



EFEITOS DO TRATAMENTO TERMOMECÂNICO EM AÇOS COM 0,20% C MICROLIGADOS COM NÍOBIO



Paulo Roberto Mel  
Departamento de Engenharia de Materiais  
Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP  
FAX (019) 239.3722



Foi estudado o efeito de adição de 5,038 Mo em um aço com 0,20% C, 1% Mn, analisado por 1 hora a 900, 1100 ou 1190°C, fundido em duas passes, com uma redução total de 54% e resfriado ao ar. O níobio elevou o limite de escoamento deste aço em até 55% com uma diminuição na redução de área de até 19. Este efeito de elevação de resistência mecânica foi devido ao efeito de grão finizado e ao realinhamento da ferrita produzida por precipitação de Mo (C, Mo) em todas as temperaturas de austenitização estudadas no aço com níobio apresentando um menor tamanho de grão austenítico. Também o níobio aumentou a tendência de aciculação da ferrita.

INTRODUÇÃO

Aços microligados de médio teor de carbono na condição de resfriados ao ar têm substituído com vantagens os aços baixa liga temperados e revenidos na fabricação de componentes forjados para a indústria automobilística<sup>[1]</sup>. Esses aços apresentam carbono variando entre 0,15 e 0,55% [1] e são, em geral, microligados com 0,14 de vanádio.

Como não há necessidade de tratamento térmico após o forjamento nos aços microligados há economia com redução de equipamentos, área de fábrica, tempo de processo e energia consumida<sup>[1]</sup>. Ainda não há necessidade de endireitamento das peças e alívio de tensões, e ocorre menor perda por decarboxidação e oxidação. Também a eliminação ou redução no uso de elementos como cromo, níquel e molibdênio provoca uma redução de custos nos aços<sup>[1]</sup>. Esses aços microligados desde que convenientemente tratados termomecânicamente apresentam níveis de resistência mecânica semelhantes aos aços baixa liga beneficiados<sup>[1]</sup>, além de apresentarem melhoria na usinabilidade e maior homogeneidade nas peças.

Para se estudar os efeitos do tratamento termomecânico na microestrutura, e consequentemente nas propriedades mecânicas destes aços microligados com níobio, foram realizadas experiências com aços de diferentes teores de carbono. Neste trabalho são relatados os efeitos dos tratamentos termomecânicos em aços com 0,20% C.

DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Os aços deste trabalho foram preparados em forno de indução a vácuo, em lingotes de 3kg. Os lingotes foram aquecidos a 1250°C por 9 horas, sendo em seguida forjados entre 1070 e 900°C (temperaturas de início e final de forjamento) para barras quadradas de 30 mm. O resfriamento foi ao ar. Posteriormente as barras foram resfriadas a 1200°C por 1 hora e laminadas em quatro passes com uma redução total de 45%, e uma temperatura final de laminação de 1050°C. A seguir uma barra de cada aço foi aquecida a 900, 1100 ou 1250°C por 1 hora e laminada em 2 passes, com uma redução total 34%, seguindo-se resfriamento ao ar. A composição química dos aços encontra-se na tabela I.

Utilizou-se um laminador FENN-051 com cilindro de aço polido de 66,7 mm de raio, see lubrificância, girando a 45 rpm.

Os ensaios de tração foram realizados em

uma Máquina Universal de Ensaio com acionamento hidráulico, da Mohr-Felscherhoff. Para o ensaio de tração foram retirados 2 corpos de prova de cada barra, simétricos à linha de centro da mesma.

Tabela I - Composição Química dos Aços

Aço	(t em peso)		ppm	
	C	Mn	Nb	P <sub>2</sub>
1	0,18	1,00	---	35
2N	0,18	1,02	0,026	25

A fração volumétrica de ferrita foi medida através de uma grade com 100 nós, tirando-se 10 medidas em cada amostra e calculando-se a média. Os pontos que estavam sobre o contorno da ferrita foram contados como 1/2.

Para se medir o diâmetro do grão ferrítico utilizou-se o método de interceptação linear. A medida foi realizada sobre a tela com um aumento de 400 X, sendo realizadas 40 medidas em cada amostra, com uma linha teste de 60 mm.

A microdureza da ferrita foi medida com um equipamento Leitz-Metraler com carga 0,147N (10gf) e tempo de aplicação 30 segundos. Foram realizadas 20 medidas em cada amostra procurando-se as regiões de maiores áreas de ferrita. A microdureza foi obtida em um equipamento VHS-390 - 250 com carga de 1839N (182,5 kgf), esfera de aço de 2,5 mm. O tempo de aplicação da carga foi de 30 segundos, sendo realizadas 10 medidas em cada amostra.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na tabela II são apresentados os dados obtidos nas diferentes condições de laminação.

Na figura 1 observa-se que a estrutura era ferrítica-perlítica após a laminação a 900, 1100 ou 1250°C e que a medida que se elevava a temperatura de laminação a estrutura tornava-se mais prosernea e a ferrita mais acicular. Nos aços com níobio a aciculação foi mais pronunciada.

Na figura 2 observa-se que a elevação de temperatura de laminação (T.L.) provocou o crescimento do grão austenítico tanto no aço com níobio como no aço sem níobio, embora o aço com níobio apresentasse sempre um menor tamanho de grão austenítico para uma determinada T.L.

O aço com níobio apresentou um ganho de resistência mecânica cada vez maior e médias

que a T.L. foi aumentada\*. Com os aços com e sem níobio praticamente não apresentavam uma diferença significativa na fração volumétrica de ferrita (Fig. 4), o aumento de resistência mecânica provocada pelo níobio foi devido à: - Redução do diâmetro do grão ferrítico. - Endurecimento da ferrita protetida por precipitação de Nb (C,N) (Fig. 4).

\*Devido ao aumento do teor de níobio em solução na austenita (Figura 3).

AcTemp. (°C)	Temp. de T.L. (°C)	Temp. de T.L. (°C)	Temp. de T.L. (°C)	Temp. de T.L. (°C)	Temp. de T.L. (°C)	Temp. de T.L. (°C)	Temp. de T.L. (°C)	Temp. de T.L. (°C)	Temp. de T.L. (°C)	Temp. de T.L. (°C)	Temp. de T.L. (°C)	Temp. de T.L. (°C)
28 000	2197	2173	2158	2143	2128	2113	2098	2083	2068	2053	2038	2023
28 000	2197	2158	2119	2080	2041	2002	1963	1924	1885	1846	1807	1768
28 000	2197	2158	2119	2080	2041	2002	1963	1924	1885	1846	1807	1768
28 000	2197	2158	2119	2080	2041	2002	1963	1924	1885	1846	1807	1768
28 000	2197	2158	2119	2080	2041	2002	1963	1924	1885	1846	1807	1768
28 000	2197	2158	2119	2080	2041	2002	1963	1924	1885	1846	1807	1768
28 000	2197	2158	2119	2080	2041	2002	1963	1924	1885	1846	1807	1768
28 000	2197	2158	2119	2080	2041	2002	1963	1924	1885	1846	1807	1768
28 000	2197	2158	2119	2080	2041	2002	1963	1924	1885	1846	1807	1768
28 000	2197	2158	2119	2080	2041	2002	1963	1924	1885	1846	1807	1768
28 000	2197	2158	2119	2080	2041	2002	1963	1924	1885	1846	1807	1768

Fig. 4 - diâmetro do grão ferrítico. Nb = microalloyado de ferrita. Nb = microalloyado de ferrita. Nb = microalloyado de ferrita. Nb = microalloyado de ferrita.

Fig. 5 - fração volumétrica de ferrita. Fig. 6 - microalloyado de ferrita. Fig. 7 - tratamento para aços 0,24 C com e sem adição de Nb. Fig. 8 - amostras de aços 0,24 C com e sem adição de Nb submetidas a laminação após diferentes tratamentos térmicos.

Obs: A<sub>1</sub> - dado com desvio obtido por interceptação linear e sem desvio pelo método de comparação de grãos.

- Modificação estrutural, o que é sugerido pela análise da Figura 5. A elevação na microdureza do aço pelo níobio seria devida à precipitação de Nb(C,N). O ganho adicional de macro dureza para T.L. de 1250°C seria devido à modificação estrutural. Essa modificação estrutural poderia ser a acicularização observada na ferrita, ou ainda uma redução no espaçamento interlamelar da perlita ou mesmo uma degeneração da estrutura lamelar (a mesma).

Devido à reduzida fração de perlita nestes aços o efeito de endurecimento da ferrita da perlita pela precipitação do Nb(C,N) não deveria ser apreciável, entretanto com as áreas disponíveis para se medir a microdureza da perlita eram muito pequenas, principalmente nos aços ao níobio, esta verificação não foi possível de ser efetuada.

Outro aspecto observado é que o tamanho do grão ferrítico era linearmente dependente do tamanho do grão austenítico para aços com e sem níobio (Fig. 6), o que está de acordo com os resultados de Gladman (7).

Com relação à utilidade, nos aços com níobio e mesma não foi alterada pelo aumento da T.L. (Fig. 2), enquanto que nos aços com níobio o aumento na resistência mecânica refletiu na perda de utilidade.

**CONCLUSÕES**

Com relação a amostras de aços com 0,24 C,

1) No com e sem adição de 0,034 Nb, austenitizados a 900, 1100 ou 1250°C por 1 hora, e subsequentemente laminados, com uma redução total de 34%, pode-se concluir que:

- a) O níobio restringiu o crescimento do grão austenítico para todas as temperaturas utilizadas, embora a medida que a temperatura de laminação (T.L.) era elevada a diferença relativa entre o diâmetro do grão austenítico do aço com níobio e o sem níobio decrescia; -63, -31 e -15% para as temperaturas de laminação de 900, 1100 e 1250°C, respectivamente.
- b) Ocorreu uma correlação linear entre o diâmetro do grão austenítico e o diâmetro do grão ferrítico, nos aços com e sem níobio.
- c) A fração volumétrica da ferrita ficou em torno de 80% para todos os aços, com e sem níobio, independentemente da T.L. utilizada.
- d) A adição de níobio elevou em até 35% o limite de escoamento destes aços, com uma diminuição de 8% na redução de área. Essa elevação de resistência mecânica foi devido ao refino do grão ferrítico e ao endurecimento da ferrita protetida. A medida que a T.L. aumentava o efeito devido ao endurecimento da ferrita tornava-se mais importante.
- e) A medida que a T.L. aumentava a ferrita suavia de morfologia massiva para acicular e o uso do níobio favorecia a acicularização.
- f) O níobio é um potencial substituto do vanádio em aços para aplicações em componentes forjados de 0,20% C, como os C 20 mod. de Gerlach-Werke (Alemanha).

**Agradecimentos**

Aos Profs. Hans J. Kestebach e Oscar Helandin do DENA/DFSCA pela utilização do laboratório de Tratamentos Termomecânicos daquela instituição.

Aos Drs. José Dinis de Souza e Alain Jean Izoré, da Eletrometal S.A. Metais Especiais pela preparação dos aços utilizados neste trabalho e auxílio na parte experimental.

Ao CNPq pela bolsa de pesquisa e auxílio financeiro recebidos e à FAPESP pelo auxílio recebido.

**REFERÊNCIAS**

- (1) Jones, B.L. et alii - Microalloyed forging steels: A worldwide assessment. In: Proc. Conf. HSLA Steels, 4<sup>th</sup> Nov. 1985, Beijing, China, ASM, p. 675.
- (2) Meli, P.R. - Efeitos do tratamento termomecânico na estrutura e propriedades dos aços com médio e alto teor de carbono microalloyados com níobio. Tese de Livre Docência, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, 1989, p. 42.
- (3) Korchynsky, R. - M.E., Oct. 1986, p. 45.
- (4) Reid, J. - Metal Progress, Dec. 1985, p. 11.
- (5) Cline, R.S. et alii - J. of Metals, May 1986, p. 26.
- (6) Nordberg, H. A. Aronsson, B. - J.I.S.I., Dec. 1986, p. 1263.
- (7) Meli, P.R. e Bracciani, P.F. E. - Solubilidade do níobio na austenita na presença de Nb(C,N). Anais do 38<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM, São Paulo, Julho de 1983, vol. 2, p. 367.
- (8) Meli, P.R. & Kestebach, H.J. - Effects of thermomechanical treatment of microalloyed medium carbon steels. Proc. of Second Int. Conf. on HSLA Steels, Beijing, China, Oct. 28 - Nov. 2, 1990.
- (9) Gladman, T. et alii - J.I.S.I., Dec. 1972, p. 516.

**ABSTRACT**

A study was made of the effect of 0,03% Nb addition on 0,24 C, 1% Mn steels, after austenitization for 1 hour at 900, 1100 or 1250°C, followed by hot rolling in two steps, with 34% of overall reduction, and air cooling. The effect of niobium in increasing the strength of the steels (up to 35%) was due to ferritic grain refining and ferrite strengthening. For all austenitization temperatures employed niobium addition restricted the austenitic grain growth and increased the tendency to form acicular ferrite.

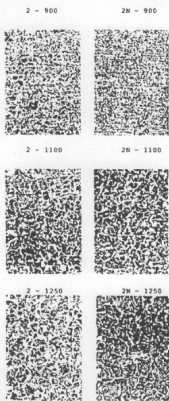


Figura 1. Microestrutura dos aços 0,24 C com e sem adição de nióbio após laminação em diferentes temperaturas. Vítal. 50 X.

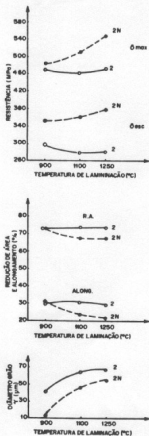


Figura 2. Propriedades mecânicas e tamanho de grão austenítico de aços 0,24 C, com e sem adição de nióbio, laminados em diferentes temperaturas.

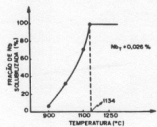
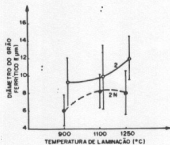


Figura 3. Fração de níbio em solução na austenita calculado para aços com 0,20% C pela equação de Nordberg [1] e diagrama de Fe [17].

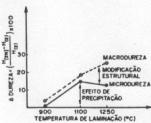
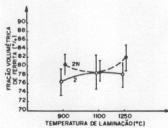


Figura 5. Diferença percentual da microdureza entre o aço com níbio (2n) e o aço sem níbio (2).

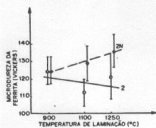


Figura 4. Diâmetro do grão ferrítico, fração volumétrica e microdureza da ferrita após laminação em diferentes temperaturas.

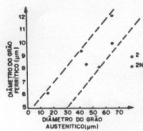


Figura 6. Correlação entre os diâmetros de grãos ferríticos e austeníticos em aço 0,20% C, com e sem adição de níbio.