

OTIMIZAÇÃO DE VARIÁVEIS NO PROCESSAMENTO DE CHAPAS GROSSAS EM LAMINADOR DESBASTADOR¹

Eduardo Judice de Novais²
Francisco Coutinho Dornelas³
Ludmila Milanez Carneiro e França⁴
André Barros Cota⁵

Resumo

A produção de chapas extra grossas somente nos momentos ociosos da linha faz com que não interfira negativamente na produtividade do equipamento. Nos experimentos foram utilizadas placas sem desvio de qualidade com espessura inicial de 250 mm, visando um produto de 100 mm de espessura e 1880 mm de largura, por ser este um produto de alta aceitação no mercado. As propriedades mecânicas foram avaliadas a partir de amostras de chapas processadas industrialmente no laminador de desbaste da Companhia ArcelorMittal Tubarão, com a utilização de diferentes valores de fator de forma. Foram utilizados ensaios de tração para a verificação dos limites de escoamento e limites de resistência, alongamento, assim como ensaios de ultrassom para a verificação da sanidade interna ao longo da espessura. Os resultados obtidos estão sendo utilizados para ajustar as práticas de laminação adotadas no laminador de desbaste para a produção com garantia de propriedades mecânicas especificadas neste trabalho.

Palavras-chave: Chapas extra grossas; Laminador de desbaste; ASTM A36.

VARIABLES OPTIMIZATION OF PLATES PROCESSING IN THE ROUGHING MILL

Abstract

The plate production only in the idle time does not interfere negatively in the equipment productivity. The mechanical properties will be evaluated using samples acquired from materials processed in the ArcelorMittal roughing mill, using different values of shape factor. Tests will be realized to verify the tensile strength, yield point, elongation as well as ultra sound test to verify throughout the thickness the level of inner sanity. In the same time will be realized metallography to determine the grain size and possible changes throughout the thickness. In the experiments will be used slabs without critical quality defects with initial thickness of 250 mm, aiming a final product of 100 mm thickness and 1880 mm width, for been a very accepted product in the market. The results obtained will be used to adjust the roughing mill procedures to plate's production with mechanical properties guarantee attending the specifications in this work.

Key words: Plates; Roughing mill; ASTM A36.

¹ *Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

² *Especialista em Laminação de Tiras a Quente na ArcelorMittal Tubarão.*

³ *Gerente de controle de processo e produção de placas e bobinas da ArcelorMittal Tubarão.*

⁴ *Especialista em desenvolvimento de produto da ArcelorMittal Tubarão*

⁵ *Sócio da ABM, Professor, D.Sc., Universidade Federal de Ouro Preto, REDEMAT/DEFIS*

1 INTRODUÇÃO

O complexo industrial de laminação de tiras a quente da Companhia Arcelormittal Tubarão, inaugurado em 2002, apresenta o estado da arte em tecnologias de laminação a quente. O Laminador de Tiras a Quente (LTQ) possui tecnologias que permitem a produção de laminados a quente que atendem as tolerâncias mais restritivas do mercado, com espessuras variando entre 1,20 mm e 19,00 mm e larguras entre 700 mm e 1.880 mm. Após a partida e estabilização da produção, identificou-se oportunidade produção e comercialização de material espesso e largo aproveitando a forte demanda por chapas grossas iniciada em 2006. Em especial explorou-se a capacidade de produção de chapas com espessuras entre 16 mm e 200 mm e larguras até 1.880 mm, evidenciando a qualidade do produto, competitividade, logística, desenvolvimento de novos produtos e de centros de serviços com objetivo principal de crescimento neste mercado com agregação de valor.

Pesquisas têm sido desenvolvidas com o objetivo de estudar a influência de parâmetros de laminação à quente na produção de chapas grossas e têm mostrado que a laminação deve ocorrer na região austenítica, limitada no resfriamento pela temperatura Ar_3 (temperatura de início de transformação da austenita em ferrita),⁽¹⁻⁴⁾ objetivando o refino microestrutural, a homogeneização das segregações e a melhoria da sanidade interna da chapa grossa.

O principal problema da laminação de chapas grossas está no fato de que a deformação não penetra totalmente ao longo da espessura do material, concentrando-se em sua periferia. Modificações no processo de laminação se fazem necessárias, visando intensificar a penetração da deformação ao longo da espessura, maximizando seu efeito de refino e homogeneização microestrutural no núcleo do esboço. São elas: aumento do grau de deformação aplicado por passe, resfriamento intensificado da superfície do laminado e redução da velocidade periférica dos cilindros durante a aplicação do passe.⁽³⁾

O principal parâmetro que permite avaliar o processo de laminação sob este aspecto é o fator de forma ou grau de penetração de deformação m , conhecido ainda como fator de penetração da deformação calculado pela equação 1.

$$m = \frac{2\sqrt{R\Delta h}}{(h_1 + h_2)}$$

Equação 1: Fator de forma ou grau de penetração adimensional “m”.

onde R é o raio dos cilindros de trabalho, h_1 e h_2 são as espessuras de entrada e saída do esboço, respectivamente, e Δh é a diferença entre elas.⁽⁵⁾ Um fator de forma de 0,8 tem sido relatado ser necessário para assegurar que a redução no núcleo do laminado torne-se igual à redução total⁽⁵⁾. Quanto maior for esse parâmetro, mais elevado será o grau de deformação aplicado no núcleo do laminado, o que contribui beneficentemente para as propriedades mecânicas e sanidade interna do produto.

Outro aspecto a ser notado é que o efeito dos passes com alto valor de “ m ” sobre o material é intensificado quando se lamina o material sob baixas velocidades. Naturalmente, todas essas medidas implicam numa contrapartida em termos de equipamento. Altos valores de m estão associados a altos valores de deformação por passe, que se traduzem em altos torques e cargas de laminação.

O objetivo deste trabalho foi o de avaliar a influência de variáveis de processo em um laminador de desbaste sobre as propriedades mecânicas de chapas extragrossas com 100 mm de espessura, visando a garantia de propriedades mecânicas atendendo a padrões de qualidade e produção estabelecida.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As placas selecionadas foram lingotadas especificamente para este projeto cujas dimensões são: espessura = 250 mm, largura = 1.890 mm e comprimento = 4.550 mm a 5.820 mm, de um aço baixo C - alto Mn, cuja composição típica é listada na Tabela 1, padrão ArcelorMittal Tubarão. A largura é para maior produtividade do processo o que pode parecer um contra censo se observarmos o baixo comprimento. Este último foi determinado por uma questão de logística, assim o produto final teria dimensões máximas que permitissem sua retirada pela mesa de rejeito dos fornos de reaquecimento.

Tabela 1: Composição química do material (% em peso)

Elemento	Mínimo	Máximo
C	0,135	0,185
Si	0,150	0,350
Mn	1,100	1,300
P		0,020
S		0,010
Al	0,020	0,040
Cu, Ni, Cr		0,050

As variáveis de processamento utilizadas foram: o valor do fator de forma e o número de passes de laminação (Figura 1), mantendo-se fixas a temperatura de austenitização (1.230°C), a taxa de deformação (por ser fixa a velocidade de laminação de desbaste = 5 m/s) e as espessuras inicial e final das placas e chapas, 250 mm e 100 mm, respectivamente.

A temperatura final de laminação foi de aproximadamente 1.050°C, ou seja, as chapas foram laminadas na região austenítica, pois a temperatura Ar_3 para este aço, dada pela equação de Ouchi⁽⁶⁾ é de 828°C.

Para melhoria das propriedades mecânicas desejadas, estipulou-se a laminação com o uso total de passes de descarepação para promover o maior resfriamento do esboço possível e nas experiências posteriores a adição do uso de descarepação sem passes de deformação somente para o resfriamento mais acelerado do esboço.

Assim na primeira etapa procurou-se verificar a influência do fator de forma m no resultado de propriedades mecânicas dos materiais processados, variando o número de passes entre 5, 7 e 9. Procurou-se também processar o material em sequência sem interrupções para que todas as chapas tivessem o mesmo tratamento térmico de aquecimento no forno. Devido limitações do equipamento somente conseguiram-se valores de m menores que 0,8 no primeiro passe de laminação na sequência de 7 e 9 passes (Figura 1).

Após a análise dos resultados desta primeira experiência, escolheu-se o processo que apresentou melhores resultados de propriedades mecânicas e este foi reproduzido em mais três placas, seguindo os mesmos critérios da experiência anterior, com oito passes de resfriamento sem deformação ao final do processo de deformação, para garantia de sua repetibilidade.



Em uma terceira etapa foi feita a laminação de mais três placas seguindo ainda os mesmos critérios de processamentos da segunda experiência, porém com um processo bem mais intenso de resfriamento, onde nas anteriores tínhamos 8 passes de resfriamento total e nesta última experiência obteve-se 20 passes de resfriamento para análise da influência destes nas propriedades mecânicas finais das chapas grossas produzidas em um laminador de desbaste.

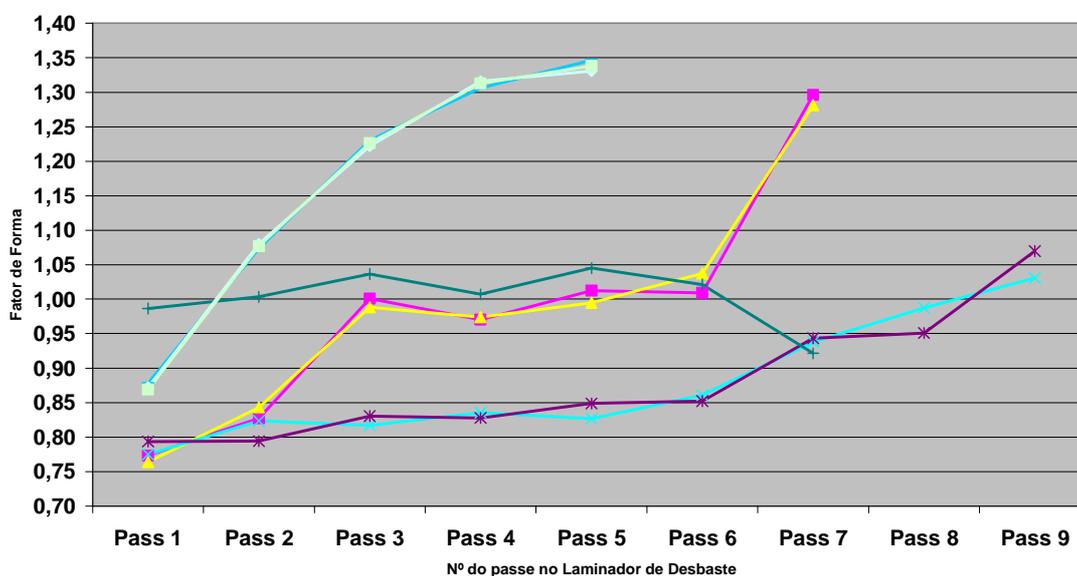


Figura 1: Fator de forma m associado ao número de passes empregados na laminação de várias chapas, cuja denominação está abaixo da figura.

As amostras foram submetidas a ensaios de tração com o objetivo de se avaliar o limite de escoamento, o limite de resistência e o alongamento total. A microestrutura das chapas foi revelada com ataque Nital 2%, usando a preparação metalográfica padrão, nas regiões: face, a $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{2}$ da espessura.

Para se avaliar a sanidade interna das chapas utilizaram-se ensaios ultrassônicos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra os valores do limite de escoamento conseguidos para as chapas submetidas a 5, 7 e 9 passes de laminação, medidos na direção transversal e longitudinal. Observa-se que a aplicação de 5 passes de laminação resultou em valores do LE próximo ao estabelecido pela norma ASTM A36,⁽⁷⁾ que estabelece o valor mínimo de 250 MPa.

Os valores de limite de resistência obtidos, imediatamente após a laminação, medidos nas direções transversal e longitudinal, são mostrados nas figuras 3. Todas as chapas atenderam aos requisitos especificados na norma ASTM A36 (ou seja, os valores do limite de resistência mantiveram-se entre 400 MPa e 550 MPa), independente do número de passes utilizados, ou seja, independente dos valores de m por passe.

O alongamento total das chapas medidos nas direções transversal e longitudinal manteve-se praticamente constante, independente do número de passes, conforme mostrado na Figura 4, atendendo o requisito de 23% de alongamento.

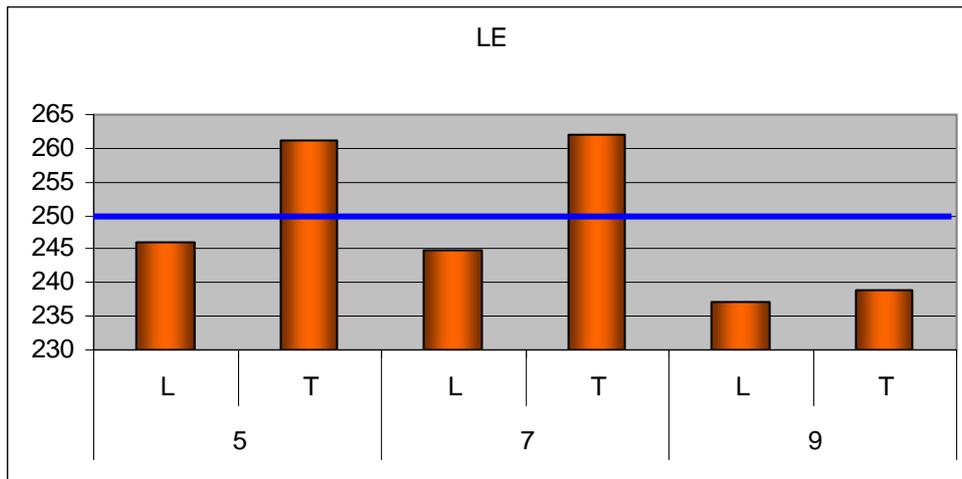


Figura 2: Resultados obtidos na primeira experiência do limite de escoamento para chapas processadas com 5, 7 e 9 passes. Limite mínimo almejado de 250 MPa.

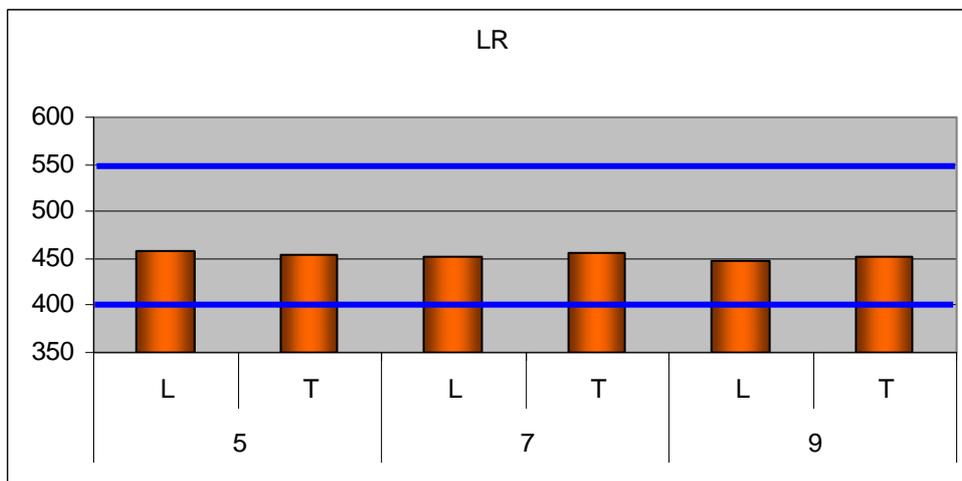


Figura 3: Resultados obtidos na primeira experiência do limite de resistência para chapas processadas com 5, 7 e 9 passes. Limite mínimo almejado de 400 MPa e máximo de 550 MPa.

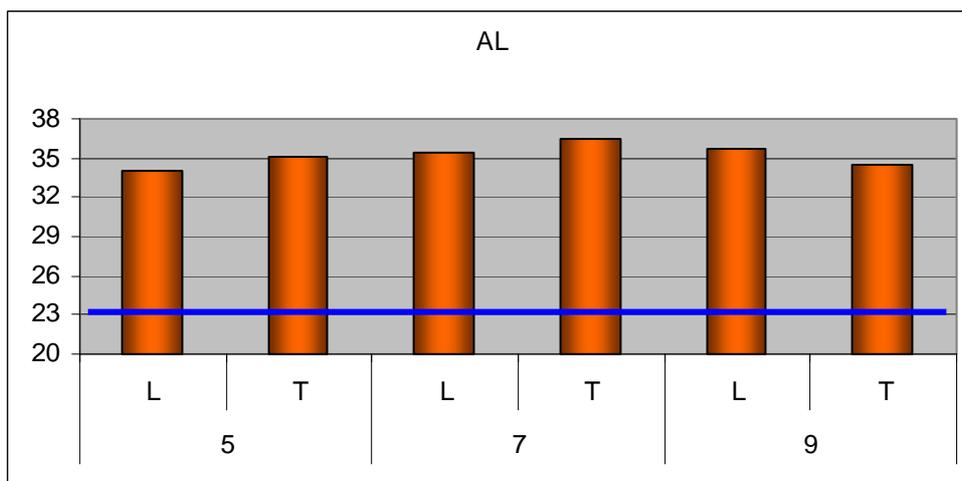


Figura 4: Resultados obtidos na primeira experiência do alongamento para chapas processadas com 5, 7 e 9 passes. Limite mínimo almejado de 23%.

As Figuras 5, 6 e 7 mostram as microestruturas das chapas laminadas com 5, 7 e 9 passes, respectivamente, avaliadas na face, a $\frac{1}{4}$ de profundidade e no centro da placa ($\frac{1}{2}$). A microestrutura é constituída de ferrita e perlita, com tamanho de grão ferrítico ASTM indicados nas legendas das figuras. Observa-se que o número de passes afetou o tamanho de grão ferrítico.

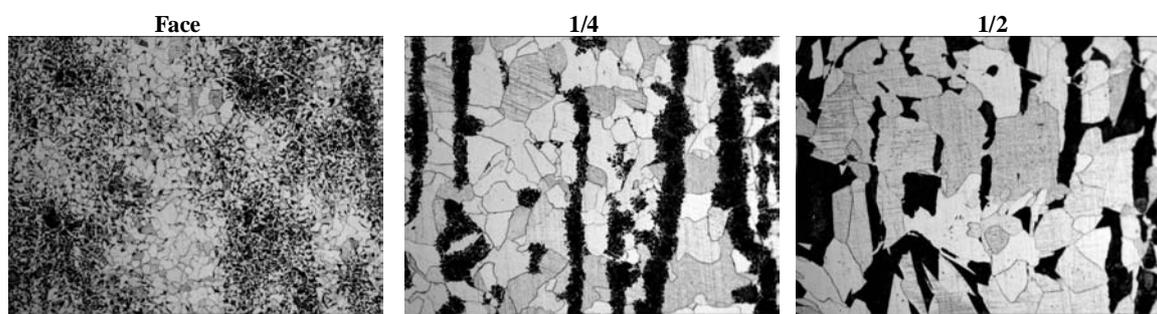


Figura 5: Microestrutura da chapa processada com cinco passes. Ataque Nital 2% e aumento de 200X. Tamanhos de grão ferrítico ASTM 9,0 na face, 7,0 a 1/4 e 7,0 no meio da espessura.

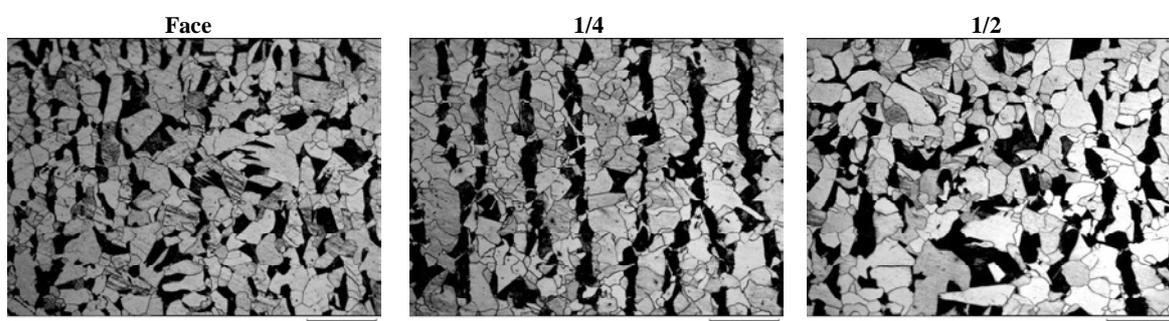


Figura 6: Microestrutura da chapa processada com sete passes. Ataque Nital 2% e aumento de 200X. Tamanhos de grão ferrítico ASTM 8,0 na face, 8,0 a 1/4 e 7,5 no meio da espessura.

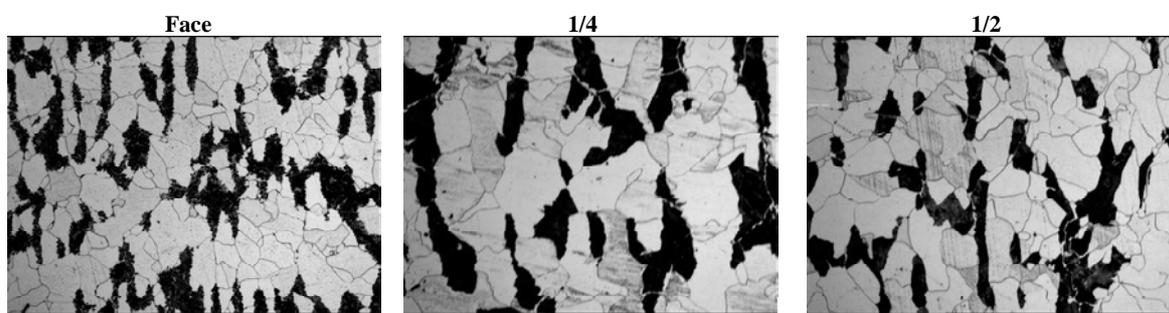


Figura 7: Microestrutura da chapa processada com nove passes. Ataque Nital 2% e aumento de 200X. Tamanhos de grão ferrítico ASTM 7,5 na face, 7,0 a 1/4 e 7,0 no meio da espessura.

Na segunda etapa dos experimentos, três chapas foram submetidas a 5 passes de laminação, com um total de 8 passes de resfriamento (laminação sem deformação). Esta escala de passes foi escolhida, pois mesmo apresentando valores semelhantes a escala de sete passes os maiores valores de m garantem uma melhor sanidade interna do material. Os valores de m aumentaram com o número do passe, de 0,87 a 1,35 (Figura 1). Observa-se que os valores do limite de escoamento conseguidos (Figura 8), medidos nas direções transversal e longitudinal não atenderam a norma ASTM A36 para duas chapas na direção longitudinal.

Com relação aos valores de limite de resistência obtidos (Figura 9), medidos nas direções transversal e longitudinal, todas as chapas atenderam aos requisitos especificados na norma ASTM A36. Quanto ao alongamento total das chapas medidos nas direções transversal e longitudinal, observa-se (Figura 10) que os

valores são maiores que os citados na Figura 4 para 5 passes de laminação, devido ao resfriamento mais rápido das chapas após a laminação (8 passes de resfriamento) e atendem o requisito de 23% de alongamento.

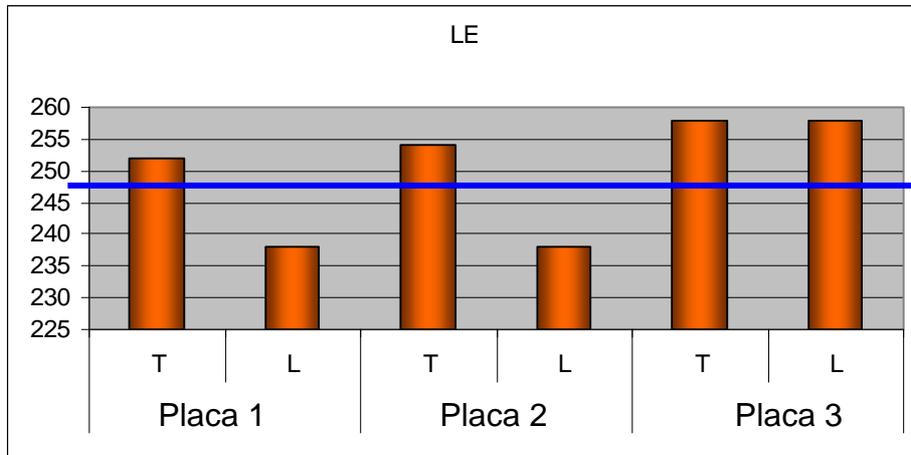


Figura 8: Resultados obtidos na segunda experiência do limite de escoamento para chapas processadas com 5 passes com total de 8 passes de resfriamento. Limite mínimo almejado de 250 MPa.

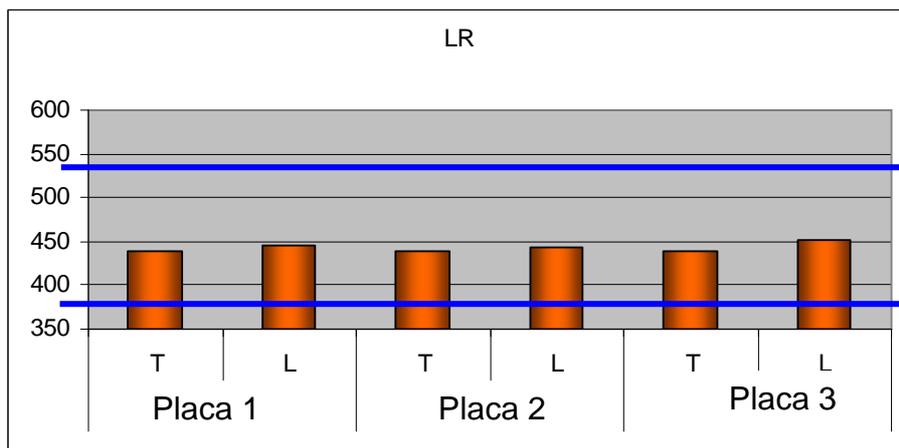


Figura 9: Resultados obtidos na segunda experiência do limite resistência para chapas processadas com 5 passes com total de 8 passes de resfriamento. Limite mínimo desejado de 400 MPa e máximo de 550 MPa.

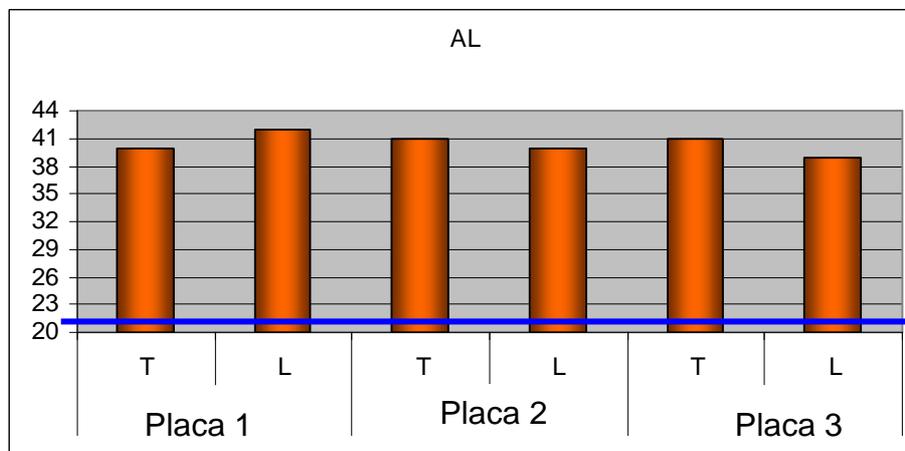


Figura 10: Resultados obtidos na segunda experiência do alongamento para chapas processadas com 5 passes com total de 8 passes de resfriamento. Limite mínimo desejado de 23%.

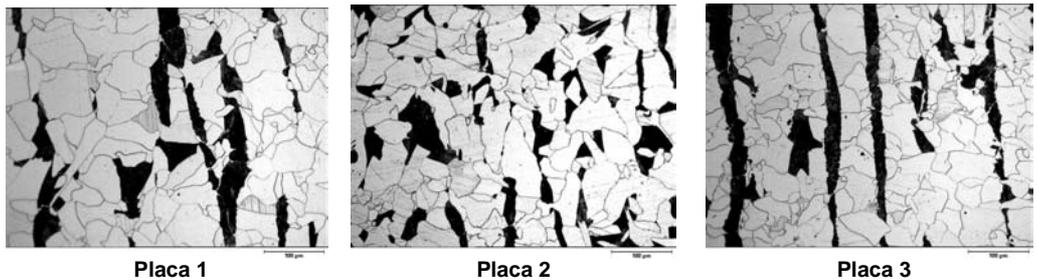


Figura 11: Microestrutura da chapa processada com cinco passes. Ataque Nital 2% e aumento de 100X. Tamanhos de grão ferrítico ASTM 6,0.

Na terceira etapa dos experimentos, três chapas foram submetidas a 5 passes de laminação, com um total de 20 passes de resfriamento (laminação sem deformação). Os valores de *m* aumentaram com o número do passe, de 0,87 a 1,35 (Figura 1). Observa-se que os valores do limite de escoamento (Figura 11), limite de resistência (Figura 12) e alongamento total (Figura 13) atenderam a norma ASTM A36.

O aumento no limite de escoamento está associado a um resfriamento maior aplicado as chapas, que foram processadas com 20 passes de resfriamento, que resulta em um maior refinamento da microestrutura. Quando se avalia a microestrutura das chapas (Figura 14), a sua constituição é de ferrita e perlita, com tamanho de grão ferrítico ASTM igual a 8,0 medido a ¼ da espessura da chapa. Verifica-se que o tamanho de grão é menor que o das chapas laminadas com 5 passes, sem os 20 passes de resfriamento e avaliados a ¼ da espessura (tamanho de grão ASTM 6,0 (Figura 11)).

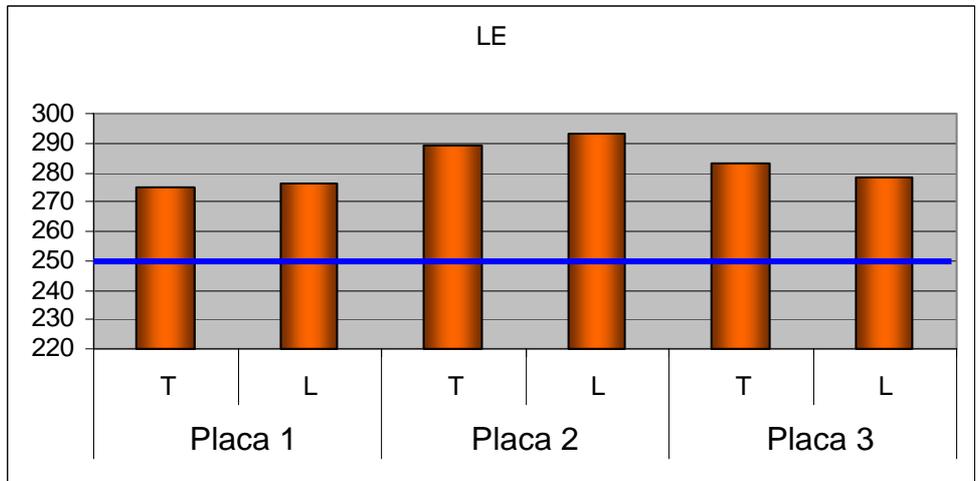


Figura 11: Resultados obtidos na terceira experiência do limite de escoamento para chapas processadas com 5 passes e com total de 20 passes de resfriamento. Limite mínimo almejado de 250 MPa.

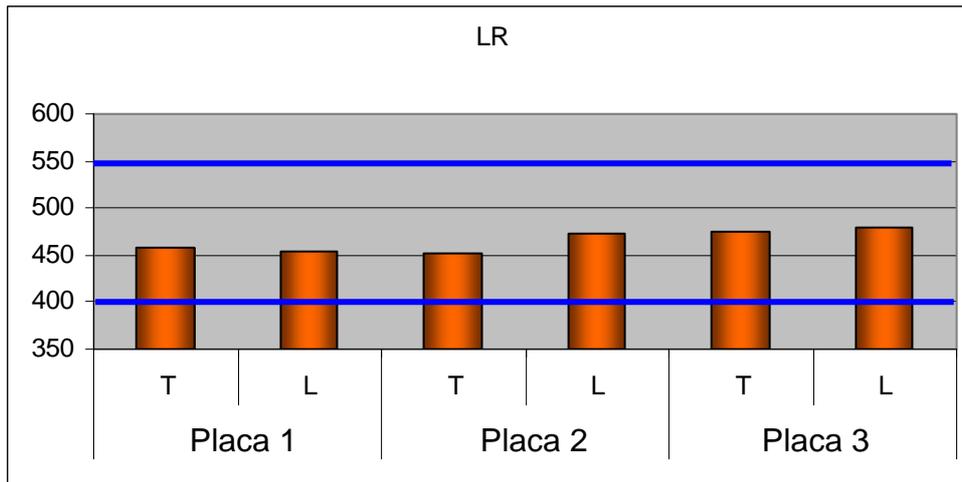


Figura 12: Resultados obtidos na segunda experiência do limite resistência para chapas processadas com 5 passes e com total de 20 passes de resfriamento. Limite mínimo almejado de 400 MPa e máximo de 550 MPa.

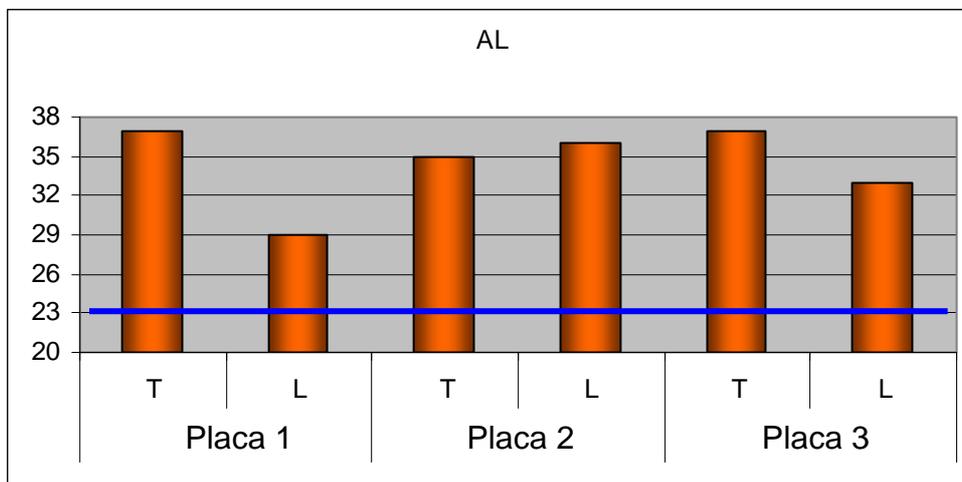


Figura 13: Resultados obtidos na segunda experiência do alongamento para chapas processadas com 5 passes e com total de 20 passes de resfriamento. Limite mínimo desejado de 23%.

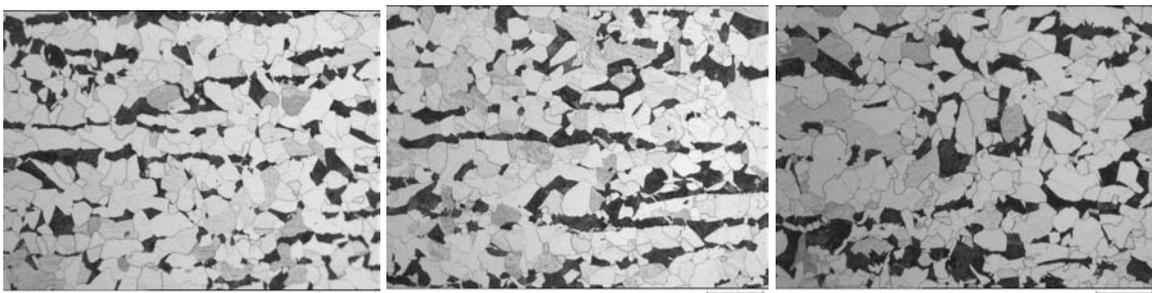


Figura 14: Microestrutura da amostra na posição $\frac{1}{4}$ da espessura. Ataque Nital:2% e aumento de 200x. Tamanho de grão ferrítico ASTM 8,0.

Em todas as placas processadas foram feitos testes de ultrassom e em nenhuma foram encontrados defeitos ou descontinuidades internas que se caracterizassem suficiente para desclassificação do material conforme padrão de qualidade interno da empresa.

4 CONCLUSÕES

- Este é um trabalho no sentido de se estudar as propriedades mecânicas do “esboço” produzido em um laminador de desbaste de um laminador de tiras a quente, como chapa extra grossa, isto é, um produto final a ser comercializado. O produto de um equipamento nesta etapa do processo normalmente ainda sofrerá outras transformações até sua forma final com vários controles de temperatura e dimensão para determinação de suas propriedades.
- Devem-se utilizar placas do lingotamento contínuo com qualidade “prime”, isto é, programadas para esta aplicação, com a composição química apropriada e adequada.
- Devem-se utilizar placas com 250 mm de espessura inicial para que seja possível promover a maior deformação possível, atingindo um fator de forma m maior que 0,8, conforme recomenda a literatura para deformação em todas as profundidades da espessura;
- Como não foi possível atuar na temperatura do forno para se conseguir temperaturas mais baixas de extração, pois objetivou-se a faixa de temperatura normal de trabalho, nem na taxa de deformação por ser fixa a velocidade do laminador de desbaste, visou-se um maior resfriamento da chapa utilizando-se a descarepação em todos os passes durante o processo de conformação e após este.
- Considerou-se a espessura final em 100mm e em nenhuma das placas processadas foi encontrado defeito, nos testes de ultrassom, de sanidade interna relevante que justificasse sua desclassificação.
- É possível observar uma forte correlação do limite de escoamento com o fator de forma m quando este apresenta valores abaixo ou próximo a 1,0 para o material estudado nas condições consideradas.
- Processando as chapas com 5 passes de laminação e 20 passes de refrigeração, as propriedades mecânicas obtidas atenderam a norma ASTM 36.

Agradecimentos

À ArcelorMittal Tubarão pela oportunidade e apoio à realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 TAMURA, et al., Thermomechanical processing of high strength low alloy steels. Butterworths, London, 1988, 248p.
- 2 GORNI, A.A. et al., Produção de chapas grossas extra-pesadas, grau ASTM A36, a partir de placas do lingotamento contínuo, XXXVI Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Belo Horizonte MG, 22 a 24 de Setembro de 1999.
- 3 GORNI, A.A. et al., Análise da homogeneidade das propriedades mecânicas ao longo da espessura de chapas grossas extra-grossas, Contribuição Técnica ao XXXVII Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – A.B.M., Curitiba PR, 20 a 22 de Setembro de 2000.
- 4 DEVA, A. et al., Production of thick plate on the hot strip Mill at the Rourkela steel plant (RSP). Ironmaking and Steelmaking, v.31, p. 305-311, 2004.
- 5 TSUZUKI, T. et al., Trans. Iron Steel Inst. Jpn, 1984, 24, B410.

- 6 OUCHI, C. et al.- The Effect of Hot Rolling Condition and Chemical Composition on the Onset Temperature of $\gamma \rightarrow \alpha$ Transformation after Hot Rolling. Transactions ISIJ, v. 22, p. 214-222, 1982.
- 7 ASTM A36M, Standard Specification for Carbon Structural Steel, General Requirements for, American Society For Testing & Materials, 2005