

OTIMIZAÇÃO DO CONTROLE DE ESPESSURA DO LAMINADOR DE TIRAS A FRIO DA COSIPA¹

Maurício de Freitas Giovannetti²
Sergio Luiz Muratori²

Resumo

Este trabalho tem como principal objetivo diminuir o comprimento das pontas das bobinas que ficam fora de espessura, aumentando assim o rendimento metálico do produto laminado. O Laminador de Tiras a Frio da Cosipa é do tipo encaixe-desencaixe (processa bobina a bobina), o que gera uma cabeça e uma cauda por bobina laminada. Essas pontas podem estar fora de espessura, o que é uma consequência da instabilidade em que se encontra o processo, enquanto os reguladores de tensão e o controle automático de espessura não entram em operação. O trabalho, então, se fundamenta no projeto de malhas de controle para amenizar o problema relatado. A solução é a correção imediata da espessura debaixo da cadeira em que está sendo “encaixada-desencaixada” a tira. Estas novas malhas calculam a abertura dos cilindros, após a tira encaixar entre eles (da primeira à terceira cadeira), e a corrigem de acordo com a espessura programada para cada uma das cadeiras citadas. Isto faz com que esta tira esteja o mais próximo possível da espessura antes que os controladores de projeto comecem a atuar.

Palavras-chave: Laminador de tiras a frio; Malha de controle; Espessura.

IMPROVEMENT OF THE THICKNESS CONTROL ON COSIPA'S TANDEM COLD MILL

Abstract

The main objective of the present paper is to reduce the coil head and tail lengths that are out of thickness, thus increasing the product yield. Cosipa's Tandem Cold Mill is a discontinuous type, which means that at each rolled coil will have one head and one tail. This part of coil will be out of the thickness tolerance, that is normal, due to process instability during the thread and tail out phases, while the AGC regulators still are out of work. The idea of this paper is development of new control loops, which will decrease the related problem. The solution is the immediate correction of the thickness in the stand where the strip is. These new control loops compute the gap between the work rolls, after the thread, in each stand (from the first to the third stands), and correct them according to the programmed thickness. So the strip reach, as close as possible, its nominal thickness before the AGC control loops start to work.

Key words: Tandem cold mill; Control loop; Thickness.

¹ *Contribuição técnica ao 44º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 16 a 19 de outubro de 2007, Campos do Jordão – SP, Brasil.*

² *Sócio da A.B.M. Engenheiro Eletricista, Analista de Manutenção da Laminação a Frio da Companhia Siderúrgica Paulista - Cosipa, Cubatão SP.*

1 INTRODUÇÃO

Há uma tendência dos produtos laminados a frio se tornarem produtos com espessuras cada vez menores, de melhor qualidade superficial e dimensional, com propriedades mecânicas mais elevadas. Muitos desses aços, de maior exigência, são aplicados na indústria automobilística, linha branca, e auto peças.

O controle de espessura é um dos itens de maior importância, relacionado à laminação a frio. Atualmente o domínio desse controle é um dos principais fatores motivadores de investimentos em reformas de laminadores.

Com o mercado exigindo tolerâncias de espessuras mais restritas, em relação à espessura nominal, houve um aumento significativo de perdas nas pontas (inicial e final), e isto devido à dificuldade dos sistemas de controle convencionais, em laminadores do tipo encaixe-desencaixe, em obter a espessura no início e no final da tira.



Figura 1 - Laminador de Tiras a Frio da Cosipa.

Foi necessário desenvolver novas malhas de controle que permitissem minimizar as perdas nas pontas, as quais seriam habilitadas antes dos controles das malhas existentes.

Para o melhor entendimento dos novos desenvolvimentos, é apresentado na Figura 3 o esquema contendo todas as malhas de controle, originais e as desenvolvidas pela Cosipa, em 2004, as quais tem funções de manter dinamicamente a espessura do material laminado a partir dos *presets* calculados.

2 DEFINIÇÃO DE PONTAS

“Pontas” é definida como a somatória de metragem do produto no início e no final da tira que estão fora de espessura, também denominados de cabeça e cauda, respectivamente.

A cabeça é a região inicial da bobina, menor ou igual a 50 metros, determinada entre o zero de comprimento e o último ponto onde a espessura medida entrou na tolerância especificada.

A cauda é a região final da bobina, menor ou igual a 50 metros, determinada entre o primeiro ponto onde a espessura medida saiu da tolerância especificada e o fim da bobina.

A Figura 2 apresenta um gráfico com o desvio de espessura de uma bobina laminada, destacando a cabeça e a cauda da mesma.

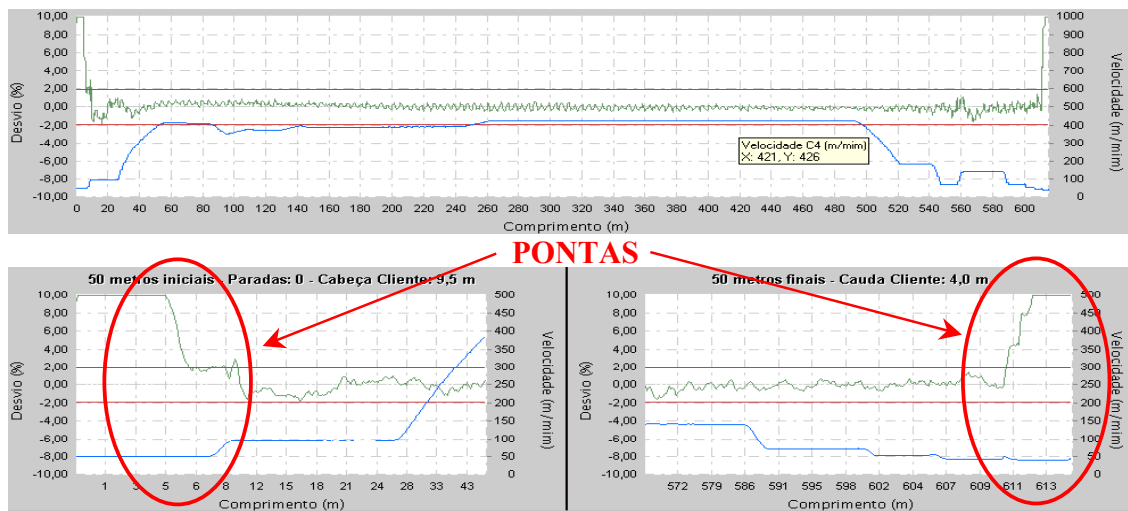


Figura 2 - Gráfico de espessura de uma bobina laminada (4,00 x 2,05 x 1503mm).

3 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DO LAMINADOR DE TIRAS A FRIO DA COSIPA

O Laminador de Tiras a Frio da Cosipa possui quatro cadeiras, cada uma delas compreendendo dois cilindros de encosto e dois cilindros de trabalho, sendo estes (os de trabalho) acionados individualmente por motores de corrente contínua, controlados por conversores tiristorizados CA/CC. A força de laminação é aplicada à tira por meio de cápsulas hidráulicas, localizadas no topo de cada uma das cadeiras.

A redução da chapa, entre os cilindros de trabalho, é causada pelos efeitos da compressão das cápsulas de aperto hidráulico e da tração, devido à tensão existente entre duas cadeiras adjacentes. O controle de espessura é realizado pelo AGC (Controle Automático de Espessura), de acordo com o esquema mostrado na Figura 3.

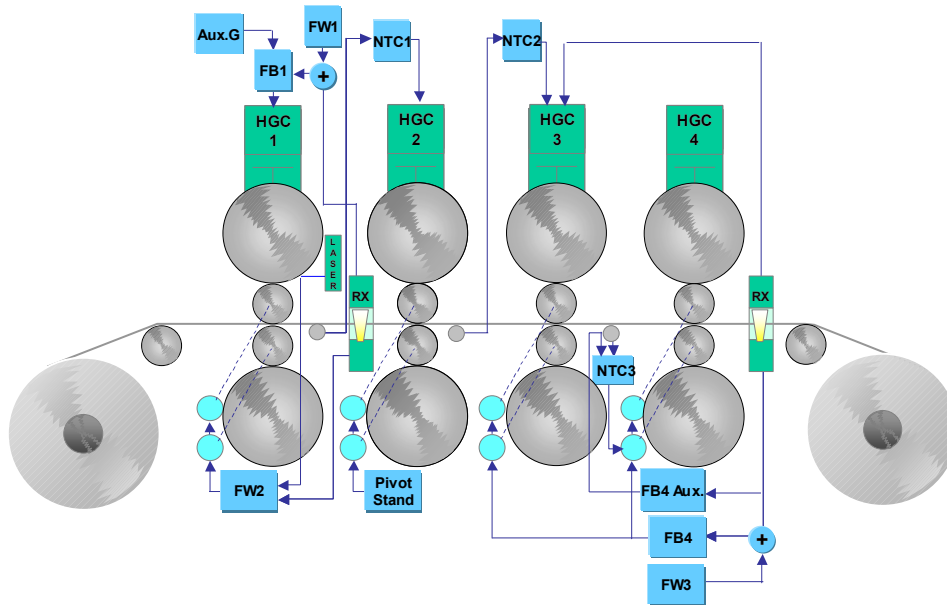


Figura 3 - Modelo dinâmico do Laminador de Tiras a Frio da Cosipa.

4 RESULTADOS ANTERIORES À IMPLEMENTAÇÃO DAS NOVAS MALHAS DE CONTROLE

A tabela a seguir mostra os resultados do comprimento médio das pontas, cabeça e cauda, das bobinas laminadas em janeiro de 2007. Esta tabela está dividida por faixas de tolerâncias, número de bobinas laminadas dentro de cada tolerância, média da espessura, da cabeça, da cauda e das pontas. Além desses há também os valores médios gerais calculados para cada uma das colunas.

Esses dados permitirão comparar o resultado anterior com aquele obtido após a implementação das novas malhas de controle apresentadas neste trabalho.

Tabela 1– Comprimento médio atual das pontas.

Tolerância Cliente (%)	Número de Rolos	Espessura Média (mm)	Média Cabeça Tol. Cliente (m)	Média Cauda Tol. Cliente (m)	Média Pontas Tol. Cliente (m)
1.0 ~ 1.9	400	2,16	15,2	7,6	22,9
2.0 ~ 2.9	732	1,59	13,8	8,0	21,9
3.0 ~ 4.9	1529	0,99	13,8	8,3	22,1
5.0 ~ 6.9	64	0,77	12,9	8,2	21,1
7.0 ~ 15	2319	0,97	7,1	4,5	11,6
Total	5045	1,16	10,8	6,5	17,3

Os valores em destaque estão acima dos valores máximos de pontas que consideramos como ótimos, os quais deveriam ser 18m.

5 NOVAS MALHAS IMPLEMENTADAS NO SISTEMA DE CONTROLE

As novas malhas de controle atuam no aperto hidráulico da primeira, segunda e terceira cadeiras do laminador. Para a primeira cadeira é calculado o *gap* de abertura, de forma dinâmica, e a partir daí atua-se na cápsula hidráulica objetivando ajustar este *gap* para que se obtenha a espessura de referência (calculada pelo modelo matemático) durante todo o processo de laminação da bobina.

Na segunda e na terceira cadeiras o *gap* de abertura também é calculado durante todo o processo, porém, sua atuação só tem efeito durante o encaixe e o desencaixe da tira pois, durante o processo de laminação, os reguladores de tensão se sobrepõem a esta nova malha.

Para que seja possível calcular com precisão a abertura (*gap*), é necessário calcular alguns itens: a *cedagem* de cada cadeira; o filme de óleo; a compensação térmica dos cilindros. Além disso é necessário medir, de forma precisa, o posicionamento das cápsulas hidráulicas.

A curva de *cedagem* deve ser levantada para que se possa obter uma equação, a qual será utilizada na nova malha de controle. A Figura 4 mostra, como exemplo, a curva de *cedagem* de uma cadeira.

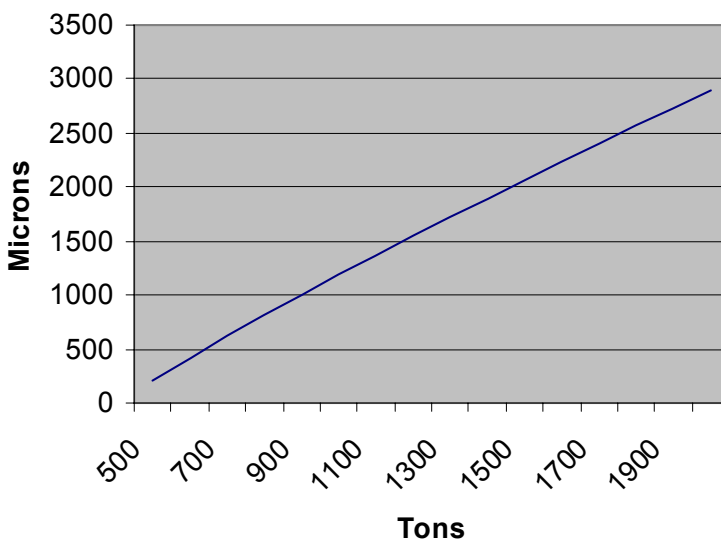


Figura 4 – Curva de cedagem.

Quanto ao filme de óleo, ele também é calculado através de uma equação, onde se considera a velocidade dos cilindros de encosto e a força aplicada a eles. Esta curva, que gera a equação, deve ser levantada para cada um dos conjuntos de mancais, porque os mancais possuem diferentes folgas internas, decorrentes do tempo de uso. Teoricamente, a fim de facilitar a correta utilização, cada curva deverá ser identificada com o respectivo número do mancal.

A Figura 5 mostra o posicionamento dos cilindros de encosto quando os mesmos estão em repouso e em processo de laminação.

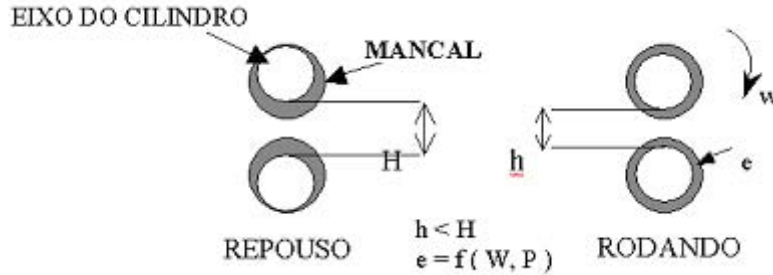


Figura 5 – Posição dos mancais do cilindro de encosto em repouso e em regime.

O cálculo da compensação térmica é dado pela fórmula a seguir:

$$\rho C_p V \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) + h_w S_w (T - T_w) + h_a S_a (T - T_a) + h_s S_s (T - T_{as}) + \text{Fricção} \quad \text{Eq. 5.1,}$$

onde:

T é a temperatura;

ρ , C_p e λ são propriedades do material (densidade, calor específico e a condutividade);

h é o coeficiente de transferência de calor e S a superfície envolvida na troca.

Os índices w , a e s referem-se respectivamente à água, ao ar e à chapa.

Fricção é a energia dissipada pelo atrito, não absorvida pela chapa.

V é o volume de material envolvido.

O coeficiente de transferência de calor da água é proporcional ao fluxo real de refrigeração, sendo ele ajustado na planta.

Uma vez que o perfil térmico dos cilindros é calculado, é possível calcular a expansão térmica, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$D = 2 R \alpha \Delta T \quad \text{Eq. 5.2,}$$

onde:

D é a expansão térmica;

R é o raio do cilindro;

α é o coeficiente de expansão térmica do aço e

ΔT é a diferença de temperatura entre o centro e a borda do cilindro.

As medições dos posicionamentos das cápsulas hidráulicas são feitas através de escalas magnéticas (também conhecidas como medidores SONY®).

A abertura dos cilindros, determinada através dos vários itens calculados (descritos acima), somada à medição de posição, é comparada com o valor de referência de espessura *presetada* (para a respectiva cadeira). O desvio encontrado é adicionado à posição atual das cápsulas hidráulicas, fazendo com que o controle de *gap* reposicione-as na abertura correta.

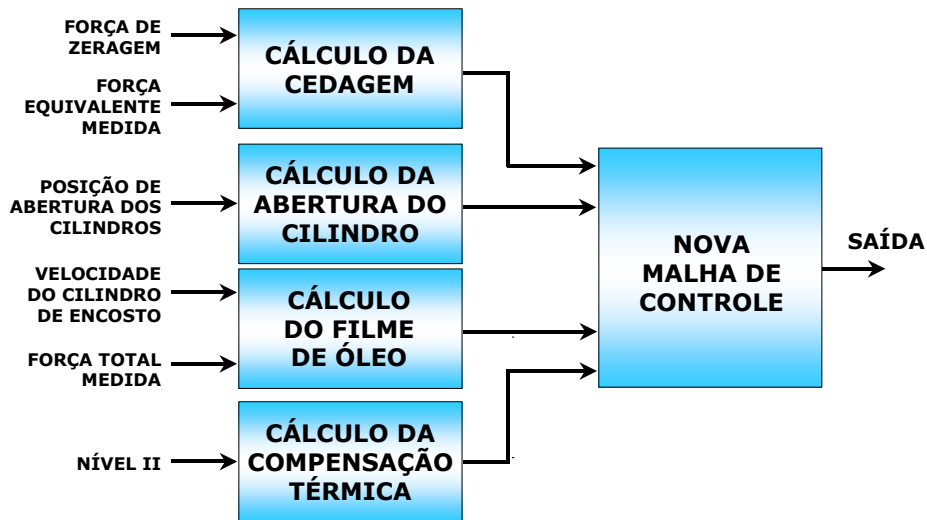


Figura 6 - Esquema da nova malha de controle

A Figura 6 apresenta um diagrama de blocos da nova malha de controle implementada e a Figura 7 mostra onde esta malha atua no sistema.

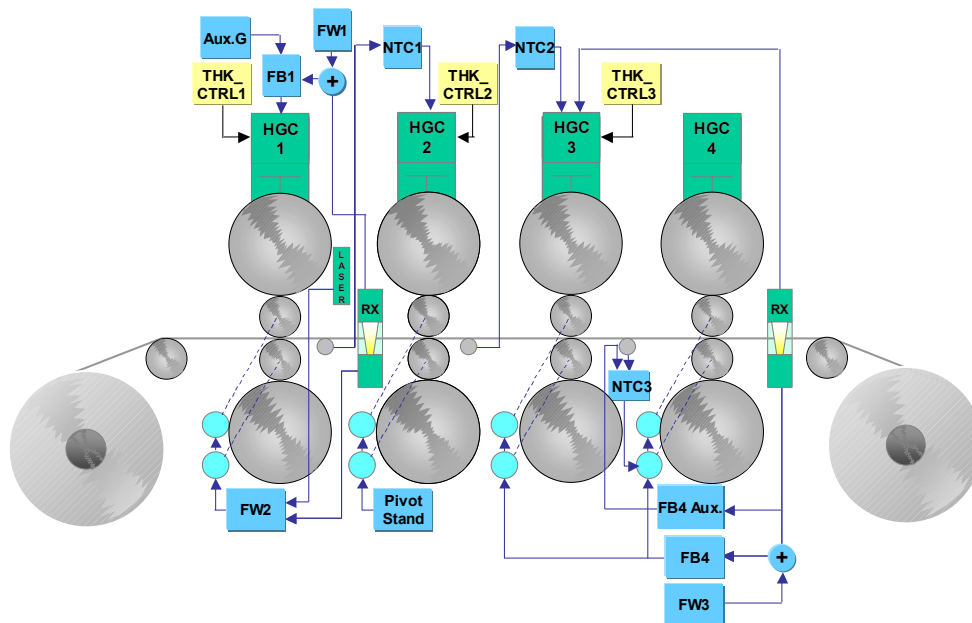


Figura 7 - Modelo dinâmico do Laminador de Tiras a Frio da Cosipa com as novas malhas de controle.

6 RESULTADOS OBTIDOS

A tabela abaixo mostra os resultados obtidos após a implementação destas novas malhas de controle. Nela pode ser observado, como um dos resultados, que os valores médios dos comprimentos das pontas diminuíram em relação aos valores apresentados na tabela anterior, isto é, houve uma melhora expressiva na diminuição do comprimento das pontas em aproximadamente 4 metros (na média geral).

Tabela 2– Comprimento médio das pontas.

Tolerância Cliente (%)	Número de Rolos	Espessura Média (mm)	Média Cabeça Tol. Cliente (m)	Média Cauda Tol. Cliente (m)	Média Pontas Tol. Cliente (m)
1.0 ~ 1.9	232	2,16	12,5	8,0	20,5
2.0 ~ 2.9	594	1,62	11,4	7,7	19,2
3.0 ~ 4.9	876	0,99	11,2	7,7	18,9
5.0 ~ 6.9	175	0,90	10,2	6,7	16,8
7.0 ~ 15	3002	1,01	5,6	4,2	9,8
Total	4879	1,13	7,8	5,5	13,3

Outro resultado obtido foi a melhor estabilidade de espessura na saída da primeira cadeira, pois no caso desta o sistema funciona durante toda a laminação. A Figura 8 nos mostra o desvio de espessura medida no vão 1-2 em duas situações: com a nova malha de controle desligada, desde o início até quase na metade da bobina, e após com ela ligada, até o final da laminação.

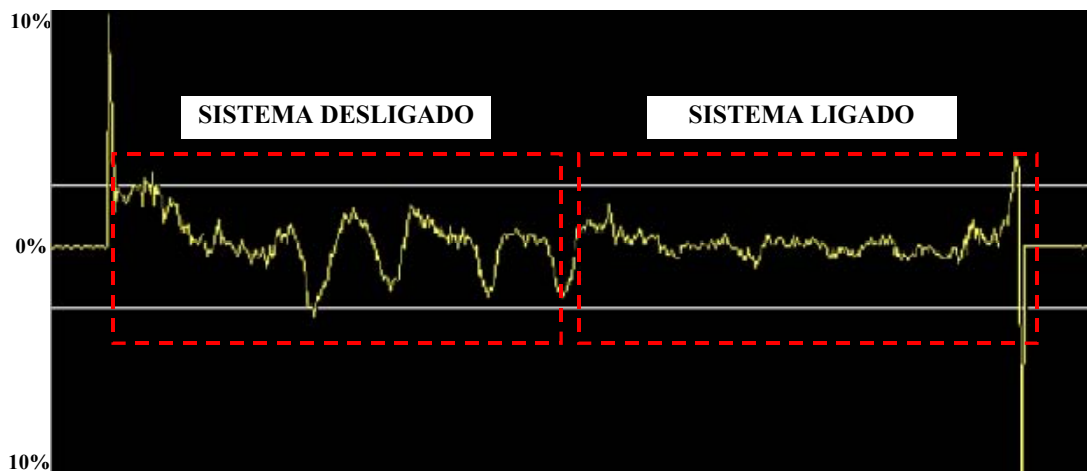


Figura 8 – Desvio de espessura medida no vão 1-2.

7 CONCLUSÕES

A performance de espessura obtida, após a conclusão deste trabalho, pode ser avaliada através dos valores mostrados na Tabela 1 comparados com os valores da Tabela 2. Assim, constata-se a diminuição das pontas inicial e final da tira laminada, além da diminuição da variação da espessura no corpo da bobina. Isto proporcionou um ganho significativo:

- Considerando que são laminadas, em média, 5000 bobinas, e que houve uma diminuição média das pontas de 4 metros, obtivemos um aumento do rendimento metálico no material laminado de 0,15%.