DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE AÇOS INOXIDÁVEIS EM TEMPERATURAS CRIOGÊNICAS

Larissa Ohana Felício (PIBIC/Fundação Araucária/UEPG), Maxwell S. Azevedo, Maicon R. Crivoi, Ricardo S. Namur, Marcel T. Izumi,Osvaldo Mitsuyuki Cintho (Orientador),e-mail: omcintho@uepg.br.

Universidade Estadual de Ponta Grossa/Departamento de Engenharia de Materiais.

Engenharia de Materiais e Metalúrgica, Propriedades Mecânicas dos Metais e Ligas.

Palavras-chave: processamento, aço inoxidável, ensaio de tração criogênica.

Resumo

Estudos recentes têm mostrado que em deformações severas em baixas temperaturas consegue-se elevar a resistência mecânica de materiais metálicos com aumento de ductilidade, principalmente para metais e ligas de alta energia de empilhamento. Deste modo foram caracterizadas amostras de aços inoxidáveis AISI 316 (estrutura austenítica), AISI 430 (estrutura ferrítica) e dúplex 2101 (com ambas as estruturas), submetidos a ensaios de tração em temperatura ambiente e criogênica. Dos ensaios averiguou-se que o AISI 316 apresentou maior resistência a tração e maior alongamento que o AISI 430 devido a estrutura do AISI 316 ser austenítica. Em temperaturas criogênicas o AISI 430 apresentou maior resistência mecânica que em temperaturas ambientes. Para conciliar aumento de resistência mecânica e de ductilidade foi necessário alterar a taxa de deformação do ensaio.

Introdução

Em vários trabalhos recentes tem sido estudada a deformação plástica de metais em temperaturas criogênicas por meio de processamentos convencionais e não convencionais. Por meio da deformação criogênica consegue-se obter metais com elevada densidade de defeitos cristalinos e suprimir a recuperação dinâmica dos materiais durante o processo, deste modo aumentando a resistência mecânica dos materiais metálicos, conciliando com uma boa plasticidade (1-5). Estudos mostram que ao realizar tratamentos térmicos posteriores consegue-se recristalizar o material, obtendo grãos da ordem de sub-micrométricos devido a supressão da recuperação dinâmica junto com a grande densidade de defeitos. Apresentando vantagem de atingir pequenas estruturas em grande volume de produção e sem conter contaminações (2,6).

Como o sucesso deste processamento consiste em acumular defeitos sem recuperação dinâmica (6), neste trabalho estuda-se materiais com diferentes energias de empilhamento (EDE), pois cada EDE apresentam um tipo de deformação que influenciará em suas propriedades finais.

Deste modo, neste trabalho se tentou estudar os aços inoxidáveis AISI 316, AISI 430 e AISI 2101 e analisar seu comportamento mecânico em temperatura criogênicas, pois o AISI 316 apresenta estrutura CFC (cúbica de face centrada), o AISI 430

apresenta estrutura CCC (cúbica de corpo centrado) e o AISI 2101 apresenta ambas as fases, todas com diferentes EDE's.

Materiais e Métodos

Os aços inoxidáveis AISI 316, AISI 430 e AISI 2101 foram laminados até a espessura de 1,5mm, conforme é solicitado pela norma ASTM E8M. Realizou-se um tratamento térmico de recristalização para cada aço a fim de obter uma estrutura equiaxial. Para verificar a eficiência dos tratamentos térmicos, foi retirado uma amostra de cada aço inoxidável e aplicou-se técnicas metalográficas e suas micrograficas foram obtidas pelo microscópio óptico Olympus BX51.
Após a verificação da microestrutura, as amostras foram usinadas em corpos de prova em forma de gravata com as dimensões em torno de: espessura de 1,5mm, largura 5mm e comprimento útil 16mm; e os ensaios de tração foram feitos na máquina universal Shimadzu AG-I 300kN com diferentes taxas de deformação (6.10^{-1} s^{-1},1.10^{-3} s^{-1},6.10^{-4} s^{-1}, 6.10^{-5} s^{-1}) em temperaturas ambientes e criogênicas. Com os resultados obtidos foram construídos gráficos de tensão em função da deformação e analisou-se esses resultados e foram realizadas imagem no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) das superfícies de fratura.

Resultados e Discussão

Na Figura 1 observa-se as micrografias dos aços inoxidáveis a) AISI 316, b) AISI 2101 e c) AISI 430. Verifica-se que em todas as amostras os tratamentos térmicos foram efetivos. Vale resaltar que AISI 2101 apresenta grãos alongados por ser característico dos aços inoxidáveis duplex, e o AISI 430 é possível verificar a forte presença de marcas de laminação, que não são possíveis de eliminar.

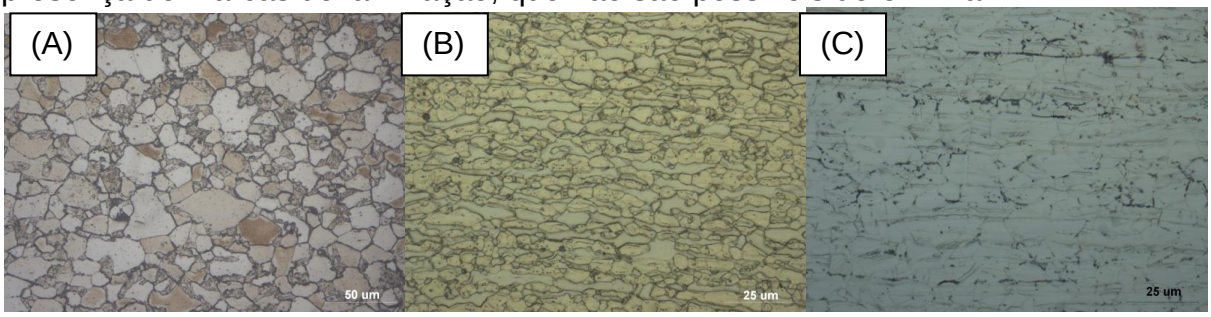


Figura 1 – micrografias dos aços inoxidáveis a) AISI 316, b) AISI 2101 e c) AISI 430.

A Figura 2 apresenta as curvas de tensão-deformação comparando diferentes parâmetros: 2.a) está comparando a resistência mecânica entre os aços AISI 316 e AISI 430; 2.b) diferentes temperaturas do AISI 430 na mesma taxa; e 2.c) diferentes taxas do aço AISI 430 em temperatura criogênica. Assim na Tabela 1 expressa os valores obtidos das curvas tensão-deformação da Figura 2.
Comparando os valores da Tabela 1 o aço AISI 316 apresentou maior resistência a tração e maior deformação, isso se deve principalmente pela sua estrutura austenítica, que por ter uma estrutura CFC, apresenta maior quantidade de planos de deslizamento que permite uma maior mobilidade das discordâncias comparada as estruturas CCC. Na Figura 2.b) observa-se o aumento da resistência a tração em temperatura criogênica, mas com menor deformação. Esse fenômeno ocorre devido

a inibição dos mecanismos de recuperação dinâmica (escorregamento com desvio e escalagem de discordâncias) devido a baixa temperatura e observa-se a mudança do mecanismo de fratura nas Figuras 3.

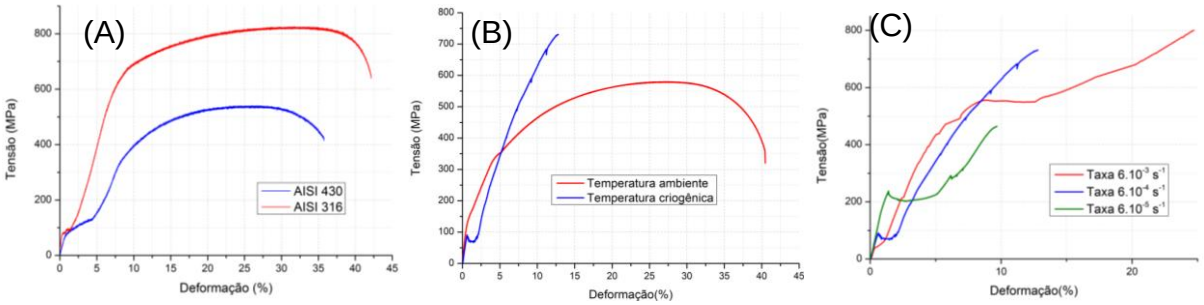


Figura 2 – a) Comparação das curvas tensão-deformação dos aços AISI 316 e AISI 430 com taxa de deformação 1.10^{-3} s^{-1}; b) Comparação das curvas tensão-deformação do AISI 430 em diferentes taxas em temperatura criogênica; c) Comparação das curvas tensão-deformação do AISI 430 em temperatura ambiente e criogênica, taxa 6.10^{-4} s^{-1}.

Tabela 1 – Resultado dos ensaios de tração.

	Taxa (s^{-1})	Temperatura	Deformação (%)	Tensão de Ruptura (MPa)
AISI 316	1.10^{-3}	Ambiente	42,13	643
AISI 430	1.10^{-3}	Ambiente	35,70	414
AISI 430	6.10^{-3}	Criogênica	24,00	800
AISI 430	6.10^{-4}	Ambiente	40,50	321
AISI 430	6.10^{-4}	Criogênica	12,80	731
AISI 430	6.10^{-5}	Criogênica	9,70	465

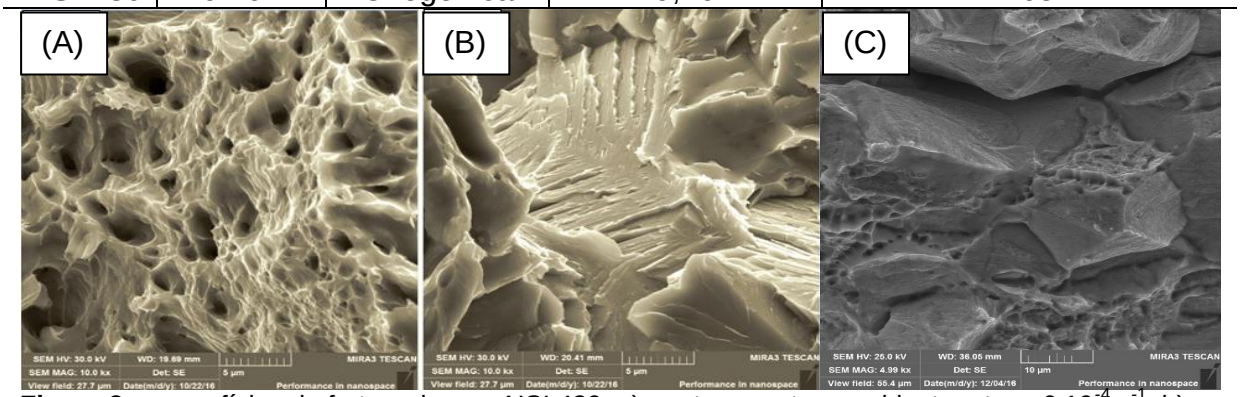


Figura 3 – superfícies de fratura do aço AISI 430: a) em temperatura ambiente a taxa 6.10^{-4} s^{-1}; b) em temperatura criogênica a taxa 6.10^{-4} s^{-1}; c) em temperatura criogênica a taxa 6.10^{-5} s^{-1}.

Na Figura 3.a) há a superfície de fratura do AISI 430 e verifica-se a grande presença de concavidades (*dimples*), caracterizando-o como fratura dúctil, justificando a maior deformação obtida. Figura 3.b) há micrografia do AISI 430 ensaiado em temperatura criogênica, sendo uma fratura com superfícies mais planas, caracterizando-se como uma fratura frágil. Portanto, em temperaturas criogênicas ocorre a fragilização dos aços inoxidáveis ferríticos, conseguem obter maiores resistências mecânicas, mas com ductilidade prejudicada. Desta forma, foi alterada a taxa de deformação e verificou-se pela Figura 2.c) que é possível obter uma maior resistência mecânica combinada com o aumento de ductilidade ao aumentar a taxa de deformação.

Na Figura 3.c) uma mistura de comportamento dúctil e frágil, alguns grãos com orientação preferencial à escorregamento de discordâncias promoveram regiões de fratura dúctil, e outros apresentaram maior dificuldade para deformar e fraturam de forma frágil, por meio de clivagem e fratura intergranular.

Conclusões

O aço AISI 316 atingiu uma maior resistência a tração e ductilidade que o AISI 430. Em temperaturas criogênicas houve maior resistência que em temperatura ambiente do aço AISI 430 devido a inibição de mecanismos de recuperação dinâmica, mas com ductilidade prejudicada. Ao aumentar a taxa de deformação em temperatura criogênica consegui-se aumentar a ductilidade do AISI 430. E diferentes temperaturas de ensaio e diferentes taxas de deformação levaram a diferentes mecanismos de fratura do aço inoxidável ferrítico.

Agradecimentos

Este trabalho não seria possível sem o apoio, ajuda e orientação do Prof. Dr. Osvaldo Mitsuyuki Cintho e de toda a sua equipe, da Universidade Estadual de Ponta Grossa e Fundação Araucária.

Referências

(1) XIAO, G. H.; TAO, N. R.; LU, K. Microstructures and Mechanical Properties of a Cu-Zn Alloy Subject to Cryogenic Dynamic Plastic Deformation. Materials Science and Engineering A. v. 513-514, p. 13-21, 2009.

(2) MARKUSHEV, M. V. et al. Microstructure and Properties of an Aluminum D16 Alloy Subject to Cryogenic Rolling. Russian Metalurgy (Metally). v. 2011, n. 4, p. 364-369, 2011.

(3) SONG, H. R.; KIM, Y. S.; NAM, W. J. Mechanical Properties of Ultrafine Grained 5052 Al Alloy Produced by Accumulative Roll Bonding and Cryogenic Rolling. Metals and Materials International. v. 12, n. 1, p. 7-12, 2006.

(4) ZHANG, Y. et al. Deformation Mechanism of NiTi Shape Memory Alloy Subject to Severe Plastic Deformation at Low Temperature. Materials Science and Engineering A., v. 559, p. 607-614, 2013.

(5) FOMENKO, L. S. et al. Micromechanical Properties of Nanocrystalline Titanium Obtained by Cryorolling. Low Temperature Physics. v. 36, n. 7, p. 645-652, 2010.

(6) KANG, U. G. et al. The Improvement of Strength and Ductility in Ultra-fine Grained 5052 Al Alloy by Cryogenic- and Warm-Rolling. Journal of Materials Science. v. 45, p. 4739-4744, 2010.