



XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
Artigo CREEM2012

ENSAIO CHARPY INSTRUMENTADO DE UM AÇO COM GRÃOS ULTRAFINOS

Jonathan Araújo, Sofia Cravo, Cleiton Assis e Luciana Montanari

USP, Universidade de São Paulo, Curso de Engenharia Mecânica
Campus São Carlos - Bairro Pq Arnold Schimidt - CEP 13566-590 – São Carlos – São Paulo
E-mail para correspondência: jonathan.araujo@usp.com.br

Introdução

O aço é um material essencial à civilização humana. Grandes quantidades de aço de alta qualidade são necessárias para realizar a industrialização dos países e prover condições para a vida moderna da raça humana. Dessa forma, o crescimento e o desenvolvimento econômico dependem da disponibilidade de materiais e energia (Ruth, 1995). Portanto, os melhoramentos nas áreas de materiais e energia requerem processos inovadores os quais aumentem suas eficiências.

Os aços com destino a fins estruturais devem apresentar apreciável resistência mecânica aliada à boa tenacidade, resistência à fadiga, ao desgaste e à corrosão atmosférica (Abdalla, 2006). Além disso, devem apresentar características como serem produzidos facilmente por deformação, bem como trabalháveis por conformação, corte, solda, entre outros. Nesse sentido, o refinamento dos grãos tem sido assunto bastante estudado, posto que aços com grãos finos apresentam propriedades favoráveis tais como boa resistência mecânica aliada à resistência a fratura e a fadiga (Hodgson et al, 1998). Dessa forma, o ensaio de impacto mostra-se uma boa ferramenta de comparação do comportamento sob sollicitação dinâmica entre aços de variados tamanhos de grãos.

O ensaio de impacto é um dos primeiros e até hoje um dos ensaios mais empregados para o estudo de fratura frágil nos metais. Esse ensaio é dinâmico e usado principalmente para materiais utilizados em baixas temperaturas, como teste de aceitação do material (Souza, 1982). A tenacidade de um dado material é uma medida da energia absorvida antes e durante o processo de fratura. Assim, a tenacidade indica a quantidade de trabalho que pode ser realizado sobre o material sem causar a sua fratura. A tenacidade pode ser medida por diferentes ensaios, sob diferentes taxas de deformação (Tokimatsu, 1999).

Embora, a área sob a curva tensão-deformação, obtida num ensaio de tração clássico, seja uma medida da tenacidade, ela é pouco utilizada para caracterizar o comportamento à fratura dos materiais. Dentre os ensaios tidos como convencionais, a tenacidade é mais comumente medida sob altas taxas de deformação como num ensaio de impacto. Isto porque, a medida de tenacidade mais comumente aceita está correlacionada com a resistência que o material oferece a presença de uma trinca ou entalhe, pois, a fratura geralmente ocorre em uma região onde a deformação localizada é muito alta (Tokimatsu, 1999).

O entalhe produz um estado tripla de tensões, suficiente para provocar uma ruptura de caráter frágil, mas apesar disso, não pode medir satisfatoriamente os componentes de tensão existentes, que podem mesmo variar conforme o metal usado ou conforme a estrutura interna a que o metal apresente. Desse modo, o ensaio de impacto em corpos de prova entalhados tem limitada significação e interpretação, sendo útil apenas para comparação de materiais ensaiados nas mesmas condições. O resultado do ensaio é apenas uma medida da energia absorvida e não fornece indicações seguras sobre o comportamento do metal ao choque em geral, o que seria possível se pudesse ensaiar uma peça inteira em condições práticas (Souza, 1982).

O ensaio de impacto mais típico é o Charpy em que a flexão de três pontos é empregada. Um martelo é solto e atinge o corpo de prova retangular. É introduzido um entalhe tipo U, tipo V ou tipo fechadura para facilitar a fratura funcionando como um concentrador de tensões para materiais dúcteis. No caso de materiais frágeis como as cerâmicas, o entalhe não é feito. A altura do martelo antes e depois da fratura é comparada. A diferença é considerada para mostrar a resistência à fratura, e a energia necessária para dobrar e fraturar o corpo de prova (Czichos et al., 2006).

Objetivos

Posto que o refino dos grãos é um método eficaz para o aumento da tenacidade dos aços, este trabalho tem como objetivo realizar a comparação dos sinais obtidos através do ensaio Charpy instrumentado entre

um aço comercial de baixo carbono e seu homólogo submetido a processamento termomecânico para refino de grão.

Materiais e Métodos

O material utilizado nos experimentos foi um aço 0,16%C com baixa quantidade de elementos de liga, fornecido na forma de chapa grossa. As fotomicrografias para a caracterização microestrutural do material “como recebido” e do homólogo com grãos ultrafinos foram obtidas a partir de um microscópio eletrônico de transmissão (MET) da marca Philips, modelo CM120. Também foi utilizado um microscópio óptico (MO) da marca Carl Zeiss Jena, modelo Neophot 21 e uma câmera digital Sony, modelo Cyber-Shot DSC-W80 (7,2 mega pixels de resolução) para capturar imagens da microestrutura. Os ensaios de impacto foram realizados numa máquina de ensaio Charpy instrumentado da marca Heckert, com capacidade padrão de 300 J. A partir do material “como recebido” e do processado termomecanicamente para refino dos grãos foram usinados corpos de prova para realização do Ensaio de Impacto Charpy (Norma ASTM E23) que foi realizado em temperatura ambiente. Para caracterização da microestrutura, amostras de ambos os materiais foram lixados com MESH 120, 220, 320, 400, 600, 1000, polidas com alumina de 1 μm e pasta de diamante de $\frac{1}{4}$ μm . A microestrutura foi revelada utilizando uma técnica de sucessivos ataques em Nital 2% (Massaoka et al, 2010). Para análise em microscopia eletrônica de transmissão foram usinados discos de 3 mm, cortados com espessura aproximada de 39 μm , em seguida foram polidas eletroliticamente no Tenupol usando solução acético/5% e ácido perclórico (v/v) na temperatura de 15 °C. A partir das fotomicrografias foi utilizado o método do Intercepto Linear de Heyn descrito na norma ASTM E112 em 5 orientações distintas de 5 micrografias aleatórias para determinação do tamanho médio dos grãos ferríticos. Os ensaios de dureza foram realizados em um durômetro da marca Leco, modelo RT-240, e a escala de dureza adotada foi a Vickers.

Resultados e Discussão

A Fig. 1 apresenta a microestrutura dos materiais como recebido (a) em microscopia ótica e com grãos ultrafinos (b) em microscopia eletrônica de transmissão. O material como recebido apresenta microestrutura com matriz predominantemente composta por grãos ferríticos e esparsas colônias de perlita geradas pelo bandeamento do carbono decorrente do processo de laminação do material. A microestrutura do material com grãos ultrafinos apresenta morfologia equiaxial dos constituintes, com nucleação de cementita globular nos contornos de grão. O tamanho de grão do material como recebido é de $10,8 \pm 3,8$ [μm] e do material com grãos ultrafinos de $0,7 \pm 0,06$ [μm].

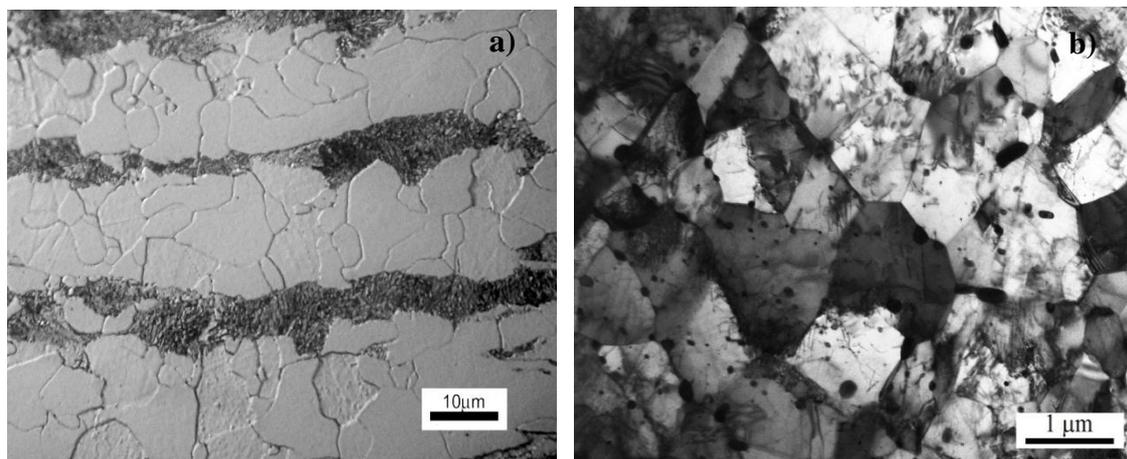


Figura 1 - Caracterização microestrutural do material (a) como recebido e (b) grãos ultrafinos.

Estudo anterior realizado por EBSD (electron backscatter diffraction), em aço processado de maneira similar para refino de grão, mostrou que esta subestrutura apresenta significativo desajuste cristalográfico, podendo na maioria deles ser classificados como grãos ultrafinos (Silva Neto, 2006). Houve a nucleação de cementita globular nos contornos de grão, formada pela transformação da perlita em decorrência da temperatura de trabalho ser menor que a temperatura eutetóide, associada aos níveis de deformação (Montanari et al, 2011). Essa transformação na morfologia ocorreu devido à difusão de carbono, sem que tenha havido mudança significativa na fração volumétrica de cementita. A força motriz para essa transformação foi a redução da energia de superfície, causada pela globulização da cementita na área dos contornos de grão da ferrita (Callister, 2008).

A dureza dos materiais alvo de estudo, também medida para aferir indiretamente a resistência mecânica, apresentou $198,0 \pm 3$ HV para o material como recebido e $216,0 \pm 4$ para o material com grãos ultrafinos. O maior valor de dureza para o material com grãos ultrafinos evidenciou que o refinamento dos grãos propiciou aumento da resistência mecânica, conforme esperado. No entanto, este aumento de dureza tenderia a ser mais significado, o que corrobora para inferir o efeito da cementita globular, presente nos contornos de grão, como fator também influente no grau de endurecimento do material e/ou favorecimento da tenacidade.

Os ensaios de impacto apontaram uma elevação de 230 ± 15 J para 275 ± 6 J na energia absorvida. Dessa forma, o refino dos grãos foi capaz de gerar um aumento da tenacidade mesmo com o aumento da dureza que é um indicativo do aumento da resistência à solicitações quasi-estáticas. Em adição, a formação de particulado grosseiro, aproximadamente esferoidal, nos contornos dos grãos ferríticos auxiliou no aumento da tenacidade pois existe menor área de interface por unidade de volume na forma esférica e, conseqüentemente, a deformação plástica não é tão restrita.

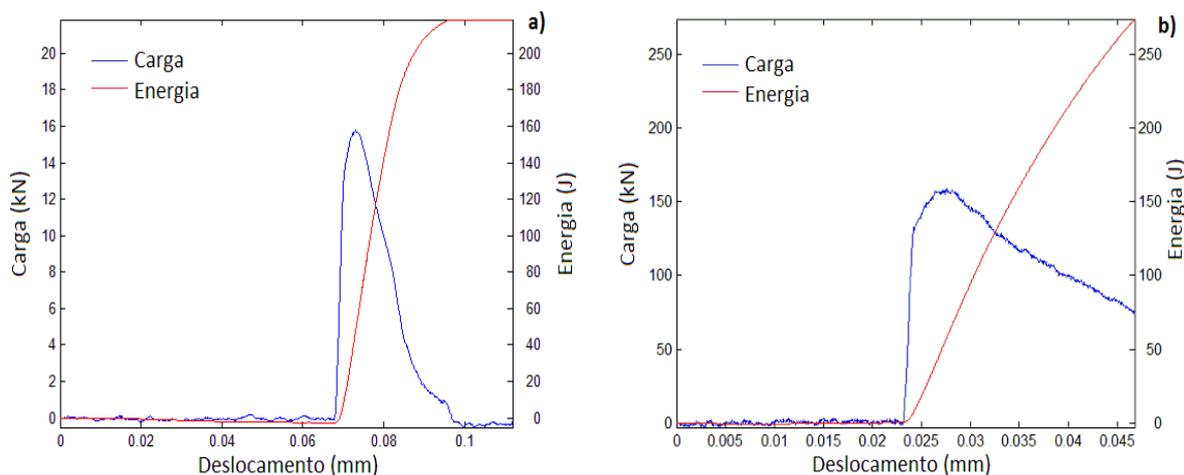


Figura 2 – Sinais obtidos no Ensaio de Impacto Charpy Instrumentado do material “como recebido” (a) e com grãos ultrafinos (b)

O ensaio de impacto do material “como recebido” apresentou carga de escoamento geral (P_{EG}) de 13,5 kN e carga máxima (P_M) de 15,8 kN. Além disso, a energia absorvida para o carregamento máximo (W_M) foi de 47 J. Para o material com grãos ultrafinos a carga de escoamento geral foi de 13,3 kN, carga máxima de 16,1 kN e a energia absorvida para o carregamento máximo de 60 J. Dado que os materiais estudados detêm carácter dúctil ambos não apresentaram a carga de ruptura bem definida posto que a fratura de materiais dúcteis não ocorre por clivagem.

De acordo com os resultados de carga de escoamento e de carga máxima, os dois materiais, apesar da diferença significativa do tamanho dos grãos, apresentaram valores próximos, logo, para solicitações dinâmicas os materiais aparentam possuir o mesmo comportamento para os limites de carga. Estudos mais aprofundados serão realizados com o propósito de compreensão deste fenômeno. O uso da integral nos dados obtidos a partir dos ensaios de tração realizados anteriormente, revelaram que a energia absorvida pelo material até a máxima carga correspondeu a 1587 J para o material como recebido e 2300 J para o material com grãos ultrafinos, mostrando a diferença entre o comportamento dos materiais quando submetidos a solicitações mecânicas dinâmicas ou quasi-estáticas.

Conclusões

Consequente aos resultados e discussões apresentadas este trabalho levou às seguintes conclusões.

- O processamento termomecânico para refino de grão foi bem sucedido, reduzindo o tamanho médio dos grãos de 11 μm para 0,7 μm .
- Ocorreu formação de cementita globular nos contornos dos grãos ferríticos ultrafinos como forma de minimizar a energia de superfície devido à deformação e à temperatura de trabalho necessárias para o refino dos grãos.
- Houve aumento na dureza devido a redução do tamanho médio dos grãos, sugerindo aumento da resistência mecânica a solicitações quasi-estáticas.
- O refino dos grãos influenciou significativamente o aumento da tenacidade, passando de 230 ± 15 J no material como recebido para 275 ± 6 J no material processado termomecanicamente, segundo os ensaios de impacto Charpy.

- A carga de escoamento e a carga máxima para o ensaio de impacto Charpy instrumentado foram próximas para os dois materiais mesmo existindo uma diferença superior a dez vezes no tamanho médio dos grãos ferríticos.
- Mesmo apresentando praticamente a mesma carga de escoamento e carga máxima, os dois materiais apresentaram diferentes energias absorvidas até a carga máxima, sendo 47 J para o material como recebido e 60 J para o homólogo com granulação refinada.
- A integral do sinal até a carga máxima do ensaio de tração realizado anteriormente em ambos materiais mostrou um aumento da energia absorvida quasi-estaticamente de 1587 J no material como recebido para 2300 J no material com grãos ultrafinos.

Por fim, cabe a trabalhos futuros explorar a causa da semelhança do comportamento de materiais com diferentes tamanhos de grãos quando solicitados dinamicamente como no caso do ensaio de impacto.

Agradecimentos

Ao Grupo de Caracterização Mecânica e Microestrutural dos Materiais (GC3M) do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira pelo apoio na realização dos ensaios e coleta de dados.

Referências Bibliográficas

- Abdalla, A. J. et al., 2006, “Formação da fase bainítica em aços de baixo carbono”, Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo, Vol. 25, No. 3, pp.175-181.
- Callister, W. D., 2008, “Ciência e engenharia de materiais: uma introdução”. Rio de Janeiro: LTC, 705 p.
- Czichos, H., Saito, T., Smith, L., Mechanical Properties, Handbook of Materials Measurement Methods, Springer Science Business Media, 2006, pp. 283-387.
- Hodgson, P. D., Hickson, M. R., Gibbs, P. K., J. Materials Science Forum, 284-286, 67(1998).
- Massaoka, H. T., Montanari, L., Assis, C. L. F., Bazanini, N. C., 2010, “Ataque químico para Revelação da Microestrutura de Aços Ferríticos”, 18º Simpósio Internacional de Iniciação Científica, pp. 2
- Montanari, L. et al, 2011, “Refino de grão em aços baixo carbono: uma revisão crítica”, 6º Congresso brasileiro de engenharia de fabricação – 11 a 15 de abril de 2011 – Caxias do Sul – RS – Brasil.
- Ruth, M., 1995, “Technology change in US iron and steel production Implications for material and energy use, and CO 2 emissions”, Resources Policy, Vol. 21, No. 3, pp. 199-214. Arato Junior, A., “Manutenção Preditiva Usando Análise de Vibrações”, Editora Manole Ltda., Barueri, SP, 200p., 2004.
- Silva Neto, O. V., 2006, “Obtenção de grãos ferríticos ultrafinos em aços baixo-carbono através do processamento subcrítico”, Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- Souza, S. A. de, Ensaios mecânicos de materiais metálicos. Fundamentos teóricos e práticos. São Paulo, Edgard Blücher, 1982.
- Tokimatsu, R. C., Ferreira, I., 1999, “Ensaio Charpy – Limitações e campo de aplicação”, 54o Congresso da ABM - 25 a 29 de julho de 1999 - Centro Têxtil Internacional - SãoPaulo – SP.