

# A U A S

DO  
IV CONGRESSO BRASILEIRO  
DE ENGENHARIA MECÂNICA

FLORIANÓPOLIS, DEZ. 1977

NOTA TÉCN. NO. TA - 1

PP. 335 - 342



ABCM/CNPq

## PROCEEDINGS

OF THE FOURTH  
BRAZILIAN CONGRESS  
OF  
MECHANICAL ENGINEERING

ALGUNS RESULTADOS SOBRE A PROPAGAÇÃO

DE TRINCAS DE FADIÇA, EM FLEXÃO PLANA

Edison da ROSA  
Depto. de Engenharia Mecânica  
Univ. Federal de Santa Catarina  
Florianópolis, Brasil

Jamir Lemes SANTANA  
Depto. de Engenharia Mecânica  
Univ. Federal de Santa Catarina  
Florianópolis, Brasil

### 1. Introdução

O aspecto da fadiga de metais é um campo onde muita pesquisa já foi feita, mas ainda exige um certo grau de empirismo na resolução de problemas práticos. Com o surgimento da mecânica da fratura, passou-se a dar mais atenção a

certos aspectos até então relegados quase que totalmente. É o caso da trinca de fadiga, em termos da nucleação e da sua propagação. O objetivo do trabalho é aplicar a mecânica da fratura a um dado material e levantar os dados de propagação da trinca. Foram ensaiados vários corpos de prova em cada nível de forma a obter-se alguma informação da dispersão.

## 2. Mecânica da fratura e propagação de trincas

Na mecânica da fratura linear, um modo de definir o estado de tensões no extremo de uma trinca solicitada, é o fator de intensidade de tensões, que de uma forma geral é dado por

$$K_{\sigma} = Y \sigma_0 \sqrt{\pi a} \quad (1)$$

onde  $Y$  - fator geométrico

$\sigma_0$  - tensão nominal

$a$  - dimensão característica da fissura

Para os objetivos deste trabalho, há mais interesse no fator de intensidade de deformações, dado por

$$K_{\epsilon} = Y \epsilon_0 \sqrt{\pi a} \quad (2)$$

Em solicitações dinâmicas, o modo usual de falha é por fadiga do material. Se o corpo contiver alguma trinca inicial, a totalidade da vida de fadiga será usada para a propagação. No caso de um material isento de defeitos, boa parte da vida é usada na nucleação da trinca e após então, no crescimento.

A velocidade de propagação da trinca é correlacionada com a faixa de variação do fator de intensidade de tensões,  $\Delta K_{\sigma}$ , sendo a função normalmente da forma

$$\dot{a} = C \Delta K_{\sigma}^m \quad (3)$$

com  $C$  e  $m$  constantes determinadas experimentalmente.

Neste estudo, o teste é feito com um nível de deformação constante ao longo do ensaio, sendo interessante usar  $K_{\epsilon}$  e não  $K_{\sigma}$ . Isto também se baseia no fato de que  $K_{\sigma}$  se a-

plica para um comportamento elástico do material, o que não ocorre na maioria dos testes efetuados, onde foram permitidas deformações plásticas apreciáveis.

### 3. Plano dos ensaios

Para ensaiar os corpos de prova sob deformação constante, foi adaptada uma máquina de ensaio de fadiga em flexão plana, pela substituição da mola dinamométrica por um elemento rígido. Desta forma o deslocamento do excêntrico produz uma deformação angular entre os extremos do corpo de prova, constante ao longo de todo o ensaio, independente das características de encruamento cíclico do material.

Foram programados quatro grupos de teste, com nove corpos de prova cada. Estas séries foram ensaiadas para quatro valores diferentes de deformação. A deformação que atua na zona central do corpo de prova foi determinada experimentalmente através de strain-gauges de 3 mm de comprimento ativo, após dez ciclos de carga, de forma a haver uma resposta essencialmente constante. A tabela abaixo resume os dados, onde h é a espessura da chapa

Série	1	2	3	4
h mm	2,5	2,3	2,4	2,5
$\Delta\epsilon \cdot 10^3$	2,4	4,4	6,9	9,6

### 4. Material e equipamento

O material usado nos testes foi um aço carbono, do tipo SAE 1020, normalizado a 900°C durante dez minutos. Para fornecer um ponto de início da trinca os corpos de prova foram furados no centro, de modo que a trinca se propague a partir do furo.

A dimensão da trinca foi obtida por observação direta através de uma lupa de 24x de aumento, dotada de uma escala calibrada. Desta forma, o tamanho da trinca usado na obtenção dos dados é o tamanho superficial. Como critério de falha, foi adotado o de que ao menos um dos ramos da trinca tenha atingido a superfície lateral. A máquina de ensaio usada foi uma Shenck modelo PWO.

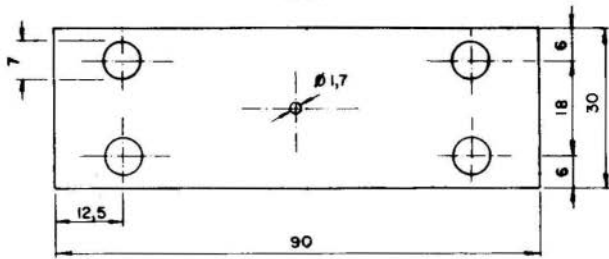


Fig. 1 - Corpo de prova utilizado nos ensaios.

As principais propriedades mecânicas do material usado, no estado normalizado, são:

Tensão de ruptura	330 MPa
Tensão de escoamento	251 MPa
Dureza	52 HRB

### 5. Resultados

As curvas de crescimento da trinca, ao longo da vida, estão na fig. 2. Os dados foram sintetizados em termos da média e do desvio padrão, sendo representada a curva média e as curvas que definem o intervalo de mais ou menos um desvio padrão.

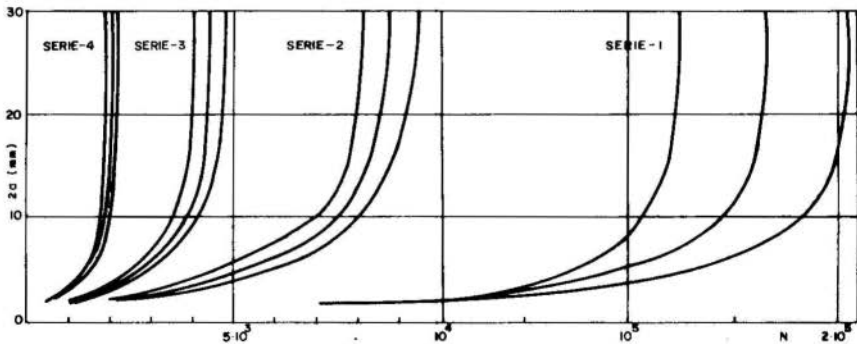


Fig. 2 - Curvas de crescimento da trinca.

Os resultados finais devem ser expressos em termos de  $a = f(\Delta K_E)$  e assim é necessário calcular  $K_E$  para vários tamanhos da trinca. O fator geométrico é o único parâmetro da

equação (2) que necessita ser obtido. O método usado na sua determinação foi a superposição de duas soluções que existem. A geometria pertinente ao problema está definida na figura 3.

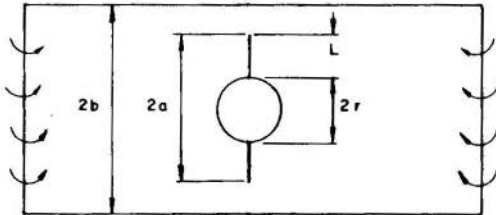


Fig. 3 - Geometria da trinca de fadiga.

Para o caso de uma placa infinita sob flexão, Roberts e Rich [7] apresentaram os valores de  $Y$  para uma trinca em um orifício circular, em função de  $L/r$ . Para  $\nu = 1/3$ , uma aproximação razoável é dada por

$$Y_b = 1,369(L/r)^{-0,119} \quad (4)$$

Por outro lado, uma trinca em uma placa de largura finita, sob tração, o efeito do contorno é dado por

$$Y_t = \left[ \frac{2}{\pi \lambda} \operatorname{tg} \frac{\pi \lambda}{2} \right]^{1/2} \quad (5)$$

onde  $\lambda = a/b$ .

O fator geométrico para uma placa finita sob flexão foi considerado como sendo, numa boa aproximação, o produto

$$Y = Y_b Y_t \quad (6)$$

Com esta expressão de  $Y$ , então  $\Delta K_\epsilon$  foi calculado por

$$\Delta K_\epsilon = Y \Delta \epsilon \sqrt{\pi a} \quad (7)$$

e trabalhando com as curvas dada pela figura, os dados referentes à função (2) foram obtidos. A figura 4 mostra os resultados dos testes, em termos de  $\dot{a}$  e de  $\Delta K_\epsilon \cdot E$ .

A função de  $\dot{a}$  na forma (3) se justifica plenamente, pois os coeficientes ajustados para as linhas médias, bem

como o coeficiente de correlação  $r^2$ , são

Série	1	2	3	4
$C \cdot 10^{12}$	1,88	216	154	0,0135
m	4,285	3,382	3,307	4,934
$r^2$	0,9971	0,9939	0,9919	0,9967

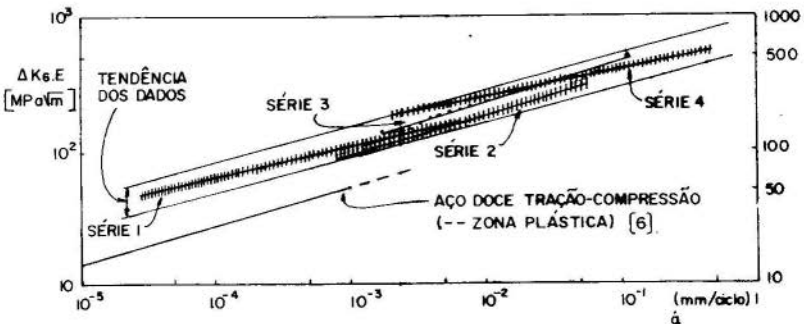


Fig. 4 - Velocidade de crescimento da trinca função do  $K_E$ .

## 6. Conclusões

Os resultados atualmente disponíveis fornecem uma indicação de que o conceito do fator de intensidade de tensões pode ser generalizado para deformações e aplicado mesmo no caso de que o corpo de prova tenha se deformado plasticamente. Tal se baseia no fato de que a velocidade de propagação da trinca se correlaciona bem com  $\Delta K_G$  apenas quando a zona deformada plasticamente está restrita às proximidades do extremo da fissura. Como houve uma ótima correlação, de  $\dot{a}$  com  $\Delta K_E$ , o conceito do fator de intensidade de deformações parece ser adequado mesmo para altos níveis de deformação plástica.

Uma possível justificativa deste efeito é de que a distribuição de deformações não é substancialmente alterada com o escoamento. Já a distribuição de tensões fica completamente desfigurada tornando sem efeito o conceito de intensidade de tensões.

De forma a obter mais informações, é conveniente estender a solicitação mais para dentro do regime elástico,

de modo a verificar se existe alguma transição no comportamento de  $\dot{\epsilon}$ , ao passar do regime elástico para o regime plástico. Com os dados disponíveis esta transição parece não ocorrer, já que a série 1 foi solicitada elasticamente e as 3 séries restantes, plasticamente.

### Bibliografia

- [1] Burdekin, F.M., Stone, D.E.W., The crack opening displacements approach to fracture mechanics in yielding material. *Journal of Strain Analysis*, Vol. 1, N° 2, 1966, pp. 145-153.
- [2] Clark, W.G.Jr., Fracture mechanics in fatigue. *Experimental Mechanics*, September, 1971, p. 421-28
- [3] Knott, J.F., Fundamental of fracture mechanics. John Wiley & Sons, 1973
- [4] Nelson, D.V., Review of fatigue-crack-growth prediction methods, *Experimental Mechanics*, February 1977, pp. 41-49.
- [5] Paris, P.C., Erdogan, F., A critical analysis of crack-propagation laws. *Journal of Basic Engineering*, December 1963, pp. 528-534.
- [6] Pook, L.P., Analysis and application of fatigue crack growth data. *Journal of Strain Analysis*. Vol. 10, N° 4, pp. 242-250.
- [7] Roberts, R., Rich, T., Stress-intensity factor for plate bending. *Journal of Applied Mechanics* September, 1967, pp. 777-779.
- [8] Sih, G.C., Ed., Methods of analysis and solutions of crack problems. Noordhoff Publishing, 1973.
- [9] Sih, G.C., Van Elst, H.C., Broek, D., Ed., Prospects of fracture mechanics. Noordhoff Publishing, 1974
- [10] Sneddon, I.N., Lowengrub, M., Crack problems in the classical theory of elasticity, John Wiley & Sons, 1969.

ROSA, E.da e SANTANA, J.L.

ALGUNS RESULTADOS SOBRE A PROPAGAÇÃO  
DE TRINCAS DE FADIGA, EM FLEXÃO PLANA

Sumário

Foram obtidos experimentalmente curvas de crescimento da fissura de fadiga, em aço SAE 1020 normalizado, para quatro níveis de sollicitação, em termos de deformação. A curva da velocidade de propagação da trinca função do fator de intensidade de deformações parece indicar ser este um parâmetro adequado para analisar o comportamento do material. Isto se aplica mesmo quando a deformação plástica é predominante, ao contrário do fator de intensidade de tensões, que é válido apenas para um meio elástico.

---

SOME RESULTS ABOUT THE FATIGUE CRACK PROPAGATION,  
UNDER PLANE BENDING

Summary

Curves of the crack propagation was obtained from tests of a carbon steel, type SAE 1020, normalized, for four strain levels of deformation. The crack propagation rate curve, as a function of the strain intensity factor, give some indication that this factor is a valid parameter for the analysis of the material behaviour under cyclic loading. This is true also if the strain is essentially plastic, opposite to the stress intensity factor, which is valid only if the continuum is elastic.