

PMT3306 - Mecânica dos Materiais - Prova 3

A questão 1 abaixo deverá ser entregue no dia 03/12/2018, quando o restante da prova será aplicado (a entrega deverá ser feita até as 23:55 do dia 03 através do sistema Moodle exclusivamente). Resolva as questões 2 a 4. As equações serão dadas conforme forem sendo necessárias.

Questões

1. **Projetando compósitos:** acesse, no sistema moodle e sorteie a combinação fibra - matriz que você deverá usar para resolver a questão.

A seguir execute as seguintes tarefas:

- Estime o valor (ou faixa de valores) correspondente ao módulo longitudinal e ao módulo transversal para a combinação que você sorteou (vale 0,5 ponto),
- Construa o gráfico de resistência para a sua combinação fibra - matriz e determine para o seu caso sorteado se ele se situa acima ou abaixo do volume crítico de fibra (vale 0,5 ponto)
- Suponha que você irá fabricar com esse compósito uma placa de seção retangular com 3,68 cm de largura e 0,8671 cm de espesura, e com comprimento 14,34 cm, com as fibras orientadas ao longo do comprimento, e estime a massa desse componente (vale 0,5 ponto)
- O componente será solicitado em serviço segundo o diagrama da Figura 1, determine se o mesmo corre o risco de romper (calcule a carga estimada de ruptura) e estime a máxima deflexão sob carga (use a carga de ruptura, se ela for menor que a carga máxima indicada na Figura) (vale 0,5 ponto).
- Compósitos reforçados por fibra devem ser empregados evitando o aparecimento de tensões de compressão (para evitar o dano devido à flambagem da fibra), calcule a tensão atuante na fibra interna do componente no carregamento apresentado na Figura 1 e determine se ela será de tração ou de compressão (vale 0,5 ponto).

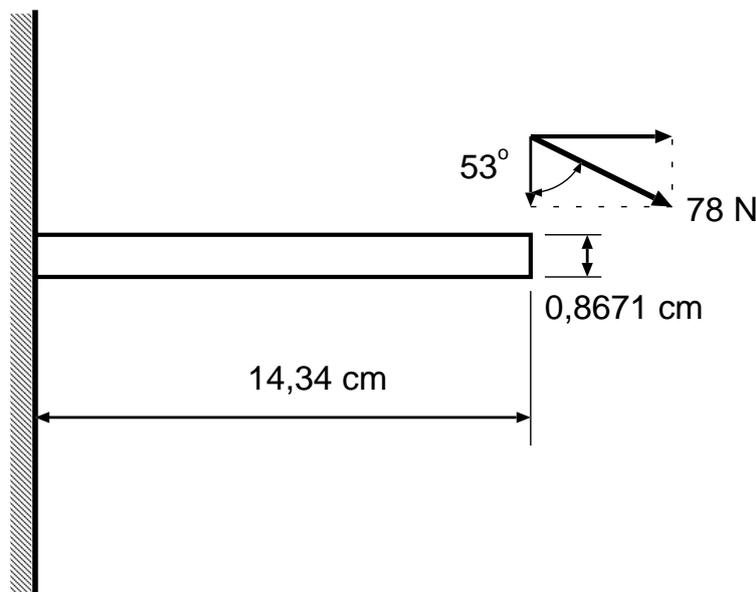


Figura 1: Diagrama esquemático de forças para o carregamento do componente em questão.

2. A Figura 2 apresenta a curva S-N, para $R = 0,1$, do aço Maraging 18Ni¹ publicada por Mayer *et al.* (Int. J. Fatigue **64** (2014) 140 – 146.). O aço em questão será usado em uma aplicação que apresenta duas possibilidades de operação (denominadas P1 e P2), cada uma resulta em um espectro de carregamento, que, contabilizado pelo método Rainflow, resulta nos valores listados na tabela 1. Com base nesses dados responda:

- Qual é a vida esperada para as duas condições de uso (P1 e P2) usando a regra linear de Pálmgren-Langer-Miner? (vale 1,5 ponto)
- Considerando o que discutimos em sala de aula sobre interação entre cargas em fadiga e a não linearidade geral do fenômeno, discuta o quão confiável é o resultado da previsão de vida usando a regra linear. (vale 1,0 ponto)

Dica: assumo que a curva S-N apresentada pode ser diretamente aplicada ao espectro medido.
 Dado:

- Regra linear de Pálmgren-Langer-Miner, a fratura ocorre quando a variável “dano” (D) atinge o valor unitário, com:

$$D = \sum_{i=1}^n \frac{n_i}{N_i^f} \quad (1)$$

onde n_i é o número de ciclos com uma dada amplitude de tensão e N_i^f é o número de ciclos para falha medidos na curva S-N.

- Definição de R :

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \quad (2)$$

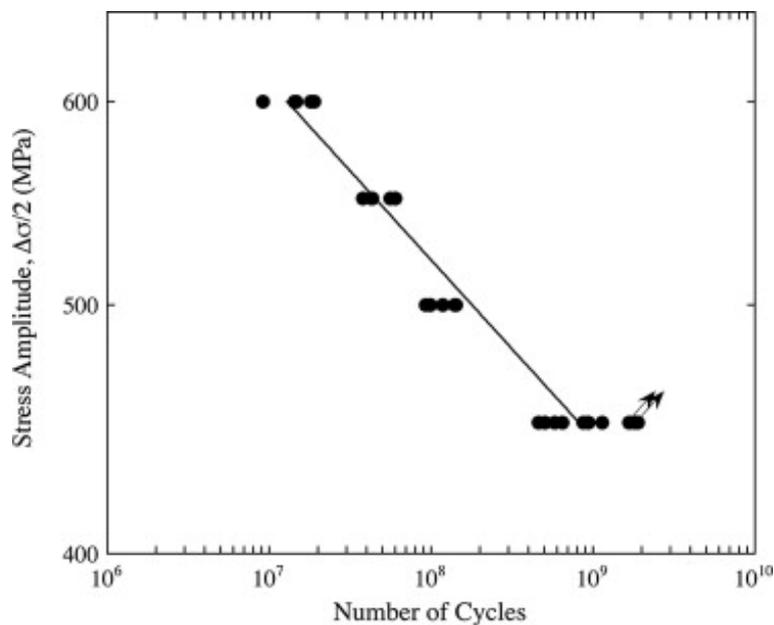


Figura 2: Curva S-N, para $R = 0,1$, do aço Maraging 18Ni, medida por Mayer *et al.*

¹Um aço de alta resistência e alta tenacidade, que tem uma matriz martensítica cisalhada endurecida por precipitados coerentes, contém 18%Ni, 9%Co, 5% Mo, 0,5%Ti, Fe balanço.

Tabela 1: Espectros medidos para as condições P1 e P2.

σ_{max}	P1	P2				
1050 MPa	79,97%	80,65%				
1100 MPa	15,99%	16,13%				
1150 MPa	3,20%	2,42%				
1200 MPa	0,80%	0,65%				
1250 MPa	0,04%	0,15%				

- 3 . Compósitos laminados² cerâmicos de alumina/alumina-zircônia são materiais cerâmicos estruturais que apresentam tenacidade melhorada em comparação com os respectivos materiais monolíticos³. Há diversas possíveis origens dessa “ tenacidade melhorada”, entre as quais citam-se deflexão de trinca na interface, bifurcação de trinca na interface e a indução de tensões residuais compressivas na camada mais externa, que sempre é a camada de alumina⁴. Recentemente Jiménez-Piqué *et al.* (J. Eur. Cer. Soc. **25** (2005) 3393 – 3401.) publicaram um artigo em que comparam a resistência à fadiga dinâmica de compósitos alumina (60%)/alumina- zircônia (40%), em duas arquiteturas, denominadas A/AZ e A/2AZ, com a resistência à fadiga estática (corrosão-sob-tensão causada por vapor de água) e compararam o material a lâminas idênticas feitas só de alumina (amostras denominadas MA). Os autores usaram indentação dinâmica com esfera de metalduro de 2,5mm de diâmetro para realizar seu estudo. A Figura 3 mostra a imagem de uma interface entre as lâminas do compósito produzido pelos autores. Com base nessas informações (e em outras que serão dadas

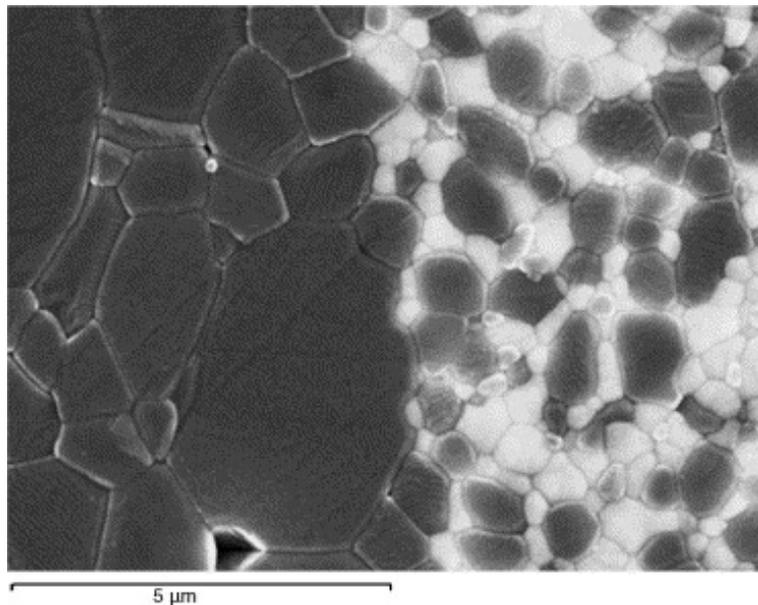


Figura 3: Microestrutura da interface do compósito Alumina/Alumina-Zircônia investigada por Jiménez-Piqué *et al.*. Ataque térmico a 1500°C/30 min.

a seguir) responda:

²Compósitos laminados são compósitos em que o reforço e a matriz se encontram na forma de lâminas.

³Materiais monolíticos são não-compósitos, ou seja, só a matriz ou só o reforço, geralmente são usados para fins de comparação com o compósito que se está discutindo.

⁴O mecanismo de geração dessas tensões residuais é baseado na diferença de coeficientes de dilatação térmica linear, que são menores para a camada de alumina.

- a. Os autores reportam os valores de K_{Ic} para a alumina pura e para o compósito, respectivamente $3,5 \pm 0,8 \text{ MPa m}^{0,5}$ e $8,0 \pm 0,8 \text{ MPa m}^{0,5}$, e atribuem a melhoria da tenacidade do compósito à existência de tensões residuais de compressão na camada mais externa (que é feita de alumina pura). Como as tensões residuais de compressão melhoram a tenacidade do compósito? (vale 0,5 ponto).
- b. A Figura 4 mostra os resultados do ensaio de fadiga ($R = 0$) para os três materiais. Qual é o material que apresenta melhor resistência à fadiga? O que se pode concluir sobre as tensões residuais presentes no material A/2AZ? (vale 1,0 ponto).

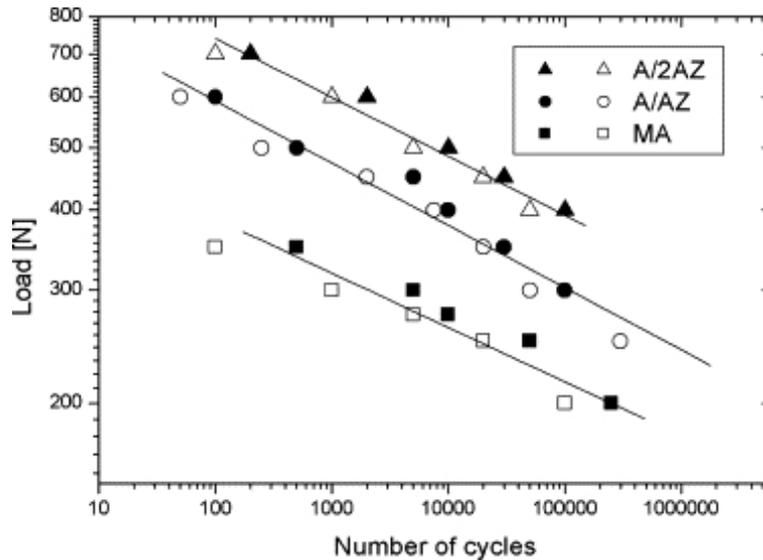


Figura 4: Resultados dos ensaios de fadiga para os compósitos alumina/alumina-zircônia (A/AZ e A/2AZ) e para a lâmina de alumina (MA). Símbolos vazios indicam que nenhum defeito era visível e círculos cheios indicam que o defeito estava totalmente desenvolvido.

- c. A Figura 5 mostra os resultados obtidos pelos autores na comparação entre a resistência à fadiga estática (static load) e dinâmica (dynamic load) no compósito A/AZ. Os autores afirmam que essa figura prova que a melhoria da resistência à fadiga não pode ser atribuída exclusivamente à melhoria da resistência à corrosão-sob-tensão do compósito. Porque os autores afirmam isso? (vale 1,0 ponto).
4. As imagens da Figura 6 foram obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (em modo de elétrons secundários) no corpo de prova que foi ensaiado no laboratório da nossa disciplina no ano de 2016 (o laboratório não pode ser feito esse ano por falta de tempo). A imagem de baixo aumento (Figura 6a) apresenta um panorama geral da superfície de fratura, que pode ser dividida em três regiões distintas. A primeira região (parte inferior da figura) corresponde ao entalhe do corpo de prova, portanto não é superfície de fratura, que corresponde a parte intermediária e à parte superior. A Figura 6b apresenta um detalhe em maior aumento da região de transição entre as regiões 2 e 3 (contando de baixo para cima) da superfície de fratura. Com base no que foi discutido em sala de aula, interprete essas imagens (as duas) descrevendo as características morfológicas da superfície de fratura e interpretando o modo de falha desse corpo de prova. (Vale 2,5 pontos)

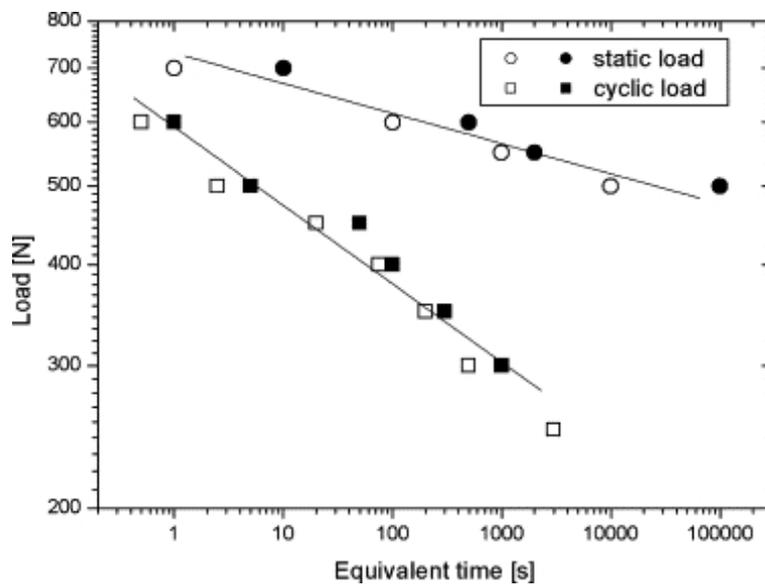


Figura 5: Comparação entre resistência à fadiga estática (static load) e dinâmica (dynamic load) para o compósito A/AZ.

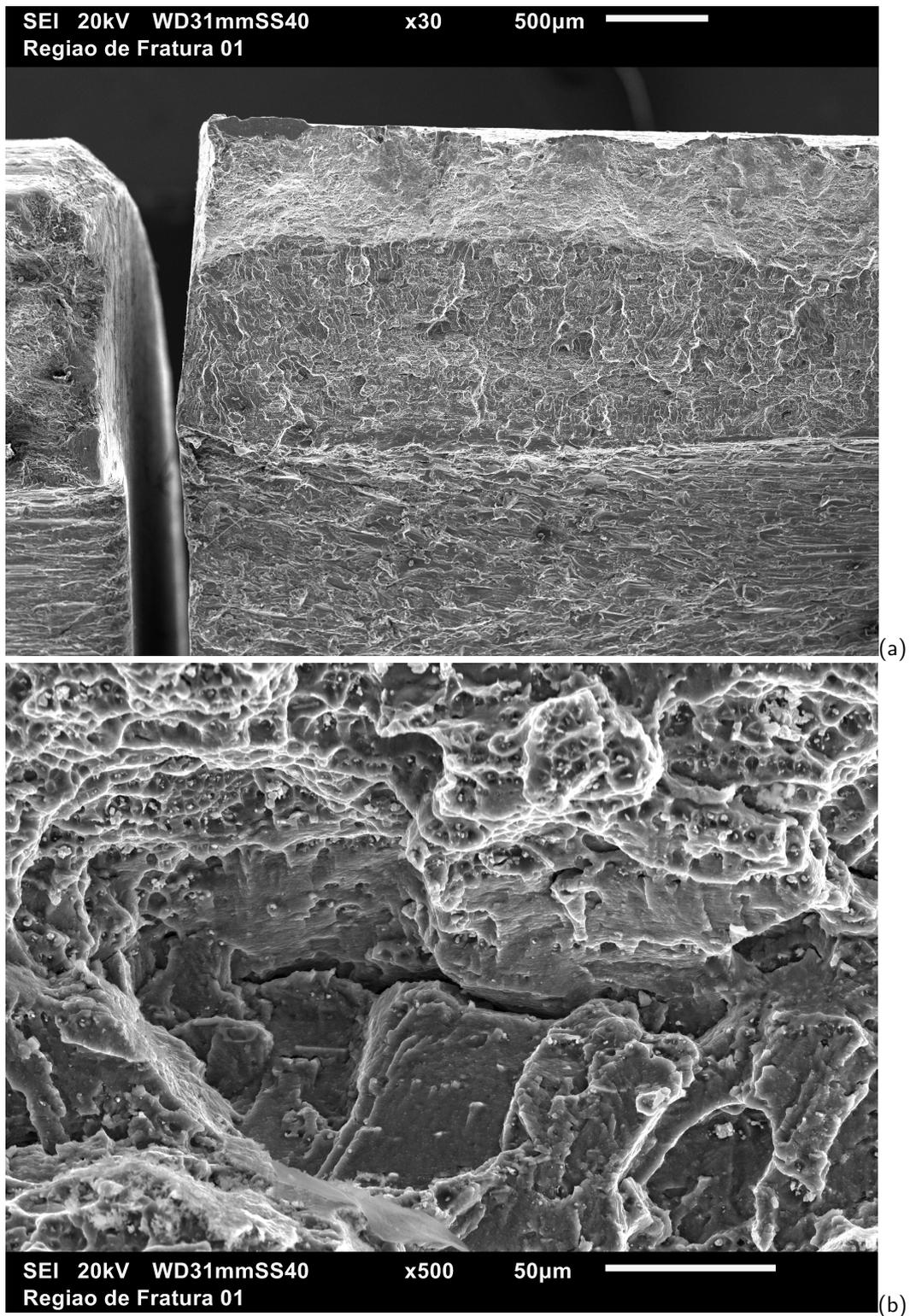


Figura 6: Imagens de microscopia eletrônica de varredura (em elétrons secundários) do corpo de prova ensaiado no laboratório da disciplina em 2016 (material: liga de alumínio AA2001-T6). (a) panorama geral da superfície de fratura em baixa magnificação e (b) detalhe da zona de transição entre a região intermediária e a região superior da superfície de fratura, como evidenciadas na imagem (a).