

EFEITO DA TEMPERATURA DE BOBINAMENTO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS EM TRAÇÃO DE UM AÇO MICROLIGADO AO NIÓBIO¹

Emerson Guimarães Melo²
Gláucio Bortoli da Cruz Rabelo³
Paulo Roberto Cetlin⁴

Resumo

Neste trabalho avaliou-se o efeito da temperatura de bobinamento, no tamanho médio de grão ferrítico e nas propriedades mecânicas em tração de um aço microligado ao nióbio, nas condições, de laminado a quente e laminado a frio e recozido em linha contínua. De maneira geral, foi percebida uma queda na resistência mecânica com o aumento da temperatura de bobinamento, nas duas condições de processamento. Esse efeito pode ser associado ao coalescimento de precipitados, uma vez que não se perceberam variações significativas do tamanho de grão ferrítico para as diferentes condições de bobinamento testadas.

Palavra-chave: Aço microligado; Temperatura de bobinamento; Propriedades mecânicas; Tamanho de grão.

THE EFFECT OF THE COILING TEMPERATURE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF A Nb-HSLA STEEL

Abstract

In this study the effect of coiling temperatures on the mechanical properties and ferrite grain size of a hot rolled and an annealed cold rolled Nb-HSLA steel was evaluated. A decrease in the mechanical properties of the steel with coiling temperature increase was noticed for both conditions of the material: hot rolled or annealed cold rolled. Such effect may be associated with a precipitate coarsening since no variation of the ferrite grain size was observed for the various coiling temperatures evaluated.

Key words: Microalloyed steel; Coiling temperature; Mechanical properties; Grain size.

¹ Contribuição técnica ao 44º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 16 a 19 de outubro de 2007, Campos do Jordão – SP, Brasil.

² Membro da ABM, Engenheiro Metalúrgico, M.Sc., Superintendência de Metalurgia e Garantia da Qualidade da Usiminas, Ipatinga, MG.

³ Membro da ABM, Engenheiro Mecânico, M.Sc., CQE/CQA-ASQ, Superintendência de Metalurgia e Garantia da Qualidade da Usiminas, Ipatinga, MG.

⁴ Membro da ABM, Engenheiro Mecânico, Dr., Professor Titular, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFMG, Belo Horizonte, MG.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, na última década, foi crescente o número de empresas do setor automotivo que aqui se instalaram, ampliando, juntamente com o crescimento das já existentes, esse setor. Além das especificações de aços ARBL (Alta Resistência Baixa Liga) exigidas pelas empresas do setor automotivo aqui instaladas, cada nova empresa trouxe consigo projetos que exigem especificações de propriedades mecânicas em tração cada vez mais restritivas e níveis de resistência mais diversificados.

A Usiminas, com o comprometimento de atender esse mercado, tem despendido recursos na investigação da influência dos parâmetros operacionais de fabricação desse tipo de aço de modo a otimizar sua produção, sem deixar de atender plenamente os requisitos de qualidade, cada vez mais desafiadores, exigidos pelo setor automotivo.

Os aços ARBL são aqueles que têm adicionados baixos teores de elementos microligantes, como o nióbio, vanádio e/ou titânio, associados a um processamento termomecânico, visando obter um controle da microestrutura e, assim, propriedades mecânicas em tração adequadas à aplicação final. Esses aços podem ser fabricados como laminados a quente e a frio.⁽¹⁾

Uma vez que a adequada combinação entre as propriedades mecânicas em tração e ductilidade é o requisito fundamental para o sucesso dos aços ARBL empregados na indústria automobilística, a necessidade do conhecimento de como atuam os mecanismos de aumento de resistência mecânica torna-se fundamental.

A literatura aponta que os principais mecanismos de endurecimento que operam nos aços ARBL são o refino de grão ferrítico, o endurecimento por precipitação e solução sólida e o aumento de densidade de deslocamentos imposto por deformação plástica, comumente chamado de encruamento.⁽²⁾

Ao final da laminação a quente, um parâmetro que pode afetar a resistência mecânica de um aço ARBL é a temperatura de bobinamento. Essa temperatura irá influenciar o tamanho e morfologia dos grãos de ferrita, dos nódulos de perlita e dos precipitados.⁽³⁾

Dentro desse contexto, procurou-se avaliar a influência da temperatura de bobinamento (TB), nas propriedades mecânicas em tração de um aço microligado ao nióbio, laminado a quente e a frio e recozido, via linha de recozimento contínuo (CAPL), visando um valor de limite de escoamento mínimo de 340 MPa.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste estudo foi produzido um aço microligado ao nióbio, em escala industrial, cuja faixa de composição química está mostrada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química do aço estudado (% em massa).

C	Mn	P	S	Al	Nb	N
0,04-0,10	0,40-0,90	≤ 0,025	≤ 0,025	0,020-0,100	0,020-0,060	≤ 0,0080

O aço foi lingotado em placas que foram reaquecidas à temperatura de 1180°C, laminadas a quente até a espessura de 3,20 mm e bobinadas à 550°C, 650°C e 750°C. O aço então foi amostrado na condição de laminado a quente na entrada da linha de decapagem. A seguir, foi laminado a frio até a espessura de 1,20 mm, recozido em linha contínua à temperatura de encharque de 760°C e processado no

laminador de encruamento visando redução de 1,7%. Foram retiradas amostras da mesma região amostrada como laminado a quente após a conclusão do processamento industrial.

A caracterização metalográfica foi realizada em amostras atacadas com nital 4% utilizando microscopia óptica e eletrônica de varredura (MEV). A determinação do tamanho médio de grão ferrítico foi realizado através do método de interceptos conforme a norma ASTM E-112/96.⁽⁴⁾ A caracterização mecânica do material foi feita através de ensaios de tração, utilizando corpos-de-prova retirados a ¼ da largura das bobinas e orientados transversalmente à direção de laminação das amostras processadas a quente e a frio recozidas, conforme a norma NBR 6673/81.⁽⁵⁾

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 1 e 2 são mostrados o aspecto microestrutural do aço como laminado a quente e a frio recozido, respectivamente, nas diferentes condições de bobinamento. A microestrutura, indiferentemente do processamento aplicado, foi composta de ferrita, em sua maior parte, e de cementita.

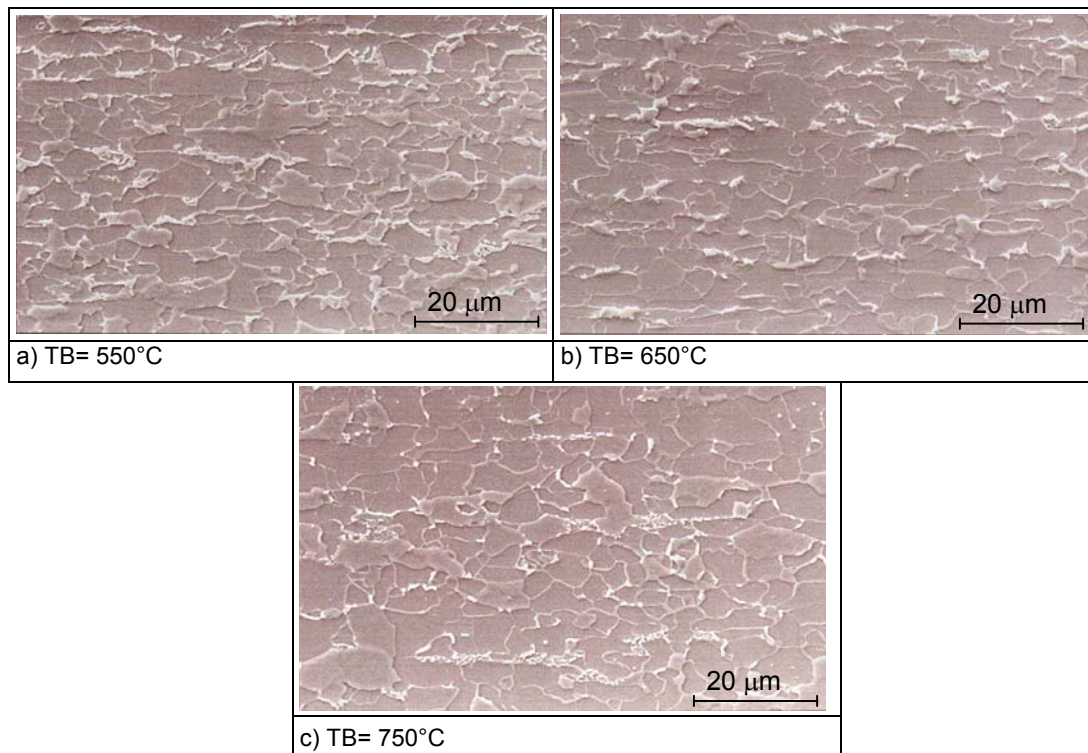


Figura 1. Aspecto microestrutural (MEV) do aço como laminado a quente nas diferentes condições de bobinamento. Ataque: Nital 4%.

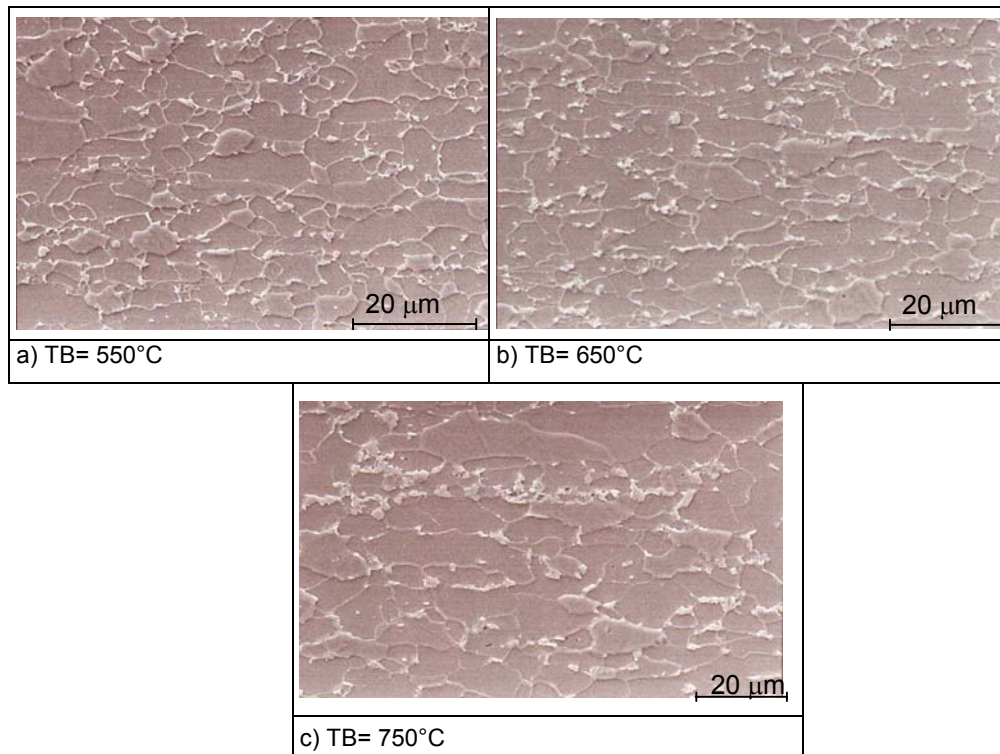


Figura 2. Aspecto microestrutural (MEV) do aço como laminado a frio e recozido nas diferentes condições de bobinamento. Ataque: Nital 4%.

Nas Figuras 3 e 4 são apresentados os resultados de propriedades mecânicas em tração do aço, laminado a quente e a frio e recozido, nas diversas temperaturas de bobinamento avaliadas.

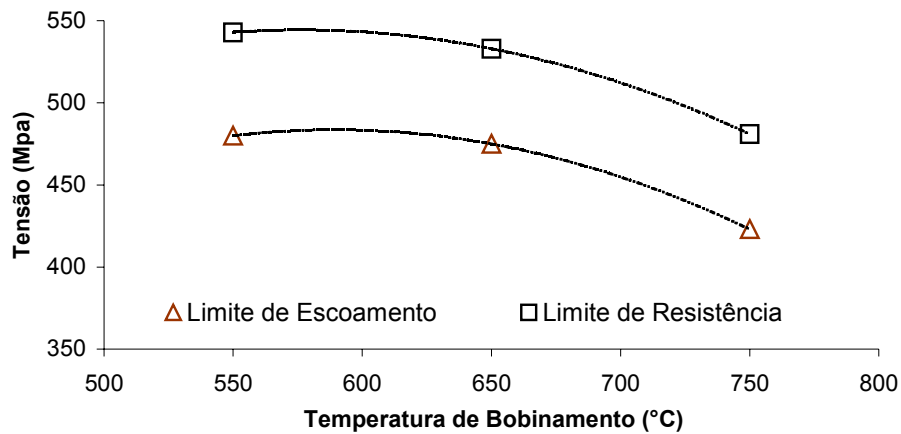


Figura 3. Efeito da temperatura de bobinamento nos limites de escoamento e de resistência no aço como laminado a quente.

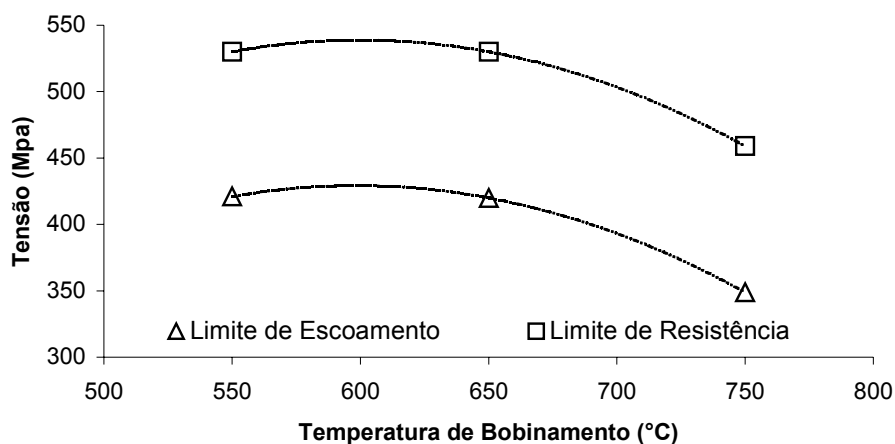


Figura 4. Efeito da temperatura de bobinamento nos limites de escoamento e de resistência no aço como laminado a frio e recozido.

De maneira geral, houve uma queda na resistência mecânica do aço com o aumento da temperatura de bobinamento, independentemente da condição de processamento do aço. Esse resultado já era esperado porque em temperaturas de bobinamento mais altas ocorre o coalescimento de precipitados, o que provoca uma diminuição de seu efeito na resistência mecânica.⁽⁶⁾ Patel *et al.*⁽⁷⁾ cita que em aços microligados ao nióbio o máximo efeito do mecanismo de precipitação ocorre em torno da temperatura de bobinamento de 600°C. Foi observado nas figuras 3 e 4 um comportamento semelhante ao encontrado por Patel *et al.*,⁽⁷⁾ podendo-se inferir que a máxima resistência mecânica está entre 550°C e 650°C.

O tamanho médio dos grãos ferríticos (d) do aço nas diferentes condições de processamento, submetido a diversas temperaturas de bobinamento (TB), são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Tamanho médio de grão ferrítico.

	TB (°C)	d (μm)
LAMINADO A QUENTE	550	4,5
	650	5,0
	750	4,5
LAMINADO A FRIO E RECOZIDO	550	5,1
	650	5,7
	750	5,9

Observando os valores apresentados na Tabela 2, assim como as Figuras 1 e 2, pode-se inferir que praticamente o tamanho médio de grão ferrítico não variou com a temperatura de bobinamento. Essa afirmação pode ser reforçada com a utilização da ferramenta estatística de análise de variância (ANOVA). Para um nível de confiança de 95%, foi calculado um valor de F de *Snedecor* e comparado ao valor de $F_{\text{crítico}}$, Tabela 3.

Tabela 3. Valor de F de *Snedecor* calculado e crítico para o tamanho de grão ferrítico.

	n° amostras	F _{crítico}	F _{calculado}
Laminado a Quente	30	3,35	0,19
Laminado a Frio e Recozido	20	4,41	0,01

Como o $F_{\text{calculado}}$ foi inferior ao $F_{\text{crítico}}$, pode-se inferir que não houve diferença significativa entre as médias dos tamanhos de grãos entre as diversas temperaturas de bobinamento testadas tanto para o material laminado a quente quanto no laminado a frio e recozido. A diferença observada deveu-se somente à variabilidade inerente ao processo e a técnica experimental de medição do tamanho de grão.⁽⁸⁾

Ainda com base nessas afirmações sobre o tamanho de grão ferrítico pode-se concluir que a queda de resistência mecânica de 650°C para 750°C, verificado nas Figuras 3 e 4, pode ser associada principalmente ao mecanismo de coalescimento de precipitados uma vez que não foram percebidas diferenças significativas entre os tamanhos de grãos nessa faixa de temperatura de bobinamento.

4 CONCLUSÕES

Indiferentemente da condição de bobinamento, o tamanho médio de grão ferrítico no aço estudado não mostrou variação significativa entre as condições de laminados a quente e a frio e recozido.

Os valores de limite de escoamento e de resistência apresentaram uma redução com o aumento da temperatura de bobinamento, tanto para o laminado a quente quanto a frio e recozido. Percebeu-se que essa redução foi mais acentuada com o aumento da temperatura de 650°C para 750°C. Essa queda das propriedades mecânicas em tração com o aumento da temperatura de bobinamento foi associada ao coalescimento de precipitados uma vez que precipitados grosseiros no aço tendem a reduzir sua resistência mecânica.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Usiminas e a Universidade Federal de Minas Gerais pela oportunidade oferecida e pela confiança depositada na realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 COUTINHO, C. A. B. *Materiais Metálicos para Engenharia*. 1ª Ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1992.
- 2 PICKERING, F. B. *Physical Metallurgy and the Design of Steels*. 1ª Ed. Essex: Applied Science Publishers, 1978.
- 3 PANIGRAHI, B.K. *Processing of Low Carbon Steel Plate and Hot Strip – an overview*, Bull. Mater. Sci., v. 24, n.9, p. 361-371, 2001.
- 4 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Philadelphia. ASTM E-112-96; Standard Test and Methods for Determining Average Grain Size, 2004.
- 5 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, São Paulo. NBR 6673-81, Produtos Planos de Aço – Determinação das Propriedades Mecânicas à Tração, 1981.
- 6 DIETER, G. E., *Metalurgia Mecânica*. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1981.
- 7 PATEL, J.K.; WILSHIRE, B. *The Challenge to Produce Consistent Mechanical Properties in Nb-HSLA Strip Steels*, Journal of Materials Processing Technology, n.120, p. 316-321, 2002.
- 8 JURAN, J.M. et al. *Juran's Quality Handbook*, 5th ed. New York: McGraw Hill, p. 47.12-47.13, 1999.