

TIRAS DE AÇO LAMINADAS A FRIO COM O USO DE NITROGÊNIO LÍQUIDO

Antenor Ferreira Filho ¹
Marcelo Franck Bielskis ²

Resumo

Na laminação a frio, durante a etapa de laminação de acabamento, utiliza-se habitualmente como meio de refrigeração e lubrificação nas regiões de contato entre cilindros e material um grande volume de mistura de óleo lubrificante com água (emulsão aquosa) por aspersão. Durante a deformação a frio a emulsão adere aos cilindros e a tira causando uma diminuição da força de laminação, ao mesmo tempo atua como meio de refrigeração. No trabalho será apresentada uma nova e revolucionária técnica de laminação de acabamento com o uso de nitrogênio líquido em substituição a emulsão aquosa. Serão destacadas as principais vantagens que a nova tecnologia oferece quando comparada aos processos de laminação convencionais. Dentre as vantagens destacam-se o excelente acabamento de superfície quanto à limpeza e brilho, a uniformidade de acabamento e rugosidade superficial, a eliminação de problemas por oxidação superficial além de possibilitar o aumento na velocidade do processo de laminação, a redução de etapas de pré-tratamento, eliminação de problemas de falta de aderência em materiais revestidos e a possibilidade de novos desenvolvimentos de produtos devido a produção de tiras isentas de óleo de proteção.

Palavras-chave: Tiras; Laminação a frio; Emulsão; Nitrogênio.

COLD ROLLING STRIP STEEL WITH LIQUID NITROGEN

Abstract

During the stage skin-pass in the cold rolling process usually used as refrigeration and lubrication in the regions of contact between roll and strip steel a great volume of oil mixture with water (emulsion) for spray. During the cold deformation the emulsion adheres to the roll and the strip causing a reduction of the rolling force, and at same time keeping the suitable refrigeration. The work will be presented a new and revolutionary technique of skin-pass which applies liquid nitrogen instead of emulsion. Will be emphasized the main advantages that the new technology offers in comparison with the conventional rolling process. Amongst the advantages it can be distinguished the excellent finishing of surface as well as the cleanness and brightness, the uniformity of finishing and surface roughness, the elimination of problems due to surface oxidation, making possible besides the increase in the speed of the rolling process, the reduction of stages of pre-treatment, elimination of problems of adherence in coated materials and the possibility of new developments of products due to production of strips free from protective oil.

Key words: Strip; Cold rolling; Emulsion; Nitrogen.

I INTRODUÇÃO

Há mais de cinco anos, na Alemanha, a empresa C.D.Waelzholz, especialista na produção de tiras de aços especiais em conjunto com a empresa Air Products, desenvolveu e patenteou uma nova técnica de laminação a frio, denominada de LIN (Liquid Nitrogen), onde se utiliza nitrogênio líquido em substituição a tradicional emulsão aquosa. A par desta inovação a Brasmetal Waelzholz (BW) desde o ano de 2003 vem trabalhando com esta nova técnica de laminação a frio no Brasil. Os resultados são excelentes para uma larga faixa de qualidades de aços laminados a frio (relaminados) incluindo os de baixo e alto teor de carbono, bem como revestidos e temperados. A grande eficiência do processo

permitiu a Brasmetal Waelzholz introduzir alterações na velocidade de laminação e a otimização do processo de laminação de acabamento.⁽¹⁾

A laminação a frio ou relaminação confere ao aço uma série de propriedades para as mais diferentes funções, o que o torna um produto de excelência pela versatilidade com que pode ser aplicado. Uma ampla gama de qualidades e propriedades mecânicas distribuídas em mais de 80 famílias de composições químicas diferentes, variando desde aços Interstitial Free (IF) com baixíssimos teores de carbono, da ordem de 20 ppm, com excelentes propriedades de estam-

¹Engenheiro Metalurgista e de Produção, M.Sc., Doutor, Diretor Industrial da Brasmetal Waelzholz S.A. R. Goiás, 501 – 09941-690 – Diadema, SP. afilho@brasmetal.com.br

²Tecnólogo, Pós graduado em Adm. da Produção, Gerente de Produção da Brasmetal Waelzholz S.A. R. Goiás, 501 – 09941-690 – Diadema, SP. mbielskis@brasmetal.com.br

pagem, passando por aços de médio, alto teor de carbono além de aços de baixa liga, estendendo-se a tiras temperadas, com teores de carbono de até 1,2% e valores de resistência mecânica que podem atingir até 2.200 N/mm², são atendidas pelo produto relaminado.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

No trabalho serão descritas de forma resumida as principais etapas de processo de aços relaminados a frio com ênfase na etapa de laminação de acabamento. Durante o percurso padrão de produção de tiras de aço relaminadas a frio (Figura 1) são percorridas as etapas de:

- Decapagem;
- Corte;
- Laminação de desbaste;
- Recozimento;
- Laminação de acabamento;
- Recorte; e
- Embalagem.

Aços especiais podem ainda ser temperados ou revestidos por eletrodeposição em processos contínuos, para atender aplicações específicas.

A matéria-prima base para a produção de tiras laminadas a frio é a bobina laminada a quente que inicialmente deve ser decapada para a remoção dos óxidos superficiais.

Durante o primeiro estágio de laminação, a laminação de desbaste, a tira laminada a quente é submetida a deformações em espessura que por vezes chegam a valores de até 90% fazendo com que o material torne-se altamente resistente, porém apresenta uma baixa ductilidade devido ao encruamento a frio. A energia dissipada no processo é na maior parte perdida na forma de calor. Estima-se que somente cerca de 2% a 10% dessa energia utilizada na deformação é armazenada no material na forma de defeitos cristalinos.⁽³⁾ O processo de endurecimento adicionado ao calor resultante do atrito entre o conjunto tira e os cilindros de laminação causam um aquecimento no sistema que pode atingir elevados valores de temperatura e provocar alterações de proprie-

dades mecânicas, deteriorar o acabamento de superfície da tira, além de reduzir sensivelmente a vida útil dos cilindros de laminação.

Durante o processo de laminação de desbaste se aplica nas regiões de contato entre os cilindros e o material uma grande quantidade de emulsão que consiste basicamente de uma mistura de óleo lubrificante com água por aspersão. O óleo adere aos cilindros e a tira causando uma diminuição da força de laminação devido à lubrificação e ao mesmo tempo atua como meio de refrigeração dos cilindros para mantê-los a uma temperatura adequada.

O estágio seguinte do processo é o tratamento térmico de recristalização que tem por finalidade restaurar as propriedades mecânicas do material e obter uma microestrutura e textura cristalográfica adequada.

Após o recozimento, na maioria dos casos o material é submetido a uma nova laminação denominada de laminação de acabamento ou encruamento. Vários são os objetivos e maneiras de se fazer esta operação. Os detalhes são descritos a seguir.

2.1 Laminação de Acabamento

É durante a laminação de acabamento que se define as propriedades mecânicas, o acabamento de superfície e a espessura final da tira. A laminação de acabamento é normalmente realizada da mesma forma que a laminação de desbaste, ou seja, com o uso de emulsão lubrificante na maioria das vezes. O que difere na laminação de acabamento são as baixas porcentagens de redução em espessura que na maioria das vezes fica em torno de 1% a 5%. Em casos especiais, a laminação de acabamento pode ser realizada a seco.

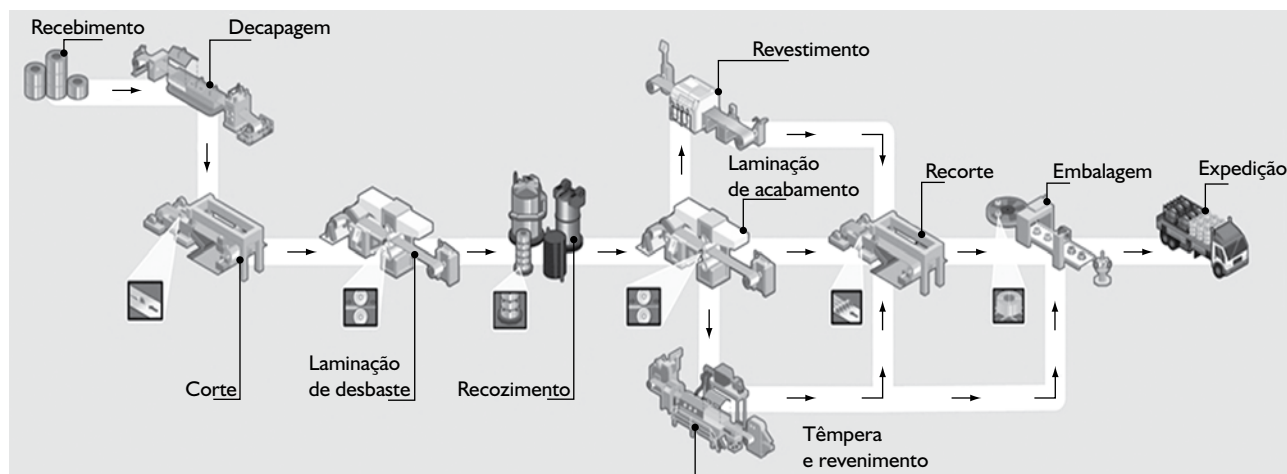


Figura 1. Fluxo de processo de tiras relaminadas a frio.⁽²⁾

Uma característica de extrema importância nesta operação é o acabamento superficial da tira. Diferentemente dos materiais de qualidade comercial, o acabamento de superfície dos materiais relaminados pode variar desde um acabamento fosco, passando pelo brilhante e atingindo um grau de acabamento de alto brilho, também denominado de espelhado. O bom acabamento e a limpeza superficial são definidos nesta etapa e são considerados como sendo uma das principais características de qualidade destes produtos, tanto para o bom desempenho durante processos intermediários de produção como para o uso na aplicação, tendo impacto importante na qualidade final do produto.

2.1.1 Laminação de acabamento a seco

É uma boa alternativa na produção de tiras que necessitam de um bom acabamento superficial, entretanto essa alternativa exige uma redução na velocidade do processo de laminação (baixa produtividade) a fim de evitar o aquecimento e oxidação dos cilindros de laminação e tira devido às altas temperaturas geradas no processo quando não se utiliza a emulsão. Com a laminação de acabamento a seco se torna necessário uma maior frequência de troca de cilindros o que se traduz em menor campanha de laminação devido ao intenso desgaste além dos riscos de aparecimento de trincas térmicas. A possibilidade do aumento de rejeições de produtos devido à qualidade irregular no acabamento de superfície também é maior. Estas adversidades acabam se traduzindo em custos elevados, de forma que a laminação a seco é uma prática viável, porém restrições durante sua aplicação devem ser consideradas na escolha deste processo alternativo.

2.1.2 Laminação de acabamento com uso de emulsão (úmida)

É a prática mais comumente utilizada. Com intuito de se eliminar ou minimizar as desvantagens da baixa velocidade de laminação e os problemas intrínsecos da laminação a seco, utiliza-se a emulsão como meio lubrificante e refrigerante.

A laminação com o uso de emulsão permite aumentar de forma significativa a velocidade de processo quando comparada a laminação a seco, entretanto com este tipo de processo tem-se em muitos casos uma tira com um acabamento de superfície pobre (opaco sem brilho) inadequado para determinadas aplicações.

A emulsão aplicada no conjunto cilindros/tira durante a laminação deve ser totalmente removida da superfície da tira, sob risco de provocar defeitos na mesma que poderão se manifestar em processos subsequentes. Portanto, quando se utiliza a emulsão tornam-se necessários elevados investimentos na instalação de um eficiente sistema no “corte” (remoção) da emulsão nos laminadores. Mesmo com um eficiente sistema de remoção de restos de emulsão problemas de oxidação superficial são comuns de serem observados durante estocagem ou mesmo transporte dos materiais, resultando em rejeições e alto custo. A fim de se preservar o material contra oxidação deve-se aplicar um filme de óleo de proteção na superfície da tira. Este procedimento minimiza a possibilidade de oxidação da tira, entretanto leva a processos adicionais de desengraxe para a remoção do óleo de proteção durante o uso.

Particularmente em aplicações onde envolvem processos de pintura ou revestimento por eletrodeposição um pré-tratamento da tira deve ser bem feito sob risco de rejeições por falta de aderência.

Outros aspectos que deverão ser considerados quando se utiliza o processo de laminação com emulsão são: os elevados custos de manutenção dos equipamentos, monitoramento e ajustes na emulsão, eventuais problemas de saúde que podem ser adquiridos pelos operadores do equipamento devido ao contato e trabalho direto com estes produtos além da questão ambiental no que se refere ao tratamento e disposição dos efluentes.

2.1.3 Laminação de acabamento com uso de nitrogênio líquido (LIN)

O Nitrogênio líquido é freqüentemente utilizado na indústria como meio refrigerante para propósitos especiais. Suas vantagens incluem:

- grande capacidade de refrigeração;
- facilidade de gerar baixíssimas temperaturas quando requerido (-196°C);
- facilidade de evaporar sem deixar qualquer resíduo;
- não é inflamável, reduzindo riscos de incêndio e explosão; e
- pode ser exposto seguramente na atmosfera após uso.

A nova tecnologia de laminação utiliza Nitrogênio líquido aspergido através de conjuntos especiais de bicos distribuídos uniformemente ao longo da largura da tira em substituição aos bicos de emulsão.⁽⁴⁾ Durante a laminação o jato de Nitrogênio aplicado entre a tira e os cilindros forma um “bolsão” de proteção e expulsa o oxigênio e a umidade presente, ao mesmo tempo reduz a temperatura no arco de contato e desta forma preserva a superfície da tira contra oxidação além de permitir um aumento na velocidade de laminação e melhoria nas condições ambientais e do pessoal de operação através da eliminação da névoa de emulsão característica do processo convencional com uso de emulsão como lubrificante. O mecanismo de proteção descrito é representado na Figura 2.⁽⁵⁾

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão discutidas as principais vantagens oferecidas pela nova tecnologia de laminação de acabamento. Estas vantagens estão relacionadas com:

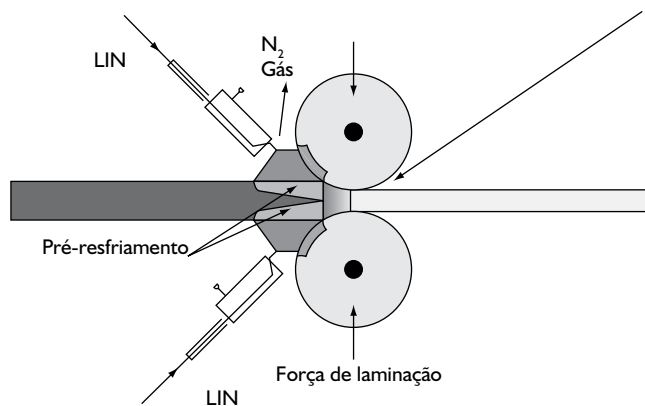
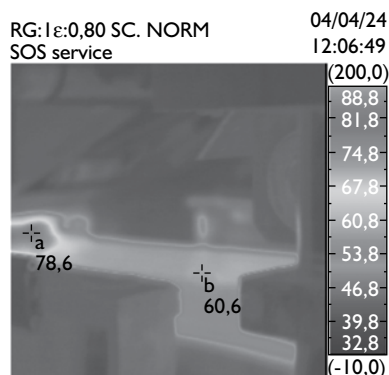
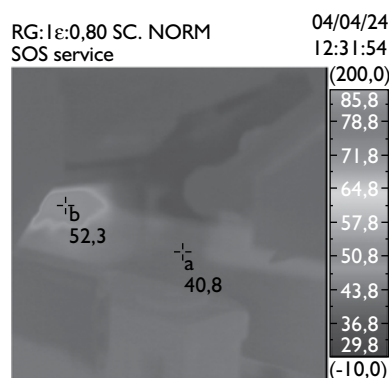


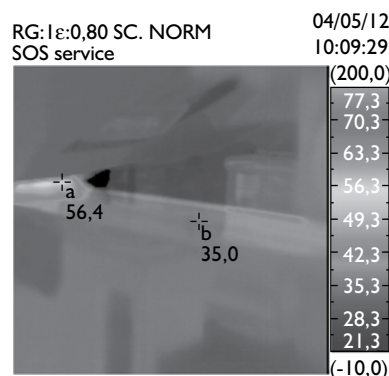
Figura 2. Processo de laminação com uso de Nitrogênio líquido.⁽⁵⁾



(a)



(b)



(c)

Figura 3. Termogramas comparativos entre os três processos de laminação.⁽⁶⁾
a) Laminação a seco; b) laminação úmida; e c) laminação LIN.

3.1 Temperatura de Laminação

Dados comparativos de casos reais de temperatura para os processos de laminação sem uso de lubrificante (laminação a seco), com uso de emulsão aquosa e uso de nitrogênio líquido, para reduções de 1% em espessura, medidos em dois pontos da tira laminada a frio, região imediatamente após o arco de contato a uma distância de aproximadamente 1,5 m, são apresentados na Figura 3. As temperaturas foram obtidas por meio da técnica de termografia e comprovam a eficiência do resfriamento no processo com uso de Nitrogênio líquido.

Vários testes foram conduzidos durante a laminação de acabamento de tiras de aços de baixo teor de carbono com reduções em espessura de 1% e 5%. Os testes confirmaram que a laminação de acabamento com uso de Nitrogênio comparada à laminação com emulsão, apresenta valores de temperatura na superfície da tira, muito inferiores, cerca de 10°C, principalmente para a menor redução a frio. Este efeito se deve ao pré-resfriamento da superfície do material com o uso do Nitrogênio líquido que reduz o pico de temperatura e permite um rápido aumento da velocidade de laminação sem uma elevação brusca na temperatura. A temperatura da superfície da tira depois de laminada tende a aumentar devido a condução de calor causada pela deformação a frio.

3.2 Limpeza superficial

Análise comparativa de resultados internos de limpeza superficial da tira, obtidos entre CDW e Brasmatal Waelzholz (BW) após o processo de laminação de acabamento com Nitrogênio contra o uso de emulsão apresentaram valores cinco a seis vezes inferiores, conforme pode ser visto na Figura 4.

É nitidamente perceptível uma melhora na limpeza superficial quando se emprega a nova tecnologia de laminação com nitrogênio líquido. Imagens ampliadas entre materiais laminados pelo processo com emulsão, a seco e com nitrogênio líquido mostram a diferença na aparência do acabamento de superfície. A laminação convencional com emulsão apresenta um número

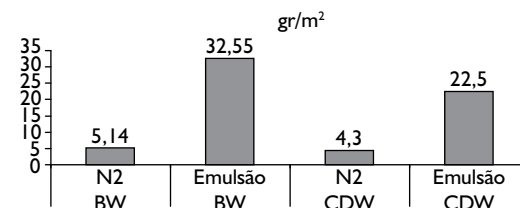


Figura 4. Valores de resíduos medidos na superfície da tira após laminação de acabamento com uso de Nitrogênio e emulsão.⁽⁶⁾

significativamente superior e de maior profundidade de defeitos na superfície oriundos principalmente por marcas de fragmentos laminados presentes na emulsão. A laminação a seco apresentou uma melhor qualidade de superfície, mas mesmo neste processo podem ser vistos problemas. Por outro lado, o processo de laminação com uso de Nitrogênio líquido, ao contrário dos demais, apresenta como resultado uma superfície bem acabada e extremamente limpa. A redução em número e extensão dos defeitos de superfície na laminação com Nitrogênio líquido é nítida, o que se traduz em um grande ganho na qualidade de superfície das tiras, como pode ser visto através da Figura 5.

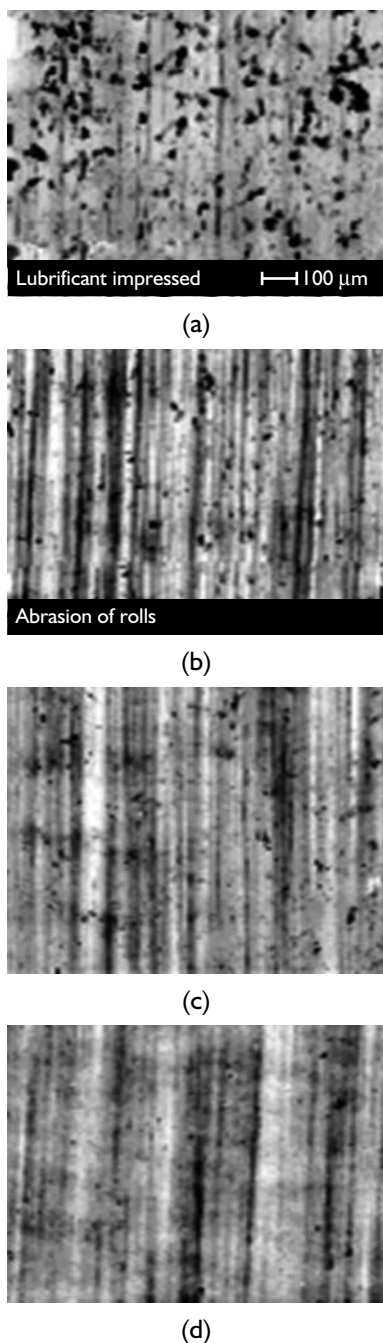


Figura 5. Acabamentos de superfície para as diferentes condições de laminação.⁽⁵⁾ a) Laminação com emulsão; b) laminação a seco; laminação com nitrogênio na entrada; e d) laminação com Nitrogênio na entrada e na saída.

O jato de Nitrogênio líquido é o responsável pela elevada eficiência do processo, a ele pode ser atribuído este efeito de limpeza. Dois mecanismos estão presentes, os quais juntos expõem e sopram as partículas para longe da superfície:

- o primeiro efeito se deve a alta velocidade de impacto da gota de Nitrogênio líquido contra a tira e o cilindro de laminação; e
- em segundo lugar, segue a expansão do vapor de Nitrogênio líquido.

3.3 Vida Útil dos Cilindros de Laminação

A experiência prática mostrou que o uso do Nitrogênio líquido estendeu a vida dos cilindros de trabalho quando comparado a laminação a seco. Uma avaliação do tempo de vida dos cilindros se deu através da medição da rugosidade superficial da tira ao fim de cada rolo laminado, para as condições fixas de processo. O ponto e partida para ambos os processos foi uma rugosidade nos cilindros de $3,0 \mu\text{m Ra}$ a $3,3 \mu\text{m Ra}$, foi também considerado para a aplicação um limite tolerável de rugosidade (final de campanha) como sendo mínimo de $1,0 \mu\text{m Ra}$.

No caso da laminação a seco (Figura 6a), a redução da rugosidade na superfície da tira é rápida e contínua, perceptível após a laminação do primeiro rolo. Neste processo os cilindros de laminação necessitam serem substituídos após apenas quatro bobinas serem processadas. Já no caso da laminação com nitrogênio líquido

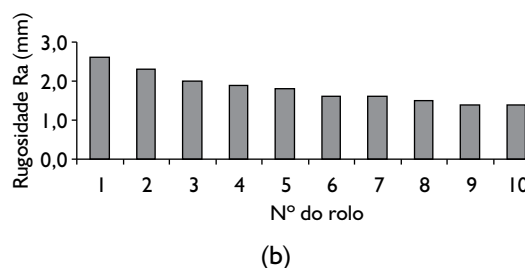
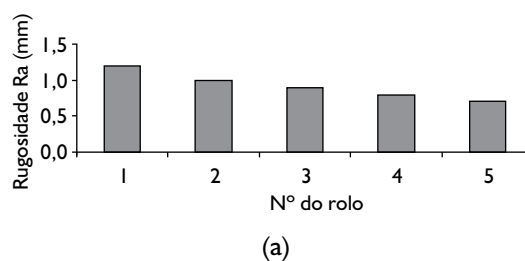


Figura 6. Vida útil dos cilindros durante a) laminação a seco; e b) com Nitrogênio líquido.⁽⁵⁾

(Figura 6b), a diminuição na rugosidade de superfície de tira após o primeiro rolo laminado se apresenta de forma lenta e gradativa chegando até a estabilizar. Neste processo a rugosidade permaneceu acima de 1.5 μm Ra mesmo depois que 10 rolos foram laminados. Neste caso os cilindros de laminação apresentaram uma vida útil no mínimo duas vezes superior quando comparada ao processo de laminação a seco.

3.4 Rejeições por Problemas de Manchas e Oxidação Superficial da Tira

Conforme já descrito, durante o processo de laminação com Nitrogênio o jato aplicado entre a tira e os cilindros forma um “bolsão” de proteção expulsando o Oxigênio e a umidade presente e desta forma preserva a superfície da tira contra oxidação. A Figura 7 apresenta dados internos da Brasmatal Waelzholz no que diz respeito a evolução dos problemas de rejeição interna e externa por oxidação (OXI) e manchas de emulsão (MEM). Observa-se que com a entrada em processo da nova técnica de laminação de acabamento a partir do ano de 2003 o nível de problemas foi sendo gradativamente reduzido até ser totalmente erradicado no ano de 2006.

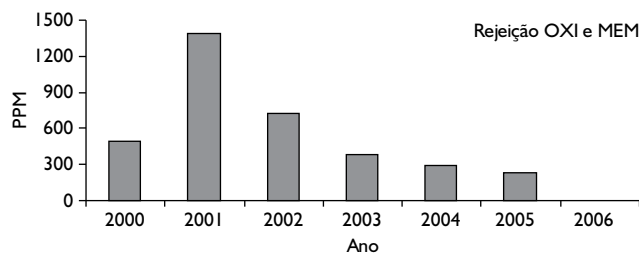


Figura 7. Evolução do índice de rejeição interna e externa na BW.⁽⁶⁾

3.5 Consumo de Óleo de Proteção

Com a introdução do novo processo de laminação a partir do início do ano de 2003 observou-se uma drástica redução, de mais de 50%, no consumo de óleo de proteção. A Figura 8 representa a evolução do consumo de óleo em litros por tonelada de aço laminado.

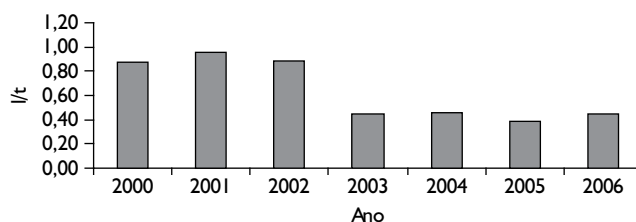


Figura 8. Evolução do consumo de óleo de proteção.⁽⁶⁾

A laminação com o uso de Nitrogênio têm ainda como vantagem a ausência total de umidade na superfície da tira permitindo assim que o material seja estocado por até 3 semanas sem apresentar problemas de oxidação, enquanto que um material laminado pelo processo convencional, com emulsão, resiste a apenas 3 dias no máximo.

4 CONCLUSÕES

A nova tecnologia implantada é uma maneira inovadora e ambientalmente correta para melhorar o processo de laminação de tiras de aço a qual une as vantagens técnicas dos processos de laminação a seco e laminação com emulsão.

O processo permitiu eliminar as rejeições causadas por oxidação ou manchas na superfície, um sério problema de elevado custo, além de permitir a obtenção de materiais com superfícies mais limpas e homogêneas quanto à rugosidade superficial.

O processo de laminação de acabamento com Nitrogênio garantiu a possibilidade do desenvolvimento de novos produtos devido à isenção total de óleo na superfície de tira, característica fundamental para determinadas aplicações especiais.

Etapas de pós-tratamento puderam ser eliminadas, e como resultado prático os laminadores passaram a operar em sua capacidade máxima correspondendo a um aumento de até 50% em sua velocidade de processamento, proporcionando elevados ganhos de produtividade.

Ganhos econômicos em insumos como óleo de proteção e cilindros de laminação também foram experimentados.

Esta tecnologia é aplicável em processos de laminação de acabamento onde se têm baixas reduções. Como perspectivas futuras, novos desenvolvimentos estão sendo conduzidos através do uso de uma tecnologia alternativa onde se combina a laminação com Nitrogênio líquido e uma lubrificação mínima visando o uso de reduções mais elevadas.

REFERÊNCIAS

- 1 Air Products. Using liquid nitrogen in the roll bite of a cold mill. **Steel Times International**, v. 28, n. 4, p. 34-7, June 2004.
- 2 FERREIRA FILHO, A. Título do trabalho. In: WORKSHOP TÉCNICO BRASMETAL WAEZHZOLZ, 2004, São Paulo. São Paulo: Brasmetal Waelzholz, 2004. BW News. Tecnologia e inovação. Set/out.
- 3 PADILHA, A.F.; SICILIANO, F. **Encruamento, recristalização, crescimento de grão e textura**. 3.ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2005.
- 4 PLICHT, G.; HÖFINGHOFF, H.; DEMSKI, T.; EDWARDS, R. **Cold rolling of metals strip using technical gases**. [S.l.]: Air Products and Chemical, 2004. [Publicação interna]
- 5 PLICHT, G.; SCHILLAK, K.; HÖFINGHOFF, H.; DEMSKI, T. Cold rolling of metals strip using technical gases. In: INTERNATIONAL AND EUROPEAN STEEL ROLLING CONFERENCES, 9.; EUROPEAN STEEL ROLLING CONFERENCES, 4., 2006, France, Paris. [S.l.]: Air Products and Chemical, 2006.
- 6 Brasmetal Waelzholz. Projeto laminação com nitrogênio. Diadema, 2003. [Relatório Técnico Interno].

Recebido em: 07/12/08

Aceito em: 14/03/08

Proveniente de: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO – PROCESSOS E PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIDOS, 44., 2007, Campos do Jordão, SP. São Paulo: ABM, 2007.