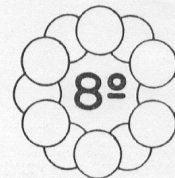




UNICAMP

EFEITO DE NÍOPIO EM AÇOS ESTRUTURAIIS
DE MÉDIO TEOR DE CARBONO

ALCEU FERRAZ COSTA NETO
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP
PAULO ROBERTO MEI
Departamento de Engenharia de Materiais - UNICAMP
HANS-JÜRGEN KESTENBACH
Departamento de Engenharia de Materiais - UFSCar



cbecimat

SUMÁRIO

Aços de médio teor de carbono, com e sem nióbio, foram laminados a quente, segundo diferentes seqüências de processamento. O trabalho mostra os efeitos do nióbio sobre a microestrutura e as propriedades mecânicas desses aços. Foi verificado que a presença de nióbio aumenta a resistência mecânica com pequeno efeito adverso sobre a ductilidade.

INTRODUÇÃO

Elementos como nióbio, vanádio e titânio, que são fortes formadores de carbonitretos, são os principais elementos de liga em aços microligados. Microadições (menos do que 0,1% em peso) desses elementos se deram inicialmente em aços com teor de carbono em torno de 0,2%, estendendo-se posteriormente para aços com menor teor de carbono (0,05 a 0,15) principalmente em laminados planos. Mais recente é a aplicação de microadição de elementos de liga em aços de médio e alto teor de carbono (entre 0,2 e 0,8% em peso). Os aços microligados de baixo teor de carbono são utilizados na fabricação de vazos de pressão, oleodutos e perfis estruturais. Em aços de médio teor de carbono já é comum a microligação com vanádio substituir aços com maior teor de liga em peças forjadas, como bielas e girabrequins de automóveis, sem a necessidade de tratamentos térmicos [1-3]. Aços com carbono na faixa de 0,3% microligados com nióbio já foram utilizados na fabricação de barras de aço para concreto armado, em aplicações onde se exige alta resistência [3-5].

No presente trabalho procurou-se estudar as inter-relações entre o processamento austenítico - laminação convencional e controlada - e a presença de nióbio sobre a microestrutura e as propriedades mecânicas de aços 0,3C com e sem microadição de nióbio.

MATERIAIS E MÉTODOS

Material. Utilizaram-se dois aços com 0,3% de carbono, com e sem microadição de nióbio, respectivamente denominados 3N e 3C, cujas composições químicas encontram-se na Tab. 1. Esses aços foram fabricados em forno de indução a vácuo e vazados em lingotes com seção quadrada de 63 mm de lado, que foram então forjados para barras quadradas com 30 mm de lado.

Tabela 1. Composição Química dos Aços.

	C	Si	Mn	P	S	Nb	Al	O	N
3C	0,30	0,03	1,00	0,004	0,006	-	0,018	15	37
								ppm	ppm
3N	0,30	0,02	1,00	0,004	0,005	0,03	0,023	12	40
								ppm	ppm

Processamento. Segundo a equação de solubilidade de Nordberg e Aronson [6] para o $NbC_{0,87}$, todo o nióbio do aço 3N encontrar-se-ia em solução na austenita a 1200°C, que foi a temperatura de austenitização utilizada antes das laminagens. Resultados de ensaios pré-liminares mostraram que o mesmo tamanho de grão austenítico - aprox. 400 μm - é obtido quando os aços 3C e

3N são austenitizados, respectivamente, por 20 e 30 min. Estas foram as condições de reaquecimento utilizadas antes das laminagens, de modo a obter tamanhos de grão semelhantes para as amostras de aço com e sem nióbio.

Utilizaram-se dois regimes de laminação: laminação controlada e laminação convencional. No primeiro objetivou-se estudar o efeito da deformação na austenita, com parte da deformação aplicada em alta temperatura e parte em baixa temperatura, após um tempo de espera depois daqueles passes, de modo análogo ao processo industrial de laminação controlada aplicado aos microligados de baixo teor de carbono. Com a laminação convencional, onde toda a deformação foi aplicada em alta temperatura, isto é, acima da temperatura de recristalização, pretendeu-se estudar o efeito do nióbio em solução em uma microestrutura austenítica isenta de deformação. As mesmas reduções foram aplicadas em ambos os regimes de laminação, que diferenciaram-se apenas pelas temperaturas de laminação. A Tab. 2 e a Fig. 1 mostram, respectivamente, os parâmetros e as seqüências esquemáticas de laminação. Medidas de temperatura foram realizadas continuamente durante o processamento, conforme metodologia exposta em outro trabalho [7].

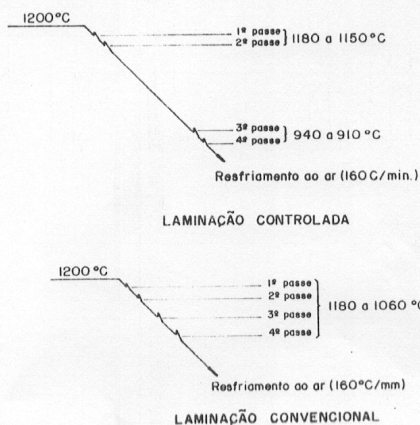


Figura 1. Seqüências esquemáticas de processamento. As mesmas reduções aplicadas em ambos esquemas. As faixas de temperaturas indicadas p/ cada seqüência de laminação correspondem às variações obtidas p/ os dois aços.

Tabela 2. Parâmetros de Laminação.

Parâmetro	Espessura inicial (mm)	Espessura final (mm)	Redução	Taxa Média de deformação (S-1)
1ª	29,0	24,0	0,17	7,0
2ª	24,0	19,6	0,18	7,9
3ª	19,6	15,3	0,22	9,7
4ª	15,3	10,2	0,33	14,0

Metalografia. O trabalho envolveu técnicas de preparação metalográfica e metalografia quantitativa. A preparação metalográfica seguiu técnicas convencionais com lixamento até 600 e polimento com alumina de 1,0 e 0,3 μm . A revelação das microestruturas ferríticas-perlíticas foi feita com uma solução de nital 2%.

Utilizou-se metalografia quantitativa para as medidas de tamanho de grão ferrítico e de fração volumétrica de perlita. Para estas utilizou-se a contagem de pontos através de uma ocular de microscópio com uma rede de 100 pontos igualmente espaçados e, para aquelas, utilizou-se a técnica do intercepto linear médio. As contagens com a rede de pontos foram realizadas, para cada medida, em no mínimo 10 regiões diferentes e nas medidas de tamanho de grão ferrítico contaram-se no mínimo 100 interceptos para cada valor.

RESULTADOS

A Tab. 3 mostra os resultados de metalografia quantitativa e dos ensaios de tração. As Figs. 2 (a) e (b) mostram que o regime de laminação controlada afetou pouco as propriedades mecânicas do aço com nióbio, diferentemente do que ocorreu com os aços de baixo teor de carbono. Também de modo diverso do que ocorre com os microligados de baixo teor de carbono, não se observou efeito da laminação controlada sobre o tamanho de grão ferrítico, Fig. 3(a), e sobre a fração volumétrica de perlita, Fig. 3 (b).

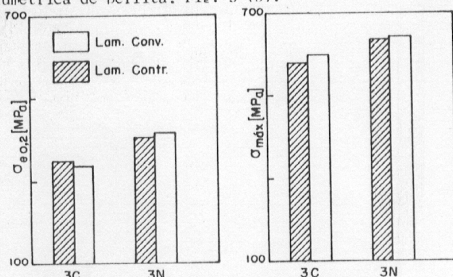


Figura 2. Efeitos do processamento austenítico e da presença de nióbio sobre a resistência mecânica.

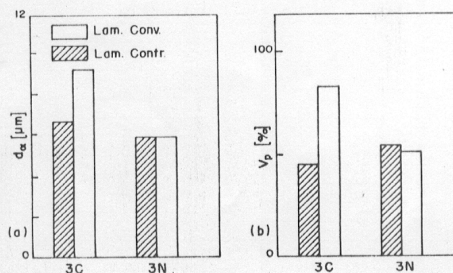


Figura 3. Efeitos do processamento austenítico e da presença de nióbio sobre o tamanho de grão ferrítico e a fração volumétrica de perlita.

A Fig. 4 mostra as microestruturas obtidas, todas compostas de ferrita e perlita. A distribuição da ferrita proeutectóide na forma de camadas envolvendo os antigos contornos de grão austeníticos permite que se tenha uma idéia do tamanho de grão austenítico e de seu estado - deformado ou recristalizado - antes da transformação. Comparando-se os aços com e sem nióbio após a laminação convencional - onde ambos os aços se recristalizam - observa-se que o nióbio refina o grão austenítico. Na mesma comparação para a laminação controlada observa-se que os grãos austeníticos do aço com nióbio apresentam-se relativamente grosseiros e deformados (devido à laminação abaixo da temperatura de recristalização) e que, neste caso, a microestrutura austenítica do aço sem nióbio seria mais refinada. Este assunto é discutido em maior detalhe na seção seguinte.

Tabela 3. Resultados experimentais, d_{α} = tamanho do grão ferrítico, V_p = fração volumétrica de perlita, A = alongamento, Z = redução de área.

AÇO	LAM	Microestrutura		Ensaio de Tração			
		d_{α} (μm)	V_p (%)	$\sigma_{e,0,2}$ (MPa)	$\sigma_{máx}$ (MPa)	A (%)	Z (%)
BC	CTR	6,7	46 ± 2	351	574	25	67
	CVE	9,2	84 ± 4	337	592	22	68
BN	CTR	5,9	52 ± 6	406	526	21	65
	CVE	5,9	55 ± 4	412	525	20	65

DISCUSSÃO

Os resultados mostram que a adição de nióbio aumentou a resistência do aço 0,3C. Este aumento de resistência pode ser relacionado ao efeito do nióbio sobre a microestrutura e/ou ao efeito do endurecimento pela precipitação de partículas de NbCN na ferrita. É conhecido o fato de que a resistência mecânica de aços com estrutura ferrítica-perlítica está relacionada com o tamanho de grão ferrítico e com a fração volumétrica de perlita e seu espaçamento interlamelar [8-9].

Tanto a laminação controlada como a convencional geraram, no aço com nióbio, tamanhos de grão ferríticos semelhantes. O que pode ser relacionado ao estado da austenita antes da transformação: na laminação controlada obteve-se uma austenita grosseira - devido à relativamente pequena deformação em alta temperatura (onde efetivamente a recristalização refina os grãos) - e deformada pelos passes de baixa temperatura; após a laminação convencional, os grãos austeníticos apresentaram-se mais finos, porém sem deformação. Tanto a redução no tamanho de grão austenítico, como a presença de deformação concorrem para o refino do grão ferrítico. Isto poderia explicar a ausência de efeito da laminação controlada, neste trabalho, sobre as propriedades mecânicas.

CONCLUSÕES

A adição de nióbio aos aços 0,3C aumentou a tensão de escoamento e o limite de resistência de modo similar ao que acontece com os aços de baixo teor de carbono.

A atuação do nióbio nos aços 0,3C foi diferente da que ocorre nos aços de baixo teor de carbono, porque o seu efeito benéfico não aumentou quando da adoção de um regime de laminação controlada.

O estado austenítico - recristalizado ou deformado - não teve importância sobre as propriedades mecânicas porque afetou pouco o tamanho de grão ferrítico.

A redução em área e o alongamento, principalmente este, foram geralmente inferiores para o aço com nióbio. O ganho em resistência no aço com nióbio acarretou alguma perda em ductilidade.

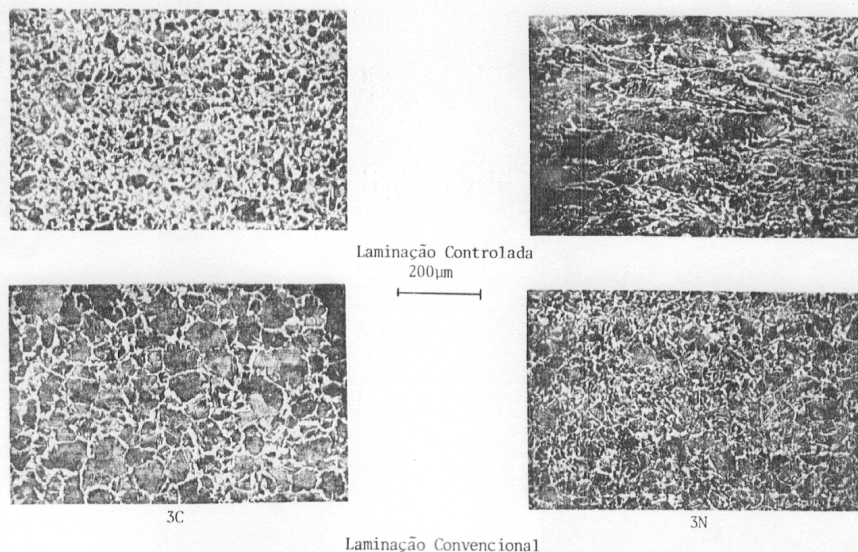


Figura 4. Microestruturas dos aços 3C e 3N.

REFERÊNCIAS

- [1] Bucher, J.M. "Niobium in engineering bar steels". INTERNATIONAL SIMPOSIUM NIOBIUM, San Francisco. USA (1981) pp. 989-1005.
- [2] Jeszensky, G. e Plaut R.L. "Aços de médio carbono microligados ao vanádio para forjaria em matriz fechada". *Metalurgia. ABM*, 43, 85-90 (1987).
- [3] Weise, H. "Weldable high-strength steels for reinforcing bars". CONFERÊNCIA MICROALLOYING 75, New York, Union Carbide Corp., (1977), pp. 676-83.
- [4] Schummer, A. "Microalloyed steels for hot-rolled and cold-formed shapes and concrete reinforcing bars". CONFERÊNCIA MICROALLOYING 75. New York, Union Carbide Corp., (1977), pp. 279-87.
- [5] Hey, A.; Weise, H.; Wilson, W.G. "Production and application of high strength concrete reinforcing bar". INTERNATIONAL SIMPOSIUM NIOBIUM. San Francisco. USA, (1981), pp. 967-87.
- [6] Nordberg, H. and Aronson B. "Solubility of niobium carbide in austenite". *J.I.S.I.*, 206, 1263-66, (1968)
- [7] Costa Neto, A.F.; Doi, S.N.; Kestenbach, H.J.; Mei, P.R. "Efeito do estado austenítico sobre a transformação gama-alfa em aços microligados: técnicas experimentais". *Anais do Seminário sobre Metalurgia Física e Tratamentos Térmicos. Belo Horizonte*, (1987), pp. 185-93.
- [8] Gladman, T.; Mcivor, I.D.; Pickering, F.B. "Some aspects of the structure-property relationships in high-carbon ferrite-perlite steels. *J.I.S.I.*, 210, 916-930, (1972).
- [9] O'Donnelly, B.E. and Baker, T.N. Strengthening in low carbon pearlitic steels. *Mat.Sci.Eng.*, 84, 131-5, (1986).

SUMMARY

Medium carbon steels, with and without niobium, were hot rolled according to two distinct rolling schedules. The paper shows the effect of niobium on the strength of these steels. It was found that the niobium increases the strength with a small deleterious effect on the ductility.