

AUMENTO DA ESTABILIDADE DO PROCESSO DO LAMINADOR DE TIRAS A FRIO COM A UTILIZAÇÃO DE CILINDROS REVESTIDOS COM CROMO¹

Sergio Luiz Murator²
 Alexandre Ribeiro N. Santos³
 Antonio Fabiano de Oliveira⁴
 Célio Souza do Rosário⁵
 Cristiano Ozores Siqueira⁶
 José Dias Blanco⁷
 José Valdir Amorim Dantas⁸
 Karl Kristian Bagger⁹
 Marcio Ferreira Arruda¹⁰

Resumo

A estabilidade de um laminador de tiras a frio é fundamental para a garantia do controle de espessura, o principal atributo de aços planos laminados a frio. Essa estabilidade pode ser definida como a capacidade de se controlar variáveis de processo que atuam diretamente na espessura. Dentre as variáveis mais importantes está a velocidade linear da primeira cadeia (de laminação) e da tira no vão à sua frente. O presente trabalho mostra como a utilização de cilindros revestidos com camada de cromo melhorou esse controle sobre a velocidade e conseqüentemente a estabilidade, o que possibilitou o aumento da campanha (programa) de laminação de forma significativamente superior em relação à utilização dos cilindros sem revestimento. Como resultados serão apresentados significativos aumentos das campanhas dos cilindros e conseqüentemente da disponibilidade do equipamento para produzir.

Palavras-chave: Processo; Estabilidade; Cilindros; Cromo.

TANDEM COLD MILL PROCESS STABILITY IMPROVEMENT WITH CHROME PLATED WORK ROLLS APPLICATION

Abstract

The stability of a tandem cold mill is essential to assure the thickness control, the main attribute of cold rolled steel sheets. This stability can be defined as the capability of controlling the process variables that act direct at the thickness. Among the most important variables are the first stand (mill) linear speed and the sheet speed at the interstice ahead of it. This work shows how the chrome plated work rolls application improved this speed control and consequently the stability, which enabled an increase in the work roll rolling campaign (rolling sequence program) in such a way significantly higher, compared to when using the non chrome plated work rolls. As a result of it will be presented significantly improvements of work rolls campaigns and the consequent increase of the equipment availability.

Key words: Process; Stability; Work Rolls; Chrome.

- ¹ Contribuição técnica ao 48º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 24 a 27 de outubro de 2011, Santos, SP
- ² Sócio ABM, Eng. Eletricista, Eng. Manutenção da Laminação a Frio, Usiminas Cubatão, SP.
- ³ Sócio ABM, Téc. Metalurgia, Téc. Produção da Laminação a Frio, Usiminas Cubatão, SP.
- ⁴ Sócio ABM, Eng. Metalurgista, Especialista Processos Laminação a Frio, Usiminas - Cubatão, SP.
- ⁵ Sócio ABM, Eng. Mecânico, Eng. Produção da Laminação a Frio da Usiminas - Cubatão, SP.
- ⁶ Sócio ABM, Téc. Instrumentação e Elétrica, Téc. Produção da Laminação a Frio, Usiminas - Cubatão, SP.
- ⁷ Sócio ABM, Téc. Metalurgia, Assist. Téc. Industrial Laminação a Frio, Usiminas - Cubatão, SP.
- ⁸ Sócio ABM, Téc. Eletrônica, Assist. Téc. Produção da Laminação a Frio, Usiminas - Cubatão, SP.
- ⁹ Sócio ABM, Eng. Metalurgista, Gerente Técnico da Laminação a Frio, Usiminas - Cubatão, SP.
- ¹⁰ Sócio ABM, Analista de Sistemas, Analista de Gestão Laminação a Frio, Usiminas - Cubatão, SP.

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho mostra um estudo da aplicação de cilindros revestidos com cromo na primeira cadeira de laminação do laminador de tiras a frio e as influências desta aplicação, cujo principal objetivo é justamente a melhoria da estabilidade do processo de laminação.

Com as demandas crescentes do mercado por produtos de melhor qualidade e menores custos, melhorias são continuamente necessárias para a manutenção da competitividade no mercado. No caso do laminador de tiras a frio um atributo que afeta diretamente o resultado do produto final – e conseqüentemente a sua qualidade – é a sua estabilidade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O laminador de tiras a frio (LTF) da Usiminas Cubatão, cujo diagrama esquemático é ilustrado pela Figura 1, é composto de uma desenroladeira, quatro cadeiras dispostas em cascata e uma enroladeira. A espessura máxima de entrada para os materiais a serem laminados é 5,00 mm e a espessura de saída mínima é 0,38 mm, com largura entre 600 e 1600 mm, dentro de um esquema de redução de até 81%.

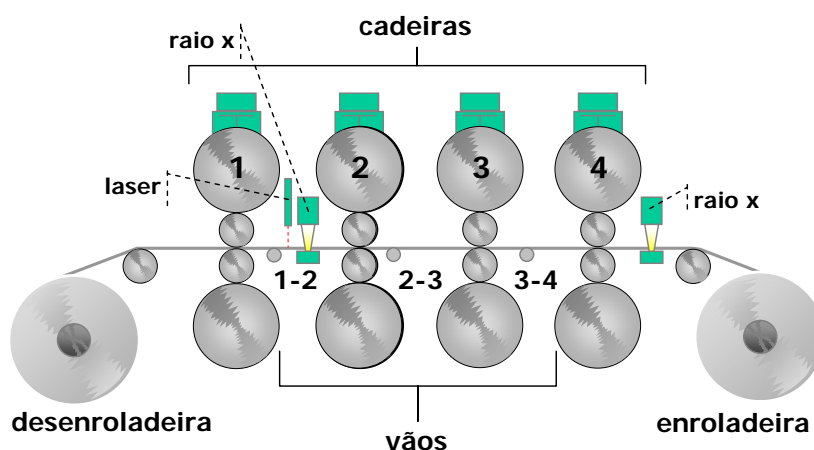


Figura 1 - Diagrama esquemático do Laminador de Tiras a Frio da Usiminas Cubatão.⁽¹⁾

Para entendermos os fundamentos para se obter a estabilidade do laminador vamos apresentar a Lei do Fluxo de Massa – Mass Flow Law. Segundo Helman⁽²⁾ essa lei garante que a massa do material na entrada de uma cadeira de laminação é igual à massa do material na saída da referida cadeira, considerando-se desprezível a variação de largura na laminação a frio. Assim, podemos obter a equação 1:

$$h_i \cdot v_i = h_o \cdot v_o$$

Equação 1 – Lei do Fluxo de Massa.

onde: h_i = espessura da tira na entrada da cadeira;
 v_i = velocidade da tira na entrada da cadeira.
 h_o = espessura da tira na saída da cadeira;
 v_o = velocidade da tira na saída da cadeira.

É possível entender pela equação 1 que, se controlarmos a velocidade da tira nos vãos anterior e posterior à uma cadeira de laminação qualquer estaremos controlando a redução de espessura do material em processo na saída dessa cadeira.

Contudo, deve ser compreendido que não é possível controlar diretamente a velocidade da tira, mas isso deverá ocorrer de forma indireta através da atuação na velocidade dos cilindros que a tracionam, velocidade essa que chamamos comumente de velocidade da cadeira. Isso porque os motores do laminador estão acoplados indiretamente aos cilindros de trabalho, através de uma redutora.

Para atuarmos na velocidade da cadeira e controlarmos corretamente a velocidade da tira é importante conhecermos a relação entre elas – velocidades. Daí surge outro conceito importante que é o escorregamento avante – forward slip.

Segundo Helman⁽²⁾ o escorregamento avante pode ser definido como a relação entre a velocidade da tira na saída da cadeira e a velocidade periférica dessa cadeira (em referência), como podemos observar na equação 2:

$$S_f = \frac{v_0 - v}{v}$$

Equação 2 – Cálculo do escorregamento avante.

onde: v_0 = velocidade da tira no plano de saída da cadeira;

v = velocidade periférica dos cilindros da cadeira.

Assim, a velocidade da tira poderá ser calculada através da velocidade da cadeira, levando-se em consideração o valor do escorregamento avante instantâneo.

Larke⁽³⁾ afirmou que existe um ponto na área de contato entre a tira e a cadeira no qual as velocidades da tira e dos cilindros são iguais, como podemos visualizar na figura 2. Esse ponto é conhecido como *ponto neutro* e a linha imaginária que une os pontos neutros dos cilindros superior e inferior é conhecida como *linha neutra*.

Larke⁽³⁾ também afirma que o ângulo formado entre o plano de saída e o raio do cilindro até o ponto neutro é chamado de *ângulo neutro* (α_n), o que fisicamente indica o local no qual se tem um equilíbrio entre as forças do arco de contato que estão a favor do movimento da tira (antes da linha neutra – F_1) e as forças que estão contrárias ao movimento da tira (após a linha neutra – F_2), como pode ser visto também na Figura 2.

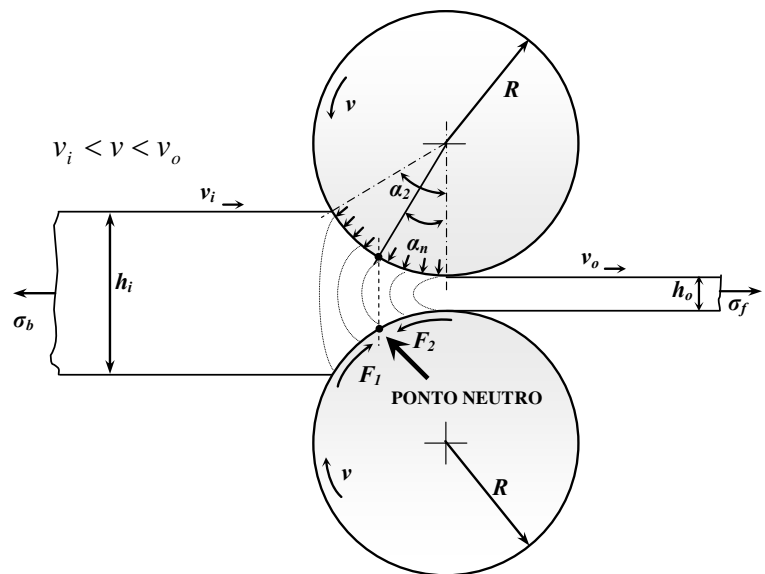


Figura 2 - Ponto neutro, linha neutra e forças de atrito.⁽³⁾

O ponto neutro tem seu posicionamento automaticamente determinado pela potência requerida para deformar a tira e superar a resistência oferecida pelo atrito à entrada da tira. Quando o escorregamento apresenta valor negativo, fisicamente isto representa que o local do equilíbrio das forças se encontra em um ponto fora da região do arco de contato e logo o controle do processo de laminação se torna instável.

Muratori et al.⁽¹⁾ por sua vez, concluíram que o escorregamento, por depender do equilíbrio de forças, tem como fatores que podem diretamente alterá-lo: a tensão, o coeficiente de atrito, a lubrificação, a redução do material e a própria força de laminação aplicada.

Com base nos equacionamentos acima, para atingirmos uma situação de estabilidade é importante o controle da velocidade da tira e fisicamente isto só é possível quando há atrito suficiente entre a tira e os cilindros de laminação. Se o atrito não for suficiente não será possível tracionar a tira, havendo uma situação de “escorregamento” ou “derrapagem” dos cilindros sobre ela – tira. Nesse instante de derrapagem o valor do escorregamento avante será negativo, indicando que os cilindros estão mais rápidos do que a tira, isto é, o atrito para “puxar” a tira não está sendo suficiente para alterar as condições físicas superficiais de contato tira-cilindro. Assim, a relação desejada ocorre quando a velocidade da tira é maior do que a velocidade periférica da cadeira (equação 3).

$$v_0 > v_1$$

Equação 3 – Relação desejada entre velocidade de entrada e de saída da tira.

onde:

v_0 = velocidade da tira na saída da cadeira.

v_1 = velocidade da tira na entrada da cadeira.

Portanto, se o valor do escorregamento avante for positivo e pequeno teremos uma situação estável para laminar o que irá refletir em um controle efetivo da velocidade da cadeira e conseqüentemente da espessura; a qualidade do material no que diz respeito às tolerâncias de espessura será obtida.

Conforme estudo realizado no Laminador de Tiras a Frio por Muratori et al.⁽¹⁾ e baseando-se nos conhecimentos acima citados, o desgaste natural ao longo da campanha de um cilindro de trabalho tem influência direta no aparecimento do escorregamento negativo, como podemos visualizar na Figura 3. Deverá ser observada no gráfico a tendência do valor do escorregamento avante calculado em direção a valores negativos.

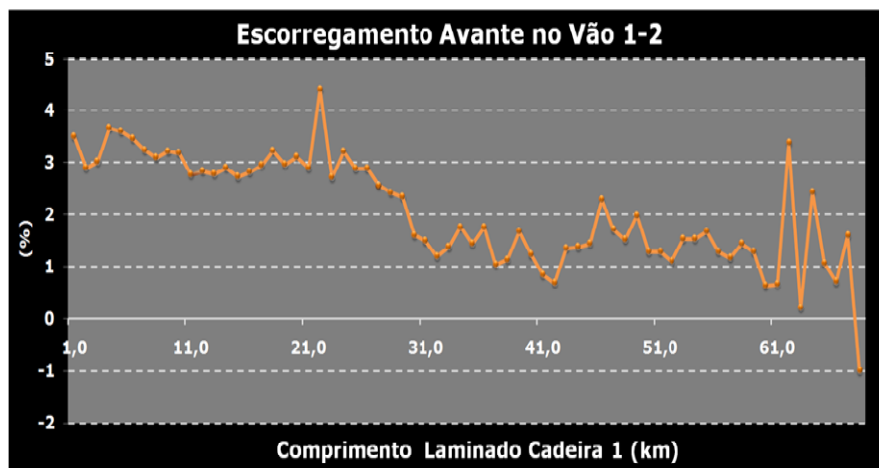


Figura 3 – Escorregamento avante no vão 1-2 do LTF em relação ao comprimento laminado pelos cilindros da cadeia 1.

A relação entre o comprimento laminado pelo cilindro de trabalho ou sua rugosidade e o escorregamento avante é apresentado nas equações 4 e 5, obtidas através de regressões multi-variáveis dos dados de campanha do LTF.

$$S_f = 10 - 4,866 \cdot h_i + 4,955 \cdot h_o - 22,690 \cdot 10^{-3} \cdot \sigma_b + 206,106 \cdot 10^{-3} \cdot \sigma_f + \dots$$

$$\dots - 37,786 \cdot 10^{-3} \cdot st_{km} - 2,170 \cdot 10^{-3} \cdot R_f$$

Equação 4 – Cálculo do escorregamento em função de um grupo de variáveis presentes no LTF.

$$S_f = 10 - 10,935 \cdot h_i + 11,607 \cdot h_o - 78,557 \cdot \sigma_b + 459,176 \cdot 10^{-3} \cdot \sigma_f + \dots$$

$$\dots + 13,213 \cdot rg - 4,124 \cdot 10^{-3} \cdot R_f$$

Equação 5 – Cálculo do escorregamento em função de um segundo grupo de variáveis presentes no LTF.

Onde:

- h_o = Espessura de Saída (mm)
- h_i = Espessura de Entrada (mm)
- σ_b = Tensão a Ré (T)
- σ_f = Tensão Avante Média (T)
- R_f = Força de Laminação Média (T)
- st_{km} = Comprimento Laminado (km)
- rg = Rugosidade Média (μmRA).

Sendo assim a substituição do cilindro de trabalho fica também atrelada ao aparecimento do escorregamento negativo, objetivando assim a manutenção da estabilidade do sistema com a consequentemente garantia de espessura.

Com esta ação foi obtida uma melhoria significativa na estabilidade do sistema, como esperado. Porém, surgiu uma nova questão que motivou o presente trabalho: grande parte das trocas de cilindros de trabalho realizadas passaram a ser necessárias devido ao aparecimento de escorregamento negativo. Isso pode ser observado na Figura 4.

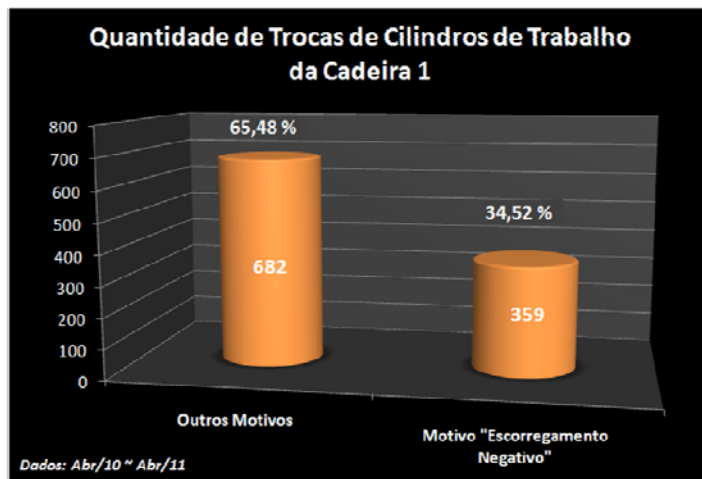


Figura 4 – Motivo das trocas dos cilindros de trabalho da cadeira 1.

3 UTILIZAÇÃO DE CILINDROS DE TRABALHO NA CADEIRA 1 REVESTIDOS COM CROMO

No estudo apresentado neste trabalho os cilindros revestidos com cromo foram utilizados na cadeira 1 em substituição aos cilindros de trabalho não revestidos, como apresentado na Figura 5.

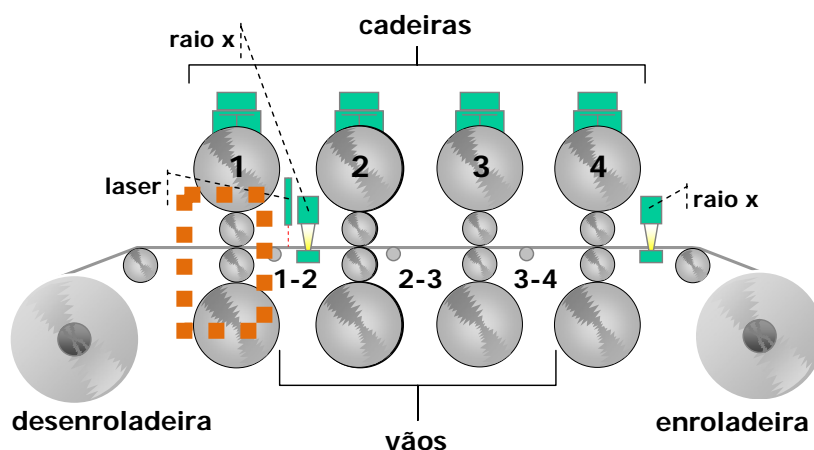


Figura 5 – Posicionamento dos cilindros revestidos com cromo.⁽¹⁾

O revestimento consiste na aplicação de uma camada de cromo de aproximadamente 4 μm a 6 μm sobre o cilindro de trabalho após a sua retificação, durante o processo convencional de recuperação do mesmo. A seguir, na Figura 6 temos uma representação da aplicação da camada de cromo sobre o cilindro.



Figura 6 – Representação da camada de cromo aplicada no cilindro de trabalho.

4 RESULTADOS

Um dos ganhos obtidos com a utilização dos cilindros revestidos com cromo foi o aumento do comprimento médio laminado, como podemos visualizar na Figura 7.

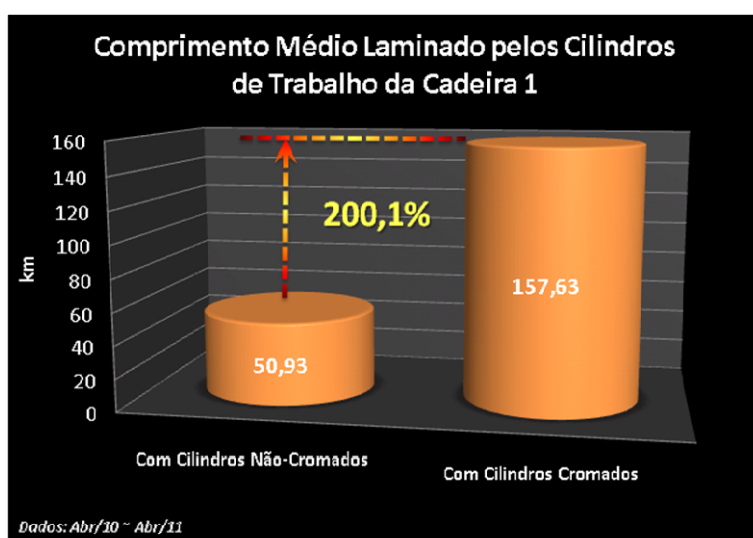


Figura 7 – Comprimento médio laminado pelos cilindros de trabalho da cadeira 1 revestidos com cromo e não revestidos.

Como consequência do aumento do comprimento laminado houve um ganho no peso médio laminado, como podemos visualizar na Figura 8.

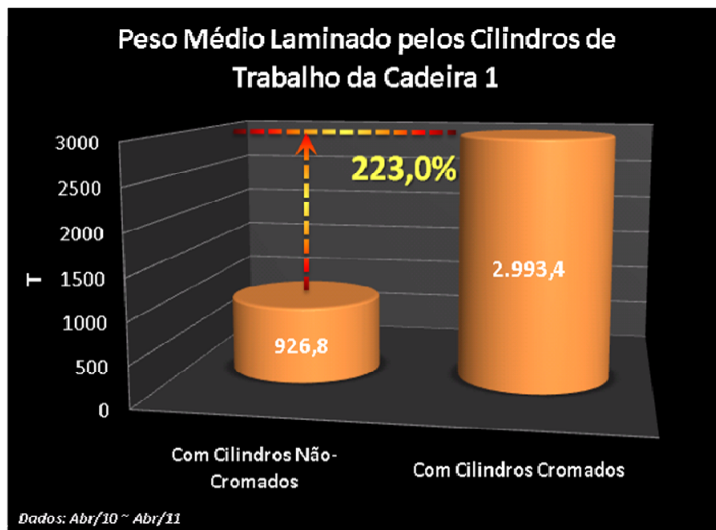


Figura 8 – Peso médio laminado pelos cilindros de trabalho da cadeira 1 revestidos com cromo e não revestidos.

Os cilindros revestidos com cromo proporcionaram uma campanha muito superior em relação aos cilindros não revestidos, graças à manutenção da rugosidade e portanto, do coeficiente de atrito, o que garantiu o escorregamento sempre positivo em uma campanha muito maior, conforme apresentado na Figura 9.

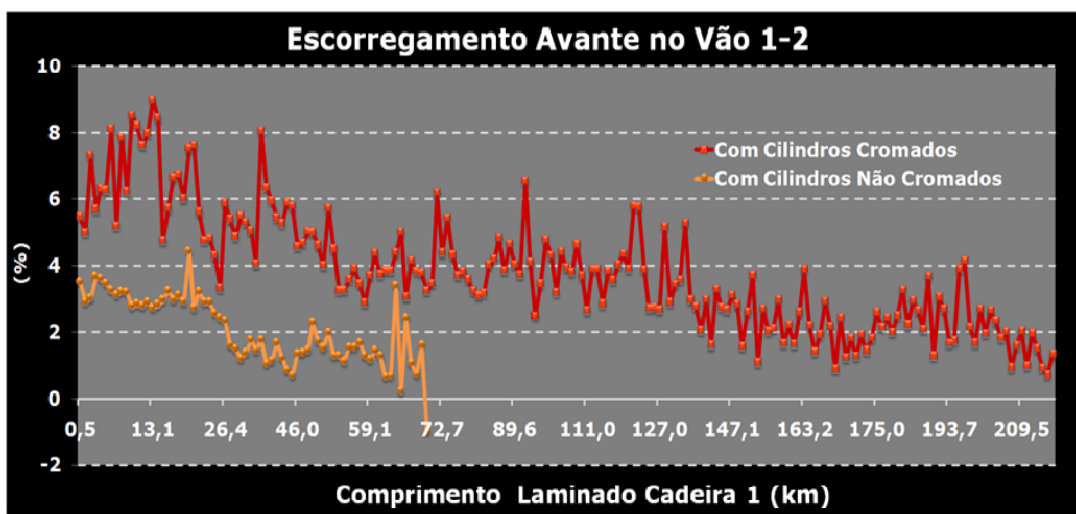


Figura 9 – Escorregamento avanço no vão 1-2 com a utilização de cilindros revestidos e não revestidos com cromo em relação ao comprimento laminado.

Além de manter um escorregamento superior ao dos cilindros não revestidos ao longo do mesmo comprimento laminado, os cilindros cromados conseguiram manter o escorregamento positivo e propiciaram assim uma campanha cerca de três vezes maior.

Deve ser ressaltado que o cilindro de trabalho com revestimento de cromo analisado no gráfico da figura 9 teve sua campanha interrompida por uma condição de programação do mix dos materiais que seriam processados, ou seja, caso esta

mudança não ocorresse o mesmo apresentava plenas condições de permanecer em utilização, pois apresentava um escorregamento positivo ainda no momento da troca. Esse fato reforça ainda mais o ganho proporcionado pela aplicação deste tipo de cilindros de trabalho, que contribuem com a afirmação que ainda existem inúmeros benefícios a serem explorados e utilizados com sua aplicação.

5 DISCUSSÃO

Comparando os resultados apresentados neste estudo com os resultados obtidos por Muratori et al. ⁽¹⁾ em 2006, onde o surgimento do escorregamento negativo é apontando como uma das principais causas pelas trocas dos cilindros de trabalhos do laminador a frio, percebemos que a aplicação dos cilindros cromados pode proporcionar, além de um ganho de estabilidade como já apresentado, uma redução de custo com a diminuição das trocas de cilindros de trabalho.

Sem dúvida esta é uma possibilidade a ser estudada futuramente em novos trabalhos, podendo assim confirmar ou não este ganho financeiro proporcionado pela aplicação de cilindros de trabalho revestidos com cromo.

6 CONCLUSÃO

Este estudo nos permite concluir que é possível obter um aumento significativo da estabilidade do Laminador de Tiras a Frio da Usiminas Cubatão através da manutenção do escorregamento positivo por um período de tempo superior ao convencional. Tal estabilidade do processo garante a baixa variabilidade na performance (bitola dentro das tolerâncias exigidas, mesmo quando restrita). Essa conclusão está baseada no resultado obtido na campanha dos cilindros de trabalhos quando esses foram revestidos com cromo, pois essa camada diminui o desgaste superficial dos cilindros de forma significativa.

Com o aumento do comprimento laminado (maior campanha dos cilindros) há uma conseqüente diminuição no número de trocas de cilindros de trabalho, propiciando o aumento do tempo disponível para o equipamento produzir, o que significa maior produtividade do laminador.

Fica claro também que a aplicação de cilindros cromados tem o potencial de proporcionar outras formas de ganhos para o processo, como por exemplo, a redução de custo com a diminuição do número de retificações dos cilindros o que também diminui consumos de insumos das retificas etc. Essas hipóteses devem ser validadas por estudos futuros que poderão confirmar ou reforçar os benefícios da utilização de cilindros revestidos com cromo.

REFERÊNCIAS

- 1 MURATORI, S. L.; PIRES, C. T. de Á.; BAGGER, K. K.; SILVA, M. A. da; GIOVANNETTI, M. de F.; Influência das variáveis de processo sobre o escorregamento avante na primeira cadeia do laminador de tiras a frio da COSIPA. In: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO, PROCESSOS E PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIDOS, 43., 2006, Curitiba. Paraná: ABM, 2006.
- 2 HELMAN, H.; Fundamentos da Laminação de produtos Planos; Associação Brasileira de Metais. 1988.
- 3 LARKE, E. C.; The rolling of strip, sheet and plate; Chapman and Hall Ltd. 1967.