

ESTUDO DA CORRELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA A DEFORMAÇÃO E LIMPEZA SUPERFICIAL DO MATERIAL LAMINADO A FRIO DA COSIPA ¹

Francisco Gomes de Melo ²

José Valdir Amorim ²

Karl Kristian Bagger ³

Lucio Rosa da Silva ⁴

Marcelo Magalhães Pereira ⁵

Mateus Alexandre da Silva ⁶

Raul Mazza de Melo ⁷

Sergio Luiz Muratori ⁸

Resumo

Atualmente a limpeza superficial é um atributo importante na especificação de aços laminados a frio, visto que, cada vez mais os clientes necessitam reduzir seus custos de processo, melhorar a qualidade superficial da matéria-prima e reduzir a emissão de efluentes ao meio ambiente, o que pode ser obtido através do uso de materiais com limpeza superficial adequada. Além disso, os clientes requisitam continuamente implementações que aumentem a vida útil de seus produtos, principalmente através da redução da espessura de chapas laminadas a frio e do aumento da resistência à deformação. O presente trabalho tem o objetivo de mostrar as adequações realizadas no processo de laminação de tiras a frio da Cosipa para absorver o impacto de tais implementações solicitadas e garantir a limpeza superficial deste produto. Verificou-se após as implementações no processo resultados significativos na obtenção de produtos com requisitos de limpeza superficial.

Palavras-chave: Refletância; Resistência; Limpeza superficial.

CORRELATION BETWEEN DEFORMATION RESISTANCE AND COSIPA'S COLD ROLLING STRIP CLEANLINESS

Abstract

Nowadays the strip surface cleanliness is an important attribute in the cold rolled steel strip specification, concerning the customers requirements to reduce process costs, to improve the surface quality of the raw materials and to decrease the environment emissions, what can be obtained through using suitable surface cleanliness. Besides, the customers are always requiring process developments to extend the product life-time, mainly with the thickness reduction and increasing the strength deformation. The present paper has the aim of illustrate the modifications done on the cold rolling process at Cosipa's Plant to absorb the impact of such modifications required and to guarantee strip cleanliness. It can be verified the expressive results in processing products with suitable strip surface cleanliness after the process implements.

Key words: Reflectance; Strength; Surface cleanliness.

¹ *Contribuição técnica ao 45º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 21 a 24 de outubro de 2008, Ipojuca - Porto de Gainhas - PE*

² *Técnico em Metalurgia, Assistente de Operação, Laminação a Frio, Cosipa.*

³ *Engenheiro Metalurgista, Gerente do Suporte Técnico, Laminação a Frio, Cosipa.*

⁴ *Engenheiro Químico, Assistente de Operação, Laminação a Frio, Cosipa.*

⁵ *Engenheiro Metalurgista, Gerente da Laminação a Frio, Cosipa.*

⁶ *Engenheiro Metalurgista, Analista de Operação, Suporte Técnico, Laminação a Frio, Cosipa.*

⁷ *Engenheiro Metalurgista, Analista de Produto, Assistência Técnica, Cosipa.*

⁸ *Engenheiro Eletricista, Analista de Manutenção, Suporte Técnico, Laminação a Frio, Cosipa.*

1 INTRODUÇÃO

A adequação de processos de fabricação para atendimento aos requisitos dos clientes é um constante desafio em todas as linhas de produção. Nos últimos anos foram realizadas diversas implementações no processo de fabricação de tiras laminadas a frio visando a melhoria da qualidade. A limpeza superficial é um atributo importante para o uso de nosso produto em uma ampla gama de clientes.

Se inicialmente esse atributo era exigência em uma minoria de clientes, atualmente é uma exigência de uma boa parte do mercado consumidor de aços laminados a frio.

Os clientes necessitam cada vez mais de materiais com requisitos de limpeza, objetivando:

1. Redução de custos com insumos de desengraxe, linhas de preparação e mão-de-obra;
2. Atendimento às normas ambientais, legislações governamentais e demais aspectos legais, no que diz respeito à geração e emissão de efluentes para o meio ambiente;
3. Aprimoramento da qualidade superficial dos produtos com exigência de refletância – relação do fluxo luminoso que incide sobre uma superfície, ou seja, garantir uma adequada limpeza superficial para os produtos laminados a frio.

Para atender a demanda de materiais com exigência de limpeza superficial a Cosipa criou três classificações em relação à limpeza superficial. São elas:

- Material “Comum”: material com exigência de refletância menor que 90%. Produzido em linhas de recozimento do tipo “caixa” com atmosfera HNX. Pode ser utilizado em qualquer aplicação que não necessita de baixos valores de resíduo carbonoso;
- Material “Limpo 90”: material com exigência de refletância mínima de 90%. Produzido em linhas de recozimento em “caixa” com atmosfera a hidrogênio. Pode ser utilizado em aplicações que necessitam de um baixo resíduo carbonoso;
- Material “Extra Limpo”: material com exigência de refletância mínima de 95%. Produzido a partir de um processo diferenciado no laminador a frio e em linhas de recozimento do tipo “caixa” com atmosfera a hidrogênio. Pode ser utilizado em aplicações que necessitam de um resíduo carbonoso extremamente baixo – menor que 4,0 mg/m².

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Histórico

Com o passar do tempo surgiram novas necessidades nos clientes com relação à exigência de limpeza. Dentre elas, destacam-se as aplicações para indústria de eletrodomésticos e de móveis de aço. Abaixo são citadas as tais necessidades :

- Redução da espessura do material laminado a frio, reduzindo-se assim o peso dos produtos (gerados a partir dessas tiras) e seu custo.
- Aumento da resistência à deformação, reduzindo as perdas por ocorrências de amassamento – deformação durante a aplicação do produto – devido a redução de espessura.

2.2 Caracterização do Problema

O aumento da resistência à deformação (através do acréscimo do percentual de carbono presente no aço) e a redução da espessura laminada a frio causam um aumento no atrito entre os cilindros de trabalho e o material durante o processo de laminação. Com isso há um conseqüente acréscimo na geração de finos de ferro.

Esse aumento de finos de ferro está diretamente relacionado com a limpeza superficial da tira. A geração excessiva de finos de ferro dificulta o controle do mesmo nos sistemas de refrigeração, além de aumentar o resíduo sobre a tira laminada a frio, dificultando a garantia da limpeza superficial.

Durante a utilização do material no cliente final, caso o material apresente um resíduo carbonoso acima do esperado, podem surgir defeitos caracterizados por manchas escuras. A Figura 1 ilustra a ocorrência do defeito.



Figura 1 – Material durante a aplicação apresentando manchas escuras (em destaque).

2.3 Observação da Situação no Processo

Para resolver o problema de limpeza superficial é necessário analisar o mecanismo de geração e deposição do *plate-out* – tamanho da camada de resíduos formada sobre a chapa após a laminação. Os contaminantes encontrados sobre a tira laminada, principalmente resíduos de óleo e finos de ferro, estão relacionados diretamente ao atrito gerado no arco de contato durante a laminação. O óleo aderido à superfície da tira está diretamente relacionado a dois fatores: propriedades químicas do óleo e fatores físicos do processo relacionados principalmente à estabilidade e concentração.

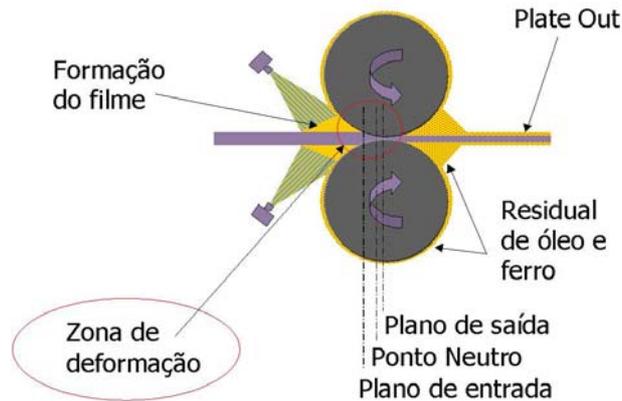


Figura 2 – Formação do filme de óleo sobre a tira

O *plate-out* é determinado por variáveis de processo, rugosidade dos cilindros, temperatura da emulsão e pelas propriedades do óleo de laminação, tais como, tamanho de partículas e concentração de óleo.

A quantidade de finos de ferro residuais sobre a chapa depende de fatores como redução aplicada ao material, dureza do aço, composição química, lubrificação, força de laminação, tensão entre vãos e temperatura da tira.

A medida que a resistência do material aumenta, a força necessária para deformá-lo também aumenta. Isso faz com que o ponto neutro tenha a tendência de deslocar-se para plano de entrada, aumentando assim o atrito e conseqüentemente gerando uma quantidade maior de finos de ferro.

A medida que aumenta a redução ou a resistência do material:

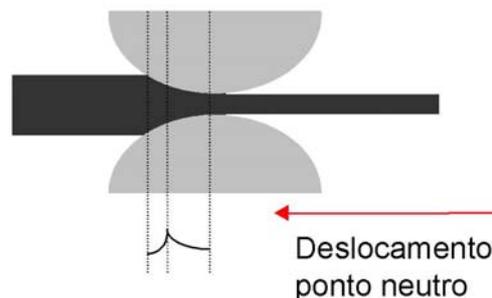


Figura 3 – Deslocamento do ponto neutro

Diante do aumento do atrito durante a laminação verificou-se um incremento significativo na temperatura na região de deformação durante a laminação.

Altas temperaturas podem degradar as propriedades da emulsão, prejudicando a lubrificação e conseqüentemente gerando uma maior quantidade de finos de ferro.

Há uma dificuldade muito grande na medição de temperatura no arco de contato, mas existem formas de se estimá-la com uma boa precisão. As equações [1] e [2] apresentam o cálculo da temperatura:

$$T_{ac} = \frac{T_i + Z}{F} \cdot \frac{P}{w \cdot \sqrt{R'[(h_i - h_f) + PC]}} \cdot \log \frac{h_i}{h_f} \quad [1]$$

$$T_s = T_r + (T_f - T_r) \cdot \exp\left(\frac{-2f_i X}{V_f \cdot h_f}\right) \quad [2]$$

Onde: T_{ac} é a temperatura no ponto neutro do arco de contato e T_s é temperatura anterior ao próximo passe.

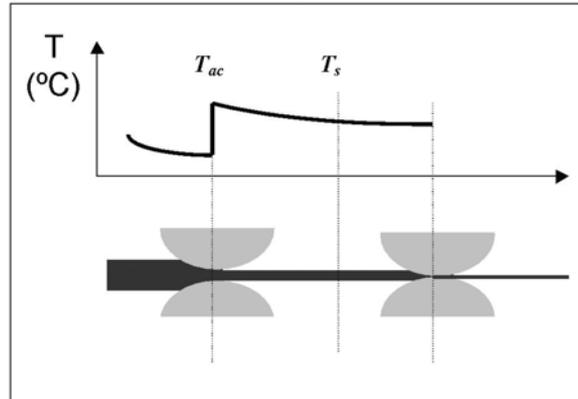


Figura 4 – Temperatura durante a Laminação

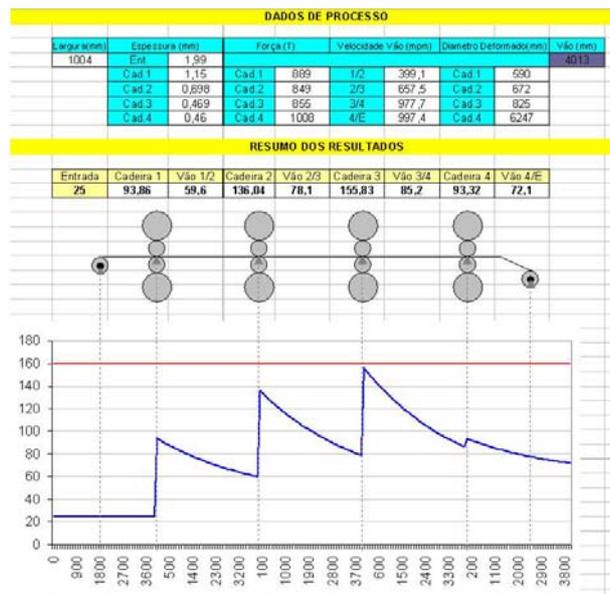


Figura 5 – Exemplo de cálculo de temperatura durante a laminação

É possível estimar para as diversas condições de processo a temperatura de laminação no ponto neutro em cada arco de contato das referidas cadeiras, sendo assim possível otimizar as variáveis e estabelecer limites de controle.

Pode ser verificado na figura 5 que a temperatura eleva-se gradativamente a cada passe de laminação, constatando-se uma maior temperatura na cadeira 3. Isto se dá pelo fato do acúmulo de maiores reduções nas cadeiras 1, 2 e 3 e ao encruamento do material devido a estas reduções.

É possível também estimar a geração de finos de ferro durante o processo através da equação [3], onde:

$$Fe = K(T_{ac}, \sigma_v) \cdot \frac{\mu}{\mu_{in}} \cdot \sigma_{ac} \cdot S \quad [3]$$

Analisando a equação acima, facilmente se deduz a influência de algumas variáveis de processo sobre a geração de finos de ferro, sendo principalmente a temperatura no arco de contato (T_{ac}), o atrito gerado durante a laminação (μ) e o comprimento do arco de contato (δ_{ac}). Essas três variáveis são também dependentes de outros fatores, tais como, redução, dureza do material, lubrificação, força de laminação e tensão entre vãos.

2.4 Ações

Após analisar o processo com relação à limpeza superficial, algumas ações foram implantadas com objetivo de reduzir o atrito a valores adequados ao processo, resultando em um menor plate-out sobre a tira. Abaixo são enumeradas essas ações:

2.4.1 Instalação de coletores nos cilindros de encosto superior e inferior das cadeiras: Objetivando aumentar a refrigeração dos cilindros e conseqüentemente reduzir a temperatura da tira foi implantado coletores auxiliares nos cilindros de encosto das cadeiras 1, 2 e 3.

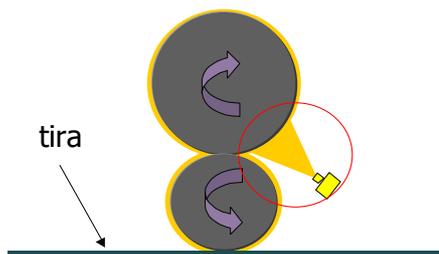


Figura 6a – Esquema da posição do coletor no cilindro de encosto

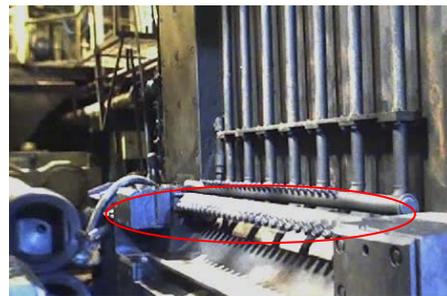


Figura 6b – Coletor de refrigeração no cilindro de encosto

2.4.2 Instalação de coletor superior de refrigeração da tira no vão 2/3: Objetivando aumentar a eficiência da refrigeração da tira e conseqüentemente reduzir a temperatura no arco de contato da cadeira 3.

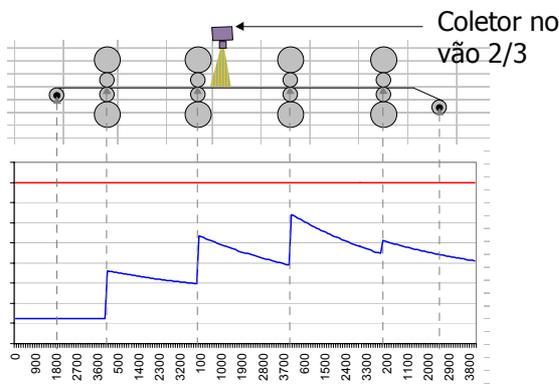


Figura 7a – Esquema da posição do coletor de refrigeração do vão 2/3

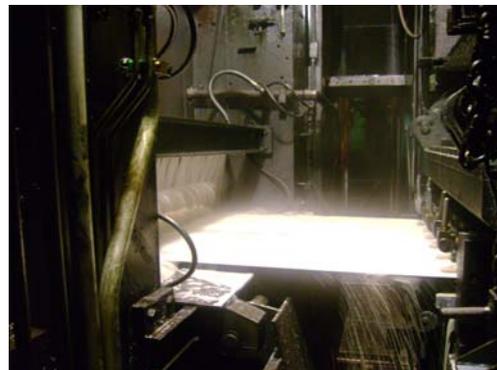


Figura 7b – Coletor de refrigeração do vão 2/3

2.4.2 Aumento da pressão do coletor limpa-tira

Objetivando aumentar a eficiência da remoção do plate-out no vão 3/4 através da limpeza mecânica com detergente. Para isso, foi projetado um novo coletor de limpeza, abastecido por uma linha independente, e com uma bomba apropriada para este fim. Este novo projeto aumentou a pressão média nos bicos de 3,5 kgf para 9 kgf.



Figura 8 – Coletor para limpeza da tira no vão 3/4.

3 RESULTADOS

Após a implantação das ações citadas, o material utilizado como experiência, com maior resistência e menor espessura final, foi enviado ao cliente onde foram realizados os mesmos testes anteriores.



Figura 9a – Material apresentando resíduo excessivo após teste de limpeza com papel



Figura 9b – Material apresentando limpeza superficial adequada após teste de limpeza com papel

A avaliação de limpeza superficial é feita através da aplicação de um papel limpo sobre a superfície da tira de forma a remover o resíduo existente e comparação a um padrão visual. Na Figura 9a observa-se o papel de teste com excesso de resíduo e na Figura 9b, após as modificações implementadas no processo, o papel de teste apresenta-se isento de resíduos.



Figura 10 – Material após a aplicação no cliente final isento de defeitos.

A Figura 10 ilustra a ausência do defeito tipo manchas escuras após o processo de aplicação no cliente final, o que comprova a melhoria da limpeza superficial, resultado das ações tomadas. Isso evita a rejeição de peças após a sua utilização no cliente final.

4. CONCLUSÃO

O trabalho mostrou que existe uma forte correlação entre o aumento da resistência à deformação e o aumento da redução a frio, com a limpeza superficial. Quanto maior a redução e a resistência haverá uma degradação significativa da limpeza superficial.

Qualquer parâmetro que aumente o atrito durante a laminação possui uma correlação direta com a geração de finos de ferro no processo sendo possível estimá-la.

Através do controle dos parâmetros que interferem no processo é possível garantir os níveis de limpeza superficial desejáveis.

Foram realizadas diversas melhorias com objetivo de reduzir a geração de finos de ferros e aumentar a remoção de resíduos. Essas melhorias foram implementadas para toda família de produtos, isto é, desde o material “Comum” até o material “Extra-Limpo”.

Com as ações implementadas foi possível produzir outros tipos de aços com ligas que conferem maior resistência e propriedades metalúrgicas específicas, como os aços para fins elétricos, que podem ser fornecidos dentro dos padrões de limpeza superficial exigidos.

REFERÊNCIAS

- 1 Steden, H.V.; Neumann, W.; Suilen, F.; Bos, S.; Schone, E. – Pilot mill as the key to optimize lubrication and strip cleanliness. Proceeding of the 7th International Conference on Steel Rolling, p. 467-472, 1998.
- 2 Rasp, W.; Hafele, P. – Investigation into tribology of cold strip rolling. Steel Research, n. 69, p.154-160, 1998.
- 3 Yuen, W.Y.D.; Popelianski, Y.; Prouten, M. – Variations of friction in the roll bite and their effects on cold strip rolling. Proceeding of the 37th MWSP Conference – ISS, v. 33, p. 47-54, 1996.
- 4 Broekhof, N.L.J.M.; Mueller, C.E. – Impact of novel cold rolling mill oil technologies and materials on strip cleanliness. AISE Steel Technology, p. 37-39, nov-dec 2001.