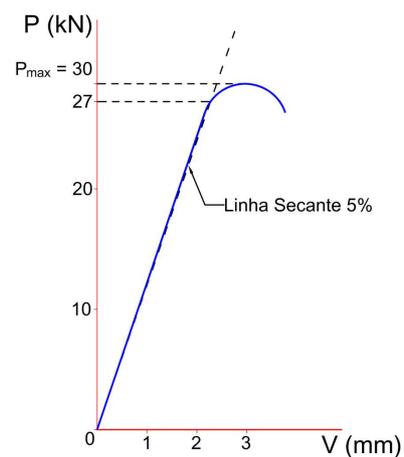
EXEMPLO 01 - continuação

Para tanto, construiu-se um corpo de prova do mesmo material do tipo (CT) com dimensões $a = B = 27,5$ mm e $W = 57,5$ mm, para o qual obteve-se uma carga máxima de ensaio no valor de 46,7 kN. Verificar a validade do ensaio e o correspondente valor obtido para a tenacidade à fratura do material. ($\sigma_{esc} = 630$ MPa)

19

EXEMPLO 02

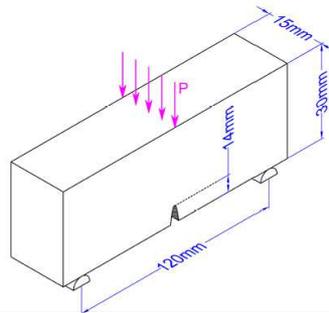
Um ensaio de tenacidade à fratura, utilizando um corpo de prova do tipo SEB, resultou no diagrama carga x deslocamento ilustrado:



20

EXEMPLO 02 - continuação

Considerando as dimensões definidas para o corpo de prova, verificar a validade do ensaio e o correspondente valor obtido para a tenacidade à fratura do material.



21

BIBLIOGRAFIA DE REFERÊNCIA

Arana, J.L., and González, J.J. *Mecánica de Fractura*. Servicio Editorial – Universidad del País Vasco.

Castro, J.T.P., and Meggiolaro, M.A. *Fadiga – Vol II – Propagação de Trincas, Efeitos Térmicos e Estocásticos*. PUC-Rio.

Kumar, P., 2009. *Elements of Fracture Mechanics*. McGraw Hill, New Delli, India.

Rosa, E.,2002. *Análise de Resistência Mecânica – Mecânica da Fratura e Fadiga*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

22