

LAMINAÇÃO A FRIO DE TIRAS DE AÇO COM O USO DE NITROGÊNIO LÍQUIDO ¹

Antenor Ferreira Filho ²
Marcelo Franck Bielskis ³

Resumo

No processo de laminação a frio, durante a etapa de laminação de acabamento também conhecida como skin-pass ou encruamento, 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) na forma de jatos de spray. 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 mantendo a temperatura do conjunto cilindros/chapa em valores adequados. 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 laminadas 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) in the form of 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 process temperature. In the work will be presented a new and revolutionary technique of skin-pass which applies liquid nitrogen instead of emulsion it 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: Cold steel strip; Emulsion; Nitrogen.

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 *Engenheiro Metalurgista e de Produção, MSc., Dr., Diretor Industrial da Brasmetal Waelzholz S.A. Ind. e Com.*

³ *Tecnólogo em Produção, Pós graduado em Adm Produção, Gerente de Produção da Brasmetal Waelzholz S.A. Ind. e Com.*

1 INTRODUÇÃO

Há mais de cinco anos, na Alemanha, a empresa C.D.Waelzholz, especialista na produção de tiras de aço especiais em conjunto com a empresa Air Products, desenvolveu e patenteou uma nova técnica de laminação a frio, denominada de LIN (LIquid Nitrogen), onde utiliza nitrogênio líquido em substituição a tradicional emulsão aquosa. A par desta inovação a Brasmetal Waelzholz desde o ano de 2003 já vem trabalhando com esta nova técnica de laminação a frio no Brasil e durante este período tem obtido excelentes resultados para uma larga faixa de qualidades de aços laminados a frio 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 estampagem, 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 valores de até 2.200 N/mm², são atendidas pelo produto relaminado. Importante destacar a possibilidade de se trabalhar com faixas restritas de variação de propriedades mecânicas, tolerâncias dimensionais e acabamentos de superfícies especiais que permitem o uso destes aços em aplicações especiais. A Figura 1 apresenta um diagrama de qualidades (teor de carbono) *versus* propriedades mecânicas atendidas pelos aços relaminados a frio.^[2]

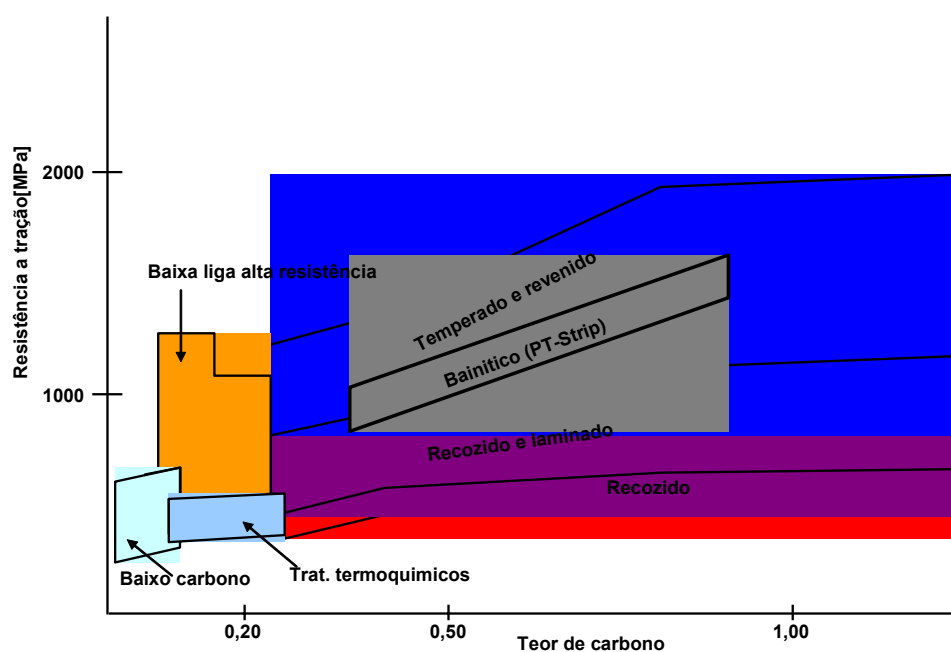


Figura 1 – Spectro de aços relaminados a frio. ^[2]

2 PROCESSO DE LAMINAÇÃO A FRIO

O processo de relaminação a frio envolve etapas de: decapagem, corte/recorte, laminação e recozimento. Qualidades especiais podem ainda ser temperadas ou revestidas por eletrodeposição em processos contínuos para atender aplicações específicas.

No trabalho serão descritas de forma resumida todas as etapas de processo, porém será dada ênfase na etapa de laminação de acabamento. Durante o percurso padrão de produção são percorridas as etapas de:

- ❑ Decapagem
- ❑ Corte
- ❑ Laminação de desbaste
- ❑ Recozimento
- ❑ **Laminação de acabamento**
- ❑ Recorte
- ❑ Embalagem

A Figura 2 apresenta o fluxo completo de processamento destes aços.

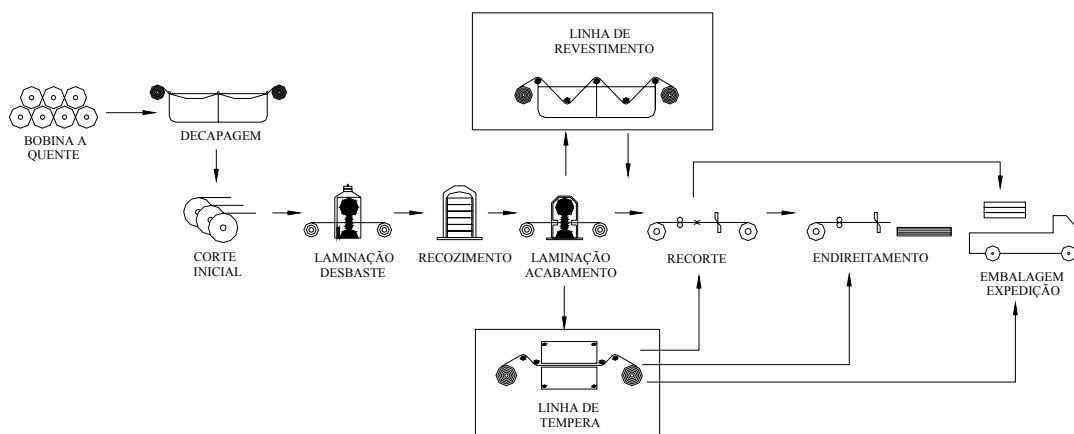


Figura 2: Fluxo de processo de tiras relaminadas a frio.^[2]

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 reduzida em espessura com taxas de deformação que pode atingir valores de 90% fazendo com que o material se torne altamente resistente (elevada dureza) porém apresente uma baixa ductilidade devido ao encruamento a frio. A energia dissipada no processo é na maior parte perdida na forma de calor, e estima-se que somente 2% a 10% dessa energia utilizada na deformação é armazenada no material na forma de defeitos cristalinos,^[3] este 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 propriedades 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, na forma de jatos de spray. O óleo adere aos cilindros e a tira causando uma diminuição da força de laminação devido a lubrificação e ao mesmo tempo atua como meio de refrigeração dos cilindros para mantê-los a uma temperatura adequada.

A Figura 3 ilustra de forma esquemática o processo de laminação com uso de óleo de emulsão.

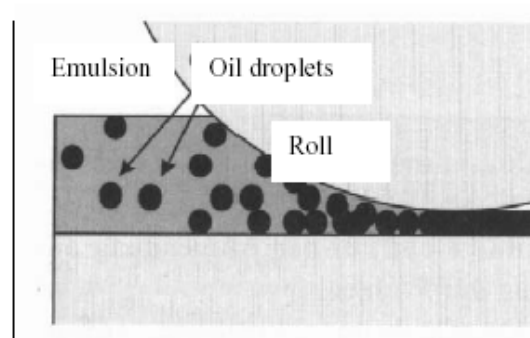


Figura 3: Esquema de laminação com uso de óleo lubrificante. [4]

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

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.

3 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 taxas de deformação que na maioria das vezes fica em torno de 1% a 5% de redução em espessura. Em casos especiais a laminação de acabamento pode ser realizada a seco.

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.

3.1 Laminação 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. Faz-se necessário também uma maior frequência de troca de cilindros o que se traduz em menor campanha de laminação devido ao intenso desgaste e riscos de aparecimento de trincas térmicas. A possibilidade do aumento de rejeições de produtos devido a 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.

3.2 Laminação 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 este tipo de processo em muitos casos resulta em uma tira com um acabamento de superfície pobre (opaco sem brilho).

A emulsão aplicada no conjunto cilindros/tira durante a laminação tem que ser totalmente removida da superfície da tira, sob risco de provocar defeitos na mesma que poderão se manifestar em processos subseqüentes. Portanto, 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 colaboradores devido ao contato e trabalho direto com estes produtos além da questão ambiental no que se refere ao tratamento e disposição dos efluentes.

3.3 Laminação Gasosa 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;
- pode ser exposto seguramente na atmosfera após uso.

A nova tecnologia de laminação desenvolvida e patenteada pela C.D.Waelzholz / Brasmetal Waelzholz em conjunto com a Air Products utiliza-se de Nitrogênio líquido aspergido através de conjuntos especiais de bicos *spray* distribuídos uniformemente ao longo da largura da tira em substituição aos bicos de emulsão.

Durante o processo de 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 pela Figura 4.^[5]

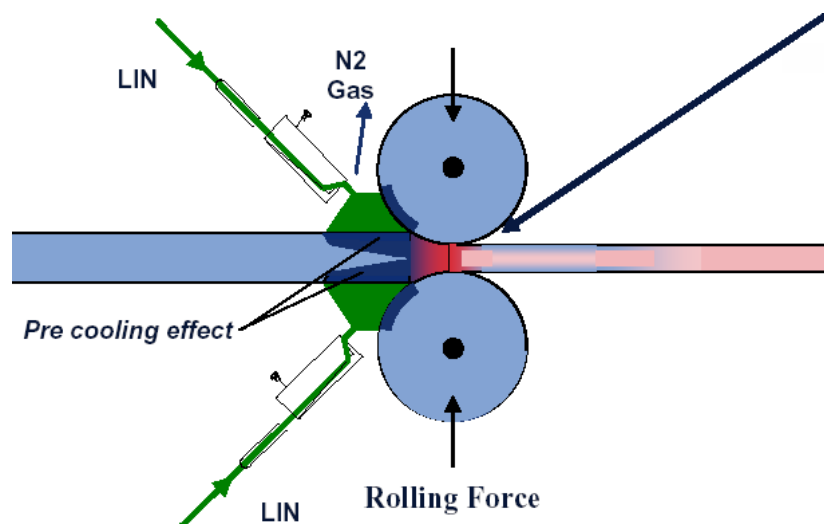


Figura 4 – Processo de laminação com uso de Nitrogênio líquido.^[5]

4 VANTAGENS DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO COM NITROGÊNIO

Varias são as vantagens oferecidas pela nova tecnologia, a seguir serão destacadas as principais.

4.1 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 e a uma distância de aproximadamente 1,5 metros, são apresentados na Figura 5. As

temperaturas foram obtidas por meio da técnica de termografia e comprovam a eficiência de resfriamento do processo com uso de nitrogênio.

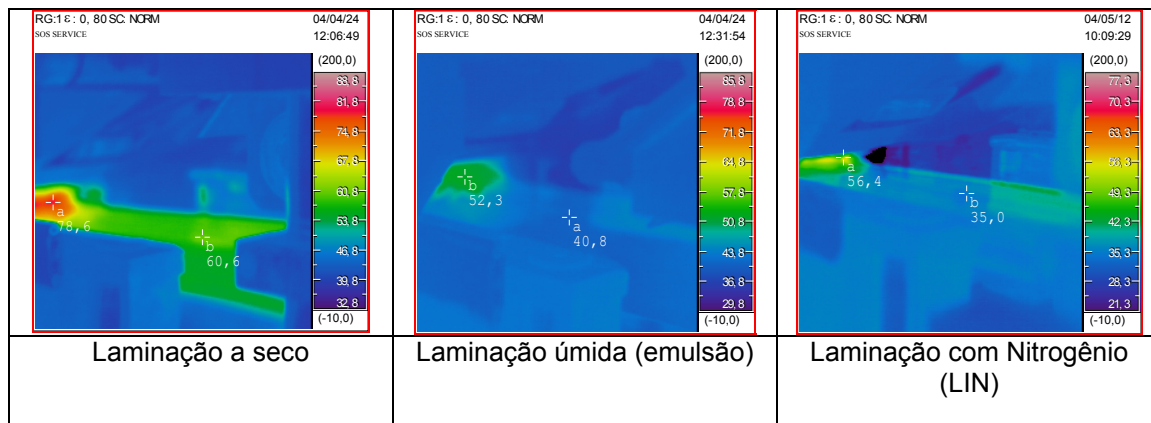


Figura 5 – Termogramas comparativos entre os três processos de laminação de acabamento. [6]

Vários testes foram conduzidos durante a laminação de acabamento de tiras de aços de baixo teor de carbono com taxas de redução em espessura de 1 e 5%. Os testes confirmaram que a laminação de acabamento com o uso nitrogênio comparada à laminação com emulsão apresenta valores de temperatura na superfície da tira muito inferiores, principalmente para a baixa 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 o 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 (encruamento). A Figura 6 apresenta o resultado dos vários testes realizados.

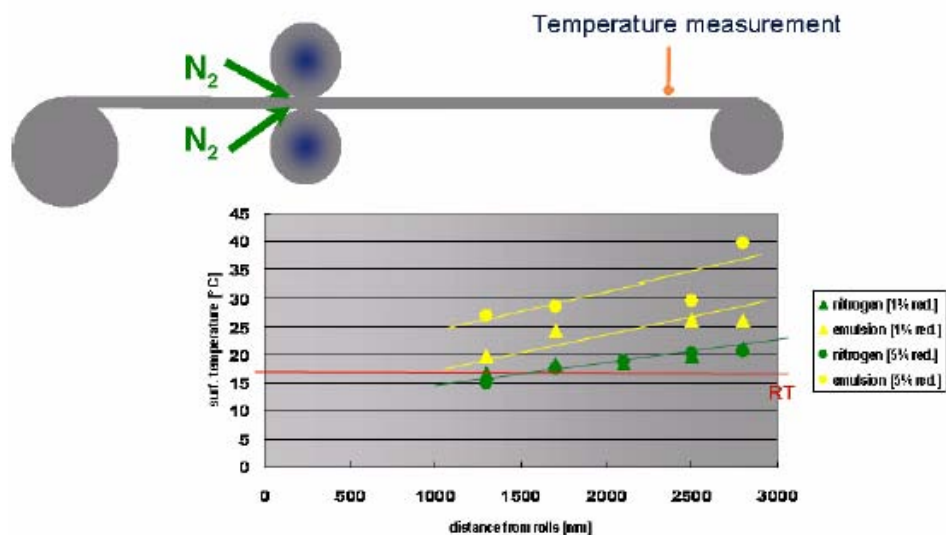


Figura 6 – Temperaturas obtidas pelo processo de laminação com uso de emulsão e Nitrogênio, para reduções de 1 e 5% em espessura. [5]

4.2 Limpeza Superficial

Análises comparativas de resultados internos obtidos pela CDW e Brasmetal Waelzholz do *plate-out* na superfície da tira após processo de laminação de acabamento com nitrogênio apresentou valores de cinco a seis vezes inferiores ao processo de laminação com emulsão, conforme pode ser visto na Figura 7.

É nitidamente perceptível a melhora na limpeza superficial quando se emprega a nova tecnologia de laminação com nitrogênio líquido.

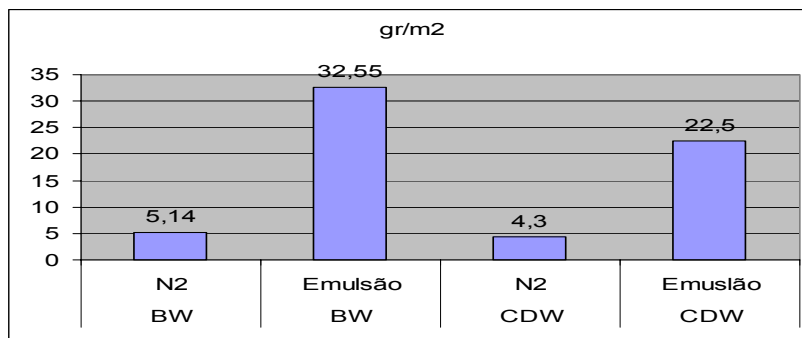


Figura 7 – Análise comparativa de resíduos após laminação de acabamento com Nitrogênio e emulsão.^[6]

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 significativamente superior e de maior profundidade de defeitos na superfície oriundos de marcas de lubrificação e fragmentos laminados. A laminação a seco apresentou uma grande melhora na qualidade de superfície, mas mesmo neste processo podem ser vistos problemas. Por outro lado, o processo de laminação com nitrogênio líquido ao contrário dos anteriores mostra 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 uma grande melhora na qualidade de superfície das tiras, como pode ser visto através da Figura 8.

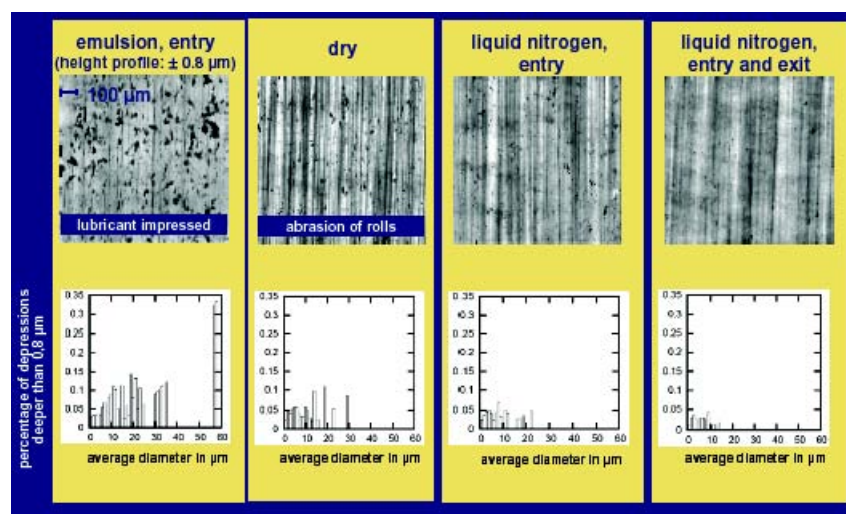


Figura 8 – Acabamentos de superfície para as diferentes condições de laminação.^[5]

O jato de nitrogênio líquido é o responsável pela elevada eficiência do processo. Este efeito de limpeza pode ser atribuído ao nitrogênio líquido através de dois mecanismos, os quais juntos expõem e sopram as partículas para longe da superfície:

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

4.3. Vida Útil dos Cilindros de Laminação

A experiência prática mostrou que o processo com uso do nitrogênio líquido estendeu a vida dos cilindros de trabalho quando comparado ao processo de laminação a seco. A 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. Para ambos os processos iniciou-se com uma rugosidade nos cilindros de 3,0 μm a 3,3 μm R_a , foi também considerado para a aplicação um limite tolerável de rugosidade (final de campanha) como sendo mínimo de 1,0 μm R_a .

No caso da laminação a seco (Figura 9), a redução da rugosidade da superfície da tira é rápida e contínua, perceptível após a laminação do primeiro rolo. Neste processo os cilindros de laminação necessitaram ser substituídos após apenas quatro bobinas serem processadas.

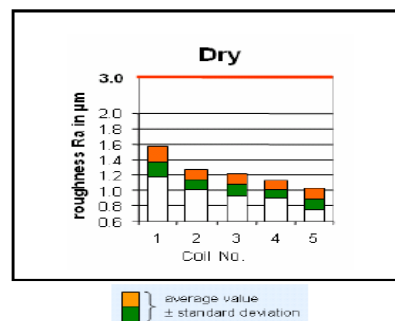


Figura 9 – Vida útil dos cilindros no processo de laminação a seco. [5]

No caso da laminação com nitrogênio líquido (Figura 10), a diminuição na rugosidade de superfície de tira após o primeiro rolo laminado é pequena. Importante observar que a taxa de redução depois que os rolos subsequentes são laminados ocorre de forma lenta e gradativa chegando até a estabilizar. Neste processo a rugosidade permaneceu acima de 1.5 μm R_a mesmo depois que 10 rolos foram laminados. Neste caso a vida útil dos cilindros de laminação apresentou uma vida útil no mínimo duas vezes superior quando comparada ao processo de laminação a seco.

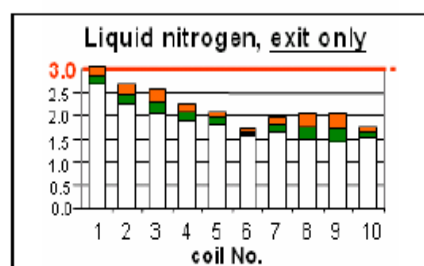


Figura 10 – Vida útil dos cilindros no processo de laminação com nitrogênio líquido. [5]

4.4 Rejeições por Problemas de Manchas e Oxidação Superficial

Conforme já descrito no item 3.3 durante o processo de laminação com nitrogênio o jato de gás 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 11 apresenta dados internos da Brasmetal Waelzholz no que diz respeito á evolução dos problemas de rejeição interna e externa por oxidação e manchas de emulsão. O que se observa é a partir de 2003 com a entrada em processo da nova técnica de laminação de acabamento o nível de problemas foi sendo gradativamente reduzido até ser totalmente erradicado no ano de 2006.

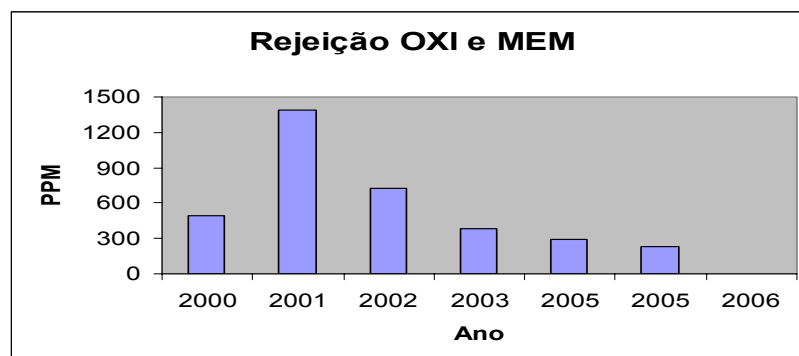


Figura 11 – Evolução do índice de rejeição interna e externa na BW. [6]

4.5. 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 12 representa a evolução do consumo de óleo em litros por tonelada de aço laminado.

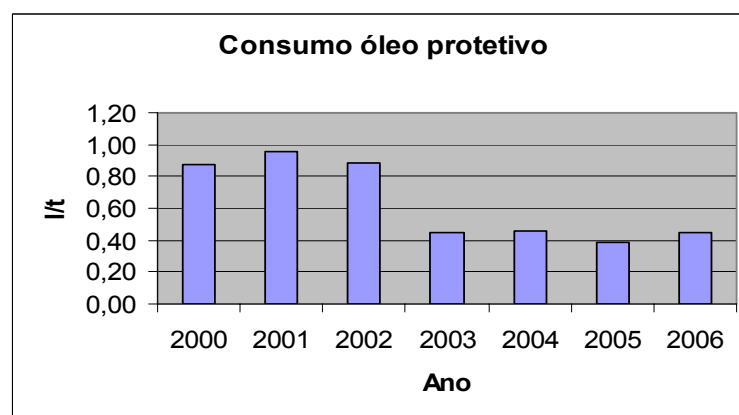


Figura 12 – Evolução do consumo de óleo de proteção. [6]

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

5 CONCLUSÕES

- A nova tecnologia implantada é uma maneira inovadora e ambientalmente correta para melhorar o processo de laminação de tiras de aço onde 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 a rugosidade superficial.
- O uso da laminação com nitrogênio garantiu a possibilidade do desenvolvimento de novos produtos devido a isenção total de óleo na superfície de tira, característica fundamental para determinadas aplicações especiais.
- Etapas de pós-tratamento “corte da emulsão” puderam ser eliminadas e como resultado prático os laminadores passaram a operar em sua capacidade máxima correspondendo a um aumento de até 50% na velocidade proporcionando elevados ganhos de produtividade.
- Ganhos econômicos em insumos como óleo de proteção e cilindros de laminação também foram experimentados.
- Esta tecnologia é aplicável à processos de laminação de acabamento (skin-pass) onde se emprega baixas taxas de redução. Como perspectivas futuras, novos desenvolvimentos estão sendo conduzidos através do uso de uma tecnologia alternativa que combina a laminação com nitrogênio líquido e uma lubrificação mínima, visando o uso de taxas mais elevadas de redução.

REFERÊNCIAS

- 1 Air Products *Using liquid nitrogen in the roll bite of a cold mill*. Steel Times International, June 2004.
- 2 FERREIRA FILHO, A. *Wokshop Técnico Brasmetal Waelzholz*. Abril 2004.
- 3 PADILHA, A. F. & SICILIANO, F. In: Encruamento, recristalização, crescimento de grão e textura – ABM, 3ª Edição, 2005.
- 4 PLICHT, G., HÖFINGHOFF, H., DEMSKI, T. and EDWARDS, R. *Cold rolling of metals strip using technical gases*. Air Products and Chemical Inc., 2004.
- 5 PLICHT, G., SCHILLAK, K., HÖFINGHOFF, H. and DEMSKI, T. *Cold rolling of metals strip using technical gases*. ATS 9th International and European steel rolling Conferences, France – Paris, June 2006.
- 6 Relatório Técnico Interno Brasmetal Waelzholz, *Projeto Laminação com Nitrogênio*, 2003.