PMT3306 - Mecânica dos Materiais - Prova 1

A questão 1 foi distribuída anteriormente pelo sistema moodle e foi resolvida com calma pelo aluno. A entrega é feita pelo sistema até as 23:55 do dia 30/09/2019.

Questões

1 . Congratulações! Você se formou e foi contratado(a) para chefiar o laboratório de controle de qualidade de uma empresa de médio porte, mas de alta tecnologia (o laboratório possui dois funcionários, você e um técnico que você ainda não conhece direito). Como uma das suas primeiras tarefas você foi solicitado(a) pelo seu gerente (um engenheiro de materiais formado pela Poli dez anos antes de você) a especificar um corpo de prova e o procedimento de ensaio de determinação da curva J-R segundo a norma ASTM E1820-11 (disponível no moodle) para o material que lhe foi sorteado (novamente, pelo moodle). Consulte a referida norma, bem como a literatura relevante, e prepare um pequeno relatório contendo:

a . um croquis do corpo de prova que deverá ser usinado (a partir do produto de que você dispõe, ou seja, barra redonda, quadrada ou placa nas dimensões especificadas), que seja compatível com a norma,

b . um tamanho nominal inicial (isto é, que é objetivado) para a pré-trinca de fadiga que deverá ser crescida no CP, compatível com o especificado na norma (o tamanho a ser indicado é o da pré-trinca que vai da raiz do entalhe do corpo de prova até o tamanho nominal da trinca, a, especificado pela norma),

c . uma estimativa do que seria a **carga** de ruptura (ou seja, não é a tensão de ruptura) e do valor mínimo de CTOD que seria obtido, considerando-se que o CP possui a pré-trinca no tamanho especificado no item anterior e que ele se comporta como um sólido linear elástico,

d . um roteiro simplificado para que o técnico responsável do seu laboratório execute o ensaio (não assuma implicitamente que ele é inteligente o suficiente para entender nas entrelinhas o que você quer, ou seja, escreva ordens curtas, no imperativo, que qualquer um consiga seguir) e para que ele calcule os resultados relevantes do mesmo (ou seja, o roteiro deve conter as fórmulas que o técnico usará, usando variáveis que ele medirá na execução do ensaio) e

e . sua estimativa sobre a possibilidade de se obter ou não um resultado válido de $J_{\mathrm{I}c}$ para o CP especificado. Se você concluir que não é possível atingir o estado plano de deformação, indique no seu relatório como o resultado do ensaio deverá ser interpretado.

Dicas:

- Escolha a melhor geometria do CP de acordo com as dimensões e forma do material de que você dispõe, ou seja, o CP deve aproveitar o máximo do material, mas o corpo de prova não pode ter nenhuma dimensão maior que o produto disponível.

- Para o item b, assuma que o técnico já sabe como crescer a pré-trinca de fadiga no material em questão, você não precisa se preocupar com este procedimento, somente deve especificar qual é o comprimento de pré-trinca que deve ser objetivado no ensaio, partindo da raiz do entalhe.
- Para o item c, assuma que o material se comporta como um material elástico linear e que o ensaio é realizado no EPD, colete os dados de K_{Ic} e σ_e para o material a partir da literatura e faça os cálculos necessários.
- O roteiro desejado para o ensaio deve ser conciso e simples, porém completo, para que o técnico possa executar o ensaio e fazer as contas necessárias sem precisar consultar você mais tarde (lembre-se que a pré-trinca pode ter um tamanho diferente do especificado por você).
- Lembre-se que o material pode apresentar deformação plástica significativa durante a execução do ensaio e que, em princípio é possível que o material nem sofra falha catastrófica. Estime a possibilidade disso acontecer com seu material e faça a recomendação sobre qual parâmetro característico da tenacidade do material será obtido no ensaio.
- Todos os materiais, nas condições de processamento que foram especificadas, tem valores de K_{Ic} e σ_e que podem ser encontrados em livros na biblioteca, mas você pode consultar outras fontes de informação. Em tempo: a fonte de informação, bem como os valores escolhidos, devem ser especificados no relatório.
- Por fim, foi-lhe solicitado **um relatório**, portanto, não se esqueça de se preocupar com a aparência do texto (não precisa ser digitado, mas deve ter uma aparência que não assuste o gerente) e lembre-se de identificar-se como o autor do mesmo, isto é, faça uma capa. O desenho do CP pode ser esquemático e feito à mão, desde que contenha todas as cotas e tolerâncias necessárias para permitir usinar o CP (mas se quiser pode usar o CAD e desenhar em escala também). Cada item considerado deve cuidadosamente justificado no relatório e as contas realizadas por você para obter as respostas devem ser explicitamente apresentadas (em princípio seu gerente pode querer checar suas conclusões).

2 . A Figura representada nas folhas em anexo apresenta o resultado de um ensaio ensaio de tração executado em corpo de prova idêntico ao ensaiado na aula de laboratório em duas escalas diferentes. As dimensões do corpo de prova são dadas na própria figura e foram determinadas pelo técnico que executou o ensaio. Elas devem ser usadas para analisar os dados. O ensaio foi realizado com extensômetro. Com base nesses dados determine:

a. O módulo de Young do material, E (vale 0,5 ponto)

b. O limite de escoamento com 0,2% de desvio (*offset*), $\sigma_e^{0.002}$ (vale 0,5 ponto)

c. O limite de resistência, σ_u (vale 0,5 ponto)

d. O alongamento uniforme, ε_u (vale 0,5 ponto)

e. O alongamento na fratura, ε_f (vale 0,5 ponto)

Tabela 1: Resultados obtidos por Kim *et al.* para a tenacidade à fratura de aços M2 nos estados como temperado e após duplo revenido a 565°C por 1,5 horas.

T_A [°C]	HRC	HV_{20N} [Kgf mm^{-2}]	K_{Ic} [MPa m^{0,5}]
980	55,8	645,7	26,6
1040	58,5	706,4	25,5
1095	62,4	786,8	19,4
1150	64,5	869,1	15,7
1205	64,8	844,6	13,6
1230	64,4	827,7	16,3
1245	64,4	841,3	16,0

Notas:

- Expresse os seus resultados em unidades do SI (outras unidades, mesmo que corretas, reduzem em 50% o valor do item), use g = 9,8 m s^{-2} como aceleração da gravidade, caso necessário (mas note que a carga já foi expressa em Newton).
- Lembre-se: as deformações a que se referem os itens d) e e) são deformações **plásticas**.
- Apresente as construções gráficas nas folhas que contém os gráficos e entregue-as junto com sua prova (não se esqueça de escrever seu nome nesta folha, seu número USP também, caso sua caligrafia seja ilegível).

3 . Kim, Johnson e Hosford (Fracture toughness of AISI M2 high-speed steel and corresponding matrix steel, *Metall. Trans.* **13A**, 1982, pp. 1595 – 1605) investigaram o efeito do tratamento térmico de têmpera e revenido sobre a tenacidade à fratura de aços rápidos da classe AISI M2. Os ensaios foram conduzidos usando corpos de prova de flexão em três pontos com entalhe unilateral - SE(B) - com dimensões: largura w = 1 cm, espessura B = 0,5 cm, a = 0,5 cm e distância entre os suportes S = 4cm.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos por estes autores para o aço M2 como temperado (não revenido), sendo que o tempo total de austenitização foi de 10 minutos (7 minutos, considerando o tempo necessário para aquecer o corpo de prova até a temperatura de austenitização). A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para corpos de prova idênticos do mesmo aço M2 após tratamento de duplo revenimento a 565°C por 1,5 horas.

Com base nestes dados responda Ã s seguintes perguntas:

a . Considerando que o limite de escoamento de um material é dado aproximadamente pela relação $3\sigma_e$ = HV, determine se todos os ensaios de tenacidade foram válidos para a determinação de K_{Ic}. (vale 0,5 ponto)

b . Sabe-se que o tratamento de revenido tem por objetivo diminuir a fragilidade inerente causada pelas tensões residuais geradas no material durante o tratamento térmico de

Tabela 2: Resultados obtidos por Kim *et al.* para a tenacidade à fratura de aços M2 nos estados como temperado e após duplo revenido a 565°C por 1,5 horas.

T_A [°C]	HRC	HV_{20N} [Kgf mm^{-2}]	K_{Ic} [MPa m^{0,5}]
980	52,9	589,4	22,9
1040	56,0	642,0	24,0
1095	58,4	693,7	22,7
1150	61,7	782,5	22,0
1205	63,4	820,2	18,1
1230	63,8	825,4	16,0
1245	65,3	889,1	17,1

têmpera. Os resultados de tenacidade à fratura medidos por estes autores são compatíveis com esta afirmação? Porquê? (vale 0,5 ponto)

c . Expresse a relação entre dureza (Vickers) e tenacidade para os dois estados (como temperado, e temperado com duplo revenido) usando as folhas de gráfico distribuídas em anexo e discuta. (vale 0,5 ponto)

d . Qual a temperatura de austenitização para o caso dos corpos de prova revenidos que resulta na melhor combinação de resistência (avaliada pela dureza) e tenacidade para este material? Justifique sua resposta, explicitando o critério numérico que você usou para tomar a decisão. (vale 1,0 ponto)

Dado:

- Critério de validade para um ensaio de K_{Ic}

$$X \geq 2,5 \left(\frac{K_q}{\sigma_e} \right)^2 \tag{1}$$

  onde X é qualquer dimensão **relevante** do corpo de prova.

- Considere a aceleração da gravidade como sendo $g = 9.8$ m s^{-2}.

4 . Em 1944 o Capitão John H. Hollomon publicou um relatório no Watertown Arsenal Laboratory (No. WAL 630/7-2) do Exército dos EUA, intitulado "Tensile stress-strain curves of a 70-30 Brass" (disponível em `http://handle.dtic.mil/100.2/ADA953482` , acesso em 23/9/2019). Neste artigo o autor publica a Tabela 3 e o gráfico da Figura 1.

Com base nestes resultados e assumindo que estamos lidando com uma chapa fina de latão (ou seja, estamos no EPT), calcule:

a. O limite de escoamento em duas condições :

- em cisalhamento puro (isto é, com tensões principais $\sigma_1 = -\sigma_2 = \sigma$ e

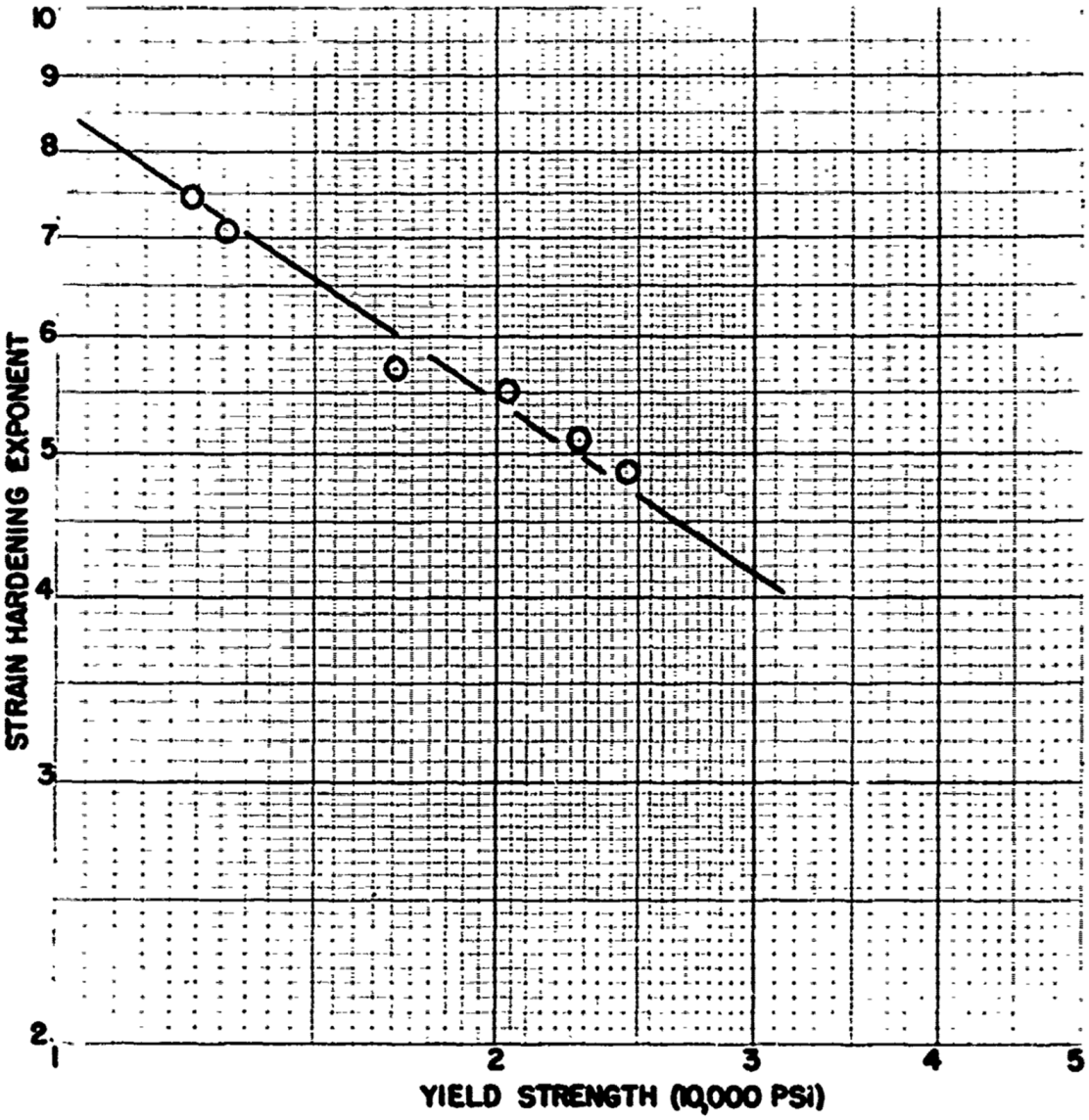

Figura 1: Coeficiente de encruamento em função do limite de escoamento do latão 70/30, resultado original de Hollomon. 1 PSI = 6894,76 Pa.

Tabela 3: Propriedades mecânicas do latão 70/30 em função do tamanho de grão

Amostra	TG [mm]	$\sigma_e^{0.005}$ [MPa]	ε_f
1	0.015	169,6	0,140
2	0.020	157,2	0,138
3	0.025	143,4	0,138
4	0.035	118,6	0,143
5	0.120	89,6	0,128
6	0.200	85,5	0,119

- assumindo condição de tubo de parede fina (ou seja, $2\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$), onde σ_2 é a tensão tangencial e σ_1 é a tensão na direção paralela ao eixo do tubo,

em função da tensão $\sigma = \sigma_e$, e do tamanho de grão (vale 1,0 pontos).

b. como o material é dúctil ele rompe no plano de máxima tensão de cisalhamento, desenhe o círculo de Mohr para as duas condições do item a e localize o plano correspondente em relação a respectivo referencial das direções principais (vale 1,0 ponto)

c. Sabendo-se que o principal uso militar do latão 70/30 é na fabricação de cartuchos para projéteis por meio de estampagem profunda, discuta estes resultados comparando resistência mecânica e estampabilidade (use também o gráfico da Figura 1, que foi retirado do mesmo trabalho, para justificar sua resposta)(vale 0,5 ponto).

Dado:

- Critério de von Mises - Escoamento ocorre para tensões tais que

$$\sigma_e \leq \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{2}$$