

PROPAGAÇÃO DE FENDAS EM JUNTAS EM T À FLEXÃO

J. Salgueiro Marques*, J. Martins Ferreira** e C.Moura Branco***

* - Instituto Politécnico de Viseu, Viseu, Portugal

** - SAEM, Universidade de Coimbra, 3000 COIMBRA, Portugal

*** - CEMUL, Instituto Superior Técnico, 1096 LISBOA CODEX, Portugal

RESUMO

Neste trabalho é estudado o efeito da geometria do cordão nas condições de propagação de juntas em T em cantiliver à flexão. É feita uma análise bidimensional elasto-plástica por elementos finitos para determinar as deformações locais e o factor de intensidade de extensões. Os resultados numéricos são obtidos para diferentes valores do raio de curvatura ρ no pé do cordão.

São determinados experimentalmente defeitos propagáveis e não propagáveis em juntas fabricadas em aço 17 Mn 4. No metal base foi deter-

ABSTRACT

In this work are investigated the effects of fillet weld joint geometry on fatigue crack growth of joints in cantiliver bending. A two-dimensional elasto-plastic analysis is performed to find the local strain and the strain intensity factor. Numerical results are obtained for different curvature ρ of the weld toe.

Experimental results of propagating and non-propagating cracks are carried out in joints

1. INTRODUÇÃO

O comportamento à fadiga de juntas soldadas depende do material, do tipo de carga e em particular da geometria do cordão. Trabalho anterior realizado pelos autores sobre a fadiga de juntas soldadas [1-4] mostrou que para uma determinada configuração há três parâmetros que afectam significativamente a resistência à fadiga da junta. Esses parâmetros são: a espessura da chapa de base, a espessura do cutelo de ligação e o raio de curvatura no pé do cordão. Outro parâmetro geométrico importante é o ângulo de flanco. No entanto, trata-se de um parâmetro de difícil controle durante a execução do cordão, usando-se normalmente o valor médio de 45°.

Neste artigo é analisada a influência do raio de curvatura no pé do cordão na gama de tensão limiar de propagação assumindo a pré-existência de defeitos iniciais. A junta soldada analisada neste trabalho encontra-se representada esquematicamente na figura 1. Trata-se de uma

minado o limiar de propagação ΔK_{th} e as constantes de propagação da lei de Paris, m e C .

São obtidos resultados numéricos das tensões limiar de propagação em função da dimensão da fenda e do raio ρ . Verifica-se uma concordância muito boa entre estes valores e os resultados experimentais.

of 17 Mn 4 steel. In the base material are obtained the threshold stress intensity factor range ΔK_{th} and the parameters of Paris law m and C .

Numerical results are obtained to the threshold stress range for different crack length a and curvature ρ . A good agreement between the experimental and analytical results was obtained.

junta em T em cantiliver à flexão.

A deformação plástica local no pé do cordão pode ser significativa o que invalida a aplicação da mecânica da fractura linear elástica. Uma aproximação baseada no factor de intensidade de extensões [5] é usada para a determinação da tensão limiar de propagação a partir do limiar de propagação do factor de intensidade de tensões.

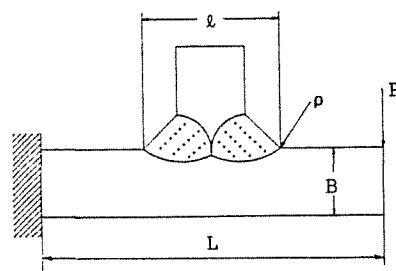


Fig. 1 - Geometria da junta soldada

2. ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE PROPAGAÇÃO DE FENDAS

Para a determinação da gama de tensão limiar de propagação usa-se um modelo analítico. Este modelo envolve o cálculo elasto-plástico das tensões locais na região da ponta da fenda.

O factor de intensidade de extensão considerado em [5] é dado por

$$\Delta K_e = E \Delta \epsilon \sqrt{\pi(a + a_0)} \tag{1}$$

em que: E é o modulo de Young, $\Delta \epsilon$ é a gama da deformação local determinada na ausência de fenda ($\Delta \epsilon = \epsilon_{max} - \epsilon_{min}$), a é a profundidade da fenda e a_0 representa a dimensão do dano causado pela plasticidade e depende do material.

A dimensão a é calculada por

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \left(\frac{\Delta K_{lf}}{\Delta \sigma_e} \right)^2 \tag{2}$$

em que ΔK_{lf} é o limiar da gama do factor de intensidade de tensões e $\Delta \sigma_e$ é a tensão limite de fadiga.

A curva de comportamento elasto-plástico usada é a relação

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} + \left(\frac{\sigma}{\alpha} \right)^\beta \tag{3}$$

em que α e β são constantes do material determinadas a partir da curva ciclica tensão-deformação. Esta equação é usada num programa de elementos finitos elásto-plástico bidimensional [6] para determinar as deformações locais. A figura 2 representa a rede de elementos finitos utilizada no cálculo das deformações $\Delta \epsilon$.

Conhecidas as deformações $\Delta \epsilon$ calcula-se o factor de intensidade de extensões usando a equação (1).

A tensão limiar de propagação é determinada a partir do limiar de propagação do factor de intensidade de tensões ΔK_{lf} . ΔK_{lf} pode ser relacionado com as tensões locais na região do pé do cordão por

$$\Delta K_{lf} = K_t \Delta \sigma_{lf} \sqrt{\pi(a + a_0)} \tag{4}$$

em que K_t é o factor de concentração de tensões e $\Delta \sigma_{lf}$ é a gama de tensão nominal limiar de propagação. O valor de $\Delta \sigma_{lf}$ é obtido igualando ΔK_e dado pela equação (1) a ΔK_{lf} dado pela equação (4), o que representa que não há propagação da fenda se ΔK_e é inferior a ΔK_{lf} .

Tabela 1 - Dimensões em mm da junta soldada

L	B	l	ρ
250	12	21.6	0.05; 0.4; 1.6; 4

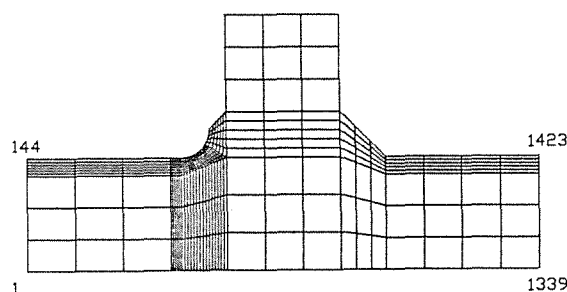
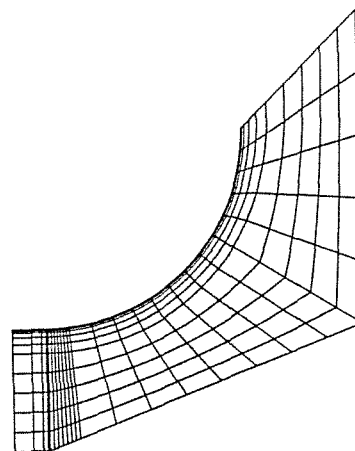


Fig: 2 - Rede de elementos finitos

As dimensões da junta estudada (representada na fig. 1) apresentam-se na tabela 1. As propriedades do material consideradas no estudo analítico são indicadas na tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades mecânicas do material

Módulo de Young (MPa)	Tensão de cedência (MPa)	Tensão de rotura (MPa)	Parâmetros cíclicos		$\Delta\sigma_e$ (MPa)
			α (MPa)	β	
206000	390	550	1255	4.762	275

3. RESULTADOS

As figuras 3, 4 e 5 representam alguns dos resultados analíticos para o factor de intensidade de extensões em função da profundidade do defeito para vários valores da tensão nominal no pé do cordão ΔS e do raio de curvatura ρ . Representam-se nas figuras 3, 4 e 5 as curvas ΔK_E em função de a , respectivamente para $\rho = 0.05$ mm, $\rho = 0.4$ mm e 1.6 mm.

Para valores da profundidade da fenda inferiores a 0.05 mm verifica-se grande influência do raio ρ no valor de ΔK_E . Para valores muito baixos de ρ ($\rho = 0.05$ mm) o aumento da concentração de extensões à medida de o defeito diminui é superior ao efeito do decréscimo de a resultando ΔK_E decrescente até $a \approx 0.5$ mm. Para valores intermédios de ρ ($\rho = 0.4$ mm) os dois efeitos equilibram-se e ΔK_E é praticamente constante até $a = 0.5$ mm. Se os raios de curvatura forem elevados ($\rho = 1.6$ mm) a concentração de extensões é reduzida, sendo ΔK_E sempre crescente com a .

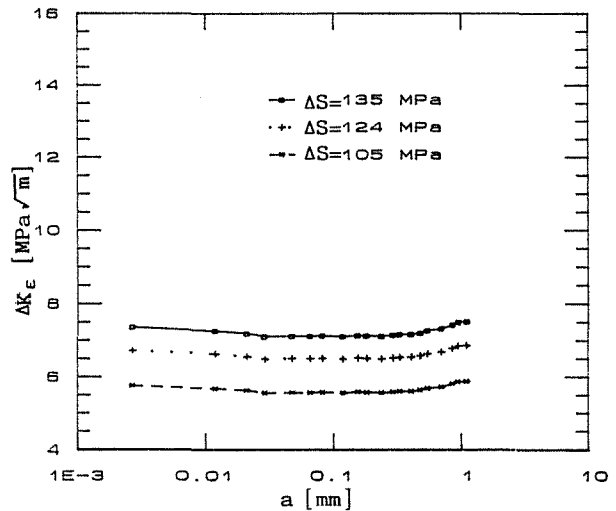


Fig. 4 - Curvas de ΔK_E em função da profundidade da fenda para vários níveis de tensão e $\rho = 0.4$ mm.

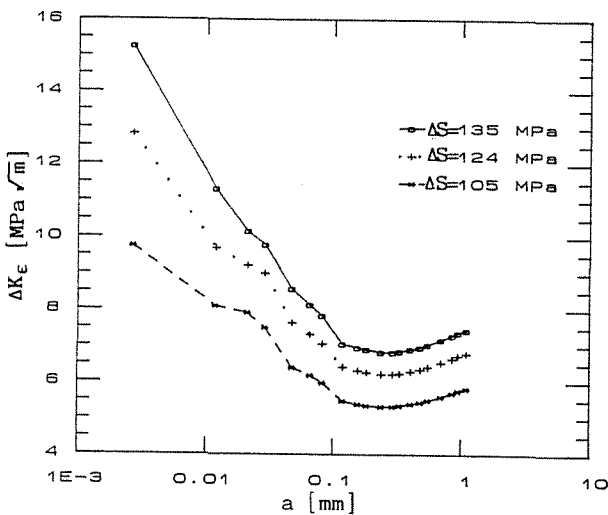


Fig. 3 - Curvas de ΔK_E em função da profundidade da fenda para vários níveis de tensão e $\rho = 0.05$ mm.

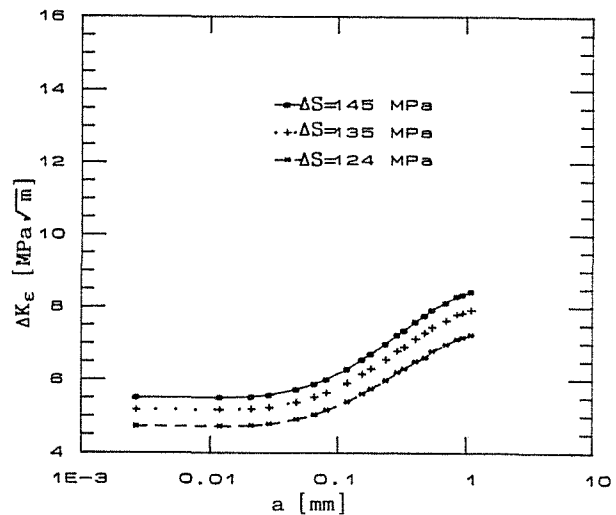


Fig. 5 - Curvas de ΔK_E em função da profundidade da fenda para vários níveis de tensão e $\rho = 1.6$ mm.

Usando como material de base o aço 17 Mn 4 foi realizado um conjunto de ensaios para determinar as condições de propagação de fendas de fadiga. No metal base foram determinados os parâmetros m e C da lei de Paris ($da/dN = C(\Delta K)^m$) e o limiar de propagação ΔK_{lf} . Estes ensaios foram realizados numa máquina servohidráulica usando provetes de tracção compacta (CT). O ambiente em que o material foi ensaiado era ar seco e o ciclo de carga tinha um valor mínimo zero ($R = 0$). Os resultados obtidos estão representados na figura 6, indicando-se na tabela 3 os valores dos parâmetros de propagação determinados.

Para juntas em T pré-fissuradas foram realizados ensaios para vários níveis de tensão e diferentes dimensões do defeito inicial para verificar se as fendas eram propagáveis ou não. Estas juntas foram ensaiadas em cantiliver à flexão em máquinas de flexão plana do tipo mecânico. As fendas iniciais foram criadas por fadiga. As fissuras iniciais e finais foram identificadas por marcação e medidas no final do ensaio após fractura total da secção do pé do cordão.

Tabela 3 - Parâmetros de propagação de fendas no aço 17 Mn 4 para $R = 0$.

Constantes m e C da lei de Paris (da/dN em mm/ciclos e ΔK em $MPa\sqrt{m}$)		ΔK_{lf} ($MPa\sqrt{m}$)
m	C	
4.6	7.67×10^{-11}	7.55

A figura 7 ilustra o aspecto da secção transversal de um dos provetes depois de ensaiado sendo perfeitamente visível a marcação com tinta identificando a frente da fenda de fadiga inicial. Pelo aspecto da superfície de fractura conclui-se se houve ou não propagação por fadiga para além do defeito inicial. As dimensões do defeito são medidas através dum microscópio montado numa base

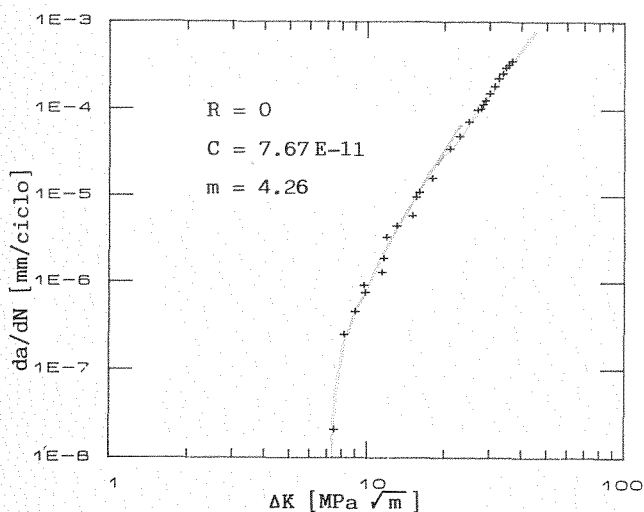


Fig. 6 - Curva $da/dN - \Delta K$ para o aço 17 Mn 4 e $R = 0$.

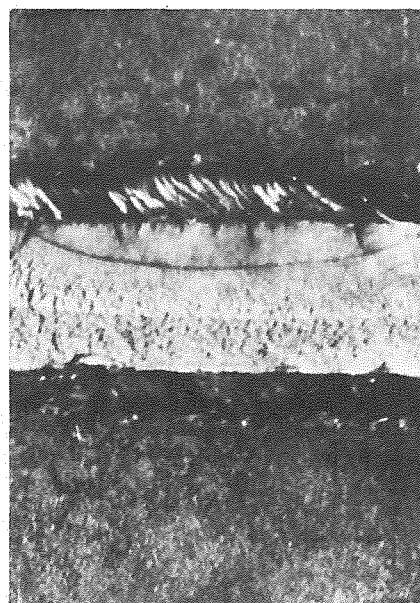


Fig. 7 - Aspecto da marcação do defeito inicial de fadiga.

micrométrica. Os resultados obtidos encontram-se representados na figura 8. Verifica-se que todos os resultados de defeitos propagáveis se situam acima da curva analítica. Note-se, no entanto, que por dificuldades experimentais de detecção e medição de defeitos iniciais muito pequenos todos os casos estudados se encontram já fora da zona de forte influência da concentração de tensões e consequente plastificação no pé do cordão.

Com os resultados obtidos para ΔK_{lf} e para as curvas do factor de intensidade de extensões em função de a , pelas equações (2) e (4) determinaram-se valores da gama de tensão nominal limiar de propagação ($\Delta\sigma_{lf}$) para vários valores de a e do raio de curvatura ρ . Estes resultados representam-se na figura 8. Verifica-se que para pequenos valores de a ($a < 0.5$ mm) há uma grande influência de ρ sobre $\Delta\sigma_{lf}$. Para ρ muito pequeno ($\rho = 0.05$ mm) $\Delta\sigma_{lf}$ é sempre crescente neste intervalo enquanto que para ρ muito elevado ($\rho = 4$ mm) $\Delta\sigma_{lf}$ é sempre decrescente. Para $\rho = 0.4$ mm $\Delta\sigma_{lf}$ é praticamente constante até a ≈ 0.5 mm.

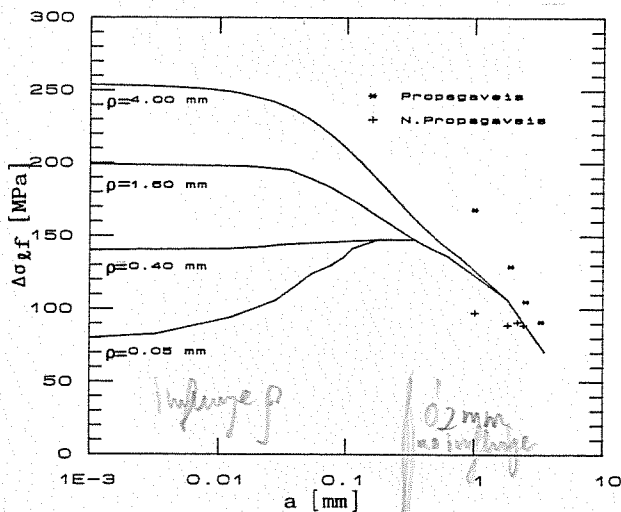


Fig. 8 - Curvas de $\Delta\sigma_{lf}$ em função da profundidade da fenda para vários raios de curvatura. Resultados experimentais.

Quando a profundidade do defeito for superior a 0,5 mm a influência de ρ sobre $\Delta\sigma_{lf}$ é desprezável.

Verifica-se uma boa concordância entre os resultados analíticos e os resultados experimentais.

4. CONCLUSÕES

1. Verifica uma influência significativa do raio de curvatura no pé do cordão no factor de intensidade de extensões ΔK_e e na gama de tensão limiar de propagação $\Delta\sigma_{lf}$ para defeitos de profundidade inferior a 0,5 mm. Neste intervalo de valores de a ΔK_e e $\Delta\sigma_{lf}$ são decrescentes para valores de ρ elevados, e crescentes para valores de ρ muito pequenos. Para $\rho = 0.4$ mm ΔK_e e $\Delta\sigma_{lf}$ mantêm-se praticamente constantes no intervalo de profundidade da fenda indicado.
2. Para defeitos de profundidade maior de que 0,5 mm $\Delta\sigma_{lf}$ é sempre decrescente e a influência de ρ torna-se desprezável.
3. Os resultados experimentais estão em total concordância com os resultados analíticos obtidos para $\Delta\sigma_{lf}$.

5. REFERÊNCIAS

- [1] - C.M. Branco and J.M. Ferreira, "Fatigue of fillet welded joints", Fract. Mech. Tech., Vol. 3, Nº 1, pag. 13-22, 1985.
- [2] - J.M. Ferreira and C.M. Branco, "Fatigue life assessment in cruciform joints", Proc. 6th European Conference on Fracture, Amsterdam, Holland, 1986, EMA, UK, 1987.
- [3] - J.M. Ferreira and C.M. Branco, "Influence of the radius of curvature at the weld toe in the fatigue strength of fillet welded joints", Int. J. Fatigue, Vol. 11, Nº 1, pag. 29-36, 1989.
- [4] - J.M. Ferreira and C.M. Branco, "Fatigue analysis and prediction in fillet welded joints in the low thickness range", Fat. Fract. Engng. Mater. Struct., Vol. 13, Nº 3, pag. 201-212, 1990.
- [5] - M.H. El Haddad, T.H. Topper and K.N. Smith, "Prediction of non-propagating cracks", Eng. Fract. Mech., Vol. 11, pag. 573-584, 1979.
- [6] - D.R.J. Owen and A.J. Fawkes, "Engineering Fracture Mechanics; Numerical Methods and Applications", Pineridge Press, 1983