

MELHORIA DA PERFORMANCE DE COROAMENTO DE BOBINAS INOX LAMINADAS A QUENTE¹

Arísio de Abreu Barbosa²
Geraldo Magela de Faria³
Paul Martin⁴
Willy Schuwarten Júnior⁵

Resumo

Este trabalho apresenta o método de adaptação para correção do plano de passes calculado para o Laminador Steckel com base no coroamento medido pelo medidor de perfil da Laminação de Tiras a Quente. É abordada a definição de coroamento da tira, sua necessidade para uma boa performance do processo e do produto inox laminado a frio e a melhoria no controle e resultados de coroamento das bobinas de aço inox laminadas a quente. O coroamento da tira é definido como a diferença entre a espessura no centro da tira e média das espessuras a uma certa distância da borda. O coroamento mais adequado para as operações de laminação a frio é aquele definido como convexo ou coroamento positivo. O coroamento positivo permite uma melhor estabilidade da tira durante a laminação a frio. As adaptações realizadas nos planos de passes calculados pelo modelo matemático de “set-up” do Laminador Steckel, com base no coroamento medido da tira anteriormente laminada, resulta em uma melhor performance de coroamento. Os limites de coroamento máximo e mínimo são observados durante o cálculo do plano de passes e este é recalculado, caso necessário, para garantir estes objetivos.

Palavras-chave: Laminação a quente; Steckel; Modelo matemático; Coroamento.

PERFORMANCE IMPROVEMENT OF THE HOT ROLLED COILS PROFILE

Abstract

This paper presents an adaptable method to adjust the rolling pass schedule calculated to Steckel mill taking into account the measured strip crown provided by its profile gauge. The strip crown definition is approached, as well its importance to a good process performance for cold rolling and controlling improvement of the stainless strip crown on hot finishing mill. The definition of the strip crown is the difference between thickness at the cross section center and the mean thickness at a certain distance of the edges. The expected strip crown for stainless cold rolling is positive or convex. The positive crown provides a good stability on cold rolling process. The adaptation realized on rolling pass schedules by set up mathematic model on Steckel mill, taking into account the measured crown of the previous rolled coil, allowed to improve the hot strip crown. The both crown limits, minimum and maximum, are used to calculate the rolling pass schedule and it is recalculated, if necessary, in order to guarantee the target crown.

Key words: Hot rolling; Steckel; Mathematic model; Strip crown.

¹ Trabalho apresentado no 43º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos - Internacional, Curitiba, PR, Brasil – 17 a 20 de outubro de 2006.

² Eng. Mecânico, Msc, Assistente Técnico da Gerência Técnica da Laminação de Tiras a Quente da Acesita S.A. – Grupo Arcelor.

³ Eng. Metalúrgico, Msc, Assistente Técnico da Gerência Técnica da Laminação de Tiras a Quente da Acesita S.A. – Grupo Arcelor.

⁴ Engenheiro Mecânico – Departamento de Automação - VAI-CLECIM – St. Chamond, França.

⁵ Eng. Mecânico, Mestrando, Assistente Técnico da Gerência Técnica da Laminação de Tiras a Quente da Acesita S.A. – Grupo Arcelor.

1 INTRODUÇÃO [1]

Definição de Perfil

Define-se perfil de um produto plano como a geometria de uma seção transversal ao longo da largura do produto, considerando um conjunto de medidas de espessura tomado em pontos pré-estabelecidos (Figura 1).

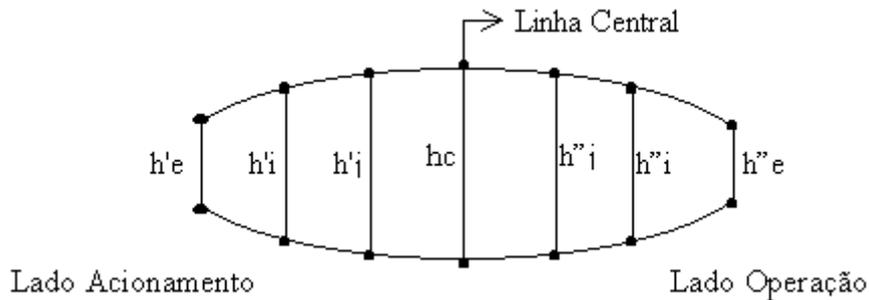


Figura 1. Contorno de uma seção transversal da tira.

Excetuando-se uma pequena faixa a partir das duas extremidades, o perfil mais comum assemelha-se ao apresentado na Figura 1 e geralmente pode ser descrito aproximadamente por uma parábola ou outra função polinomial.

O perfil acima apresentado é o mais usual em produto laminado a quente, e às vezes é descrito como tendo um coroamento positivo ou convexo, no entanto, várias outras formas são observadas. Na Figura 2 mostram-se algumas outras formas que podem ser encontradas.

FORMA	DESCRIÇÃO
a)	CONVEXO
b)	CÔNCAVO
c)	CHATO
d)	CONVEXO-CÔNCAVO
e)	CÔNCAVO-CONVEXO
f)	CHATO EM CUNHA
g)	CONVEXO EM CUNHA
h)	IRREGULAR

Figura 2. Representação esquemática de alguns perfis observados em produtos planos laminados.

Para expressar o perfil de uma forma mais específica a seguinte terminologia é utilizada, referenciando-se novamente à Figura 1.

Coroamento Absoluto (C)

O “*coroamento absoluto*” (C_i) ou simplesmente “*coroamento*” é definido como a diferença entre a espessura no centro da tira (hc) e a espessura média correspondente a uma certa distância i das bordas. Sendo assim, a fórmula da coroa é expressa por:

$$C_i = hc - \frac{h'_i + h''_i}{2} \quad (1)$$

Na maioria das vezes é usado como definição de coroamento o valor de C_{40} , onde h'_{40} e h''_{40} são medidas a 40 mm das bordas. O coroamento será positivo se apresentar perfil convexo e negativo se apresentar perfil côncavo (FIGURA 2). Normalmente o coroamento absoluto é expresso em microns.

Coroamento Relativo

Em muitas oportunidades, é necessário referenciar-se ao “*coroamento relativo*” (C_R) que é a razão entre o coroamento absoluto e uma espessura de referência.

$$C_R = \frac{2 \cdot C_i}{h'_i + h''_i} \quad (2)$$

Onde a espessura de referência é dada por $\frac{h'_i + h''_i}{2}$.

Muitas vezes é usada como espessura de referência a espessura nominal especificada. O coroamento relativo é adimensional e geralmente é expresso percentualmente.

Cunha (W)

“*Cunha*” de uma tira ou chapa é a diferença de espessura entre as duas bordas, medidas a uma distância l . Assim, referenciando-se novamente a FIGURA 1, a cunha (W) é definida por:

$$W = \left| h'_l - h''_l \right| \quad (3)$$

“Edge Drop” (E)

Geralmente a variação da espessura ao longo da largura da tira se dá de uma forma relativamente suave, sendo o perfil quase sempre satisfatoriamente bem representado por um polinômio de quarto grau. No entanto, a partir de um certo ponto, no sentido da borda, a espessura geralmente diminui bruscamente, não seguindo mais a mesma função polinomial válida para a região central da tira sendo, neste ponto, melhor representado por uma parcela exponencial. A esta queda brusca da espessura dá-se o nome de “*edge drop*”.

A Figura 3 mostra o problema, de forma esquemática, para uma largura de 1200mm. No exemplo abaixo, o “*edge drop*” está confinado a, aproximadamente, 30mm de cada borda.

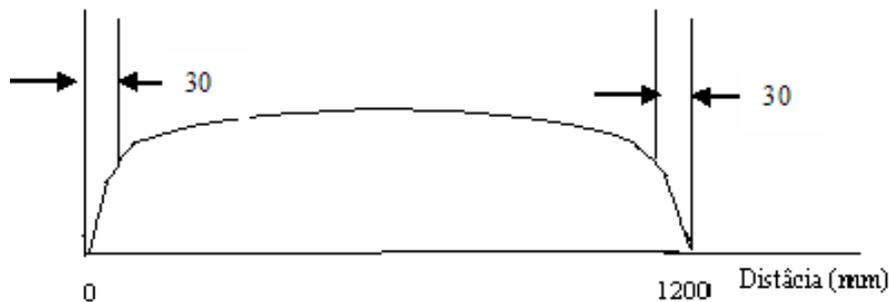


Figura 3. Caracterização do “edge drop”.

A Influência do Perfil do Produto Laminado a Quente sobre a Laminação a Frio

Dos vários tipos de coroamentos possíveis de serem observados em uma tira laminada a quente (Figura 2) o mais adequado para as operações subsequentes de laminação a frio é aquele definido como convexo ou coroamento positivo. O coroamento positivo permite uma melhor estabilidade da tira durante a laminação a frio.

O valor ideal do coroamento varia ligeiramente de autor para autor. Segundo Gisnzburg o coroamento ideal se situa entre 20 e 70 μm . Segundo Shohet e Townsend um coroamento mínimo de 80 μm é requerido pelas laminações a frio. Wilms et alli, sugerem o coroamento do produto laminado a quente entre 0,5 e 2,5%. Uma vez especificado o valor ideal, por exemplo, 2% de coroamento relativo, os controles da laminação a quente devem ser tais que isto seja obtido em todos os passes da laminação a quente, principalmente a partir do segundo ou terceiro passes do laminador de acabamento.

Fatores Determinantes de Coroamento

Desconsiderando sua deformação elástica, o perfil de uma tira é aproximadamente igual ao coroamento ou perfil da abertura dos cilindros na saída do laminador.

Sendo assim, os parâmetros que afetam o coroamento são os mesmos que definem a geometria da abertura dos cilindros. Estes parâmetros podem ser classificados em dois grupos: os que definem a geometria da abertura na condição sem carga (coroamento mecânico, coroamento térmico e desgastes dos cilindros) e aqueles que modificam a geometria após aplicação de carga (plano de passes, largura da tira, largura da mesa dos cilindros, etc.).

2 DESENVOLVIMENTO ^[2-3]

Adaptação de Coroamento

Com a instalação do medidor de perfil na saída do laminador acabador Steckel, além de se conhecer o resultado de coroamento das tiras laminadas a quente, foi possível a utilização dos valores de coroamento medido para a realização de adaptações de coroamento nos planos de passes calculados pelo modelo de “set-up” dos laminadores.

Um novo programa, desenvolvido para realizar esta otimização, foi implementado no modelo matemático de “set-up” dos laminadores de tiras a quente, em novembro de

2001, com o apoio técnico da divisão de automação da VAI-CLECIM. Após um período de comissionamento, o programa foi ativado permanentemente em abril de 2002.

A função deste programa é calcular um novo valor de adaptação de coroamento dos cilindros de trabalho. O cálculo é realizado com base nos coroamentos medidos das tiras laminadas durante uma montagem de cilindro de trabalho do laminador acabador e que não apresentaram defeitos de forma (ondulações) identificados pelo modelo de planicidade.

São utilizados nos cálculos de adaptação, até os últimos dez valores de coroamento medidos. Estes valores têm pesos diferenciados no cálculo em função do seu tempo de registro. O valor registrado primeiro tem um peso maior nos cálculos da adaptação.

Caso o coroamento medido seja maior que 0,5mm ou o coroamento relativo seja maior que 2%, a adaptação não é realizada.

Com esta adaptação, os cálculos de coroamento realizados pelo modelo matemático foram otimizados, representando de forma mais consistente os resultados das tiras laminadas, como mostra a Figura 4.

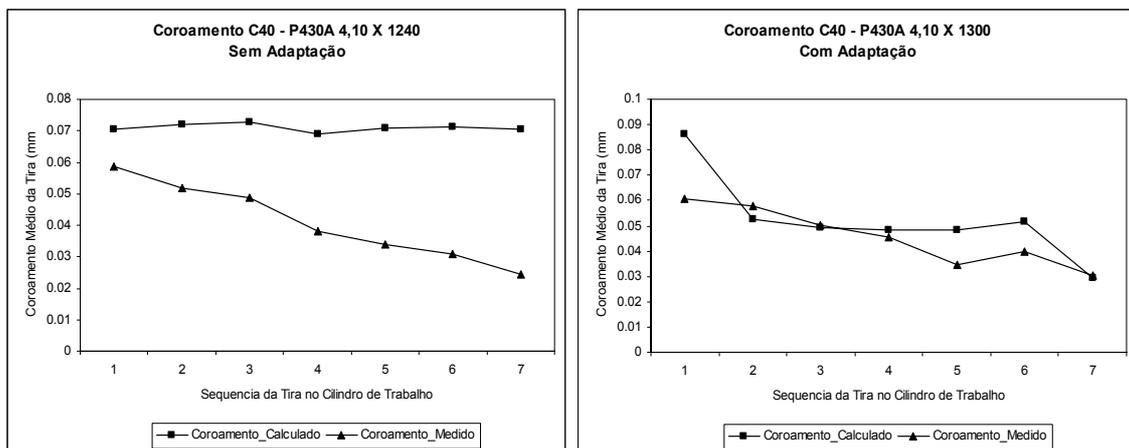


Figura 4. Resultado da adaptação de coroamento nos cálculos do modelo matemático.

Com a maior precisão nos cálculos de coroamento previsto pelo modelo matemático, foi possível identificar e implantar com maior objetividade e segurança, ações voltadas para garantir um coroamento convexo nas tiras de aços inox laminadas a quente.

Entre estas ações, podemos citar:

- ajustes realizados nos planos de passes calculados pelo modelo matemático, com objetivo de beneficiar a formação de um coroamento convexo na tira, logo no início do processo de laminação, e conservar o coroamento relativo até os últimos passes, para se obter uma tira coroadada e sem ondulações;
- e as alterações no coroamento mecânico dos cilindros de trabalho do laminador acabador, utilizando-se preferencialmente o coroamento mecânico negativo, com objetivo de diminuir o efeito da coroa térmica e facilitar a formação de um coroamento convexo.

Durante uma montagem de cilindros de trabalho no laminador acabador, o coroamento das tiras laminadas sofre uma degradação considerável, principalmente devido à evolução da coroa dos mesmos.

A adaptação de coroamento realizada pelo modelo de “Set-up” reduz, até certo ponto, esta degradação, como pode ser observado na Figura 5.

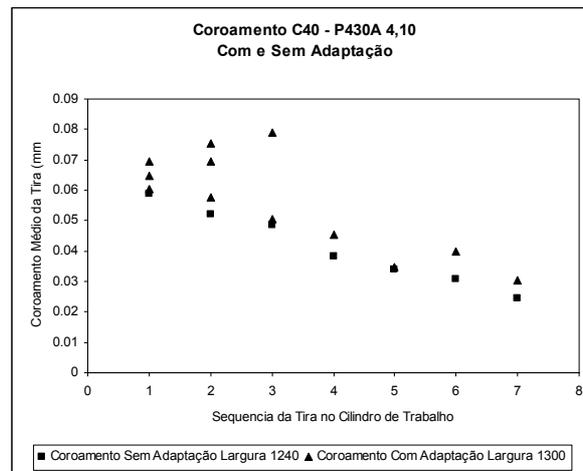


Figura 5. Evolução da degradação de coroamento na montagem de cilindro.

As bobinas com largura de 1300 mm, laminadas com a adaptação de coroamento do modelo de “set-up”, obtiveram um resultado de coroamento médio maior, comparando-se com as bobinas laminadas com largura de 1240 mm.

Teoricamente, bobinas de mesma espessura, laminadas nas mesmas condições de processo, como as mostradas na Figura 5, teriam um maior coroamento quanto menor fosse a largura.

Isto nos mostra uma eficiência da adaptação de coroamento para o controle da degradação de coroamento durante a campanha dos cilindros no laminador. Embora não seja suficiente para impedi-la.

A implementação da adaptação de coroamento se efetivou logo após o projeto Bobina Pesada, que elevou o peso da bobina laminada a quente de 13 toneladas para até 25 toneladas, aumentando assim, o tempo de contato entre tira e cilindro de trabalho no laminador acabador Steckel, e conseqüentemente, formando uma coroa térmica maior nos cilindros de trabalho.

Com esta alteração nas configurações da Laminação de Tiras a Quente, a comparação entre bobinas laminadas antes e depois do início da adaptação de coroamento pelo modelo, ficou prejudicada, devido às alterações nas condições de processamento.

Resultados de Coroamento das Bobinas de Aço Inox Laminadas a Quente

Analisando os valores de coroamento das bobinas de inox P430A laminadas a quente, observamos uma boa eficiência em manter um coroamento convexo nas bobinas, mesmo com a degradação dos valores de coroamento, durante a montagem dos cilindros de trabalho do laminador acabador (Figura 6).

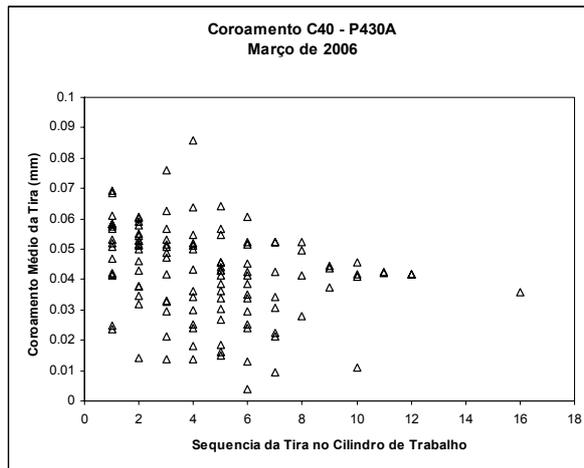


Figura 6. Resultado de coroamento do aço P430A.

Nos resultados do aço P430E, são observados alguns coroamentos negativos da ordem de até 0,010 mm (Figura 7). Estes valores são geralmente oriundos de uma estratégia de laminação com menores reduções para se prevenir defeitos superficiais na tira como o colamento.

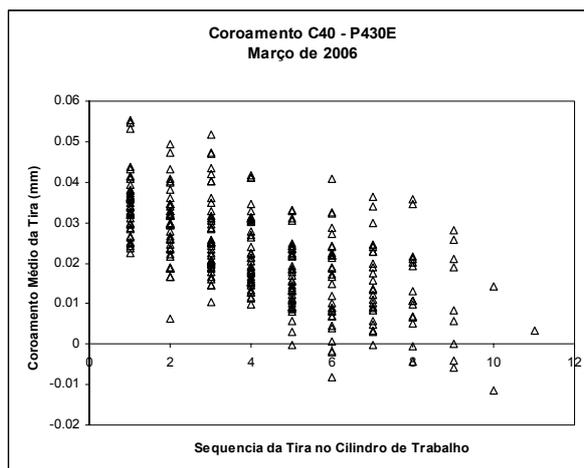


Figura 7. Resultado de coroamento do aço P430E.

Já nos aços P304, os valores negativos de coroamento aparecem com mais frequência nas tiras de espessuras mais finas, ou seja, laminadas em 7 passes no Steckel. Isso é devido ao maior aporte térmico durante a laminação, decorrente do maior tempo de contato entre a tira e os cilindros de trabalho (Figura 8).

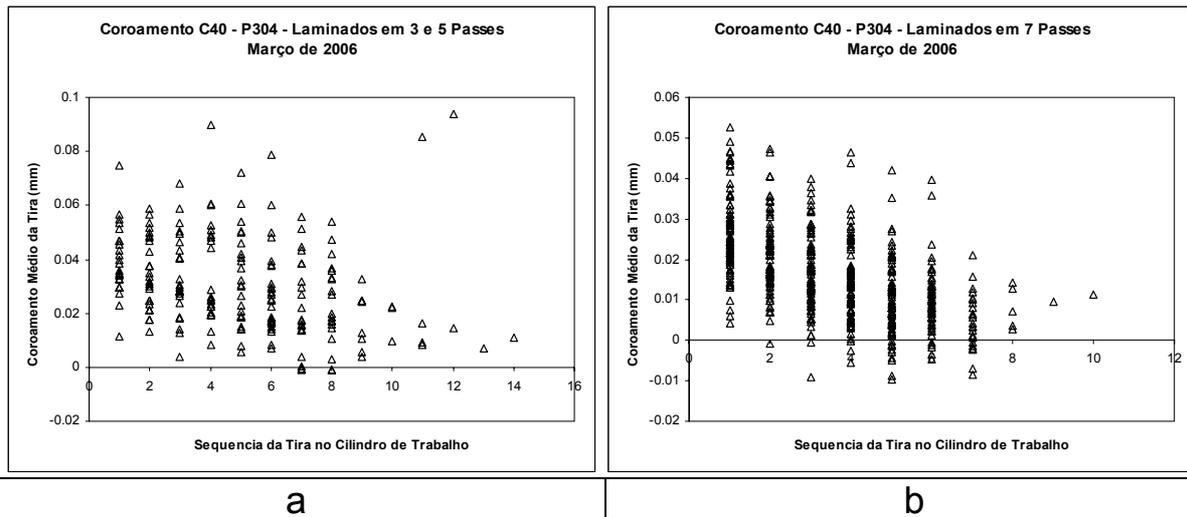


Figura 8. Resultado de coroamento do aço P304: a) Material Laminado em 3 e 5 Passes no Steckel; b) Material laminado em 7 passes no Steckel.

3 CONCLUSÃO

Fornecer bobinas de aço inox laminadas a quente com um coroamento convexo é condição essencial para um bom desempenho do processo de laminação a frio.

A adaptação de coroamento implementada no modelo matemático de “set-up” dos laminadores melhorou sensivelmente o domínio do processo de laminação a quente quanto à variável coroamento da tira.

Com esta adaptação, os cálculos de coroamento realizados pelo modelo matemático foram otimizados, contribuindo positivamente na melhoria do perfil e forma das bobinas laminadas a quente.

A adaptação de coroamento não foi suficiente para reduzir a degradação do coroamento das tiras devido à evolução da coroa térmica do cilindro de trabalho, ao longo de sua campanha no laminador. Entretanto, o controle mais eficaz desse fenômeno, tão importante quanto maior for o ritmo de laminação, passa, necessariamente, por uma otimização do sistema de refrigeração dos cilindros de trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 FARIA, Geraldo Magela. Análise de Perfil e Forma de Tiras Laminadas a Quente. Dissertação de Mestrado – UFMG. Belo Horizonte, 2001, 119p.
- 2 KVAERNER METALS CLECIM. P.L.A.T.E. Model, 1. ed, 1977, 173 p.
- 3 Hacquin, Arnoud. Investigation into Back-Up Roll spalling hazard with ACESITA's Roughing and Steckel Mills – Final Report. Metz, 2001.