

SMM 0156 – FADIGA E FRATURA – ESTUDO DIRIGIDO

GABARITO

1ª Prova

- 1) Coloque **(V)** verdadeiro ou **(F)** falso para as afirmações relacionadas à Figura 1 e assinale a alternativa correta (2,0)

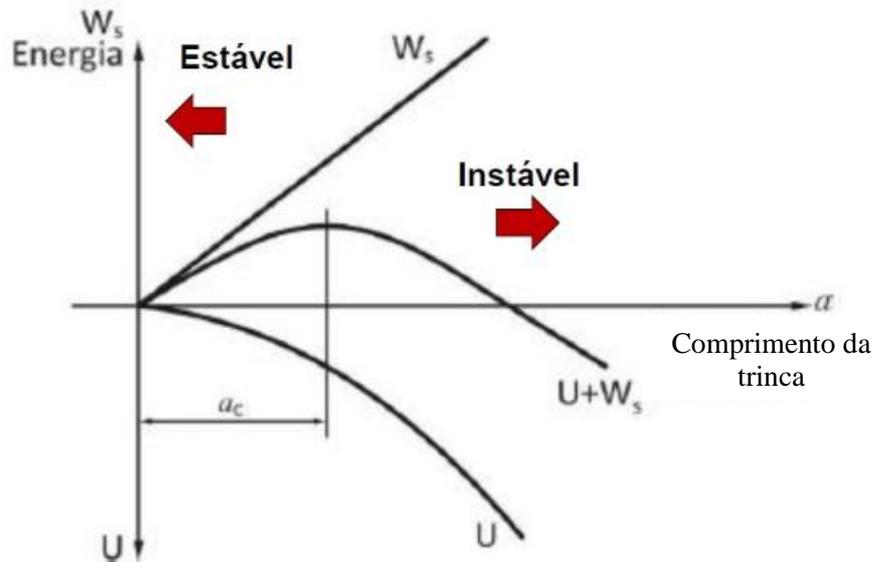


Figura 1

- I. A figura 1 representa o balanço energético de Griffith, para teoria da fratura frágil. A energia liberada, U , é proporcional ao quadrado do comprimento da trinca, enquanto a energia consumida, W_s , é proporcional à primeira potência do comprimento da trinca. Quando uma tensão constante σ é aplicada na placa, a energia total diminui para trincas maiores que um comprimento crítico a_c , o que significa que o crescimento da trinca é espontâneo (e catastrófico). O critério de Griffith afirma que uma trinca irá crescer sob a ação de uma tensão σ se um aumento do comprimento da trinca liberar mais energia elástica do que aquela gerada na criação das novas superfícies, ou seja, se a derivada da energia total for negativa. **(V)**
- II. A figura 1 representa o balanço energético de Griffith, para teoria da fratura dúctil-frágil. A energia liberada, U , é proporcional ao quadrado da semi-área da trinca, enquanto a energia consumida, W_s , é proporcional à primeira potência do tamanho da trinca. Quando uma tensão constante σ é aplicada na placa, a energia total diminui para trincas maiores que um tamanho crítico a_c , o que significa que o crescimento da trinca é espontâneo (e catastrófico). O critério de Griffith afirma que uma trinca irá crescer sob a ação de uma tensão σ se um aumento do comprimento da trinca liberar mais energia elástica do que aquela gerada na criação das novas superfícies, ou seja, se a derivada da energia total for negativa. **(F)**
- III. A figura 1 representa o balanço energético de Griffith, para teoria da fratura frágil. A fratura irá se propagar catastrófica, a partir de a_c . A propagação da trinca será mais favorável se a liberação de energia elástica U for maior que o aumento da energia superficial W_s , gerada pela presença das superfícies de fratura, isto é, a derivada da função soma ($U + W_s$) será negativa. **(V)**

- a. V-V-V ()
- b. V-F-V (X)**
- c. F-F-V ()
- d. F-F-F ()
- e. V-F-F ()

OBS: Existe um consumo de energia para a formação das superfícies de fratura, equivalente a W_s . Após a criação das superfícies de fratura, a energia livre de Gibbs, referente às duas superfícies criadas leva a um incremento da energia do sistema devido aos vários defeitos que aparecem nessas superfícies: ligações “quebradas”, defeitos pontuais, linhas de discordância, etc. W_s é positiva.

2) Coloque **(V)** verdadeiro ou **(F)** falso para as afirmações relacionadas ao mecanismo de formação de estrias e o mecanismo de formação das linhas de Wallner e assinale a alternativa correta. (1,5)

- I. A teoria ainda aceita para formação de estrias (Laird, 1967) é a que considera o fechamento plástico, que provoca um arredondamento na ponta da trinca, com posterior propagação. (**V**)
- II. Com o aumento da carga de tração, no momento da abertura da trinca, ocorre o cisalhamento, nas direções a 45° , devido às tensões principais, gerando um entalhe duplo na ponta. Quando a tensão é máxima, ocorre o fechamento completo. O mecanismo se repete ao longo da propagação. (**V**)
- III. Meyn (1968) e Grinberg (1982) fizeram ensaios de fadiga em vácuo e observaram que não ocorreu a formação de estrias, o que significa que a molécula de oxigênio contribui para sua formação. Atualmente, não se conhece totalmente o mecanismo de formação de estrias e qual a real contribuição do oxigênio. (**V**)
- IV. A formação das linhas de Wallner está relacionada ao cruzamento de ondas de tensão (elásticas) com as marcas de propagação de trincas em materiais frágeis, geralmente na presença de micromecanismos de fratura, de baixa energia. Quando uma trinca se propaga em um material, gera ondas de tensão elásticas assim como o som, e com a mesma velocidade. Essas ondas são difratadas quando encontram uma descontinuidade ou alguma barreira que tenha uma impedância sônica diferente da matriz (diferente velocidade do som). As ondas elásticas passam de longitudinais para transversais. Sua velocidade muda. Ex. no aço, as ondas sonoras longitudinais apresentam velocidade de 5.920m/s. As transversais, 2.370m/s. Quando as marcas de propagação se cruzam com as ondas elásticas, apresentam um ponto de intersecção. Unindo-se esses pontos, têm-se as linhas de Wallner. (**V**)
- V. As estrias são as linhas de Wallner para fratura frágil. (**F**)
 - a. V-V-V-V-V ()
 - b. V-V-V-V-F (X)**
 - c. F-F-F-F-F ()
 - d. V-F-V-V-V ()
 - e. V-V-F-V-V ()
 - f. V-V-F-F-V ()

OBS: No artigo de Grinberg, o experimento foi realizado com uma liga de Cu-7,5%Al, e as estrias se tornaram praticamente indefinidas, o que significa que com uma pequena quantidade de alumínio, quase desapareceram. Baseado neste fato, o autor menciona e concorda com as conclusões de Mayn (1968) e Pelloux (1969,1970) que afirmam que as estrias são totalmente suprimidas para ligas de alumínio submetidas à fadiga em vácuo de 5.10^{-6} Torr.

- 3) Coloque **(V)** verdadeiro ou **(F)** falso para as afirmações relacionadas ao conceito “Leak before Break” e assinale a alternativa correta. (0,5)
- I. O ponto principal do conceito supracitado é justamente baseado no comprimento crítico de trinca, relacionado ao balanço energético de Griffith. Quando aplicado em uma tubulação ou vaso de pressão, o comprimento crítico de trinca (C_c) deve ser maior que a espessura da parede do vaso ou da tubulação (t). Este conceito está também relacionado à Tenacidade à fratura em estado plano de deformação no modo I (K_{Ic}). **(V)**
 - II. O ponto principal do conceito supracitado é justamente baseado no comprimento crítico de trinca, relacionado ao balanço energético de Griffith. Quando aplicado em uma tubulação ou vaso de pressão, o comprimento crítico de trinca (C_c) deve ser menor que a espessura da parede do vaso ou da tubulação (t). Este conceito está também relacionado à Tenacidade à fratura em estado plano de deformação no modo I (K_{Ic}). **(F)**
 - III. O ponto principal do conceito supracitado é justamente baseado no comprimento crítico de trinca, relacionado ao balanço energético de Griffith. Quando aplicado em uma tubulação ou vaso de pressão, o comprimento crítico de trinca (C_c) deve ser maior que a espessura da parede do vaso ou da tubulação (t). Este conceito não tem relação com a tenacidade à fratura em estado plano de deformação no modo I (K_{Ic}). **(F)**
 - a. V-V-V ()
 - b. V-F-V ()
 - c. V-F-F (X)**
 - d. F-F-F ()

OBS: A afirmativa “o comprimento crítico de trinca (C_c) deve ser maior que a espessura da parede do vaso ou da tubulação (t)” não é completa, porém, é verdadeira.

- 4) Explique, **sucintamente**, como a presença do entalhe, no ensaio de impacto, permite o estudo do comportamento frágil de um material.(1,5)

O entalhe provoca uma concentração de tensões. Na raiz do entalhe a tensão é muito alta, tendendo ao infinito, porém, quando atinge o limite de escoamento, ocorre uma plastificação. Neste ponto, ocorre uma estricção na raiz do entalhe, que leva a uma restrição na deformação plástica, gerando um estado triaxial de tensões e um estado plano de deformação.

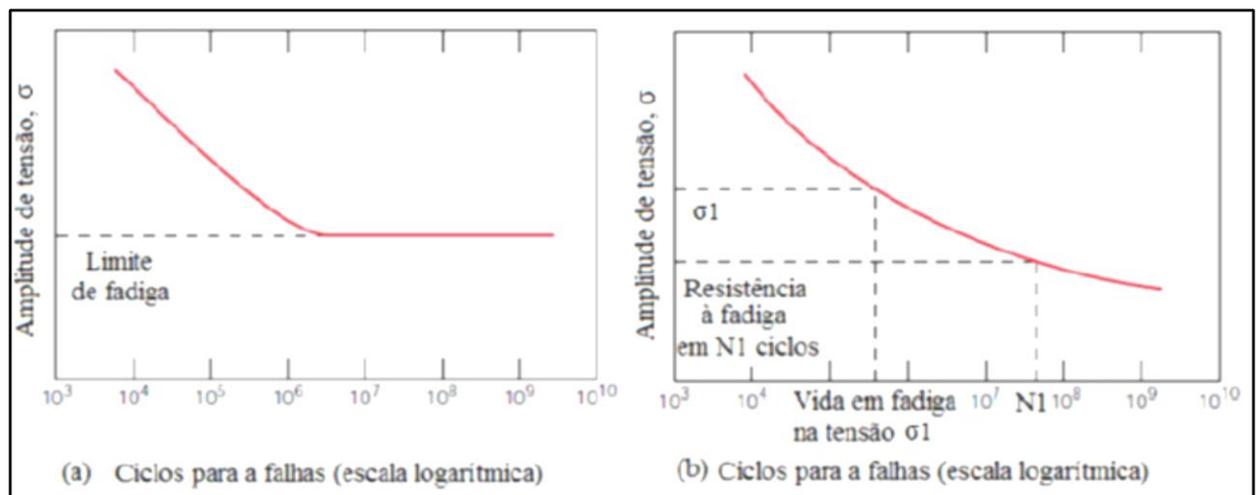
Considerando sistema de referência x, y e z, sendo que x = direção da largura; y = direção carga axial; z = direção da espessura, na raiz do entalhe, a tensão axial em y é alta e a peça ou corpo-de-prova tende a sofrer uma estricção nas direções x e z. Fora da raiz não há tensão axial aplicada nas superfícies livres, assim, não ocorre a estricção nessas direções. Quando a tensão na raiz do entalhe atinge o limite de escoamento, ocorre a plastificação na direção paralela ao eixo do carregamento. Como, macroscopicamente, o material é considerado contínuo, haverá resistência à contração dentro do entalhe. I.e., ocorre restrição de deformação plástica em uma

direção, levando ao estado de deformação plana e, conseqüentemente, ao estado triaxial de tensões.

5) Coloque **(V)** verdadeiro ou **(F)** falso para as afirmações relacionadas ao conceito de “projeto com tolerância ao dano” e assinale a alternativa correta. (1,5)

- I. Este critério é um aperfeiçoamento da filosofia "fail safe". Parte-se do princípio de que a estrutura possui uma trinca seja por defeito de fabricação, seja devida à operação (corrosão sob tensão, etc e com os conceitos da Mecânica da Fratura são desenvolvidos os projetos de modo que as trincas pré-existent não cresçam até o tamanho crítico antes que sejam detectadas pelas inspeções periódicas. (**V**)
- II. Este critério exige que as tensões estejam abaixo do limite de resistência à fadiga (**F**)
- III. Este critério considera a possibilidade de ocorrência de trincas de fadiga e dispõe a estrutura de modo que as trincas não a levem ao colapso antes de serem detectadas e reparadas. Utilizam dispositivos como : bloqueadores de propagação e rebites (**F**)
 - a. **V-F-F (X)**
 - b. F-V-F ()
 - c. V-V-F ()
 - d. F-F-V ()

6) Coloque **(V)** verdadeiro ou **(F)** falso para as afirmações relacionadas à Figura 2 e assinale a alternativa correta. (1,5)



- I. Ambas são curvas obtidas em ensaio de fadiga controlada pela tensão, curvas S-N, sendo que a curva (a) é típica para aços e ligas de Ti e a curva b para outras ligas não ferrosas (**V**)
- II. No caso de materiais policristalinos, a ocorrência do patamar apresentado na curva foi relacionada à parada (arrest) de trincas logo após a nucleação, ao encontrarem obstáculos microestruturais como contornos de grãos [Klesnil, 1992]. (**V**)
- III. O conceito de vida infinita é aplicado, com relação à curva, na região do patamar. (**V**)
- IV. Diversas equações foram propostas para descrever a curva S/N [Conway, 1991]. Uma das mais simples e aceitáveis é a clássica lei de Basquin, representada pela equação (1). Esta expressão relaciona a amplitude de tensão σ_a com o número de reversões

para a falha, $2N_f$ (um ciclo de carregamento corresponde a duas reversões). O coeficiente de resistência à fadiga, σ'_f é dado pela extrapolação da curva S/N para o primeiro meio-ciclo ($2N_f = 1$). O parâmetro b é o expoente de resistência à fadiga. (F)

$$\sigma a \cong \sigma'_f (2N_f)^b \quad (1)$$

- a. V-V-V-V ()
- b. F-V-V-V ()
- c. **V-V-V-F (X)**
- d. F-F-F-F ()

7) Coloque (V) verdadeiro ou (F) falso para as afirmações relacionadas ao conceito de dispersão dos resultados de ensaio de fadiga de alto ciclo ou controlada pela tensão e o critério R95C90, e assinale a alternativa correta (1,5)

- I. Wöhler (1852) concluiu, entre outras que o fenômeno da fadiga de alto ciclo é dependente de condições macroscópicas e microscópicas o que leva a uma dispersão estatística aleatória. Devido à essa dispersão, para um mesmo material haverá uma curva S-N superior e uma curva inferior, assim como, mesmo estando abaixo do limite de fadiga (vida infinita), existe alguma probabilidade de que algumas peças falhem. O conceito R95C90, no qual R é do inglês Reliability (Confiabilidade) e C é do inglês Confidence (intervalo de confiança), significa que, mesmo abaixo do limite de fadiga existe a possibilidade de 5% das peças falharem (Confiabilidade de 95%) e que a curva obtida, respeitando este conceito tem 90% de probabilidade de estar entre a curva superior e inferior para o referido material (90% de intervalo de confiança). (V)
- II. Na indústria automotiva é comum usar a curva limite inferior R95C90 (*Lower bound*), que assegura o número de ciclos com 95% de probabilidade de sobrevivência (confiabilidade) com nível de confiança de 90%, para um dado nível de tensão. Como o número de ensaios geralmente é limitado, este nível de confiança (C) é introduzido no cálculo para assegurar que haja 90% de chance de que o valor real de 95% de confiabilidade (R) esteja acima do limite mínimo. (V)
- III. Para garantir o conceito de R95C90, por exemplo, ou outro padrão de curvas *lower bound*, podem ser utilizados coeficientes como o K de Owen, representado por K_{Owen} . Desse modo, no lugar de se utilizar na curva ajustada, o deslocamento para esquerda, referente ao desvio padrão, utiliza-se o K_{Owen} . Os valores do K_{Owen} são tabelados e levam em consideração o número de corpos-de-prova, o intervalo de confiança e a confiabilidade. (V)

- a. V-F-V ()
- b. F-F-V ()
- c. V-V-F ()
- d. **V-V-V (X)**
- e. F-F-F ()