

EFEITO DA TEMPERATURA DE ACABAMENTO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CHAPAS GROSSAS DE AÇO MICROLIGADO ¹

Antonio Augusto Gorni ²
Flávio Viana de Freitas ³
Jackson Soares de Souza Reis ⁴
José Herbert Dolabela da Silveira ⁵
Celso Gomes Cavalcanti ⁶

RESUMO

Freqüentemente se observa que o efeito da temperatura de acabamento sobre as propriedades dos aços microligados processados por laminação controlada pode ser contraditório. Contudo, essas aparentes contradições geralmente podem ser entendidas analisando-se holisticamente todos os aspectos industriais e metalúrgicos envolvidos nesse tratamento termomecânico. Além da dificuldade em se caracterizar, de forma consistente, confiável e precisa, a temperatura do final de laminação industrial a que o material foi submetido, também deve ser considerado todo seu histórico termomecânico e o efeito específico dos elementos de liga presentes. Este trabalho constatou, a partir de resultados industriais observados na COSIPA, que o abaixamento da temperatura de acabamento geralmente eleva a resistência mecânica do aço. Já seus efeitos sobre a razão elástica, alongamento total e tenacidade já não pode ser previsto de maneira tão categórica, pois dependem de outros fatores ligados à definição da microestrutura do material, como a possibilidade de laminação intercrítica, ou seja, a transformação do material durante sua laminação a quente.

Palavras-Chave: Laminação Controlada, Temperatura de Acabamento, Propriedades Mecânicas.

¹ Trabalho a ser apresentado ao 59º Congresso Anual da ABM, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Paulo SP, 19 a 22 de Julho de 2004.

² Membro da ABM. Engenheiro de Materiais, M. Eng., D. Eng., Analista de Processos da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Quente, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP.

³ Membro da ABM. Engenheiro Metalurgista, Analista de Processos da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Quente, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP.

⁴ Membro da ABM. Engenheiro Metalurgista e de Qualidade, Gerente do Suporte Técnico da Laminação a Quente, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP.

⁵ Membro da ABM. Engenheiro Metalurgista, M. Eng., Gerente da Laminação de Tiras a Quente, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP.

⁶ Membro da ABM. Técnico Metalurgista, Analista de Produto da Gerência de Assistência Técnica, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP.

- Introdução

Como se sabe, a temperatura final ou de acabamento da laminação controlada de um aço microligado afeta tanto sua microestrutura como suas propriedades mecânicas. Já seu efeito preciso nem sempre pode ser previsto com certeza, pois há casos onde seus efeitos parecem ser contraditórios [1-3]. Há uma série de razões para esse comportamento ambíguo, que normalmente se encontram associadas às ligas e condições de processamento específicas que foram empregadas em cada estudo.

Um abaixamento da temperatura de acabamento tende efetivamente a elevar tanto o limite de escoamento como o de resistência do material. Esse efeito tende a ser intensificado se ocorrer deformação na região intercrítica, ou seja, abaixo da temperatura Ar_3 . Neste caso, a ferrita que se forma durante a deformação sofre um encruamento progressivo sem restauração significativa posterior, o qual aumenta acentuadamente a resistência mecânica do material [1-3].

A variação da razão elástica com a temperatura de acabamento também depende se o final da laminação ocorreu acima ou abaixo de Ar_3 . Caso o acabamento se dê com o material ainda totalmente austenítico, sob temperaturas acima de Ar_3 , há tendência da razão elástica subir com o abaixamento da temperatura de acabamento [2,3]. Contudo, no caso da laminação intercrítica, foram constatados resultados contraditórios na literatura para aços ao Nb; poderia ocorrer tanto aumento [1] como redução [2] no valor desse parâmetro. A causa dessa ambigüidade não ficou clara, mas pode estar relacionada com as condições específicas de composição química e processamento da liga.

Há relativamente pouca informação disponível sobre os efeitos da temperatura de acabamento sobre a ductilidade do material, expressa pelo alongamento total obtido durante o ensaio de tração. As evidências disponíveis indicam que ele tende a subir se a laminação termina no campo plenamente austenítico e a diminuir se houver laminação intercrítica [2]. Isto parece lógico, uma vez que pode-se imaginar que a ferrita encruada vá apresentar menor ductilidade do que outra não deformada.

Um comportamento análogo também foi verificado para a tenacidade do material, expressa pela energia absorvida durante o ensaio Charpy ou pela temperatura de transição entre fratura dúctil e frágil. Menores temperaturas de acabamento, restritas ao campo austenítico, promovem aumento da tenacidade. Contudo, ao se cruzar a temperatura Ar_3 , menores temperaturas de acabamento proporcionam diminuição na tenacidade do material. Mais uma vez o encruamento da ferrita ocorrido durante a laminação intercrítica pode explicar esse fenômeno [2].

Além desses fenômenos metalúrgicos, também têm de ser considerados outros aspectos ligados à laminação industrial que podem afetar o estabelecimento de uma correlação entre a temperatura de acabamento e as características do laminado:

Amplitude da faixa de temperaturas de acabamento estudadas. Estudos onde a faixa de temperaturas de acabamento estudada é estreita tendem a anular o efeito desse parâmetro, pois as variações nas propriedades do material serão pequenas e, portanto, podem ser mascaradas pelos inevitáveis erros experimentais associados à medição de temperatura e à execução dos ensaios mecânicos;

Magnitude da faixa de temperaturas de acabamento estudadas. Como já foi discutido, a laminação da ferrita em coexistência com a austenita produz rele-

vantes alterações nas propriedades do laminado, que eventualmente produzem resultados contrários aos obtidos numa laminação exclusivamente austenítica;

Definição do momento exato de medição da temperatura. A especificação do momento de medida da temperatura - se antes ou após a aplicação do último passe - deve ser feita de forma inequívoca e seguida rigorosamente pelos operadores. Caso contrário as medidas obtidas não serão consistentes;

Aplicação de passes de correção pesados. O chamado passe de correção é um passe extra aplicado ao esboço industrial após o último passe nominal, caso o operador não tenha conseguido atingir a bitola do laminado dentro da tolerância desejada. O problema é que correções significativas implicam em reduções suficientemente grandes que afetam metalurgicamente o material, uma vez que são aplicadas sob temperaturas relativamente baixas. Neste caso, se a carga de laminação ultrapassar um certo valor, a temperatura de acabamento a ser considerada é a temperatura do passe de correção, e não a do último passe nominal.

Erros experimentais na determinação da temperatura de laminação. Isto é particularmente válido nos estudos feitos em escala industrial, onde há maior tendência à ocorrência de erros experimentais que mascaram os resultados realmente obtidos. Por isso é fundamental que os pirômetros encontrem-se perfeitamente aferidos e as medições sejam feitas sem o efeito deletério da presença de vapor ou água sobre a chapa. No caso dos esboços mais pesados deve-se considerar também o inevitável gradiente térmico presente ao longo da espessura;

Falhas de amostragem no esboço. Também é uma fonte de erro presente nas experiências industriais. A experiência já mostrou que a temperatura das pontas dos esboços cai mais rapidamente em relação às demais regiões, alterando as propriedades mecânicas nesse ponto específico do laminado. Logo, deve-se evitar que as amostras para análise sejam retiradas das pontas do esboço, pois neste caso elas não refletirão a real condição do material;

Ligas onde o efeito da temperatura de acabamento não é tão nítido. Este é o caso de aços microligados ao nióbio contendo cobre (ASTM A710, HSLA-80) e os bainíticos de carbono ultra-baixo (ULCB), onde só a tenacidade foi afetada pela variação da temperatura de acabamento entre 700 e 800°C [4].

O objetivo deste trabalho é apresentar e discutir algumas experiências industriais envolvendo laminação controlada de aços microligados onde foi possível determinar o efeito da temperatura de acabamento sobre as propriedades mecânicas do esboço.

- Procedimento Experimental

O primeiro aço estudado nesta experiência era microligado ao NbTi, normalmente aplicado para a produção de chapas grossas para uso naval conforme a norma ASTM AH 32, cujas faixas nominais de composição química são 0,11-0,15% C; 0,90-1,10% Mn; 0,25-0,35% Si; 0,025% P máx.; 0,015% S máx.; 0,020-0,060% Al; 0,015-0,025% Nb e 0,008-0,020% Ti. A liga apresentou temperatura de não-recristalização (T_{nr}) igual a de 881°C conforme a fórmula de Boratto e outros [5] considerando-se solubilização plena [6] e temperatura de início de transformação ferrítica (Ar_3) de 786°C, determinada pela equação de Ouchi e outros [7]. Esse material foi obtido na forma de chapas grossas com 19 mm de espessura, submetidas a temperaturas de acabamento de 950, 900, 850 e 750°C. Deve-se lembrar que a temperatura de acabamento considerada industrialmente

é medida na superfície do material, que é bem mais fria que seu núcleo. Estimativas práticas [8] indicam que essa diferença de temperatura é da ordem de 30 a 35°C; logo, esse material ainda deverá estar plenamente austenítico mesmo quando da aplicação da menor temperatura de acabamento prevista para esta experiência.

Após a laminação foram extraídas amostras do centro dos esboços, as quais foram caracterizadas do ponto de vista microestrutural e mecânico. Foram realizadas medidas de metalografia quantitativa, determinando-se a fração volumétrica de perlita e o tamanho de grão, conforme a metodologia descrita em [9]. Em termos de propriedades mecânicas foram determinados os limites de escoamento e de resistência, razão elástica (razão entre o limite de escoamento e o de resistência) e alongamento total através de ensaios de tração, e a energia absorvida durante ensaios de impacto Charpy executados a -60, -40, -20, 0 e 20°C.

O segundo aço estudado era microligado ao NbTiV, destinado à produção de chapas grossas para tubos de grande diâmetro conforme a norma API 5L X70. Suas faixas de composição química eram 0,07-0,11% C; 1,40-1,55% Mn; 0,020% P máx; 0,005% S máx; 0,20-0,30% Si; 0,020-0,045% Al; 0,050-0,060% Nb; 0,010-0,020% Ti e 0,020-0,030% V, permitindo estimar os valores de T_{nr} em 1041°C [5,6] e Ar_3 em 765°C [7]. Esse material foi processado na forma de chapas grossas com 13,1 mm de espessura sob temperatura de acabamento objetivada de 720°C. Note-se que neste caso não houve a intenção deliberada de se observar o efeito da temperatura de acabamento sobre as propriedades das chapas, como foi o caso do primeiro estudo aqui citado. Esse valor de temperatura de acabamento está abaixo do ponto Ar_3 , podendo-se prever que haverá algum grau de laminação intercrítica, mesmo assumindo-se que o núcleo do material esteja sob temperaturas 30 a 35°C superiores ao valor medido na superfície do esboço pelo pirômetro.

Neste caso foram determinadas apenas as propriedades mecânicas do material, tais como limite de escoamento, de resistência, razão elástica, alongamento total e energia absorvida no ensaio Charpy a -20°C. Infelizmente não foi possível efetuar uma análise quantitativa de sua microestrutura.

- Resultados Experimentais e Discussão

A razoável amplitude das temperaturas de acabamento aplicadas ao aço ao NbTi, que resultou num intervalo de 200°C, permitiu uma variação significativa em seus parâmetros microestruturais e mecânicos. A figura 1a mostra o efeito de refino de grão promovido pelo abaixamento da temperatura de acabamento. Seu abaixamento desde 950 para 750°C levou a uma queda no tamanho de grão 11,3 para 7,9 μm . É possível verificar uma boa correlação linear entre essas duas variáveis, com coeficiente de correlação igual a 0,95, mas é necessário aceitar esse resultado com alguma prudência, em função do pequeno número de dados experimentais. Também foi verificado efeito significativo da temperatura de acabamento sobre a fração de perlita presente na microestrutura, como se pode observar na figura 1b. De acordo com os dados obtidos, a fração de perlita é diretamente proporcional à temperatura de final de laminação. Essa fração caiu 23 para 17% quando se diminuiu a temperatura de acabamento de 950 para 750°C. Mais uma

vez se observou um excelente ajuste linear entre esses dois parâmetros, com coeficiente de correlação igual a 0,98.

Há uma possível explicação metalúrgica para esse fenômeno. Sabe-se que nos aços microligados a velocidade de recristalização da austenita entre passes torna-se cada vez menor abaixo de aproximadamente 1000°C. Abaixo da chamada temperatura de não-recristalização (T_{nr}) - que, para a liga em questão, é de 881°C - essa recristalização é progressivamente suprimida. Assim sendo, pode-se esperar que o abaixamento das temperaturas dos passes de deformação, decorrente da diminuição da temperatura de acabamento, faça com que a austenita se recristalize menos entre os passes, encruando de maneira mais intensa. Esse efeito é particularmente mais intenso abaixo da T_{nr} . Uma vez que o encruamento da austenita acelera sua transformação em ferrita [10], quanto menor a temperatura de acabamento, maior será a fração de ferrita no material, que é que justamente se verifica aqui.

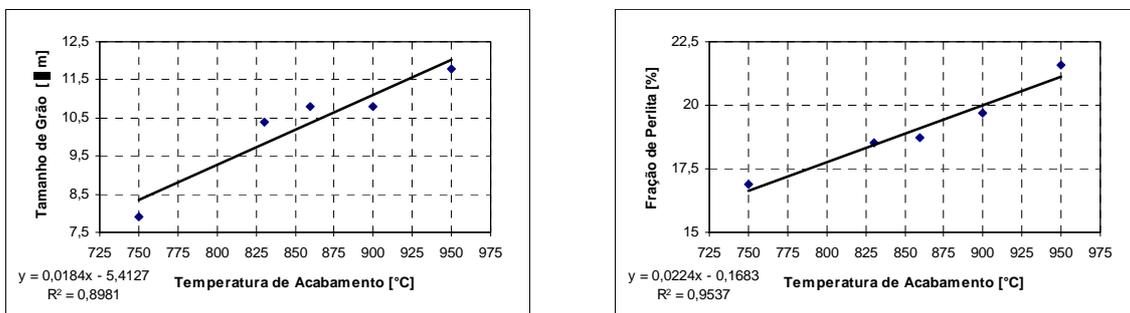


Figura 1: Efeito da temperatura de acabamento sobre a microestrutura de chapas grossas de aço ao NbTi processadas por laminação controlada, em termos de a) tamanho de grão; b) fração de perlita.

Os efeitos da temperatura de acabamento sobre as propriedades mecânicas também foram bastante significativos. No caso do limite de escoamento, o abaixamento da temperatura de acabamento de 950 para 750°C levou a um aumento de 338 a 410 MPa nesse parâmetro, conforme mostrado na figura 2a. Isto representou uma taxa média de 7 MPa cada 20°C de alteração na temperatura de acabamento. Efeito similar também foi verificado no limite de resistência, conforme mostrado na figura 2b. O abaixamento da temperatura de acabamento de 950 para 750°C fez com que esse parâmetro se elevasse de 487 para 511 MPa, ou seja, uma elevação de 2,5 MPa a cada 20°C de alteração naquela temperatura. Como se pode observar, o efeito da temperatura de acabamento sobre o limite de resistência foi bem menor do que o observado para o limite de escoamento, fato confirmado pela literatura em geral [1-3]. Esse maior efeito da temperatura em acabamento sobre o limite de escoamento em comparação com o de resistência leva a uma consequência prática interessante: o abaixamento dessa temperatura leva a um aumento da razão elástica do material. É justamente o que se observa na figura 2c, onde se observa que o abaixamento da temperatura de acabamento, desde 950 para 750°C, levou a um aumento na razão elástica do aço, que passou de 69 para 80%. Esse é um parâmetro a ser considerado com cuidado, pois valores muito altos da razão elástica indicam chapas de conformação difícil, com alta tendência à ocorrência do chamado efeito mola (*springback*) [1]. Já o alongamento total não sofreu qualquer efeito em função da temperatura de acabamento aplicada ao esboço a quente, conforme mostra a figura 2d, mostrando ainda que as

alterações microestruturais decorrentes dessa alteração de processo não influenciaram a ductilidade do material.

A figura 2e mostra, ainda que de forma nebulosa, que a tenacidade do material, expressa pela energia absorvida no ensaio Charpy executado a -20°C , melhorou com o abaixamento da temperatura de acabamento. De fato, a medida em que esta era reduzida de 950 para 750° os valores de energia absorvida no ensaio Charpy se elevaram de 41 para 72 J. A dispersão relativamente alta verificada neste gráfico é característica dos ensaios Charpy, em decorrência das inevitáveis flutuações na precisão durante a usinagem do entalhe do corpo de prova e de efeitos locais na região do material onde foram extraídos os corpos de prova para esse ensaio, que são relativamente pequenos.

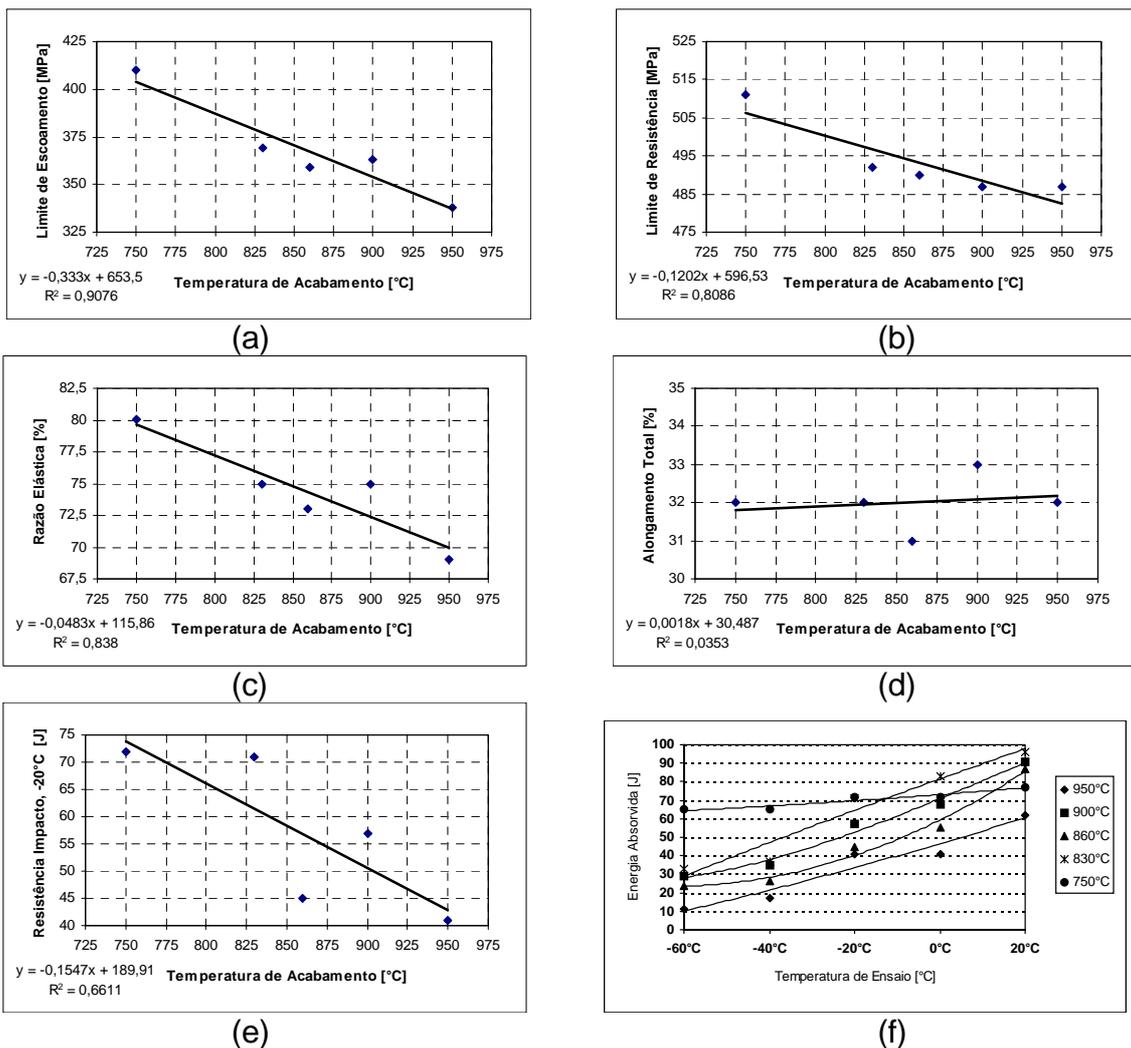


Figura 2: Efeito da temperatura de acabamento sobre propriedades mecânicas de chapas grossas de aço ao NbTi processadas por laminação controlada: a) limite de escoamento; b) limite de resistência; c) razão elástica; d) alongamento uniforme; e) resistência ao impacto Charpy a -20°C ; f) curvas de transição de fratura dúctil-frágil.

Por outro lado, as curvas de transição levantadas a partir dos ensaios Charpy executados sob diversas temperaturas permite caracterizar o efeito da temperatura de acabamento sobre a tenacidade de maneira mais esclarecedora, conforme se pode observar na figura 2f. Pode-se observar que a curva relativa

aos materiais submetidos a temperaturas de acabamento entre 830 e 950°C apresentaram valores de energia absorvida crescentes à medida que a temperatura se eleva. Isto parece indicar uma transição entre regiões de fratura frágil e dúctil. Já o material onde a laminação controlada terminou a 750°C apresentou valores de tenacidade praticamente constantes de energia absorvida no ensaio Charpy para as mesmas temperaturas de ensaio. Uma vez que esses valores foram relativamente altos, aparentemente esse material já se encontra na região de fratura dúctil para todas as temperaturas de ensaio empregadas. Essa clara alteração no comportamento do material mostra o efeito poderoso do refino de grão sobre a tenacidade do material.

No caso das chapas grossas de aço microligado ao NbTiV tem-se apenas os resultados em termos de propriedades mecânicas. A figura 3a mostra o efeito da temperatura de acabamento sobre o limite de escoamento. A correlação entre esses dois parâmetros não foi tão alta quanto no caso anterior, muito mas ainda assim é relativamente significativa considerando-se o fato de ser uma experiência industrial e pelo menor intervalo de temperaturas de acabamento considerado. A sensibilidade do limite de escoamento em relação à temperatura foi bem mais alta aqui, ficando em torno de 22 MPa a cada 20°C de variação na temperatura de acabamento, ou seja, aproximadamente três vezes mais que o verificado na liga anterior. É provável que essa maior susceptibilidade à temperatura de acabamento decorra do fato de que os passes finais aplicados aos esboços das ligas ao NbTiV ocorra em sua região intercrítica, onde o encruamento intensificado da ferrita eleva, de maneira mais intensa, a resistência mecânica do material [1]. Conforme esperado, o efeito da temperatura de acabamento sobre o limite de resistência foi similar ao observado para o limite de escoamento, conforme mostra a figura 3b. A correlação aqui foi melhor que a observada para o limite de escoamento. A sensibilidade à temperatura de acabamento foi maior que a verificada para o limite de escoamento, pois foi observada uma variação média de 31 MPa a cada 20°C de alteração na temperatura de acabamento. Esse resultado foi muito superior ao constatado para o aço NbTi, onde, além disso, foi constatado que a sensibilidade do limite de resistência em relação à temperatura de acabamento foi bem menor que a verificada para o limite de escoamento. Mais uma vez essas diferenças podem ser explicadas pelo final de laminação na região intercrítica que caracterizou os aços ao NbTiV.

O efeito conjunto da temperatura de acabamento sobre os limites de escoamento e resistência definirá sua influência sobre a razão elástica. Surpreendentemente, a figura 3c mostra que a variação da temperatura de acabamento entre 715 e 670°C não provocou alterações significativas nesse parâmetro, ao contrário do que a literatura reporta [1], principalmente pelo fato do final da laminação ter ocorrido na região intercrítica. O coeficiente de correlação entre a temperatura de acabamento e a razão elástica foi próxima de zero, com este último parâmetro apresentando valor médio de 0,85 ao longo da faixa de temperaturas de acabamento aplicadas. Uma vez que o efeito da temperatura de acabamento sobre o limite de resistência foi maior que o verificado para o de escoamento, verificou-se uma ligeira tendência nominal de queda da razão elástica com a redução da temperatura de acabamento, mas ela não se sustenta estatisticamente.

A figura 3d mostra que o abaixamento da temperatura de acabamento exerceu efeito deletério sobre a ductilidade do esboço, aqui expressa pelo alongamento total medido após o ensaio de tração. A correlação relativamente boa obtida entre essas duas variáveis é algo surpreendente, uma vez a literatura não

reporta esse efeito da temperatura de acabamento; de fato, a ductilidade do aço NbTi aqui estudado não foi afetada pela temperatura de acabamento, embora esta tenha variado ao longo de 200°C naquele caso. Mais uma vez, a provável causa para esse efeito deve ter sido o maior grau de laminação intercristica aplicado ao esboço a medida que a temperatura de acabamento é abaixada. O aumento da fração de ferrita presente na microestrutura do material no final de sua laminação e seu progressivo encruamento pela deformação a quente devem contribuir para reduzir a ductilidade da microestrutura final. O resultado aqui obtido indica uma queda de 5% no alongamento total a cada 20°C a menos na temperatura de acabamento.

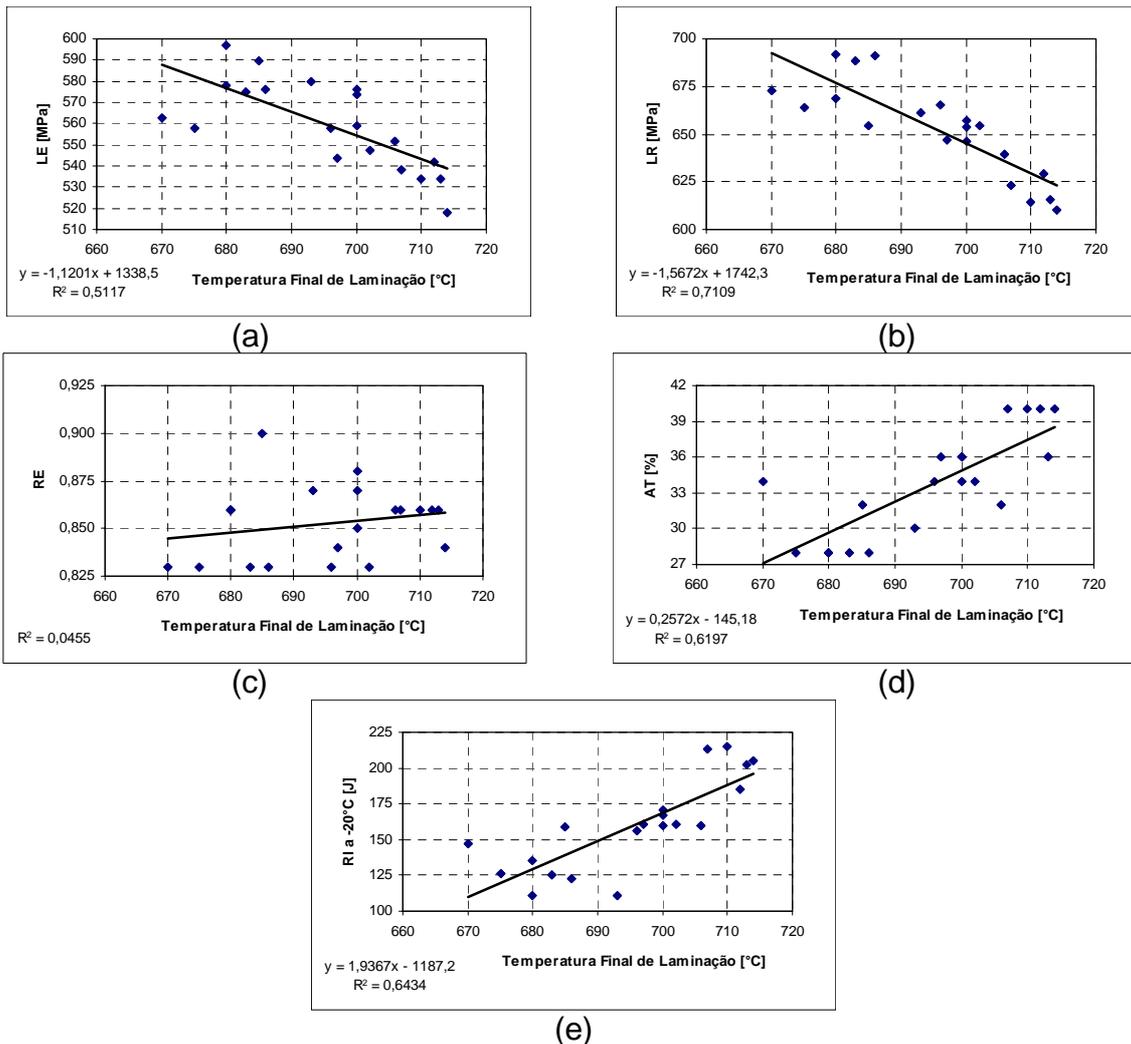


Figura 3: Efeito da temperatura de acabamento sobre propriedades mecânicas de chapas grossas de aço ao NbTiV processadas por laminação controlada: a) limite de escoamento; b) limite de resistência; c) razão elástica; d) alongamento uniforme; e) resistência ao impacto Charpy a -20°C.

Um resultado igualmente inusitado foi encontrado ao se levantar o efeito da temperatura de acabamento sobre a tenacidade dos aços NbTiV. A resistência ao impacto determinada por ensaio Charpy executado a -20°C diminuiu com a redução da temperatura de acabamento, a uma taxa de 38 J a cada 20°C subtraídos. Contudo, a literatura aponta que tal fato é normal nos aços submetidos à la-

aminação intercrista: sua tenacidade cai com a quantidade de ferrita deformada na microestrutura e com o grau de deformação que lhe é aplicado [1].

- Conclusões

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que o abaixamento da temperatura de acabamento elevou a resistência mecânica do aço. Já seus efeitos sobre a razão elástica, alongamento total e tenacidade já não podem ser previstos de maneira tão categórica, pois dependem de outros fatores, como a ocorrência de laminação intercrista. Logo, a influência da temperatura de acabamento tem de ser considerada levando-se em conta as características específicas de cada liga, especialmente as relacionadas com sua transformação.

8. Referências Bibliográficas

1. TAMURA, I. e outros. Thermomechanical Processing of High Strength Low Alloy Steels. Butterworths, London, 1988. 248 p.
2. PAWELSKI, O. e outros. Untersuchung der Thermomechanischen Behandlung beim walzen von hochfesten Baustählen zur Verbesserung ihrer mechanischen und technologischen Eigenschaften, Forschungsbericht T83-083, Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn, Mai 1983. 237 p.
3. HAUMANN, W. e outros. Verringerung der Streubreite der mechanisch-technologischen Eigenschaften von Warmgewalzten Baustählen. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn, April 1983. 139 p.
4. GORNI, A.A. e outros. In: 54° Congresso Anual da ABM. Anais. São Paulo, 1999.
5. BORATTO, F. e outros. In: THERMEC '88. Proceedings. Iron and Steel Institute of Japan, Tokyo, 1988, p. 383-390.
6. GORNI, A.A. & SILVEIRA, J.H.D. In: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO. Anais. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Paulo, 1994, 81-98.
7. OUCHI, C. e outros. Transactions of the ISIJ, 22(3):214-222, March 1982
8. SILVEIRA, J.H.D. Seminário Interno de Laminação da COSIPA, Março 1993. 9 p.
9. GORNI, A.A. Revista Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Jan.-Mar. 1995, p. 40-4.
10. DESALOS, Y. e outros. Les Mémoires et Études Scientifiques de la Revue de Metallurgie, Juin 1979, 377-96.

INFLUENCE OF THE FINISHING TEMPERATURE OVER THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF MICROALLOYED STEEL PLATES ¹

Antonio Augusto Gorni ²
Flávio Viana de Freitas ³
Jackson Soares de Souza Reis ⁴
José Herbert Dolabela da Silveira ⁵
Celso Gomes Cavalcanti ⁶

RESUMO

The effect of the finishing temperature over the properties of microalloyed steels processed through controlled rolling can be contradictory in some cases. However, these apparent contradictions generally can be understood through a global analysis of all industrial and metallurgical aspects involved in such thermomechanical treatment. Besides the practical difficulties associated with a consistent, reliable and precise characterization of the finishing temperature, one must also consider all thermomechanical history and the effects of alloying elements over the material. This work has shown, from industrial results got at COSIPA steelworks, that the decrease of the finishing temperature generally led to an increase of the mechanical strength of controlled rolled plates of microalloyed steel. However, the effects of finishing temperature over yield ratio, total elongation and toughness can not be predict so surely, as they depend on other factors that affects the formation of the final microstructure of the material, like the possibility of intercritical rolling, that is, transformation during hot rolling.

Keywords: Controlled Rolling, Finishing Temperature, Mechanical Properties.

¹ Paper to be presented in the 59° Annual ABM Congress, Brazilian Metallurgy and Materials Association, São Paulo, Brazil, July 19 to 22, 2004.

² ABM Member. Materials Engineer, M. Eng., D. Eng., Process Analyst, Hot Rolling Technical Support Section, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP.

³ ABM Member. Metallurgical Engineer, Process Analyst, Hot Rolling Technical Support Section, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP.

⁴ ABM Member, Metallurgical and Quality Engineer, Manager of the Hot Rolling Technical Support, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP.

⁵ ABM Member. Metallurgical Engineer, M. Eng., Manager of the Hot Strip Mill, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP.

⁶ ABM Member. Metallurgical Technician, Product Analyst, Technical Assistance Section, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP.