

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO NIÓBIO MICROLIGADO AO AÇO SAE 1070

MECHANICAL PROPERTIES OF MICROALLED NIOBIUM IN STEEL SAE 1070

Bruno Benedito Bizarria ¹
Fernando Henrique Gomes de Souza ²

Data de entrega dos originais à redação em: 01/07/2015
e recebido para diagramação em: 15/05/2016.

A introdução de elementos microligantes em aço tem-se desenvolvido nos últimos anos, por isso, este trabalho apresenta o efeito do nióbio no aço SAE 1070. O nióbio será analisado, pois representa grande importância para a indústria metalúrgica nacional, uma vez que o Brasil é o detentor da maior reserva desse minério. As avaliações das propriedades mecânicas comprovaram que a pequena introdução (<0.1%) de nióbio ao aço carbono SAE 1070, quando comparado com o normal, apresentaram aproximadamente 200% de aumento de tenacidade durante o ensaio de Charpy e 20% de aumento de dureza Rockwell C. Além disso, a fractografia comprova que o aço com nióbio apresenta mais característica dúctil do que o sem, que revelou característica de clivagem. Esses resultados supostamente são esperados pelo fato da adição de nióbio provocar o refinamento de grão, ocasionando maior resistência mecânica ao aço, influenciando diretamente em sua capacidade de absorção de energia, e também de haver a precipitação de nióbio no material, formando carboneto de nióbio, conferindo maior dureza ao aço.

Palavras-chave: Aço SAE 1070. Impacto. Dureza. Nióbio.

The introduction of microalloying elements in steel has been developed in recent years, so this article presents the effect of niobium in steel SAE 1070. Niobium will be analyzed because it represents a great importance to the national metallurgical industry, as Brazil is the holder of the largest reserves of this mineral. The evaluation of the mechanical properties have shown that the introduction of small (<0.1%) of niobium to carbon steel SAE 1070 compared with the normal showed approximately 200% increase in tenacity over the Charpy test and 20% increase in Rockwell C toughness. Furthermore, fractography confirms that the steel with niobium features more ductile characteristic than the one without it, which revealed cleavage characteristic. The mechanical properties of toughness and hardness were analyzed by Charpy impact test method and the Rockwell C, respectively. The results showed approximately 200% increase in energy absorbed on impact and 20% hardness of the steel in 1070 with the introduction of niobium. These results are presumably believed due to the fact that the addition of niobium causes grain refinement, leading to greater mechanical strength to steel, directly influencing their energy absorption capacity, and there is also the niobium precipitation in the material, forming niobium carbide, providing greater toughness in steel.

Keywords: Steel Carbon SAE 1070. Impact. Toughness. Niobium.

1 INTRODUÇÃO

As propriedades mecânicas são consideradas informações importantes na seleção de materiais, pois fornecem dados relevantes para uma escolha eficiente de acordo com as exigências da aplicação. Nos aços, tais propriedades são influenciadas diretamente pela composição química e microestrutura (CHIAVERINI, 2012).

Este trabalho apresenta a comparação entre o comportamento mecânico do aço SAE 1070, ou comumente chamado de aço extra-duro (CHIAVERINI, 2012), e o aço SAE 1070 com introdução de nióbio. A introdução de nióbio facilita o trabalho em altas temperaturas, devido a sua característica de aumentar o ponto de fusão dos aços comuns, fazendo parte do conjunto dos chamados elementos austenitizantes. Além disso, como os demais elementos de liga, quando empregados em aços carbono, o nióbio também aumenta a temperabilidade do aço (com isso aumentando a sua resistência mecânica). É utilizado

em porcentagens de 0,001% até 0,1%, substituindo, às vezes, o vanádio ou outros elementos de liga, devido ao baixo custo de produção. O desenvolvimento de pesquisas de aços carbono com introdução de nióbio é de grande interesse, sobretudo para o Brasil, que possui a maior reserva de pirocloro (minério base do nióbio) do mundo, localizada em Araxá – MG, responsável por aproximadamente 96% da produção mundial de nióbio, permanecendo no país menos de 2% do total produzido (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2010).

Outra vantagem é que as introduções de pequenas partículas de nióbio atuam fortemente nos mecanismos de crescimento do grão, ocasionando a obtenção e retenção de uma estrutura de granulação fina (SANTOS, 2010), o que resulta em uma melhora das propriedades mecânicas. Para constatar os efeitos deste no aço SAE 1070, fez-se a análise do comportamento mecânico do material ao submetê-lo ao ensaio de impacto do tipo Charpy com entalhe do tipo A. Também foi analisada

1 - Técnico em Automação Industrial - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo, Câmpus São José dos Campos.

2 - Prof. Me. Técnico em Mecânica - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo, Câmpus São José dos Campos.

a dureza - sendo utilizado o método Rockwell C, que consiste, segundo Souza (1982) "na profundidade de penetração de uma ponta, que pode ser cone de diamante [...] ou esfera de aço temperada[...] sob uma carga determinada".

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os aços 1070 são os mais duros, mais resistentes e, por consequência, os menos dúcteis dentre todos os aços carbono do grupo de alto teor de carbono. Eles são quase sempre usados em uma condição endurecida (têmpera) e revenida para ajustar a dureza e ductilidade e, como tais, são especialmente resistentes ao desgaste e à abrasão e capazes de suportar um fio de corte afiado, por isso são utilizados na fabricação de serras, folhas de tesoura, ferramentas de ferreiro e ferramentas para madeira (BRANCO, 2007).

Extensivas pesquisas durante a década de 60 sobre os efeitos de nióbio e vanádio nas propriedades de aços estruturais resultaram na descoberta de que pequenas quantidades destes elementos (<0,10% cada) melhoravam a resistência mecânica dos aços carbono-manganês convencionais sem interferir no seu subsequente processo. O conteúdo de carbono pode ser reduzido para aumentar a soldabilidade e a tenacidade, porque os efeitos do nióbio e do vanádio compensaram a perda de resistência causada pela diminuição do carbono. Estes aços apresentam uma alta resistência mecânica e limite de escoamento e uma baixa temperatura de transição dúctil-frágil, conseguida pelo refinamento dos grãos, e podem ser adicionados elementos de liga para aumentar a resistência à corrosão e a resistência mecânica na condição de solução sólida (BRANCO, 2007). Além disso, confere aumento da resistência mecânica por meio da combinação de refino de grão (mecanismo Hall-Petch) e endurecimento por precipitação, geralmente quando misturado com carbono transformando-se em carboneto de nióbio. O refino de grão é importante, pois segundo Papaleo (1983) citado por Alves (2009), é o único mecanismo que proporciona, simultaneamente, o aumento da resistência mecânica e da tenacidade quando estudado em temperaturas abaixo de 60% da temperatura fusão. Espera-se, portanto, que sejam observados tais efeitos ao comparar os resultados dos ensaios de impacto e dureza do aço 1070 e dos 1070 com introdução de nióbio.

No ensaio de impacto será analisada a tenacidade, que é a propriedade do material de absorver energia até o momento da fratura (CALLISTER JR, 2008). A análise da região fraturada complementa os resultados, pois podem ser observadas características macroscópicas do tipo de fratura.

Anderson (1995) citado por Tigrinho (2011) classifica os micromecanismos de fratura dos materiais metálicos em quatro tipos diferentes: Alveolar, clivagem, intergranular ou por estrias. Toda fratura alveolar ocorrerá em materiais dúcteis, ou seja, a energia necessária para a fratura será alta, acarretando em uma

maior tenacidade. O micromecanismo de clivagem é característico de materiais frágeis, já que absorve pouca energia. Logo as fraturas alveolares e por clivagem são associadas, respectivamente, a materiais dúcteis (tenazes) e frágeis. Os outros dois são relativos a uma fragilização excessiva do material (intergranular) e fratura por fadiga (estrias).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foi realizada uma análise do comportamento e dos elementos químicos através de espectrometria de emissão óptica para quantificar o nióbio. A Tabela 1 comprova que existe diferença entre o aço SAE 1070 sem nióbio e o aço SAE 1070 microligado ao nióbio. Além disso, verifica-se que outros elementos de liga também apresentam uma variação em sua composição. Esse fato ocorre para que a introdução de nióbio à matriz seja na forma de solução sólida.

Tabela 1 - Composição do SAE 1070 utilizado

Material	Composição[%]								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb
Aço 1070	0,76	0,54	0,75	0,034	0,010	0,045	0,005	0,004	0
Aço 1070 com Nióbio	0,71	0,31	0,80	0,027	0,013	0,282	0,14	0,043	0,006

Fonte: Autor.

O método utilizado para efetuar a medida experimental da tenacidade à fratura é o ensaio de Charpy, onde um pêndulo de massa padronizada fratura um corpo de prova, obtendo a energia absorvida pelo material, que é uma medida de tenacidade do material à temperatura ambiente (MEI & SILVA, 2006). A partir da diferença entre a posição inicial e a final do pêndulo, é possível calcular a energia absorvida. Pode-se observar a representação do método na Figura 1.

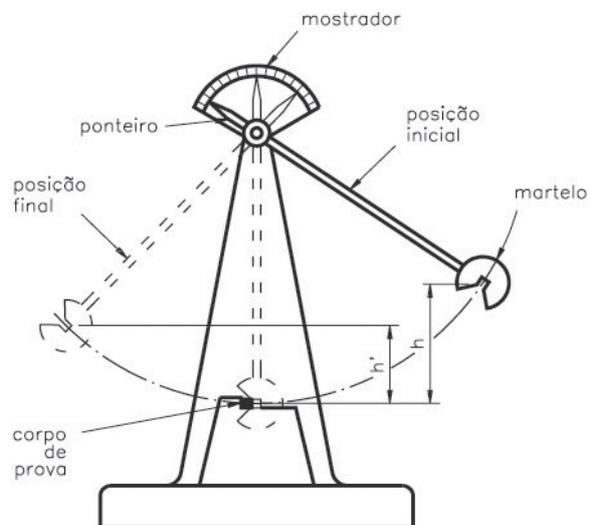


Figura 1 - Esquema representativo do ensaio de impacto, apresentando a posição inicial e final do pêndulo após a ruptura do corpo de prova (SOUZA, 1982)

Para preparação dos corpos de provas de impacto, foi inicialmente cortada as barras de aço SAE 1070 com e sem nióbio, com as dimensões de 10 mm por 10 mm (largura e espessura) e um comprimento entre 60 e 70 mm. Posteriormente, os corpos de provas foram usinados em fresas convencionais com fresa topo para ficarem com comprimento próximo de 55 mm para adequarem à norma ASTM E-23 (ASTM STANDARD E 23-07A, 2007).

Os entalhes foram produzidos em uma máquina (Figura 2) com gabarito específico de entalhe em "V" (Charpy do tipo A), conforme apresentado no esquema da Figura 3.

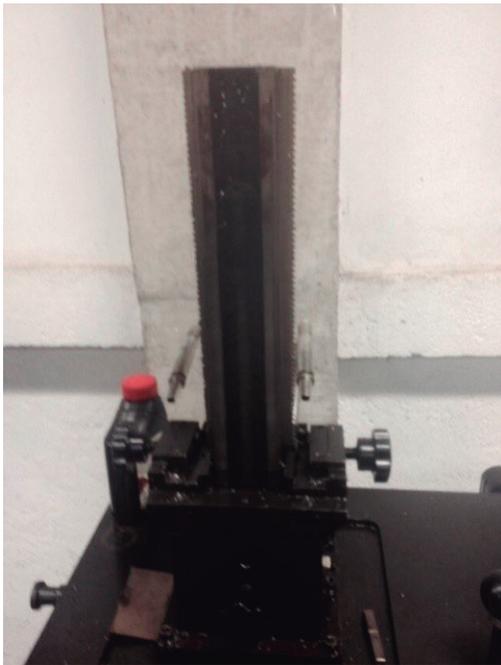


Figura 2 - Máquina de entalhe em "V" para Charpy tipo A

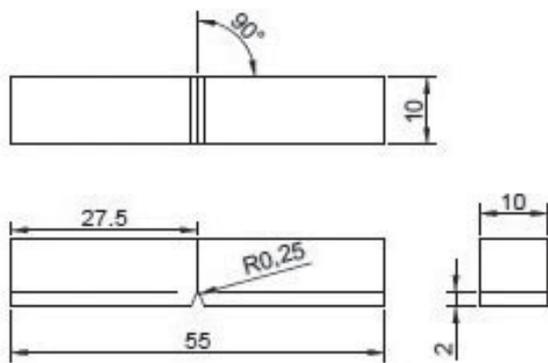


Figura 3 - Dimensões do corpo de prova Charpy tipo A

Para complementar o ensaio de Charpy, foi realizado o ensaio de dureza Rockwell C para avaliar o comportamento mecânico do aço com e sem nióbio, e a caracterização da fratura por microscópio eletrônico de varredura (MEV). O método Rockwell foi utilizado pois apresenta vantagens como a rapidez na leitura

dos dados, rapidez e por ser uma medida direta (MEI & SILVA, 2006). Para facilitá-lo, foi realizado o embutimento a quente das amostras, lixados e posteriormente polido em diamante (1 μ m e 6 μ m). A fractografia foi obtida pelo MEV VEGA 3- TESCAN do Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LAMEV) do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).

4 RESULTADOS OBTIDOS

O ensaio de impacto realizado em três corpos de provas diferentes apresentou um aumento de aproximadamente 200% do aço com nióbio em relação a aço comum, ou seja, a introdução do nióbio, com todos os fatores e elementos de ligas, demonstrou ser satisfatório conforme a literatura previa. Conforme estudos realizados por Maia (2010) com o aço 1070 com 0,002% de nióbio obteve o resultado de 13,7 J em um ensaio de impacto. A leve divergência entre o resultado de 11,6 J para o aço SAE 1070 puro deve-se aos efeitos desse elemento microligante. A discrepância entre os resultados encontrados por Maia (2010) com os experimentos realizados neste trabalho, se deve ao fato do aumento da concentração de nióbio no material. Os resultados médios obtidos no ensaio de impacto podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados obtidos nos ensaios de impacto e dureza

Material	Energia absorvida no impacto [J]
Aço 1070	11,6
Aço 1070 com Nióbio	34,6

Fonte: Autor.

É possível verificar um aumento de aproximadamente 200% na energia absorvida no ensaio de impacto, sendo que tal aumento deve-se aos efeitos da adição de nióbio que, como visto em literatura, promove o mecanismo Hall-Petch, que confere aumento de tenacidade pelo refinamento de grão e dureza pela precipitação de carboneto de nióbio.

Analisando as fractografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), nas figuras 4a e 4b, pode ser visto que o corpo de prova com nióbio apresenta duas regiões, sendo uma fibrosa de fratura alveolar e a outra escamada de fratura por clivagem. Segundo Anderson (1995), a fratura alveolar é caracterizada como dúctil, enquanto a fratura por clivagem é classificada como frágil, pois absorve pouca energia até fraturar. Já o corpo de prova de SAE 1070 tem fratura apenas por clivagem.

Foram realizados cinco ensaios de dureza nas diferentes amostras embutidas do material. Na Tabela 3 apresentam-se os resultados médios obtidos e o desvio padrão para cada amostra.

Verifica-se que ocorre um aumento de aproximadamente 19% entre os aços, comprovando que a introdução de nióbio apresenta vantagens também no aumento da resistência mecânica. Maia (2010) obteve aproximadamente 352 HV em ensaio de dureza Vickers, que convertidos, equivalem a aproximadamente 36 HRC.

Tabela 3 - Valores de dureza para amostras

Amostra	SAE 1070	SAE 1070 com nióbio
Média	31,1 HRC	37,0 HRC
Desvio	0,7 HRC	1,1 HRC

Fonte: Autor.

A dureza apresenta-se menor no SAE 1070 livre de modificações devido a precipitação de carboneto de nióbio no aço microligado.

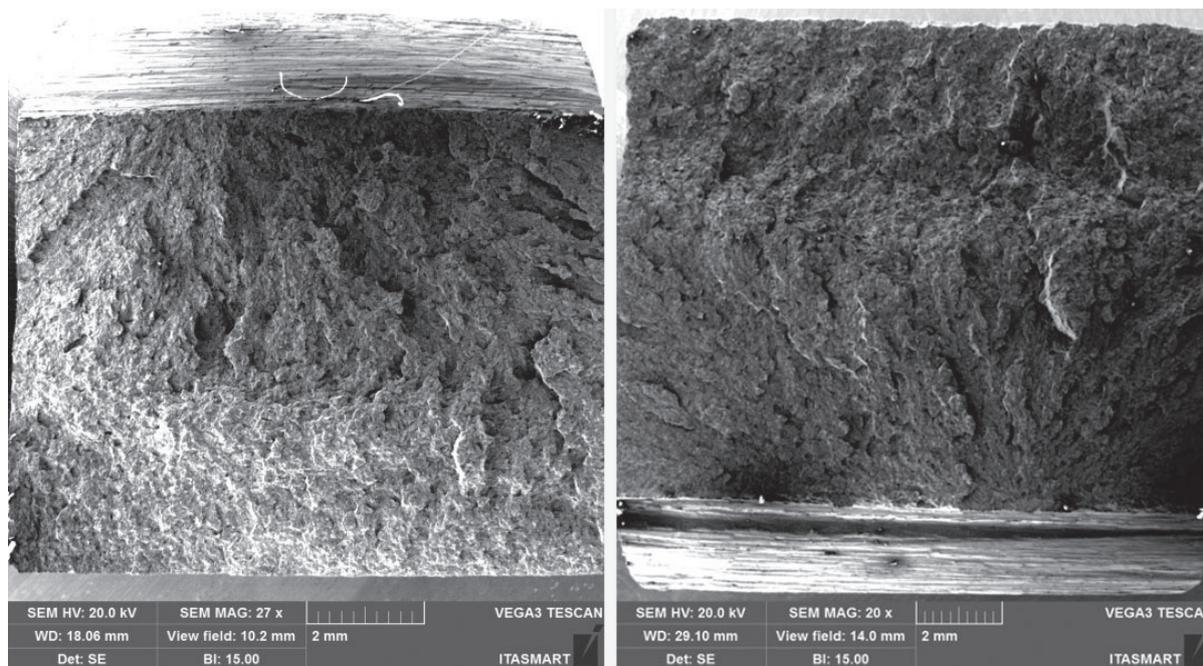


Figura 4 – (A) Fractografia do aço 1070 com nióbio, e (B) Fractografia do aço SAE 1070

5 CONCLUSÃO

Este trabalho buscou constatar os efeitos do nióbio como elemento de liga em um aço-carbono, comparando as propriedades de dureza e tenacidade do material.

Houve considerável aumento de aproximadamente 200% na absorção de energia por impacto e de 20% de dureza. Comparado com a literatura, os resultados obtidos comprovam os efeitos esperados para introdução do nióbio, que promove aumento considerável nas propriedades mecânicas, mesmo em pouca quantidade. Tais aumentos devem-se ao mecanismo hall-petch, que promove aumento de resistência mecânica e de tenacidade, diferente de outros processos que, promovendo o aumento de uma dessas propriedades, reduz a outra.

REFERENCIAS

ALVES, G. G. **Recristalização do Aço ARBL Microligado ao Nióbio CSN 2336**. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena. Lorena, 2009.

ANDERSON, T. L. **Fracture Mechanics – Fundamentals and Applications**. 2. ed. [S.l.]: CRC Press, 1995. 630 p.

ASTM STANDARD E 23-07A. **Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials**. [S.l.]. 2007.

BRANCO, F. K. **Influência da Microestrutura na Anisotropia de Chapas Metálicas de Diferentes Aços Estruturais**. Faculdade de Engenharia Industrial. Santo André, p. 72. 2007.

CALLISTER Jr, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 7. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 705 p.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferro Fundidos**. 7. ed. São Paulo: ABM - Associação Brasileira de Metalurgia, 2012. 599 p.

MAIA, F. S. et al. **Análise Microestrutural da Têmpera na Pista de Rolamento das Rodas Ferroviárias**. Univap - Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos, p. 19. 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Relatório técnico 20: perfil da mineração do nióbio**. Brasília, 2010.

MEI, P. R.; SILVA, A. L. V. D. C. E. **Aços e Ligas Especiais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

PAPALEO, R. Programa de Desenvolvimento de Novos Aços. Potencial do Nióbio no Desenvolvimento de Novos Aços. **Metalurgia ABM**, São Paulo, 83, 1983. 7-10.

SANTOS, J. B. D. **Influência dos Parâmetros de Processo da Laminação de Barra Chata de 1 5/8" x 5/16" Produzida no Aço SAE 5160 no Fenômeno de Empeno**. REDEMAT-

Rede Temática de Engenharia de Materiais. Ouro Preto-MG, p. 76. 2010.

SOUZA, S. A. D. **Ensaio Mecânico de Materiais Metálicos**. Rio de Janeiro: EDGARD BLUCHER, v. 5, 1982.

TIGRINHO, L. M. V. **Análise da Fratura de Chapas do Aço Avançado de Alta Resistência DP600 quando Submetido a Diferentes Estados de Tensões**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2011.