

Caracterização de fraturas frágil e dúctil em microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Hugo G A da Silva, Eféssio A R Neto, Paulo Di B Esteves,
João V T R Paz, Luís D de C Neto, Matheus da S Domingos, Mikael A H Iwamoto, Marcelo H P da Silva

Instituto Militar de Engenharia
Praça General Tibúrcio, 80, 22290-270, Praia Vermelha,
Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

RESUMO: O objetivo deste trabalho é analisar a influência da temperatura em fraturas de materiais metálicos. Para isso, corpos de prova de aço foram submetidos a ensaios de impacto Charpy às temperaturas de 100°C e -196°C. As fraturas foram analisadas no microscópio eletrônico e descobriu-se que as fraturas dos corpos de prova eram distintas, em decorrência das características encontradas, tais como as deformações plásticas e a formação de trincas. Por fim, concluiu-se que a temperatura é determinante na formação das fraturas dúctil e frágil..

PALAVRAS-CHAVE: Charpy. Dúctil. Frágil. Temperatura. Deformação. Trinca.

ABSTRACT: The objective of this work is to analyze the influence of temperature on metal material fractures. For this, steel proof bodies were subjected to Charpy impact tests at temperatures of 100°C and -196°C. Then, fractures were analyzed under an electron microscope and the fractures of the proof bodies were found to be distinct, due to characteristics found, such as plastic deformation and cracking. Finally, it was concluded that the temperatures are determinant in the formation of the ductile and fragile fractures.

KEYWORDS: Charpy mechanical pendulum, ductile fracture, brittle fracture, temperature, plastic deformation, cracking.

1. INTRODUÇÃO

Define-se fratura como sendo a ruptura de um objeto, em duas ou mais partes, devido a uma força estática. Classifica-se a fratura pela deformação plástica do material devido a uma tensão. Dessa forma, os modos de fratura são divididos em frágil e dúctil. Os materiais frágeis possuem a capacidade de absorver uma pequena quantidade de energia antes da sua fratura. Por outro lado, os dúcteis possuem alta absorção de energia e deformação plástica extensa [1].

Alguns materiais possuem características dúcteis ou frágeis, como a exemplo dos metais CFC de baixa resistência ou da maioria dos metais HC, que são dúcteis, e dos materiais de alta resistência que, por sua baixa energia de impacto, apresentam o comportamento frágil. Por outro lado, existem alguns materiais cujo caráter frágil-dúctil é mais relativo, pois depende da temperatura. Esses materiais possuem a chamada temperatura de transição dúctil-frágil, tais como os aços de baixa resistência com estrutura CCC.

O processo de fratura e sua classificação estão intimamente ligados ao desenvolvimento e propagação das trincas. A fratura dúctil pode ser identificada, com o auxílio de um microscópio eletrônico, pelo seu estiramento da vizinhança de uma trinca, enquanto na frágil não há uma deformação plástica significativa.

1.1 Fratura Dúctil

O fator preponderante para uma fratura ser definida como dúctil é a predominância da ocorrência de deformações plásticas em detrimento da propagação de trincas, ou seja, na fratura dúctil acontece uma lenta propagação de trincas e o material tensionado tende a se deformar plasticamente. As fraturas dúcteis geralmente ocorrem de forma que a estrutura tensionada sofre uma gradual estrição na região de tensão.

Posteriormente à estrição, inicia-se um processo de propagação de trincas que surgem a partir de uma tensão

de cisalhamento que se origina em uma direção que forma um ângulo de aproximadamente 45° com a direção da tensão original, o que culmina na fratura denominada “taça e cone” [1].

Na fratura dúctil, há predominância da deformação plástica e uma resistência à rápida cisão da estrutura oriunda da propagação de trincas, ou seja: o material que sofre fratura dúctil é resistente à ruptura e tende a se deformar plasticamente antes da fratura.

1.2 Fratura Frágil

A fratura frágil é marcada pela predominância da formação de trincas em relação à deformação plástica. Ocorre, nesse tipo de fratura, uma rápida formação e propagação das trincas, o que leva à rápida ruptura do material com a ocorrência de pouca ou nenhuma deformação plástica no processo. A fratura frágil pode ocorrer de duas formas: transgranular e intergranular. A fratura frágil transgranular ou clivagem é caracterizada pela separação de planos atômicos, fato que faz com que essa cisão passe por dentro do grão que forma o material e faça com que a textura da superfície de fratura fique facetada. A fratura intergranular, por outro lado, é caracterizada pela separação dos grãos. O perfil das superfícies de fratura é o mostrado na imagem acima, granular.

Os resultados de tensionamento de materiais são, geralmente, dependentes da temperatura. Existem materiais, como algumas ligas de titânio (metal HC à temperatura ambiente), em que a energia de impacto (energia necessária para que a fratura do material ocorra em um impacto) é insensível à temperatura. Porém, grande parte dos materiais, como os metais CCC, apresenta transição de comportamento dúctil para frágil em função da temperatura. Esse processo ocorre com a redução da temperatura e a consequente redução da energia de impacto da estrutura, o que o faz tender, gradativamente, à fratura frágil. Essa transição de características foi uma grande questão durante a segunda guerra mundial, momento em

que o estudo da ciência dos materiais não era tão avançado quanto nos dias atuais, e ainda hoje é uma evidência de que as propriedades dúctil e frágil não são propriedades absolutas e que possuem certa dependência de meios externos, como temperatura e taxa de carregamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O método de ensaio utilizado foi o acionamento de um Pêndulo Mecânico de Charpy (marca Wolpert, modelo pw30/15) contra uma amostra de aço-carbono. Após o choque, o equipamento registra a energia utilizada para provocar a fratura no material, usando apenas recursos de contrapesos. Com isso, foram feitos dois experimentos: um com a amostra a 100°C e o outro, com a amostra a -196°C para haver a verificação experimental da transição entre os modos de fratura dúctil e frágil.

Após os ensaios, as superfícies de fratura foram observadas em microscopia eletrônica de varredura (MEV). As análises microscópicas das fraturas permitiram caracterizar alguns aspectos, como o tipo de fratura e a composição do material.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaio de Impacto Charpy

Os resultados de absorção de energia foram 147 J e 3,8 J, referentes às amostras aquecida e resfriada em nitrogênio líquido, respectivamente, comprovando a transição dúctil-frágil em função da temperatura.

3.2 Análise do Tipo de Fratura

Por visualização dos corpos de prova, observa-se que a fratura no corpo de prova 1 foi mais regular e não apresentou considerável deformação plástica. Ao observar o corpo de prova 2, percebe-se grande deformação plástica e que não houve rompimento completo do mesmo, figura 1.



Fig.1 - Amostras 1 (a) e 2 (b).

3.3 Análise dos Corpos de Prova no MEV

Na análise das imagens MEV do corpo de prova 1 (Fig. 2), nota-se um rompimento na direção dos planos de clivagem. A superfície não apresentou muitas cavidades profundas, e tem aspecto regular. Logo o tipo de fratura do corpo de prova 1 é frágil.

Na análise do corpo de prova 2 (Fig. 3), observam-se muitas cavidades e alguns aglomerados de material projetado para cima, além de um aspecto fibroso. É possível identificar pequenas cavidades (dimples) e extensa deformação plástica.

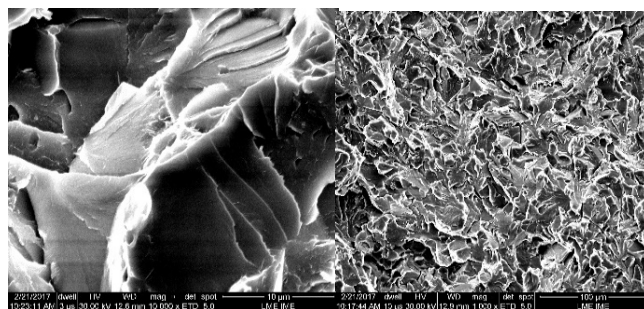


Fig. 2 - Corpo de prova 1 ampliado 1000x e 10000x, respectivamente.

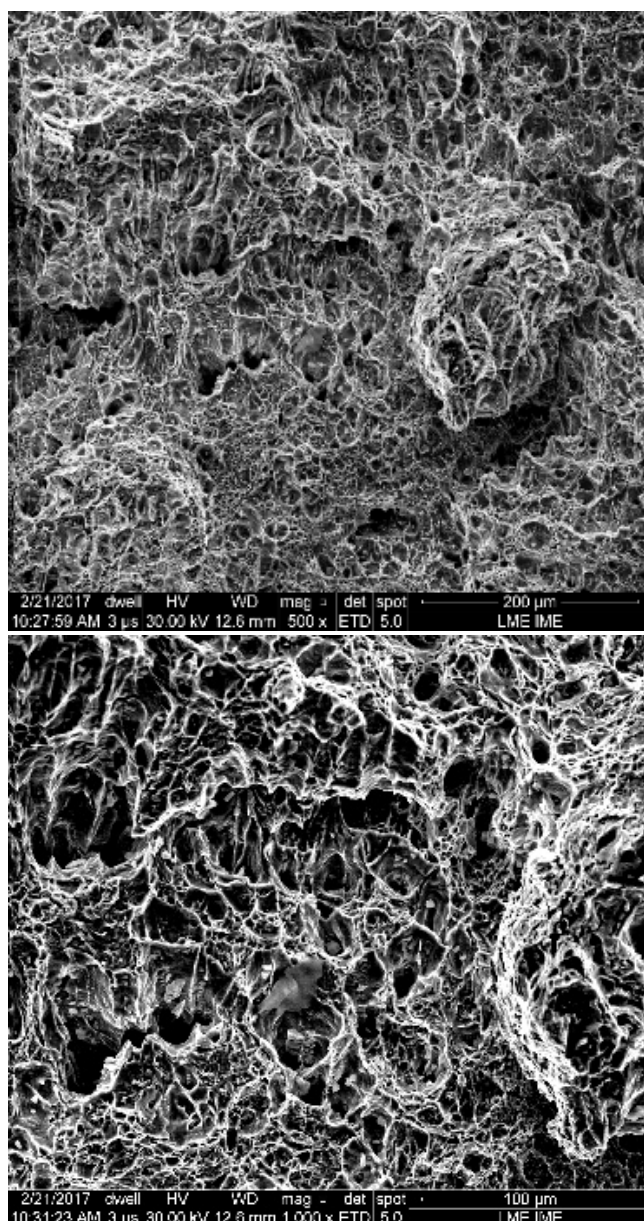


Fig. 3 - Corpo de prova 2 ampliado 500x (a) e 1000x (b).

Logo o tipo de fratura sofrida pelo corpo de prova 2 é dúctil.

3.4 Análise Qualitativa da Amostra

Através do Microscópio Eletrônico de Varredura, foi possível obter a composição do material, confirmando que os elementos que compõem o material não interferiram nas propriedades analisadas dos tipos de fratura dos materiais a diferentes temperaturas. A composição foi analisada por

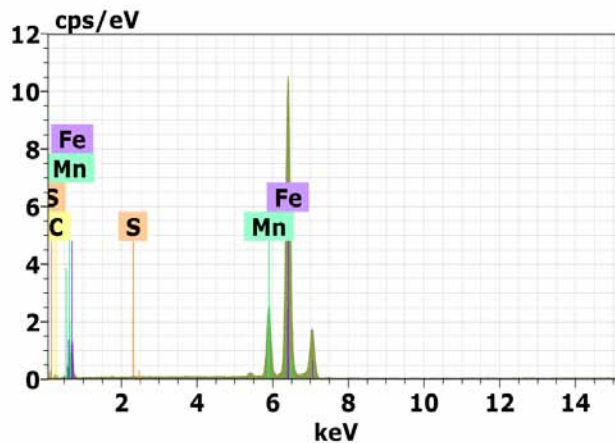
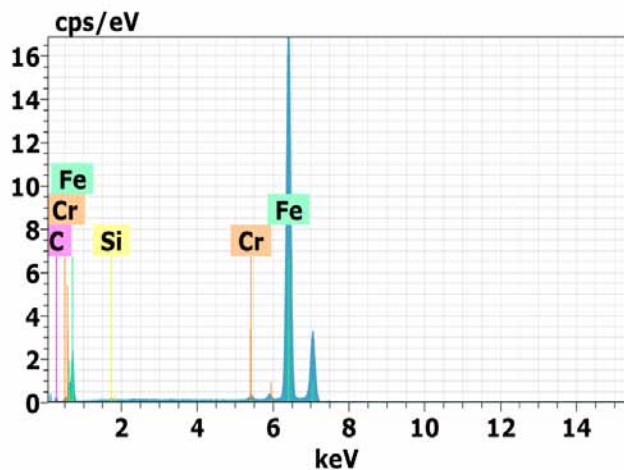


Fig. 4 – Espectro de EDX para a amostra 1 (a) e amostra 2 (b).

espectroscopia de raios X por dispersão de energia (EDX), como mostrado na Figura 4.

4. CONCLUSÃO

Observou-se transição dúctil-frágil em função da temperatura de ensaio nas amostras analisadas. Quando o corpo de prova foi submetido à temperatura de 100°C e ensaiado em impacto, observou-se grande absorção de energia (147J) e extensa deformação plástica na região da fratura, através da análise em MEV. Observaram-se, ainda, pequenas cavidades (“dimples”), características de fratura dúctil. O corpo de prova ensaiado a -196°C apresentou rompimento da estrutura formando duas peças, baixa absorção de energia (3,8J) e pouca deformação plástica, como observado em MEV, sendo a fratura frágil.

No âmbito de aplicações dos materiais, a fratura dúctil é quase sempre preferível à frágil por duas razões: a fratura

frágil ocorre repentina e catastróficamente, devido à espontânea e rápida propagação da trinca, enquanto que a fratura dúctil, devido à deformação plástica, fornece um alerta antes que de fato ocorra o rompimento do material, permitindo assim a tomada de uma medida preventiva. Também é necessário maior aporte de energia de deformação para induzir uma fratura dúctil, devido ao fato de materiais dúcteis possuírem, em geral, mais tenacidade [1].

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CALLISTER, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 5ed. LTC, 2005, p.233-247.
- [2] <http://www.inspebras.com.br/materiais/Analise_falhas2.pdf>, acessado em 6 maio de 2016.
- [3] ASTM E23 - American Society for Testing and Materials. Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials. Philadelphia, USA, 2012.