

ZONA DE ESTIRAMENTO E TENACIDADE À FRATURA DE  
AÇOS ESTRUTURAISMARIA DA CONCEIÇÃO B.V. SOARES  
CELSO VIEIRA DE MORAIS  
ARNALDO H. PAES DE ANDRADE  
IPEN-CNEN/SP

A mecânica da fratura elasto-plástica investiga a tenacidade à fratura de materiais dúcteis como os aços estruturais utilizados em vasos de pressão.

Um dos parâmetros mais utilizados neste tipo de análise é a Integral-J. No entanto, para obtenção de valores precisos de J crítico ( $J_{IC}$ ) torna-se necessário conhecer a chamada "blunting line" (B.L.) ou *linha de embotamento* da ponta da trinca, reta utilizada como critério para determinação do valor de  $J_{IC}$  para o início de propagação estável. Esta reta estabelecida por norma(1) e definida como  $J=2\sigma_{ys}\Delta_p$  para qualquer material, é questionada por diversos autores (2,3,4) que consideram este aspecto bem definido para materiais de alta resistência, porém no caso de materiais dúcteis com elevada capacidade de encruamento a utilização dessa B.L. levaria a erros na determinação de  $J_{IC}$ .

O presente trabalho propõe a determinação da B.L., experimentalmente, a partir da análise e medidas da superfície de fratura em corpos de prova (C.P.) de dobramento em três pontos de um aço estrutural (A-36).

A curva de resistência R desse material, foi obtida a partir da técnica dos corpos de prova múltiplos e para tal é necessário a determinação do crescimento estável de trinca ocorrido durante o ensaio estático. A determinação da B.L. a partir da superfície de fratura do C.P. exige o conhecimento do tamanho da zona de estiramento (Z.E.)

A figura 1 apresenta a superfície de fratura do corpo de prova obtida em microscopia eletrônica de varredura (M.E.V.) onde a trinca de fadiga, a Z.E. e a região de crescimento estável é seguida de uma região de fadiga (produzida através de ciclos de fadiga após ensaio estático) e da zona de fratura rápida.

Essa técnica de crescimento de trinca por fadiga, após ensaio, seguido do tratamento térmico de oxidação e ruptura por nitrogênio

líquido, revelou-se mais eficiente e de melhor contraste para medida da Z.E. em M.E.V. do que a sugerida por norma (1) onde após a oxidação da trinca original de fadiga e da propagação estável de trinca rompe-se o C.P. por fratura frágil em nitrogênio líquido.

As medidas da Z.E. levaram a determinação experimental da B.L. como sendo de  $J=1.8\sigma_{ys}\Delta a_p$  para as condições de geometria e do material em questão. A utilização dessa linha experimental e da B.L. da norma ASTM E813-89 resultaram em valores de  $J_Q$  bem próximos e discordantes em apenas 2%, conforme pode-se observar pela figura 2. Nota-se que a variação de 20% no coeficiente angular entre as duas B.L. não parece comprometer os valores de  $J_Q$  para utilização em projetos, podendo-se utilizar para o caso em questão a B.L. da norma como critério para obtenção de  $J_Q$  ou  $J_{Ic}$  sem que se incorra em grandes erros.

Através das medidas do tamanho da Z.E. é possível determinar a B.L. bem como a intensificação de tensões no corpo de prova, na estrutura ou na peça mecânica. A figura 3 apresenta o gráfico da largura da Z.E. versus intensificação de tensões para vários materiais(5).

Assim a determinação da Z.E. em M.E.V. permite determinar não só o tamanho crítico de defeito no momento de fratura como auxiliar a responder questões importantes como o nível de tensão da estrutura no momento da falha do material e a determinar no caso de ruptura, se houve ou não uma sobrecarga de tensão.

Os cálculos da razão de intensificação de tensões em relação a tensão de escoamento ( $K/\sigma_{ys}$ ) obtido a partir do valor de Integral-J, determinado em ensaio, para o C.P. submetido até a máxima carga foi de 5,03. Este valor quando comparado ao valor de ( $K/\sigma_{ys}$ ) de 4,96 obtido através da medida da Z.E. pelo gráfico da figura 3 são bastante próximos e cerca de 2% superior ao valor obtido na figura 3.

#### Referências:

- (1) ASTM Standard E813-89  
Standard Test Method for  $J_{Ic}$ : A Measure of Fracture Toughness. vol03.01 :686-700 (1989)
- (2) O'Brien, D.M.; Ferguson, W.G.;  
International Journal of Fracture 20:R36-  
R43(1982)

- (3) Iwadate, T.; Tanaka, Y.;  
Nuclear Engineering and Design 87:89-99(1985)
- (4) Mills, W. J  
Journal of Testing and Evaluation 9:56-62(1981)
- (5) Wessel, E. T  
Fracture Mechanics in the Nuclear Power Industry  
Electric Power Research Institute (1991) 4-16

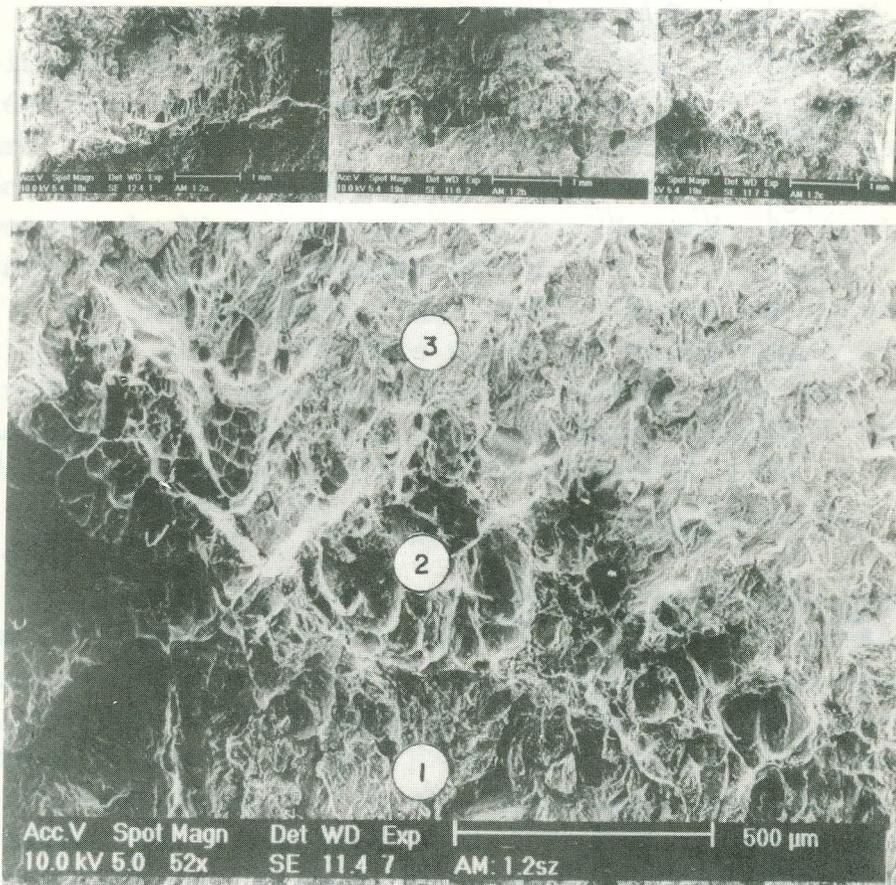


Figura 1. Fratografia em M.E.V. da superfície de fratura do CP

- Trinca de Fadiga; ● Zona de Estiramento;
- Região de Propagação Estável de Trinca

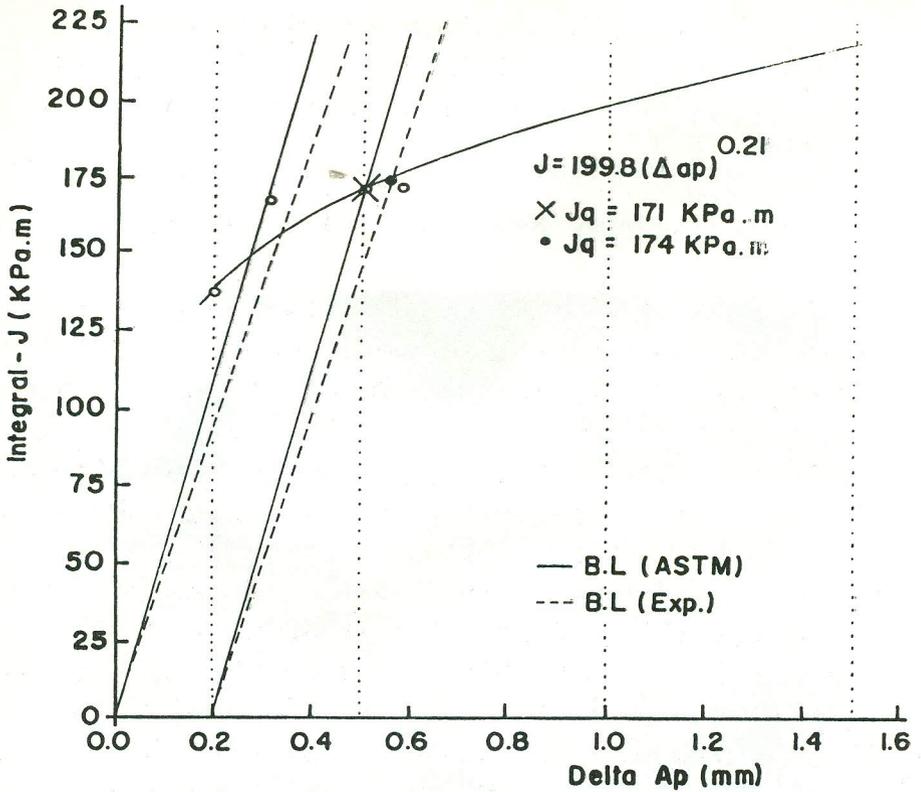


Figura 2 - Curva de Resistência J-R

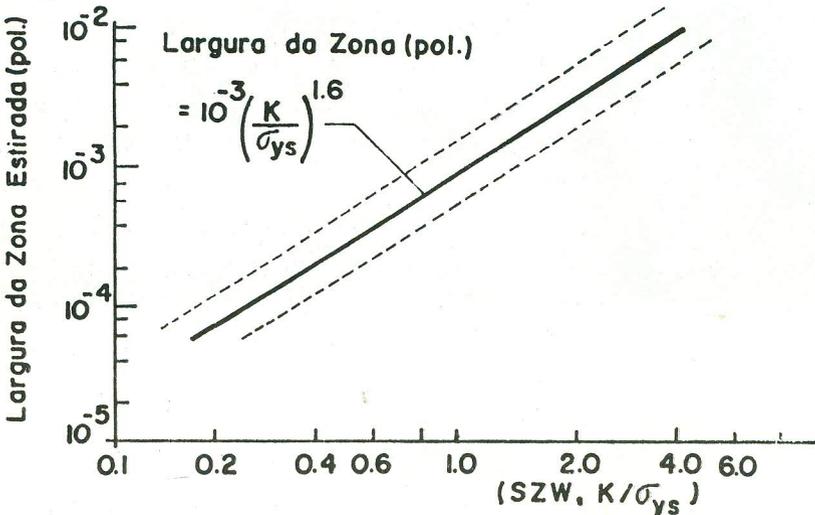


Figura 3 - Largura da Zona de Estiramento em Relação ao Fator de Intensificação de Tensões (K) para Vários Materiais