

VARIÁVEIS DO PROCESSO TERMOMECÂNICO QUE INFLUENCIAM A RELAÇÃO ELÁSTICA DO VERGALHÃO CA-60

Bruna Melina Marques de Sousa Hissanaga^{a}, Luiz Paulo Mendonça Brandão^b*

^aEngenheira de Materiais, M.S. em Ciência dos Materiais, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais- Praça General Tibúrcio 80, Praia Vermelha, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, atualmente trabalha na Votorantim Siderurgia.

^b Professor D.C. do Instituto Militar de Engenharia, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais - Praça General Tibúrcio 80, Praia Vermelha, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

**brunamelina@gmail.com*

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência de algumas variáveis do processo de laminação na relação elástica do vergalhão CA-60, obtido por meio da laminação a frio de fio-máquina. Esta investigação surgiu da necessidade de se obter no CA-60 bobina a relação elástica estipulada por norma. Foram realizadas avaliações nas seguintes etapas do processo de laminação a quente para obtenção do fio-máquina (matéria-prima): temperatura no formador de espiras, velocidade da esteira e vazão de ar nos ventiladores de processo Stelmor. Esses testes foram planejados e realizados inicialmente com o intuito de se obter um tamanho de grão maior em relação ao atual, objetivando a redução do limite de escoamento. Em seguida os fios-máquina produzidos nos experimentos foram laminados a frio para verificação das propriedades mecânicas do CA-60 após as alterações no processo da laminação a quente. O encruamento e o alívio de tensões mecânicas durante o processo de laminação a frio causam mudanças nas propriedades mecânicas dos produtos laminados. Para reduzir o limite de escoamento e alcançar a relação elástica mínima desejada, foi necessário desenvolver um dispositivo para ser instalado no final do laminador a frio que fosse capaz de produzir alívio de tensões mecânicas no CA-60. Os resultados mostraram que este dispositivo produziu um alívio de tensões suficiente para permitir que o vergalhão CA 60 alcançasse relação elástica superior a mínima exigida pela norma ABNT 7480/2007.

Palavras chave: relação elástica, fio-máquina; laminação a frio; vergalhão; tensão residual.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the influence of some variables of the rolling process on the elastic ratio of CA - 60 rebar, obtained by cold rolling of a wire rod. This investigation arose from the need to obtain the elastic ratio of the CA - 60 coil stipulated by the standard. Evaluations were performed in the following steps of the hot

rolling process in order to get the wire rod: temperature of the looping former, belt speed and air flow in the Stelmor process fans. These tests were initially planned and performed in order to obtain a grain size greater than the current one, aiming to obtain a yield strength reduction. Then the wire rods produced in the experiments were cold rolled to check the mechanical properties of the CA - 60 after the changes in the hot rolling process. The hardening and strain relief during cold rolling can cause changes in the mechanical properties of the final product. To reduce the yield stress and achieve the desired elastic relationship, it was necessary to evolve a device to be installed at the end of the cold rolling mill that was capable of producing strain relief on the AC - 60 rebar. The results showed that this device produced a strain relief sufficient to allow the CA - 60 rebar to reach an elastic ratio higher than the minimum required by the ABNT 7480/2007 standard.

Keywords: wire rod, cold rolling, rebar, elastic ratio, strain relief.

INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores da economia de maior impacto no emprego e bem-estar da população. Os investimentos em infra-estrutura e habitação demandam grandes volumes de aço. O setor tem uma situação privilegiada se for visualizada a interface do aço ou de produtos em aço com o meio ambiente. O aço é um material integralmente reciclável.

A laminação é um processo de conformação mecânica que possui como objetivo homogeneizar e refinar a microestrutura dos metais melhorando suas propriedades mecânicas e produzir o material com uma forma planejada de modo a torná-lo adequado a uma determinada aplicação. Os produtos acabados laminados não planos ou longos podem ser classificados em barras, vergalhões, fios-máquina, tubos, perfis comuns, perfis especiais entre outros. Neste trabalho foi utilizado o fio-máquina com seção transversal circular. O processo de laminação pode ser a frio ou a quente. Normalmente, a laminação a quente é usada para as operações de desbaste e a laminação a frio, para as operações de acabamento.

De acordo com WAN-HUA, *et al.* (2009) e LABIB, *et al.* (2000), o *Stelmor* é um processo que visa o controle do resfriamento, microestruturas e propriedades na produção do fio-máquina. A sua utilização em grande escala ocorre devido à alta velocidade de produção e propriedades mecânicas homogêneas ao longo do comprimento da bobina. No sistema podem-se utilizar diversas estratégias de resfriamento que dependem do tipo e da aplicação do aço, laminação ou do tratamento térmico de normalização.

A obtenção de uma determinada velocidade de resfriamento do fio máquina pode ser ajustada por meio do controle dos seguintes parâmetros: temperatura do fio-máquina no formador de espiras, velocidade da mesa transportadora (incluindo a variação de velocidade ao longo de mesas com subdivisões) e porcentagem de abertura dos ventiladores no sistema de ventilação (instalado sob a mesa transportadora de espiras).

A utilização de aços com baixo teor de carbono ou com adição de elementos de liga para a produção do fio-máquina induz a realização de pesquisas e aperfeiçoamentos no processo Stelmor para possibilitar a utilização desta técnica para a maior variedade possível de aços, em função das vantagens em termos de produtividade deste processo (RIZZO, 2009). Entretanto, torna-se necessária a introdução de modificações no material ou no processo para possibilitar a obtenção de velocidades reduzidas de resfriamento para os aços.

Neste trabalho foi utilizado um aço com 0,06%C e 0,4% Mn para produzir o fio-máquina com diâmetro de 6,5 e obter CA-60 5,00mm. Normalmente este tipo de vergalhão é fabricado utilizando aços em torno de 0,14 a 0,18%C e 0,60 a 1,10% de Mn. Isto pôde ser verificado no trabalho de ROCHA (2012) que utilizou fio-máquina com diâmetro de 5,50mm para laminar CA-60 de 5,00mm utilizando um aço com composição química de 0,14% C, 1,10% Mn, 0,05% P e 0,05% de S.

A norma brasileira NBR ABNT 7480 (2007) estipula um valor de especificação mínima de 1,05 para relação entre o limite de resistência e o limite de escoamento.

De acordo com MORALES (2013) a norma europeia EN 10080 (2005), exige uma relação entre o limite de resistência e o limite de escoamento igual ou acima de 1,05 para CA-60 e 1,08 para CA 50, e que áreas sísmicas necessitam que esta relação seja igual ou acima de 1,25 para CA 50 conforme a norma Filipina (PNS 49).

DAROIT (2012) apresenta em sua pesquisa valor médio de 1,38 e desvio padrão de $\pm 0,03$ para relação limite de resistência / limite de escoamento de vergalhões microligados com vanádio. Ele utilizou a norma ABNT NBR 7480 categoria CA50 para comparar seus resultados.

O objetivo principal desta investigação foi estudar algumas variáveis do processo de laminação a quente de um fio-máquina de aço baixo carbono com 0,06%C para produzir vergalhão tipo CA – 60 que atenda aos requisitos mínimos da norma ABNT 7480/2007, especialmente no que se refere a relação elástica mínima de 1,05.

MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras para análise de composição química foram retiradas durante o processo de fabricação do aço na aciaria. As medições foram realizadas em amostras do forno elétrico e do forno panela.

Os resultados de composição química apresentados neste trabalho foram obtidos por meio da análise realizada por espectroscopia de emissão óptica. O equipamento utilizado foi o espectrômetro Thermo Scientific modelo ARL 3460 OES. A tabela 1 apresenta a composição química nominal deste aço.

Tabela 1 – Composição química do aço

C (%)	Si (%)	Mn (%)	S (%)	P (%)	Cu (%)	Ni (%)	Cr (%)	Sn (%)	Mo (%)	Al (%)	N (%)	Ceq (%)
0,06	0,134	0,4	0,02	0,021	0,19	0,07	0,07	0,017	0,02	0,003	0,01	0,1663

Inicialmente foram realizados testes utilizando um Fio-máquina com diâmetro de 6,5 mm no laminador a quente. Três variáveis foram analisadas em conjunto, são elas a temperatura no formador de espiras, a velocidade da esteira e a porcentagem de abertura dos ventiladores durante o resfriamento ao ar no Stelmor. A figura 1 ilustra um esquema da região do laminador a quente que foi utilizado para realizar os experimentos.

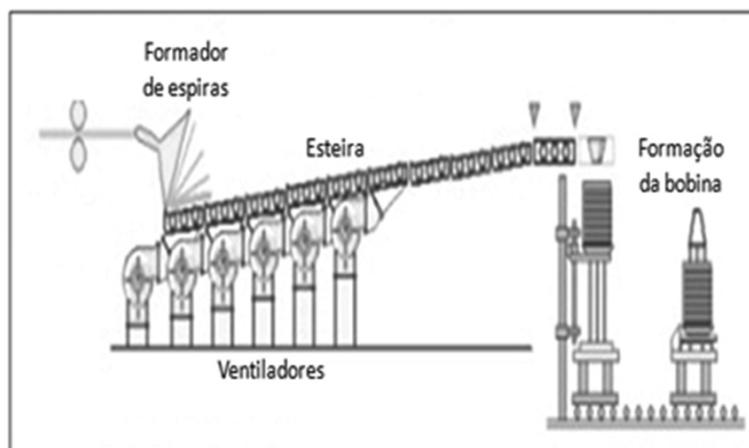


Figura 1 -Esquema mostrando o formador de espiras, a esteira e os ventiladores do laminador a quente.

Abaixo é apresentada a tabela 2 com o resumo dos parâmetros dos experimentos de forma que se mantenham duas variáveis fixas e ocorra mudança na terceira. O 3º experimento possui os valores atuais do processo (dados considerados como padrão para referência), nos demais foram fixadas duas variáveis e a terceira alterada.

Experimento	Quantidade de bobinas	Temperatura do formador de espiras (C°)	Velocidade STELMOR (m/min)	Ventilação STELMOR	Taxa de resfriamento (C°/s)
1	5	870	35	sem	8
2	5	870	35	com	7,8
3	5	870	49	com	13
4	5	870	49	sem	14
5	5	910	49	sem	10
6	5	910	49	com	11
7	5	910	35	sem	9
8	5	910	35	com	-

Foram realizadas análises termográficas utilizando uma Câmera Infravermelha de alto desempenho com câmera digital FLIR T440 durante os experimentos. Foram mapeados 18 pontos no Stelmor para avaliar as características e variações de temperatura das espiras da saída do formador até o final da esteira quando é formada a bobina. Foram realizadas cinco medições em cada ponto marcado e utilizado o resultado da média para analisar o perfil térmico. A termografia do resfriamento é demonstrada na figura 2.

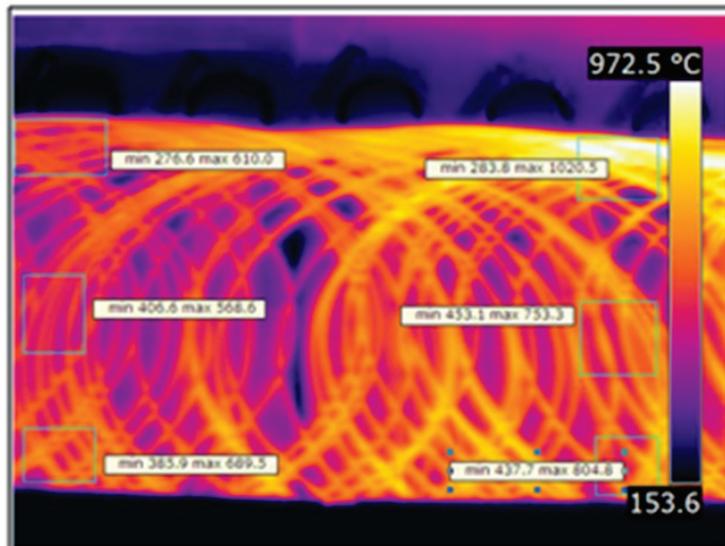


Figura 2 - Termografia das espiras de fio-máquina.

LAMINAÇÃO A FRIO DO CA-60 E ALÍVIO DE TENSÕES

Somente o painel de retificação existente no laminador a frio para alívio de tensão mecânica não é suficiente para aliviar as tensões as quais o vergalhão é submetido durante sua fabricação após as alterações realizadas na matéria prima.

Durante os testes foi observado que o vergalhão (bobina) quando transformado em barra, por meio do processo de endireitamento, apresenta uma redução em seu limite de escoamento que pode ser explicada por meio do efeito Bauschinger.

A alternativa para alcançar o valor de LR/LE mínimo estabelecido por norma foi confeccionar um dispositivo como ilustra a figura 3 para auxiliar o painel já existente, e assim intensificar o alívio de tensão no vergalhão após a laminação.

Este direcionamento surgiu ao se verificar que após o vergalhão ser endireitado (transformação do vergalhão de bobina para barra) a relação elástica entre o limite de resistência e o limite de escoamento aumentou.

Para utilizar o dispositivo foram laminadas duas bobinas de fio máquina da mesma corrida usada nos testes sem o dispositivo de alívio de tensões mecânicas, a primeira referente ao experimento 4 e a outra ao experimento 5.

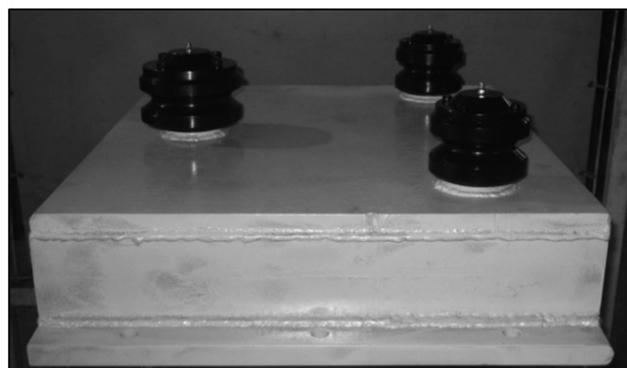


Figura 3 - Dispositivo de alívio de tensão mecânica.

O dispositivo foi confeccionado considerando a localização e o posicionamento do mesmo dentro do laminador. Ele foi soldado na parte final do trem de laminação após o último cabrestante (peça cilíndrica com diâmetro externo de 760mm) que tem como função no estágio inferior tracionar o fio e no estágio superior a função de puxar o fio do aliviador de tensão e liberá-lo para o bobinador como mostra a figura 4. O dispositivo possui três roldanas que deformam o fio e assim permitem o alívio de tensão mecânica no mesmo.

Após a saída do vergalhão do último cabrestante, o mesmo passa pelo dispositivo confeccionado como pôde ser visto na figura 5 e em seguida pelo painel de retificação do laminador a frio antes de se formar a bobina.

Foram laminadas duas bobinas de fio-máquina da mesma corrida utilizada nos teste sem o dispositivo, a primeira referente ao experimento 4 e a outra referente ao experimento 5.

Após a passagem do vergalhão no dispositivo foi necessário aumentar a velocidade de laminação gradativamente para obter melhor ajuste do dispositivo. A melhor condição para obtenção da relação elástica apresentou uma folga no fio ao sair do acumulador até alcançar a primeira roldana do dispositivo conforme figura 4. Desta forma, durante os testes, constatou-se que se a roldana central do dispositivo fosse móvel permitiria um melhor ajuste do vergalhão no dispositivo. Como a roldana estava fixa ocorreu dificuldade de ajuste. Após o melhor ajuste foram utilizados os parâmetros normais de produção: 6 passes com velocidade do laminador de 14m/s.

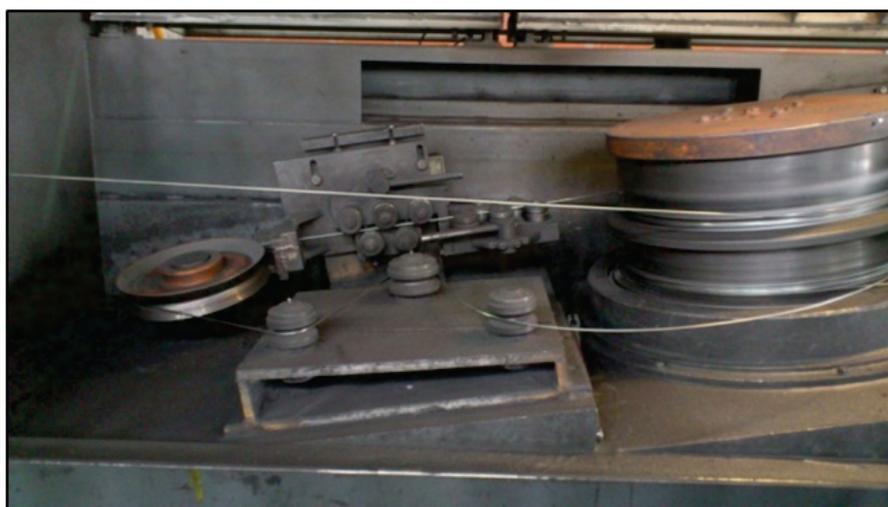


Figura 4 - Passagem do CA-60 do cabrestante para o dispositivo.

CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL

Para análise microestrutural das seções longitudinais e transversais do fio-máquina e do vergalhão, amostras foram coletadas ao final de cada teste, cortadas e embutidas. Após o embutimento as mesmas foram lixadas (lixas com mesh de # 80, # 320, # 400, # 600 e #1200) e polidas com pasta de diamante de 3 μ m e 1 μ m.

Para revelar a microestrutura, foi realizado um ataque com reagente Picral. A

obtenção de imagens foi feita com o auxílio de um microscópio óptico OLYMPUS BX51M acoplado a uma câmera digital e a um sistema de aquisição de imagens.

O tamanho de grão do fio-máquina foi determinado nas amostras atacadas utilizando o software comercial analisador de imagens ANALYSIS, por meio da técnica Planimétrica. Esta técnica consiste em inscrever um círculo de área conhecida, 5000 mm^2 (79,8 mm de diâmetro) em uma micrografia, depois é utilizado um aumento que determine pelo menos a contagem de 50 grãos no interior do círculo, visando assim minimizar os erros. Conta-se o número de grãos no seu interior incluindo os grãos interceptados na circunferência de acordo com a norma ASTM E112-95. Para esta análise foram tomados 3 campos para visualização.

PROPRIEDADES MECÂNICAS

Os ensaios de tração foram realizados a temperatura ambiente conforme a norma ABNT NBR 6892 em uma máquina de ensaios Tinius Olsen com capacidade de aplicação de carga de 300kN.

As amostras foram retiradas no término da laminação e resfriamento do material sendo que foram retiradas 3 espiras da cabeça (39 corpos de prova) e 3 da cauda (39 corpos de prova) das bobinas. No total foram ensaiados 78 corpos de prova.

As amostras do vergalhão CA-60 para a condição sem dispositivo, foram retiradas após a formação do rolo e após o processo de endireitamento.

As amostras foram cortadas com 500mm de comprimento e as mesmas foram marcadas a cada 100mm para determinar o alongamento após a ruptura do corpo de prova. Devido aos corpos de prova do fio-máquina e do vergalhão não possuírem formato retilíneo quando obtidos das bobinas, foi necessário submeter as amostras a um processo de endireitamento manual, no qual são submetidos a menor deformação plástica possível para evitar alteração nos resultados de propriedades mecânicas.

No total foram ensaiados 12 corpos de prova do vergalhão em bobina. Por meio do ensaio de tração foram obtidos resultados do limite de escoamento, limite de resistência, e relação elástica (relação limite de resistência/ limite de escoamento). Os resultados foram comparados as especificações da norma ABNT NBR 7480.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 4 é apresentado o resultado comparativo do mapeamento do perfil térmico dos experimentos 4 e 5. Nos dois experimentos, foi mantida a mesma velocidade no Stelmor (49m/s) e não foi utilizado o resfriamento forçado. A alteração realizada foi na temperatura de conformação da espira que foi aumentada em 40°C .

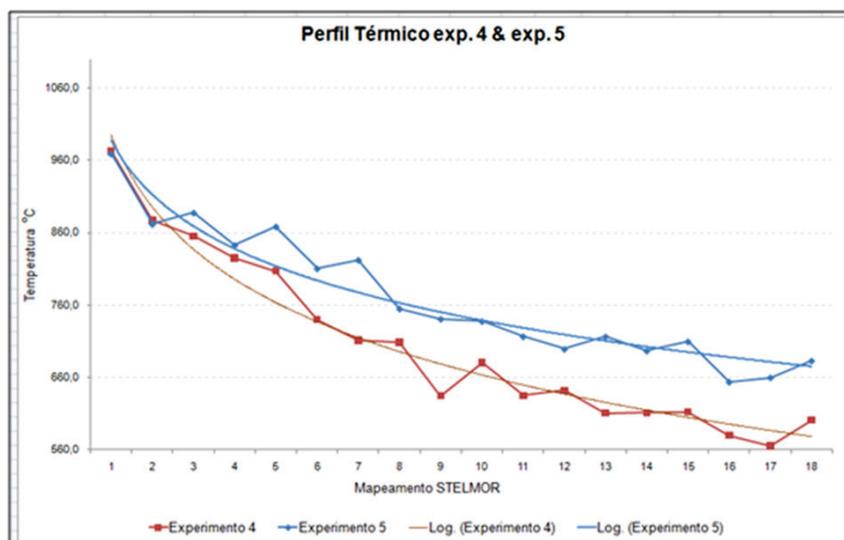


Figura 4 - Mapeamento termográfico dos experimentos 4 e 5.

CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL

Foram analisadas amostras do início e do final das bobinas de fio-máquina para avaliar se a microestrutura sofreu modificações devido às alterações dos parâmetros do processo.

Para todos os experimentos avaliados as amostras apresentaram microestruturas semelhantes com 10% de perlita e 90% de ferrita. Foram encontrados grãos heterogêneos em algumas microestruturas o que pôde ser confirmado com a distribuição do tamanho de grão conforme as figuras 5 e 6.

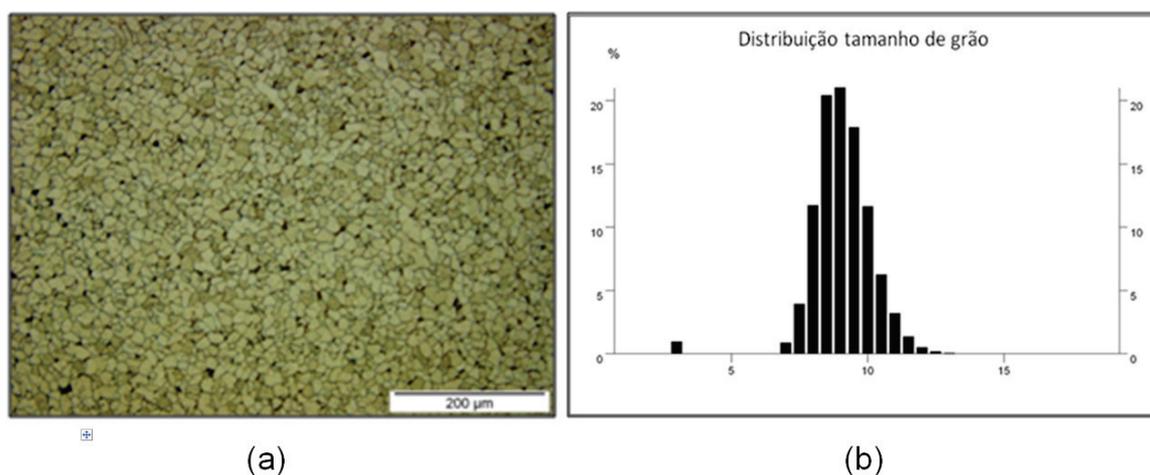


Figura 5 - (a) Micrografia corte transversal do início da bobina do FM experimento 4. 200x. Ataque Picral (b) distribuição do tamanho de grão.

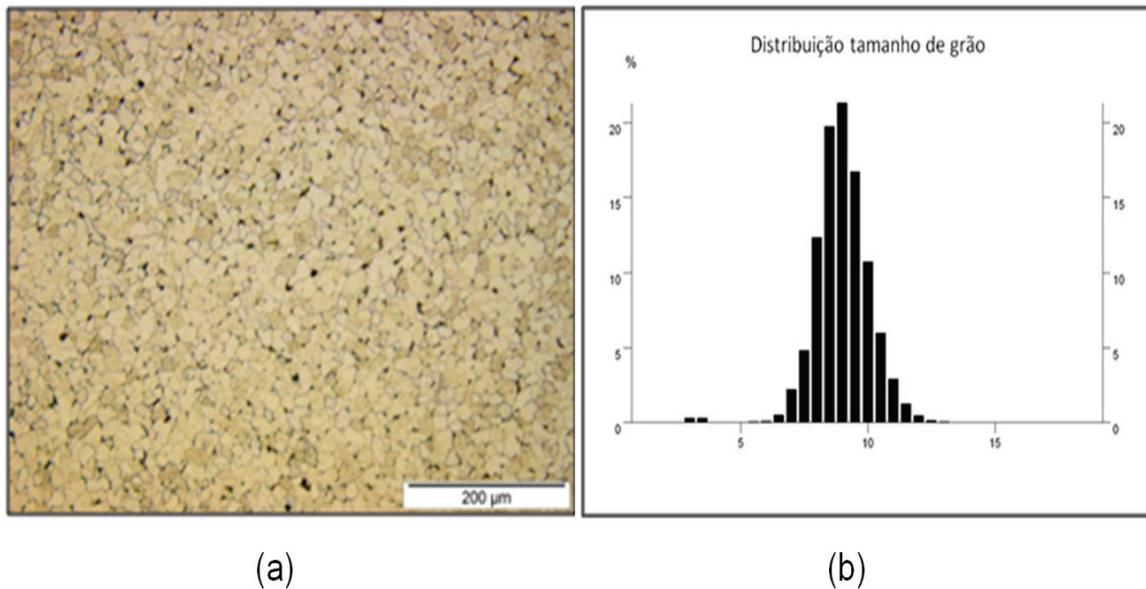


Figura 6 - (a) Micrografia corte transversal do início da bobina do FM experimento 5. 200x. Ataque Picral (b) distribuição do tamanho de grão.

O tamanho médio de grão é ASTM 9, com dispersão normal de acordo com a tabela 3.

Tabela 3 – Tamanho de grão

FM	N° ASTM	
	Corte transversal	Corte longitudinal
EXP.1	9	8
EXP.2	9	8
EXP.3	8	8
EXP.4	9	8
EXP.5	9	8
EXP.6	9	9
EXP.7	9	8
Média	9	8

Após a laminação a frio foi utilizado um dispositivo para alívio das tensões mecânicas do vergalhão. Realizando análise comparativa da redução na deformação a frio de grãos, após passagem do vergalhão pelo dispositivo de alívio de tensões, conforme ASM Metals Handbook-Metallography and Microstructures, a microestrutura do núcleo do CA-60 apresentou deformação de 20% na superfície e 40% no núcleo do material de acordo com a figura 7.



Figura 7 - (a) Micrografia corte longitudinal do CA-60. 200x. Ataque Picral.

PROPRIEDADES MECÂNICAS

Os resultados das propriedades mecânicas do fio-máquina com diâmetro de 6,5mm experimentos 1 a 7 são mostrados na figura 8.

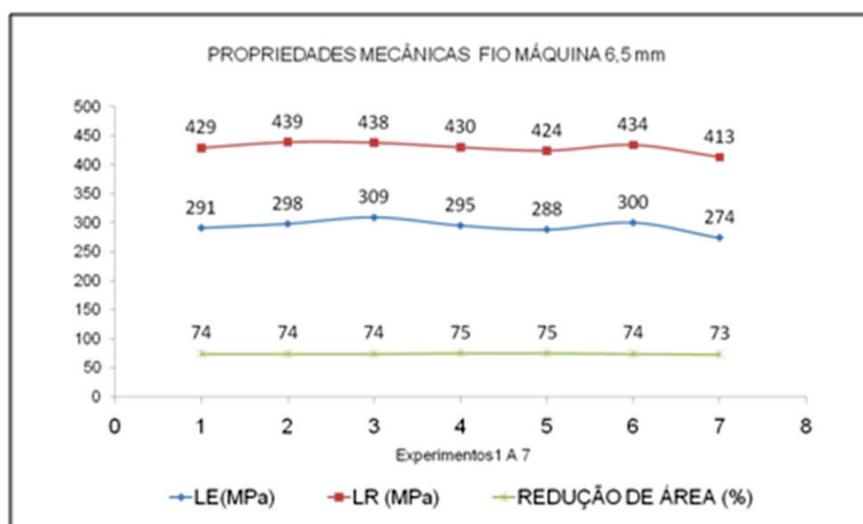


Figura 8—Resultados das propriedades mecânicas do fio-máquina

Para avaliar a influência das variáveis do processo de laminação a quente investigadas nesse trabalho no limite de resistência (LR) do aço foi utilizada a ferramenta estatística de regressão múltipla por meio da EQ.1.0.

$$LR \text{ (médio)} = 599 - 0,173 \text{ tr} - 0,272 \text{ tc resfri} + 12 \text{ resfri f} \quad (1.0)$$

onde tr é a temperatura real, txresfri é a taxa de resfriamento e resfri f é o resfriamento forçado.

A figura 9 ilustra os impactos da temperatura, ventilação e taxa de resfriamento no limite de resistência. Observa-se que a temperatura no formador de espiras é a variável que apresenta maior interferência no limite de resistência do fio máquina. A temperatura é inversamente proporcional ao limite de resistência. A ventilação

impacta de forma direta no valor de limite de resistência. A taxa de resfriamento se apresenta inversamente proporcional ao limite de resistência, pois quanto mais tempo a espira permanece aquecida o material se torna mais dúctil.

O valor de R- Sq (R²) obtido foi de 91,2% o que é um bom resultado e informa que os dados predizem bem a curva do modelo. Foi calculado o valor de limite de resistência utilizando o modelo. O valor encontrado foi de 429,76 MPa. Houve uma diferença de 0,04% em relação ao valor de limite de resistência real de 429,57 MPa. A baixa diferença entre o valor calculado e o medido valida o modelo, e dessa forma podemos utilizá-lo para definir o impacto de cada variável no resultado esperado.

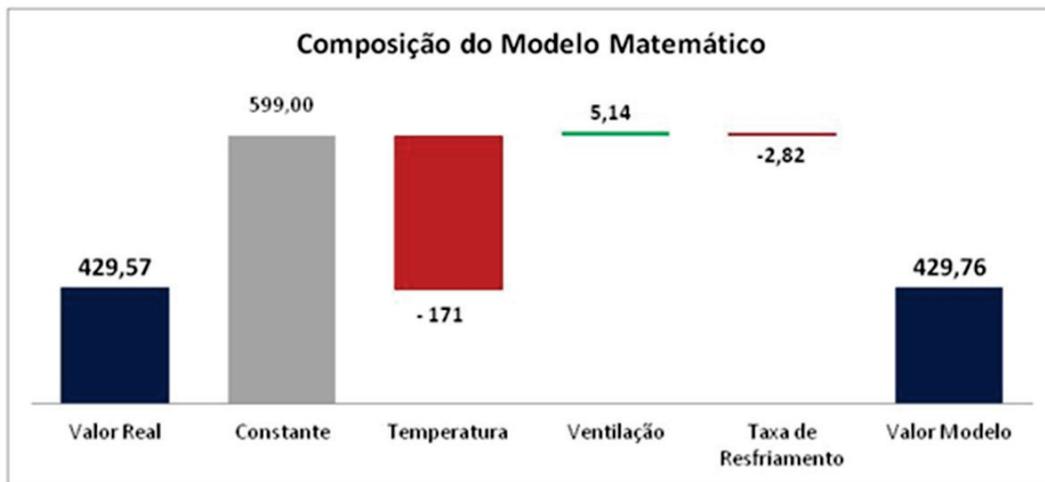


Figura 9 - Composição do modelo matemático.

Os resultados das propriedades mecânicas do CA-60 com diâmetro de 5,00mm experimentos 1 a 7 são mostrados na figura 10.

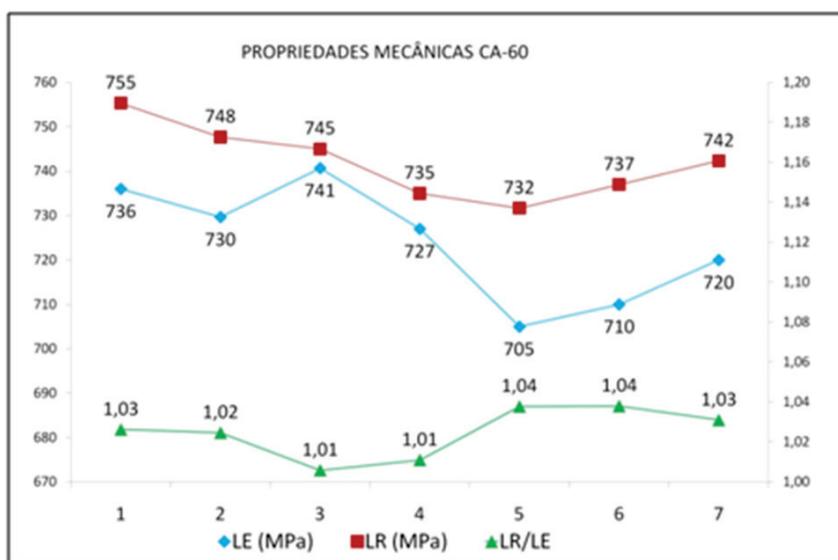


Figura 10 - Resultados do teste de tração CA-60 5,0 mm.

Como o valor mínimo de 1,05 para a relação elástica, definido pela norma NBR ABNT 7480/2007, não foi alcançado, foi necessário realizar experimentos adicionais com o objetivo de aumentar a essa relação.

Após a análise das propriedades mecânicas dos vergalhões, verificou-se que a concentração de tensões mecânicas introduzida pelo processo de laminação a frio poderia estar ocasionando a redução da relação elástica. Decidiu-se então, confeccionar um dispositivo mecânico a ser instalado no final do trem de laminação a frio para realizar o alívio de tensões do produto.

Na figura 11 são apresentados os resultados das propriedades mecânicas obtidas após a laminação utilizando o dispositivo de alívio de tensões. Verifica-se que o alívio de tensões produziu uma queda acentuada no limite de escoamento do material que passou a ser 654 MPa e que o limite de resistência sofreu uma redução menor e ficou em 710MPa. Em virtude disso a relação elástica aumentou consideravelmente atingindo 1,09 superando o mínimo exigido por norma, que é de 1,05. Desta forma o objetivo principal dessa investigação foi atingido.

O que pode ter contribuído para a queda dos valores das propriedades mecânicas do vergalhão foi o alívio de tensões residuais devido à presença de precipitados de carbonetos de ferro na ferrita. De acordo com o diagrama Fe-Fe₃C quando a austenita se transforma em ferrita, ocorre a mudança da estrutura cristalina de CFC para CCC. Como a solubilidade do carbono na ferrita é menor que na austenita o excesso deste precipita em forma de cementita (Fe₃C) devido ao resfriamento lento. A diferença de dureza entre o precipitado e a matriz ajuda a elevar nível de tensão residual no material o que pode ser aliviado pela atuação do dispositivo, devido ao amolecimento por deformação.

Observa-se que no experimento 4, com resfriamento mais rápido em relação ao 5, provavelmente ocorreu uma maior retenção de C e N intersticiais, consequentemente menor precipitação de carbonetos, portanto maior o valor do limite de escoamento. A temperatura inicial utilizada para a formação de espira nesse experimento foi 870°C e a taxa de resfriamento de 14°C/s. No experimento 5 utilizou-se uma menor taxa de resfriamento, 10°C/s, pois a temperatura inicial para formação da espira foi 910°C, o que provocou uma maior precipitação de carboneto de ferro em relação ao experimento anterior com consequente diminuição do limite de escoamento. O efeito obtido pela utilização do dispositivo de alívio de tensões nesse último experimento também foi mais intenso, o que permitiu a obtenção da relação elástica de 1,09.

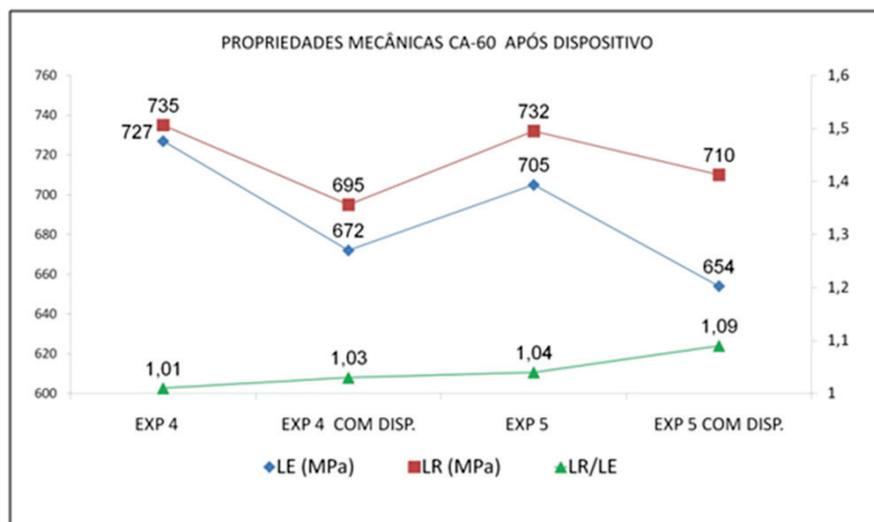


Figura 11 - Resultados das propriedades mecânicas do CA-60 com e sem dispositivo: experimentos 4 e 5.

De acordo com a análise estatística foi possível verificar que os resultados dos testes foram satisfatórios, sendo que o valor médio obtido para LR / LE de 1,09 no experimento 5 garante uma significativa absorção de energia plástica antes de eventual fratura prevenindo a falha prematura dos vergalhões.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi observado que para todos os testes o tamanho médio de grão encontrado foi o ASTM 9, não sendo possível com a configuração dos experimentos montados obter tamanhos de grãos maiores.

De acordo com a regressão múltipla realizada, das variáveis de processo investigadas nesse trabalho a que apresentou maior influência na alteração do limite de resistência do fio-máquina foi a temperatura de conformação das espiras.

As bobinas dos experimentos na laminação a quente quando laminadas a frio não alcançaram o valor de relação elástica mínima especificada pela norma ABNT NBR 7480/2007 de 1,05. Isto foi associado às tensões residuais envolvidas no processo.

Em virtude da maior taxa de resfriamento usada no formador de espiras no experimento 4 ocorreu maior retenção de carbono intersticial em relação ao experimento 5, conseqüentemente a precipitação de carbonetos foi menor produzindo maior valor do limite de escoamento. A taxa de resfriamento usadas foram 14°C/s e 10°C/s, respectivamente. Por outro lado, no experimento 5, com menor taxa de resfriamento, ocorreu maior precipitação de cementita com conseqüente diminuição do limite de escoamento. O resultado obtido pela utilização do dispositivo de alívio de tensões nesse último experimento também foi mais intenso.

O CA-60 após passar pelo dispositivo para alívio de tensões mecânicas, no experimento 5, apresentou resultados de relação elástica que atendem a norma ABNT 7480/2007. O valor médio obtido passou de 1,04 para 1,09, utilizando aço baixo carbono com bitola do fio máquina de 6,5mm. Grande parte dos processos industriais utiliza a bitola de 5,50mm para fabricar CA-60. A possibilidade de aumentar o diâmetro do fio máquina de entrada no laminador a frio, traz ganho significativo na produtividade industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- American Society for testing and material e 112 112: *Standard Test Methods for Determining Average Grain Size*, **2012**.
- ASM Metals. *HandBook – Metallography and Microstrut.* v. 9 p. 306. **1997**.
- Associação Brasileira de normas Técnicas. NBR 6330: *Fio-máquina de aço carbono, de uso geral, destinado à trefilação e laminação à frio*, **1980**.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6354: *Fio-máquina de aço destinado à trefilação e laminação a frio*, **1980**.
- Associação Brasileira de normas Técnicas. NBR 6892: *Materiais metálicos. Ensaio de tração à temperatura ambiente*, **2002**.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7480: *Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado*, **2007**.
- DAROIT, Mateus. *Estudo de aço microligado ao vanádio para a produção de barra nervurada para concreto armado com característica de soldabilidade segundo ABNT NBR 8965:1985. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre*, **2012**. 70 p.
- LABIB, H. F., MEGAHED, G.M., EL-MAHALLAWI, I., DASHWOOD, R.J., LEE, P.D. *Simulation And Control Of The Cooling Of Hot Rolled Steel Wire Rod, Current advances in mechanical design and production VII*, p. 389 - 396, **2000**.
- MORALES, E.M., *Significance of the Ratio of Tensile Strength to Yield Stress (TY/YS) of Reinforcing Bars. Disponível em: < <http://www.pgatech.com.ph/documents/Significance%20of%20the%20Ratio%20of%20Tensile%20Strength%20to%20Yield%20Stress.PDF> > Acesso em 05 set. 2013.*
- RIZZO, E. M. S. *Processos de Laminação de produtos Longos de Aço. Associação Brasileira de Metais*, **2010**.350p.
- ROCHA, Fábio Augusto Costa. *Desenvolvimento de um sistema de ventilação forçada para secar o fio máquina na laminação a frio de vergalhões. Dissertação de Mestrado – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre*, **2012**. 77 p.
- WAN-HUA, Y., SHAO-HUI, C., YONG-HAI, K., KAI-CHAO, C. *Development and application of online Stelmor Controlled Cooling System, Applied Thermal Engineering*, v. 29, p. 2949 - 2953, **2009**