

PMT3306 - Mecânica dos Materiais - Prova 2

A questão 1 deverá ser resolvida pelo aluno, com calma e consultando o material que achar necessário, e deverá ser entregue no dia 30/10/2018, quando o restante da prova será aplicado (a entrega deverá ser feita até as 23:55 do dia 30 pelo sistema moodle). Responda as questões de 2 a 5 a seguir (a questão 1 é incluída para completar a prova).

Questões

1 . Acesse, no sistema moodle, o artigo designado a você pelo seguinte critério. Seja n o último algarismo do seu número USP e m o penúltimo algarismo do seu número USP. O artigo designado será:

- Artigo 1, se $n = 5$
- Artigo 2, referindo-se à liga HR6W, se $n = 6$,
- Artigo 3, referindo-se à liga Sanicro25, se $n = 0$,
- Artigo 4, se $n = 4$,
- Artigo 5, se $n = 2$,
- Artigo 6, se $n = 1$,
- Artigo 7, se $n = 8$,
- Artigo 8, referindo-se à liga AISi9Cu3, se $n = 3$,
- Artigo 9, referindo-se à liga AZ31, se $n = 9$,
- Artigo 10, referindo-se à microestrutura trifásica, se $n = 7$,

A seguir execute as seguintes tarefas:

- a. Descreva, consultando a introdução do artigo e outras fontes, o material investigado pelos autores do artigo e seu principal uso na engenharia, em aplicações envolvendo altas temperaturas (vale 0,5 ponto),
- b. Pesquise e descreva os principais mecanismos de endurecimento do material em questão, no que tange à sua contribuição para aumento da resistência mecânica a quente e à fluência (vale 0,5 ponto)
- c. Descreva os ensaios que os autores do artigo que lhe foi atribuído executaram e como eles quantificam a resistência mecânica a quente ou à fluência do material (vale 0,5 ponto)
- d. Estime o valor do tempo de ruptura em fluência e/ou da taxa mínima de fluência (o que for mais conveniente dependendo da curva mestre que os autores determinaram) para uma situação hipotética em que esse material será solicitado em fluência com uma tensão constante de 10 MPa a uma temperatura dada por:

$$T = T_{min} - (m + 0,25) \times 10 \quad (1)$$

onde T_{min} é a menor temperatura de ensaio que os autores utilizaram no artigo que lhe foi atribuído, excluindo-se, naturalmente, a temperatura ambiente quando for o caso (vale 0,5 ponto).

- e. Caracterize o comportamento mecânico do material que foi estudado no artigo que lhe foi atribuído extrapolando o valor estimado para a temperatura do item d (vale 0.5 ponto).

2 . A Figura 1 apresenta superfícies de fratura de um aço ferrítico-bainítico para construção *offshore* que foram obtidas¹ na região de propagação instável de corpos de prova de CTOD. As imagens

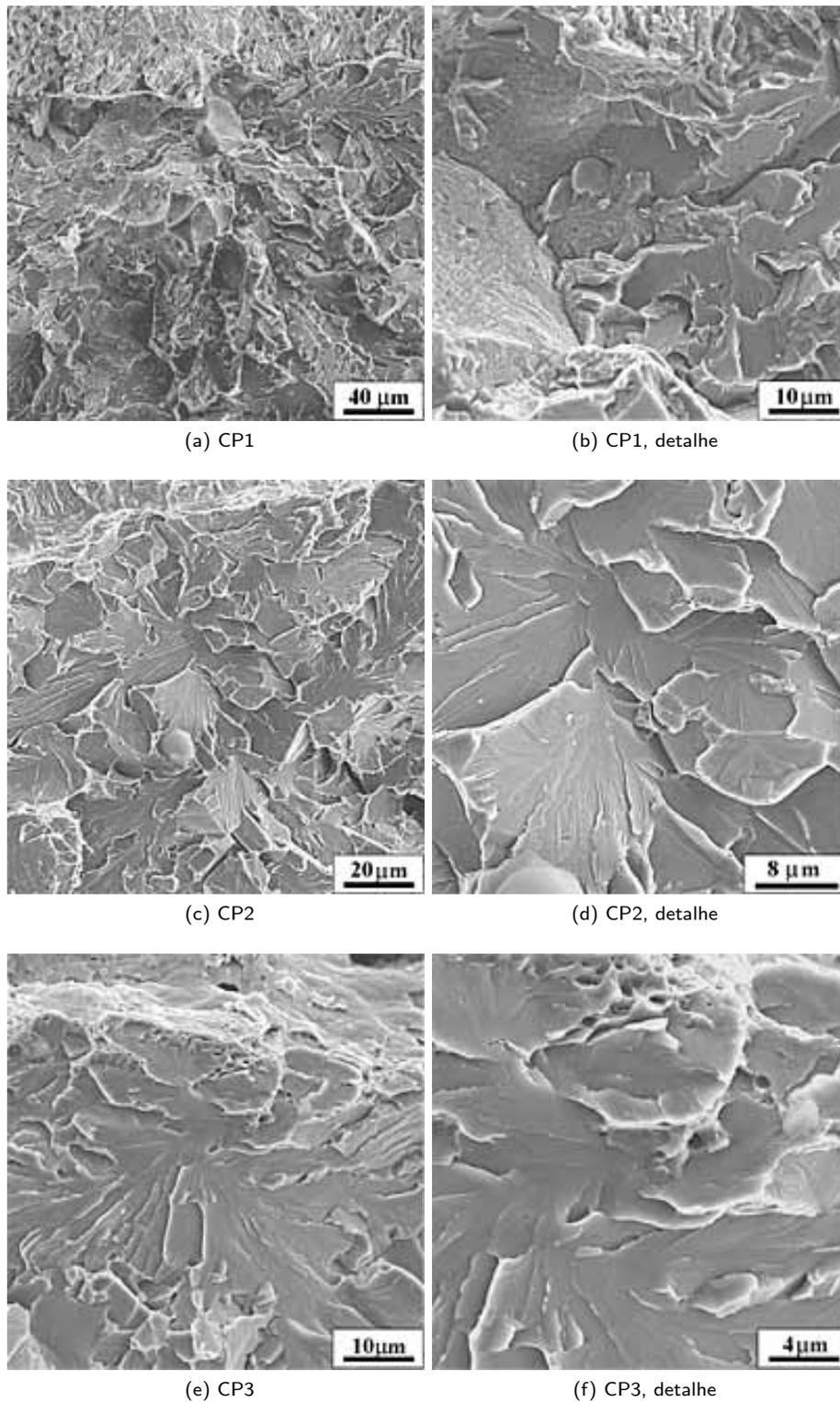


Figura 1: Superfícies de fratura de corpos de prova de CTOD fabricados de aço ferrítico-bainítico para construção *offshore*. (a - b) corpo de prova 1 apresentou baixa tenacidade, (c - d) corpo de prova 2 que apresentou média tenacidade e (e - f) corpo de prova 3 que apresentou alta tenacidade. Escala baixa (a, c, e) e detalhes ampliado das imagens (b, d, f).

correspondem à região de início de propagação instável, logo após a pré-trinca de fadiga e são apresentada em duas escalas diferentes. Com base nessas informações responda:

- a. Identifique o(s) mecanismo(s) de fratura apresentados² em cada corpo de prova (na escala baixa – a, c, e – ou ampliada – b, d, f), vale 0,6 ponto,
 - b. Os autores afirmam que as imagens do detalhe (imagens b, d, f) correspondem aos respectivos pontos de nucleação da trinca, qual (quais) característica(s) morfológica(s) as imagens apresentam que justifiquem essa afirmação? vale 0,3 ponto,
 - c. O quê pode justificar a afirmação dos autores de que as imagens do corpo de prova 1 (figuras a - b) correspondem a um estado de tenacidade menor que a do corpo de prova 2 (imagens c - d) e dessa menor que a do corpo de prova 3 (imagens e - f)? vale 0,6 ponto.
- 3 . A Figura 2 apresenta a superfície de fratura de um corpo de prova feito de resina Epoxy (portanto, um polímero termorígido). Identifique as regiões morfológicas marcadas com as letras (a), (b) e (c) e descreva como essa fratura se processou (em que ponto se iniciou e em que direção se propagou)? vale 1,0 ponto.

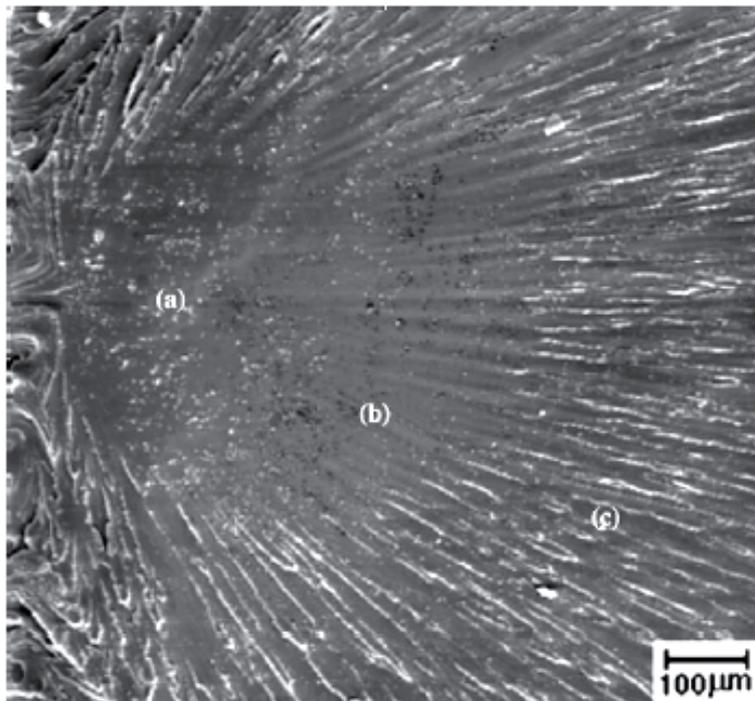


Figura 2: Superfície de fratura de um corpo de prova constituído de resina termorígida (epoxy).

- 4 . Aços para oleodutos são aços microligados (também conhecidos como Aços de Alta Resistência, Baixa Liga, ARBL) que são submetidos a processamento termomecânico para obter propriedades ótimas de resistência e tenacidade (entendida como tenacidade ao impacto). Eles são regulados por uma norma do *American Petroleum Institute* (API) denominada 5L. Nela eles são classificados de acordo com o valor do limite de escoamento (LE) em X65, X70, X80 etc (o número se refere

¹S. R. Bordet, A. D. Karstensen, D. M. Knowles, C. S. Wiesner, disponível em <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/a-new-statistical-local-criterion-for-cleavage-fracture-in-steel-part-ii-application-to-an-offshore-structural-steel/>, acesso em 29/10/2018.

²Note que pode haver mais de um mecanismo presente em cada superfície de fratura.

ao valor do LE em kPSI). Shin *et al.*³ estudaram a tenacidade de três aços da categoria, dois X70 (com diferentes rotas de processamento, denominados aços A e B respectivamente) e um X80 (denominado aço C). Os autores realizaram ensaios Charpy e ensaios de queda de peso (DW), entre outros. Os ensaios de queda de peso foram realizados com corpos de prova na espessura da chapa (25 mm) e em corpos de prova com espessura reduzida para 19 mm (denominados 25t e 19t respectivamente). A Tabela 1 resume alguns dos resultados obtidos pelos autores para os três aços.

Tabela 1: Resumo dos resultados de Shin *et al.* nos ensaios de impacto. LE é o limite de escoamento e ε_f é o alongamento (ambos medidos em ensaio de tração), Energia se refere à média da energia na região dúctil (*upper shelf*), T_C é a temperatura correspondente à média das energias do *upper shelf* e do *lower shelf* (média das energias na região completamente frágil), NDT é a temperatura de transição para ductilidade nula medida nos ensaios DW.

Aço	LE MPa	ε_f %	Charpy Energia (J)	Charpy T_C (°C)	DW (NDT 25t) °C	DW (NDT 19t) °C
A	504	28,3	244	-79	-28	-40
B	471	33,3	194	-99	-41	-49
C	587	22,6	200	-97	-30	-36

Com base nessas informações, responda:

- Considerando que os corpos de prova Charpy são usinados na geometria padrão (7,5 × 10 × 55 mm) enquanto que os corpos de prova para DW são usinados com a espessura muito maior, explique as variações de temperatura crítica nas três situações de ensaio, vale 1,5 ponto,
 - Compare os valores dos parâmetros de resistência e ductilidade tradicionais com os medidos nos ensaios de impacto, pode-se identificar alguma correlação nesses dados? vale 1,0 ponto.
5. Pedrazzoli e Pegoretti⁴ recentemente investigaram o efeito da adição de nanopartículas de sílica nas propriedades de fluência do Polipropileno (PP). Esses autores investigaram composições envolvendo in PP isotático como matriz, com adições (5% vol.) de PP graftizado com anidrido maleico (PPgMA) e com adições (5% vol.) de cargas de nanosílica em duas formulações, uma não tratada (A380) e outra com tratamento superficial (funcionalização com dimetilclorosilano, denominada R974). Os autores então ensaiaram o material em fluência com uma carga constante (σ_0) de 3 MPa, por 3600 s com temperatura de referência (T_0) de 30°C. Por fim, os autores apresentam a curva mestre (Figura 3) para o módulo de flexibilizado em fluência (na nomenclatura deles, representanda por D), definido como:

$$D(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_0} \quad (2)$$

usando o princípio da superposição termo-temporal.

O fator de deslocamento utilizado segue a teoria de Williams - Landel - Ferry (WLF) e é definido como:

$$\log a_{T_0}(T) = -\frac{C_1(T - T_0)}{C_2 + (T - T_0)} \quad (3)$$

com C_1 e C_2 definidos como constantes empíricas que dependem do material.

Com base nessas informações analise o comportamento das três formulações de polímero, respondendo:

³S. Y. Shin, B. Hwang, S. Lee, K. B. Kang, Metall. Mater. Trans A 38A, 2007, 537 – 551.

⁴D. Pedrazzoli, A. Pegoretti, Polym. Bull. 71, 2014, 2247 – 2268.

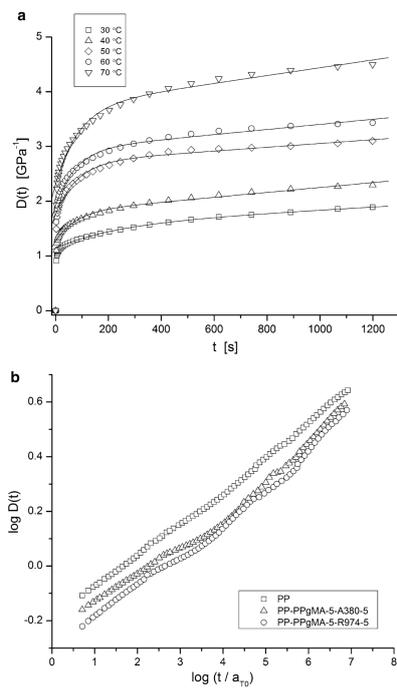


Figura 3: Resultados de Pedrazzoli e Pegoretti para o módulo de flexibilidade em fluência (a) e as curvas mestre correspondentes (b) para três formulação do PP, com e sem adição de carga e PPgMA.

- Qual formulação apresenta melhor resistência à fluência? vale 1,0 ponto,
- Qual hipótese você pode estabelecer para explicar essas variações de resistência à fluência? vale 1,5 ponto.