

## ANEXO V

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

**Ficha de Expectativa de Resposta da Prova Escrita**

Departamento de Engenharia de  
Materiais

**Área: Microestrutura e Comportamento Mecânico dos Materiais  
Metálicos**

**Questão 01:** Disserte sobre a evolução microestrutural de um aço baixo carbono microligado submetido à laminação controlada, avaliando de forma crítica as modificações da densidade de defeitos microestruturais e sua correlação com as propriedades mecânicas esperadas durante todas as etapas de processamento. (Valor 0,00 a 2,50 pts).

Espera-se que a dissertação aborde os efeitos da composição química e as variáveis do processamento termomecânico frente à dinâmica dos fenômenos de restauração microestrutural (recuperação e/ou recristalização) durante cada etapa indicando com a previsão da microestrutura e das propriedades esperadas para a classe de aços microligados.

**Referências Bibliográficas:**

- SINHA, A.K., *Ferrous Physical Metallurgy*. Butterworths Publishers, 1989
- BHADSHIA, H.K.D.H., HONEYCOMBE, R.W.K., *Steels: Microstructure and Properties*, 2006.
- LESLIE, W.C., *The Physical Metallurgy of Steels*. McGraw-Hill, 1981.
- HUMPHREYS, F.J., HATHERLY, M., *Recrystallization and Related Annealing Phenomena*. Pergamon, 1995.

**Questão 02:** As severas condições de trabalho de aços ferramenta podem exigir combinação extrema de alta dureza e tenacidade, além de estabilidade dimensional. Tal rigidez das especificações técnicas impõe para essa família de aços, além de uma composição com alto C e elevado teor de elementos de liga, tratamento térmico mais complexo e mais caro que os convencionais. Pede-se justificar essa necessidade, com base numa descrição das alterações microestruturais associadas a cada sub-etapa desse tratamento (austenitização, têmpera e revenido) e suas consequentes vantagens ou desvantagens para as propriedades mecânicas do produto final. (Valor 0,00 a 2,50 pts).

A resposta deve destacar a importância que as condições de austenitização (tempo e temperatura) exercem sobre a solubilização de C e elementos de liga (além do tamanho de grão austenítico). Esses fatores afetam os subsequentes resultados da têmpera, uma vez que alteram as temperaturas  $M_i$  e  $M_f$  e assim a quantidade de austenita retida.

Os procedimentos de têmpera (meios de resfriamento e particularmente o eventual tratamento subzero) merecem ser discutidos em função da etapa prévia de austenitização e de fatores como dimensão e geometria da peça.

Especial atenção espera-se seja dedicada a etapa final de revenido, onde devem ser descritas as alterações microestruturais obtidas (eliminação de austenita retida, variação de  $M_i$  e  $M_f$ ), que exigem e justificam revenido duplo (ou múltiplo).

**Referências Bibliográficas:**

- *Aços e Ligas Especiais*; André Luiz V. Costa e Silva e Paulo Roberto Mei;
- *Steels Microstructure and Properties*; R. W. K. Honeycombe.

**Questão 03:** Em relação ao ensaio mecânico de tração, desenvolva um texto apresentando os princípios do teste, principais parâmetros de ensaio, características e tipos de resultados obtidos e as propriedades que podem ser medidas, bem como os seus significados físicos . \_ (Valor 0,00 a 2,50 pts).

Espera-se que o candidato elabore um texto abordando os seguintes tópicos:

- Definições básicas sobre o ensaio de tração, princípios de análise, deformação elástica e plástica e aplicações típicas;
- Parâmetros de ensaio a serem mencionados e definidos:  
Taxa de deformação;  
Temperatura de ensaio;  
Tipos de corpos de prova;
- Mencionar os diagramas tensão de engenharia x deformação de engenharia e tensão verdadeira x deformação verdadeira e explicar as diferenças e aplicações;
- Citar e explicar os significados físicos das seguintes propriedades mecânicas que podem ser obtidas via teste de tração:  
Módulo de elasticidade;  
Módulo de resiliência;  
Módulo de tenacidade;  
Limite de proporcionalidade e limite de escoamento;  
Limite de Resistência;  
Coeficientes de resistência e encruamento;  
Índices de anisotropia.

Referências Bibliográficas:

- Metalurgia Mecânica, George E. Dieter, Ed. Guanabara Dois, 2a. ed., 1.981
- GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime Alvares; SANTOS, Carlos Alexandre dos. Ensaio dos materiais. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

**Questão 04:** Cite e discuta, com base nos fundamentos de metalurgia física, os mecanismos de endurecimento de materiais metálicos. Em sua resposta, apresente também exemplos práticos e tecnológicos de aplicações desses mecanismos para a otimização das propriedades mecânicas de metais. (Valor 0,00 a 2,50 pts).

Espera-se que o candidato apresente e discuta os mecanismos a seguir:

- Endurecimento por solução sólida;  
Apresentar os fundamentos, a interação entre a discordância e os átomos de soluto.  
Exemplos de aplicações: ligas de alumínio, aços ao Mn, Si, Al.
- Endurecimento por precipitação coerente e incoerente;  
Apresentar os mecanismos de Orowan e o cisalhamento de precipitado coerente, zonas de Guinier-Preston e as diferenças de comportamento mecânico em função do tipo de precipitação.  
Exemplos de aplicações: alumínio da série 2000, super-ligas de Ni.
- Endurecimento por deformação ou encruamento (work hardening);  
Discutir o efeito da deformação plástica na resistência dos metais, multiplicação e interação de discordâncias e seu efeito na mobilidade das deslocções, a relação entre a estrutura cristalina e a energia de defeito de empilhamento e o encruamento do material.  
Laminação de encruamento em aços, forjamento.
- Endurecimento por refino de grão;  
Discutir o efeito dos contornos de grão como barreiras à movimentação de discordâncias, bem como o

efeito do tamanho de grão no limite de escoamento do material (Hall-Petch).

Exemplos de aplicações: processo de laminação controlada seguida por resfriamento acelerado de aços API, tratamentos térmicos de normalização e recristalização.

- Endurecimento por transformação de fase.

Apresentar os conceitos de endurecimento por transformação de fases ou microconstituintes com maior resistência mecânica.

Exemplos de aplicações: Aços Dual Phase.

#### Referências Bibliográficas:

- Metalurgia Mecânica, George E. Dieter, Ed. Guanabara Dois, 2a. ed., 1.981
- REED-HILL, R.E., Princípios de Metalurgia Física, Ed. Guanabara Dois, 2a. edição, 1.982.
- Modern Physical Metallurgy, R.E. Smallman, 4th, ed, Butterworth, London, 1985.

#### CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO PARA TODAS AS QUESTÕES

- Clareza e propriedade no uso da linguagem;
- Coerência e coesão textual, com uso correto da Língua Portuguesa;
- Domínio dos conteúdos, evidenciando a compreensão dos temas objeto da prova;
- Domínio e precisão no uso de conceitos;
- Coerência no desenvolvimento das ideias e capacidade argumentativa.

Assinatura dos Membros da  
Comissão

1º membro (Presidente):

2º membro:

3º membro: