PMT2200 – Ciência dos Materiais – Prova 1 - Gabarito

Questão 1

A Figura 1 mostra a microestrutura de uma liga usada como material resistente ao desgaste abrasivo na indústria de mineração. Trata-se de um ferro fundido branco de alto cromo. Esta microestrutura é bifásica, sendo que a fase branca corresponde a um carboneto misto de ferro e cromo com estequiometria $(Fe,Cr)_7C_3$ e a fase acinzentada corresponde a uma matriz metálica (neste caso possivelmente martensítica). A fase carboneto encontra-se tanto na forma de partículas grosseiras, constituindo o remanescente de um eutético, como na forma de finos precipitados esféricos no interior da matriz. Este material se caracteriza por uma dureza elevada (portanto, também por uma resistência mecânica elevada). Com base no que você aprendeu nas aulas de materiais compósitos e nas aulas de mecanismos de deformação plástica, responda:

a) Analisando esta microestrutura como característica de um compóstito *in situ* (ou seja, natural), discuta qual é a função da fase reforço (carboneto) e da fase matriz para o desempenho deste material.

b) A matriz, apesar de ser menos dura que o reforço, também precisa ter uma dureza (= resistência mecânica) elevada para resistir ao material abrasivo. Esta dureza é parcialmente intrínseca da matriz, porém os precipitados atuam aumentando ainda mais a dureza. Dado que estas partículas de carboneto tem tamanho típico superior a 1μm, discuta qual o mecanismo de endurecimento responsável por este efeito dos precipitados sobre a resistência da matriz.

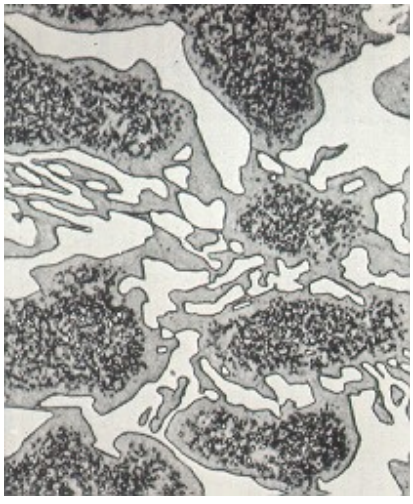

Figura 1- Microestrutura típica de um ferro fundido branco de alto cromo resistente ao desgaste abrasivo.

Solução:

a) carbonetos são duros e resistentes, conferindo estas propriedades para o material, eles, entretanto, são frágeis. A função da matriz, portanto, é reduzir a fragilidade do material.

b) as partículas de carboneto da matriz atuarão como precipitados grosseiros, aumentando a resistência da matriz pelo mecanismo de endurecimento por precipitação, através do mecanismo de Orowan.

Critério de correção:

A resposta do aluno deverá conter os termos grifados ou outros percebidos como equivalentes.

Questão 2

Aços rápidos ("high speed steels") são ligas de ferro contendo carbono, tungstênio, molibdênio, vanádio, cromo e outros elementos, desenhadas para atingir um elevado valor de dureza por tratamento térmico de têmpera e revenimento. Dentre os aços rápidos, o mais popular é o aço AISI M2, que apresenta aproximadamente 6%W, 5% Mo, 4% Cr, 2% V e por volta de 1%C. Ele é usado na fabricação de ferramentas (bits, fresas, brocas) de usinagem apresentando elevada resistência ao desgaste (abrasivo e adesivo), o que permite aumentar a velocidade de corte nestas operações (daí o nome). Kim et al. (Fracture toughness of AISI M2 High-speed steel and corresponding matrix tool steel, *Metall. Trans.* **13A**, 1982, pp. 1595 – 1605) mediram a tenacidade à fratura em deformação plana (K_{Ic}) para aços M2 sujeitos a diferentes condições de tratamento térmico (Vide a Figura 2), que consiste em austenitizar (aquecer a uma temperatura T_A onde a austenita é estável), temperá-lo e, posteriormente, reaquecê-lo a uma temperatura intermediária, T_R, em um tratamento chamado de revenido. A Tabela I a seguir sumariza alguns dos resultados de K_{Ic} obtidos por estes autores em função de algumas escolhas de temperaturas de tratamento térmico.

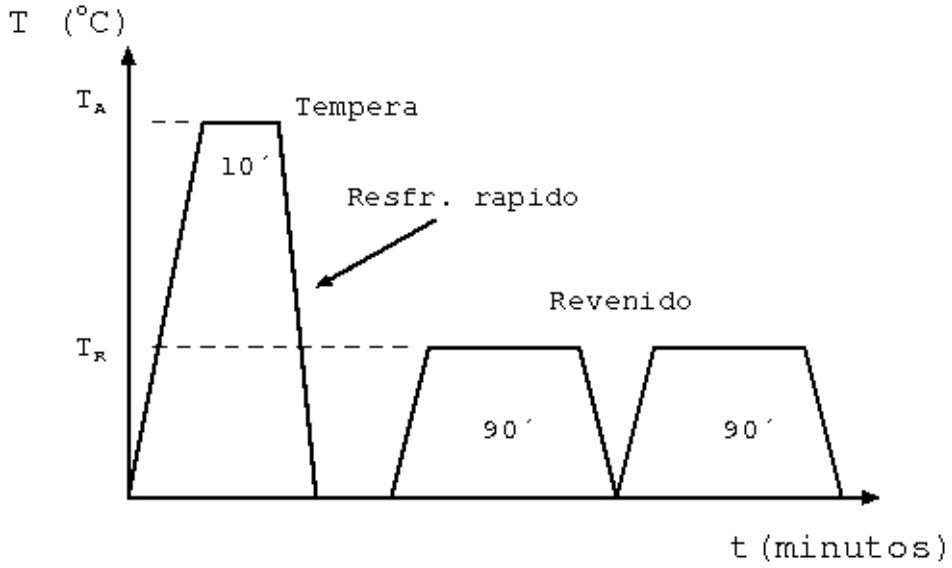

Figura 2- Esquema do ciclo térmico correspondente ao tratamento térmico de têmpera e revenido do aço AISI M2.

Tabela I – Resultados de tenacidade à fratura obtidos por Kim et. al. Para um aço AISI M2 sujeito a três diferentes condições de tratamento térmico de têmpera e revenido.

T_A [ºC]	T_R [ºC]	Tenacidade [MPa $m^{0.5}$]
980	565	22,9
1205	565	18,1
1205	510	15,9

Com base nestes valores e supondo que o componente fabricado a partir deste aço estará sujeito, em serviço, a uma tensão máxima de tração de 400MPa, calcule o tamanho máximo do defeito crítico superficial (isto é, use Y = 1,12) aceitável para as três condições de tratamento térmico. Qual é a condição mais segura para o tratamento térmico deste componente?

Solução:

$$Y\sigma\sqrt{\pi a_c} = K_{Ic} \Rightarrow a_c = \frac{1}{\pi}\left(\frac{K_{Ic}}{Y\sigma}\right)^2$$

Condição T_A = 980*ºC* T_R = 565 *ºC*

$$a_c = \frac{1}{\pi}\left(\frac{22{,}9}{1{,}12 \times 400}\right)^2 \Rightarrow 0{,}83 \times 10^{-3}[m]$$ *ou ainda* 830 μm

Condição T_A = 1205*ºC* T_R = 565 *ºC*

$$a_c = \frac{1}{\pi}\left(\frac{18{,}1}{1{,}12 \times 400}\right)^2 \Rightarrow 0{,}52 \times 10^{-3}[m]$$ *ou ainda* 520 μm

Condição T_A = 1205*ºC* T_R = 510 *ºC*

$$a_c = \frac{1}{\pi}\left(\frac{15{,}9}{1{,}12 \times 400}\right)^2 \Rightarrow 0{,}40 \times 10^{-3}[m]$$ *ou ainda* 400 μm

A condição mais segura, portanto é a austenitização a 980*ºC e revenido a* 565*ºC pois neste caso o material tolera defeitos superficiais maiores sem o risco de fratura catastrófica.*

Critério de correção:

O aluno deverá calcular corretamente os três valores de tamanho de defeito crítico e concluir corretamente que a condição T_A = 980*ºC* T_R = 565 *ºC é a mais segura.*

A questão vale um ponto se o aluno errar o cálculo do defeito crítico ou se não concluir corretamente qual a condição mais segura.

Questão 3

A Figura 3 mostra as projeções a φ_2 =45º da Função de Distribuição de Orientações Cristalográficas de três aços elétricos e um ábaco simplificado para esta projeção. Com base nestas informações responda:

(a) – Quais são as orientações mais frequentes nos três casos?

(b) – Qual dos três aços seria o melhor candidato à aplicação na fabricação de núcleos de motores elétricos? Porque?

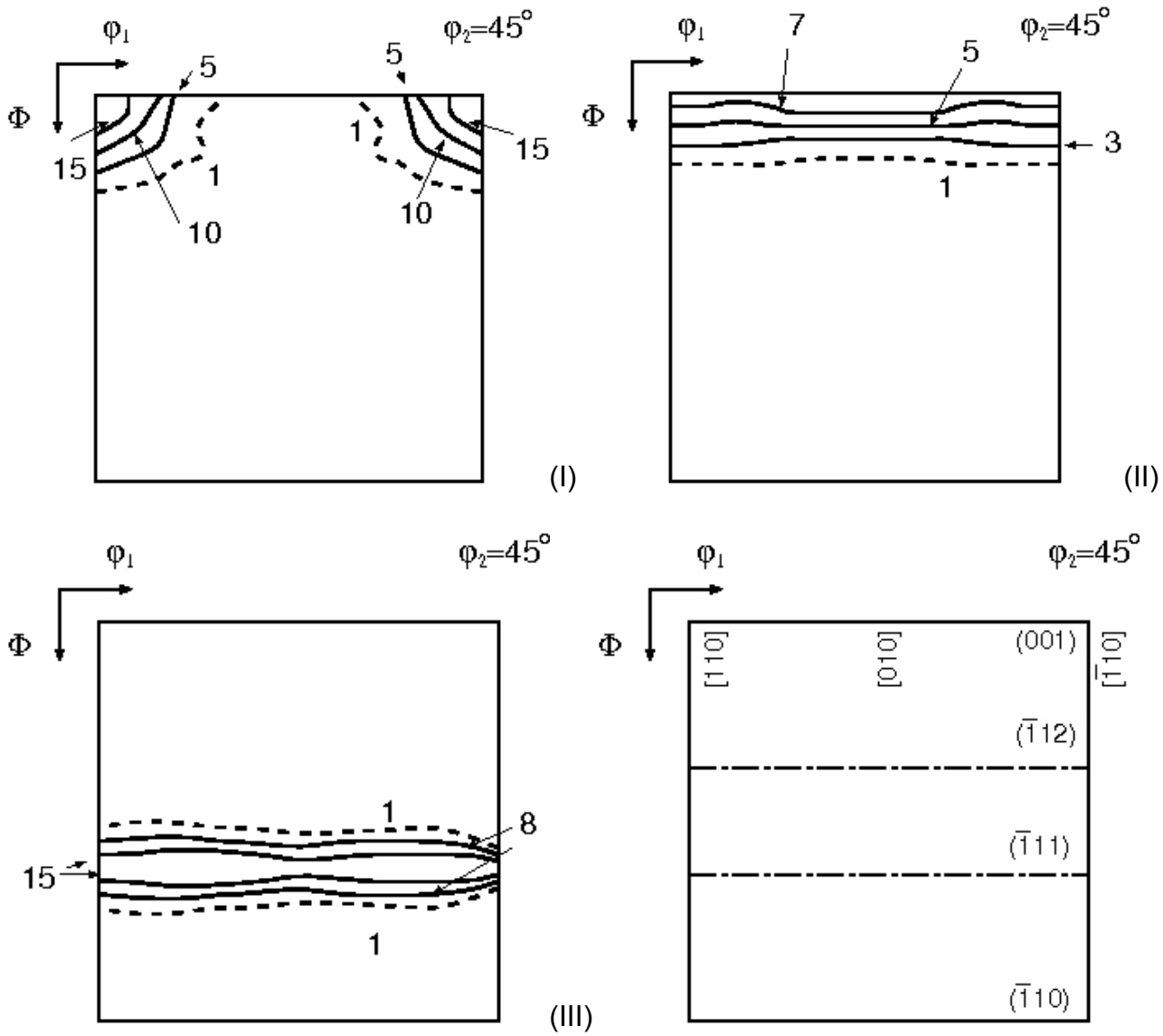

Figura 3 – Projeções a φ_2 = 45º da Função de Distribuição de Orientações Cristalográficas de três aços elétricos (casos I, II e III) e o ábaco simplificado correspondente.

Solução:

a)

Caso I – Orientações $[110](001)$

Caso II – Orientações $[uvw](001)$

Caso III – Orientações $[uvw](111)$

b) O melhor aço para fabricação de núcleos de motores elétricos seria o representado no caso II, pois ele apresenta uma distribuição aproximadamente aleatória de direções (100) no plano da chapa, o que contribui para uma diminuição das perdas de energia durante o ciclo de histerese.

Critério de correção:

Um ponto para o item a) e um ponto para o item b), caso o aluno erre parte do item a), conferir nota proporcional.

Questão 4

Um corpo de prova cilíndrico de tração foi usinado a partir de um monocristal de Ródio (Rh) que possui estrutura cristalina cúbica de faces centradas (CFC) com parâmetro de rede a_0 = 0.3803 nm. O eixo do corpo de prova foi orientado na direção $[137]$, de tal forma a favorecer a ativação de discordâncias completas com vetor de Burgers $\frac{a_0}{2}[101]$ deslizando no plano $(\bar{1}11)$, entretanto discordâncias completas em cristais CFC podem se decompor em discordâncias ditas parciais segundo a reação:

$$\frac{a_0}{2}[101] \rightarrow \frac{a_0}{6}[112] + \frac{a_0}{6}[2\bar{1}1]$$

Com base nestas informações calcule a tensão de cisalhamento projetada que atua sobre cada uma das discordâncias parciais em função da tensão de cisalhamento projetada que age sobre a discordância completa e responda o que ocorreria em um ensaio de tração usando este corpo de prova supondo que as três discordâncias possuem a mesma tensão de cisalhamento projetada crítica (τ_{CRSS})? As opões são:

(a) A discordância completa escorrega a uma tensão σ inferior às demais.

(b) A discordância parcial com vetor de Burgers $\frac{a_0}{6}[112]$ escorrega a uma tensão σ inferior às demais.

(c) A discordância parcial com vetor de Burgers $\frac{a_0}{6}[2\bar{1}1]$ escorrega a uma tensão σ inferior às demais .

(d) As duas parciais escorregam a uma mesma tensão σ inferior à da discordância completa.

Solução:

A tensão projetada sobre o sistema de escorregamento será dada por $\tau = \sigma\cos(\varphi)\cos(\lambda)$ *, mas depende somente do plano de escorregamento que é o mesmo para os três casos. A questão pede para calcular a tensão projetada em cada uma das parciais em função da tensão projetada na discordância completa, desta forma temos:*

$\frac{\tau_{[112]}}{\tau_{[101]}}=\frac{\cos(\lambda_{[112]})}{\cos(\lambda_{[101]})}$ *e* $\frac{\tau_{[2\bar{1}1]}}{\tau_{[101]}}=\frac{\cos(\lambda_{[2\bar{1}1]})}{\cos(\lambda_{[101]})}$ *, usando a definição do cosseno diretor temos*

$$\frac{\tau_{[112]}}{\tau_{[101]}}=\frac{(1\times1+1\times3+2\times7)\sqrt{2}\sqrt{59}}{(1\times1+0\times3+1\times7)\sqrt{6}\sqrt{59}}=\frac{18}{8}\times\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{6}}=1{,}29 \quad e$$

$$\frac{\tau_{[2\bar{1}1]}}{\tau_{[101]}}=\frac{(2\times1-1\times3+1\times7)\sqrt{2}\sqrt{59}}{(1\times1+0\times3+1\times7)\sqrt{6}\sqrt{59}}=\frac{6}{8}\times\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{6}}=0{,}43 \quad .$$

Vemos portanto que a tensão de cisalhamento projetada sobre a parcial com vetor de Burgers paralelo a [112] *é 29% maior que aquela que age sobre a discordância completa para uma mesma tensão normal s aplicada no corpo de prova. Assumindo que a tensão de cisalhamento projetada crítica é a mesma para as três discordâncias, concluímos que a opção correta é a b) ou seja, a discordância com vetor de Burgers paralelo a* [112] *irá escorregar a uma tensão normal inferior à das demais.*

Questão 5

Leia o trecho do artigo abaixo, publicado na revista Polímeros Ciência e Tecnologia (vol. 20, nº 1, p. 25-32, 2010) e responda os itens a e b:

> *Sendo uma fonte renovável, reciclável, biodegradável e de baixo custo, o uso de recursos vegetais para a produção de compósitos poliméricos consiste numa alternativa de grande importância tecnológica. Para países com forte economia agrícola como o Brasil, o uso de fibras naturais como fonte de matéria-prima para a industria de polímeros reforçados, é uma forma importante de ampliar as possibilidades de explorar suas fontes de matérias-primas naturais com agregação de valor.*
>
> *A importância dos compósitos em engenharia deriva do fato de que, ao combinar-se dois ou mais materiais diferentes, pode-se obter um material compósito cujas propriedades são superiores, ou melhores, em alguns aspectos, as propriedades de cada um dos componentes. Os materiais compósitos podem ser selecionados para dar combinações não usuais de propriedades não existentes em um único material, como resistência mecânica, tenacidade, peso, dureza, condutividade, resistência a corrosão, desempenho em altas temperaturas, dentre outras.*
>
> *Os polímeros nitrílicos são amorfos, não cristalinos, e necessitam de cargas de reforço para que suas propriedades sejam otimizadas. O sistema borracha/reforço, como borracha/cargas inorgânicas, e no caso especial borracha/fibras, podem ser considerados compósitos que combinam a resistência e rigidez do reforço com o*

comportamento elástico da borracha.

Entretanto, uma limitação ao uso de fibras naturais como reforços em matrizes termoplásticas, de modo a obterem- se materiais compósitos com propriedades mecânicas e estabilidade dimensional melhoradas, é a pequena molhabilidade e a fraca ligação interfacial com o polímero, devido a pouca compatibilidade entre as fibras celulósicas hidrofílicas com os termoplásticos hidrofóbicos. O desempenho de compósitos reforçados com fibras, além das características da fibra, também depende da compatibilização entre a fibra e a matriz de borracha. Métodos físicos e químicos podem ser usados para modificar as fibras de reforço, otimizando a interface fibra-matriz. A literatura relata diversos estudos onde as propriedades físico-químicas e a modificação da superfície das fibras vegetais são investigadas, objetivando sua utilização em materiais compósitos. Entre as fibras vegetais produzidas no Brasil, as fibras de sisal se destacam pelas suas características físico-químicas e propriedades mecânicas. Esta fibra esta entre as fibras vegetais mais utilizadas mundialmente. Quimicamente, as fibras vegetais consistem de celulose, hemicelulose, lignina e uma pequena quantidade de ceras e gorduras.

a – Leia as afirmações de I até IV e responda verdadeiro ou falso. Nas afirmações falsas, justifique sua resposta. As afirmações falsas sem justificativa não serão consideradas.

I. o material compósito é monofásico
II. o polímero nitrílico é a fase dispersa e a fibra de sisal é a fase matriz do compósito estudado
III. o problema em se utilizar fibras vegetais como fase dispersa é a interface entre a fase polimérica e a fibra
IV. ao se substituir o reforço em forma de fibra por um reforço inorgânico particulado, se obtém, sempre, um compósito com melhores propriedades mecânicas

b - Responda a pergunta abaixo:
Porque a interface interfere nas propriedades do compósito estudado?

Solução:

a)

I falso . O material compósito é multifásico.

II falso. O polímero nitrílico é a fase matriz e a fibra de sisal é a fase dispersa

III verdadeiro

IV. falso. A melhoria em propriedades mecânicas pode ser maior do que a obtida em compósitos com fibra quando o material particulado é composto por partículas finas.

b)

A interface interfere nas propriedades do compósito porque precisa haver transferência de carga da matriz para a fibra. Se a interface for pobre (fraca ligação interfacial) a transferência de carga não é efetiva e a desejada melhoria de propriedades mecânicas não é atingida, mas a energia absorvida na fratura aumenta por dissipação de energia durante o processo de descolamento da fibra (puxamento da fibra – fiber pullout). Quando a adesão entre as duas fases for alta o compósito apresenta boa resistência mecânica, por transferência eficiente de carga da matriz para as fibras, porém o material torna-se frágil. O compósito ideal deve apresentar ligação interfacial intermediária, e para o compósito em questão a molhabilidade deve ser melhorada, mas não em demasia.

Critério de correção:

*1 ponto para o item **a** (no item **a** cada subitem vale 0,25. Descontar 0,25 para cada questão errada ou onde a justificativa não for incluída). 1 ponto para item **b** (aceita-se, naturalmente, respostas semelhantes a estas, mas não serão consideradas respostas óbvias do tipo interface pobre gera propriedade mecânica ruim).*

Formulário

- Fator de intensificação de tensões, $K = Y\,\sigma\,\sqrt{\pi a}$.
- Tensão de cisalhamento projetada, $\tau = \sigma\cos(\varphi)\cos(\lambda)$, onde φ é o ângulo formado entre o plano de escorregamento e o eixo do corpo de prova e λ é o ângulo formado entre o vetor de Burgers e o eixo do corpo de prova.
- Cosseno diretor do ângulo α entre dois vetores $\vec{a}$ e $\vec{b}$: $\cos(\alpha) = \dfrac{\vec{a}\cdot\vec{b}}{|\vec{a}||\vec{b}|}$