

ANÁLISE DE ATRIBUTOS DE BOBINAS DE AÇO LAMINADAS A QUENTE¹

Mateus Ladeira²

Efraín Ubici³

Rubén Solé⁴

Ricardo Domingues⁵

Resumo

Fez-se, aqui, um estudo de atributos dos produtos planos laminados a quente na empresa Ternium Siderar, em San Nicolás, Argentina. Análises estatísticas e estudos qualitativos e quantitativos de algumas dessas características permitiram conhecer suas possíveis origens, a gravidade dos defeitos a elas associados, a frequência com que ocorrem e a sua localização. O objetivo foi sugerir ações preventivas e/ou corretivas para minimizar significativamente os problemas, ou até mesmo extingui-los, propiciando efetiva economia de recursos. Além da análise de dados estatísticos, foram realizados ensaios mecânicos e de inspeção visual que permitiram avaliar: espessura, largura, coroamento, cunha, cambagem, planicidade, temperatura final de laminação (TFL) e de bobinamento (TB), ocorrência de patamar de escoamento, resistência mecânica e alongamento. O estudo foi feito a partir da análise da evolução dos valores dos atributos ao longo do tempo, tomada em intervalos especificamente adequados a cada um deles. O resultado principal do estudo está associado a sugestões de implantação, feitas à empresa, de medidas para corrigir os problemas detectados.

Palavras-chave: Atributos; Produtos planos; Laminação a quente; Medidas corretivas.

ANALYSIS OF HOT ROLLED STEEL COILS' ATTRIBUTES

Abstract

A study of hot rolled flat products' attributes made by Ternium Siderar at San Nicolás, Argentina is presented here. Statistical analyses, as well as qualitative and quantitative studies of some of these features had allowed knowing their possible origin, the gravity of associated defects, the occurrence frequency, and their localization. The aiming of injunctions and corrective actions to significantly minimize the problems, or even though to extinguish them, becomes possible and allows to effective money saving. Beyond the analysis of statistical data, mechanical and visual inspection tests had been carried through for evaluating: thickness, width, crowning, bending, camber, flatness, widening, finishing rolling and coiling temperatures, creeping, mechanical strength, and Charpy absorbed energy. The study was made from the analysis of the attributes' values evolution throughout the time, taken in intervals specifically adjusted to each one of them. The result of the study is associated to suggestions sent to the company for implementing actions for solving the detected problems.

Key words: Attributes; Flat products; Hot rolling; Corrective actions.

¹ Contribuição técnica ao 48º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 24 a 27 de outubro de 2011, Santos, SP.

² Membro da ABM, Graduando em Eng. Metalúrgica na Escola de Minas, UFOP, Ouro Preto, MG.

³ Engenheiro Metalurgista, Chefe do Setor de Laminação a Quente, Ternium Siderar, San Nicolás, Argentina

⁴ Membro da ABM, Engenheiro Químico, M.Sc., D.Sc., Transferência de Tecnologia, Fundação Gorceix / DEPEC, Ouro Preto, MG.

⁵ Membro da ABM, Eng. Metalurgista, M.Sc., D.Sc., Professor Adjunto IV na Escola de Minas da UFOP - Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Ouro Preto, MG.

1 INTRODUÇÃO

Hoje em dia, com o aumento da concorrência e com uma maior exigência do mercado em relação aos produtos, as organizações estão sendo obrigadas a se preocupar cada vez mais com a melhoria da qualidade de seus produtos e serviços. Com isso, a importância deste quesito é cada vez mais enfocada nas organizações, buscando-se, para cada produto, o atendimento das especificações de acordo com seus clientes. A qualidade é considerada como um dos principais objetivos de qualquer organização exitosa, ou seja, a política empresarial deve visar uma produção eficiente quanto a marketing, engenharia, fabricação e manutenção, mas sempre procurando atingir os requisitos de qualidade e as expectativas definidas pelo cliente.

O perfeito conhecimento dos atributos dos produtos é muito importante para uma empresa, pois com o levantamento de suas possíveis causas, gravidade, localização e frequência com que ocorrem, pode-se direcionar ações preventivas e/ou corretivas para minimizar significativamente os problemas, ou até mesmo extingui-los. Na laminação a quente, ocorrem falhas eventuais na linha de produção, as quais dependem do estudo dos atributos associados aos produtos laminados. O objeto do presente trabalho é estudá-los criteriosamente e fazer análises estatísticas de sua ocorrência e da respectiva relação com a produtividade da empresa.^(1,2)

2 PRELIMINARES

Foi feita uma breve revisão sobre os atributos dos produtos planos laminados a quente tais como: espessura, largura, coroamento, cunha, cambagem, temperatura final de laminação (TFL), temperatura de bobinamento (TB), resistência mecânica, alongamento e ocorrência do patamar de escoamento.

Muitas vezes, quando os atributos dos produtos laminados a quente não estão dentro das tolerâncias de máximo e mínimo, ou seja, quando constituem uma imperfeição que limita a capacidade do produto para o uso que originalmente lhe foi atribuído e cujo destinatário (os clientes), espera aplicá-lo tal como o receber (sem a necessidade de prever nenhum custo adicional para seu uso), esses atributos passam a ser denominados “defeitos” do produto.

Os atributos dos produtos laminados a quente são classificados em cinco famílias distintas e abaixo se sintetizam alguns dos principais componentes destas famílias:

- dimensionais: espessura, largura, coroamento e cunha;
- forma: cambagem e planicidade (centro ondulado e borda ondulada);
- superficiais: óxido laminado, marcas de cilindros e abrasões;
- conformado de bobina: telescopicidade; E
- propriedades mecânicas: propriedades associadas a TFL e a TB; propriedades medidas em ensaios mecânicos (tensão de escoamento, limite de resistência, patamar de escoamento, tensão de impacto (*Charpy*) e porcentagem de alongamento).

A seguir, explica-se o significado dos principais atributos.

2.1 Espessura e Largura

São duas variáveis das mais importantes a serem controladas, devendo estar sempre de acordo com as especificações. Considera-se defeito quando o atributo não atende as especificações. A medição de largura e espessura é monitorada na

totalidade do comprimento da bobina. Segundo o tipo de desvio com relação às tolerâncias, podem-se classificar tais atributos como defeitos com várias denominações distintas, sendo as mais comuns: espessura em +, espessura em –, fora de espessura por razões operativas, largura em +, largura em –.

2.2 Coroamento e Cunha

São atributos que se correlacionam com o perfil de espessura de cada bobina produzida, e podem se relacionar com a planicidade. Assim como no atributo de largura e espessura, pode-se também fazer a detecção e localização do problema por meio da verificação do atendimento, ou não, das especificações.

Na Figura 1 é descrita a maneira como se fazem as medições necessárias para seus respectivos cálculos, onde, h_{40LM} e h_{40LO} são as espessuras medidas a 40 mm das respectivas bordas, no lado do motor e no lado do operador respectivamente, e h é a espessura medida no centro da chapa.

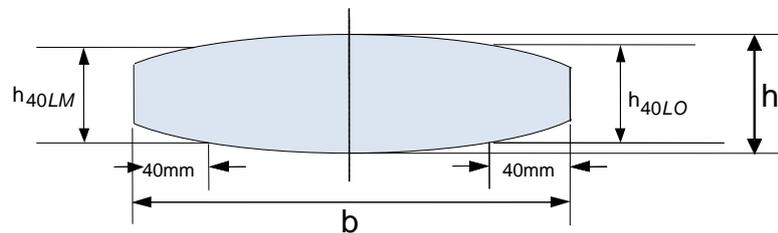


Figura 1. Medições para coroamento e cunha.⁽³⁾

Coroamento é a variação da espessura da chapa no sentido transversal. É medido da seguinte forma:

$$\text{COROAMENTO} = h - \frac{(h_{40LM} + h_{40LO})}{2}$$

Pode-se ter, na chapa, um coroamento positivo ou um coroamento negativo, o que pode gerar diferentes tipos de defeitos. O primeiro caso ocorre quando o cilindro (em condições dinâmicas de operação) tem um coroamento negativo, fazendo com que as bordas sejam mais laminadas do que o centro, e assim, tem uma deformação maior nas bordas, causando ondulações nas bordas e uma tração induzida no centro, o que pode até causar trincas centrais, como representado na Figura 2.

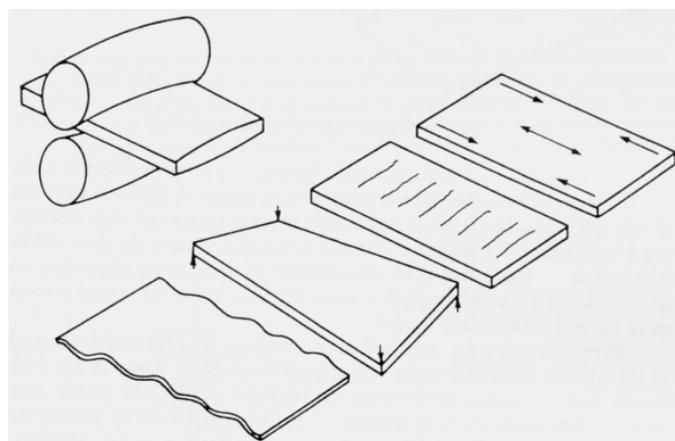


Figura 2. Coroamento positivo da chapa.⁽⁴⁾

Quando o cilindro (em condições dinâmicas de operação) tem um coroamento positivo, a chapa tem um coroamento negativo, e analogamente ao primeiro caso, o resultado final será a formação de ondulações centrais e trincas nas bordas (Figura 3).

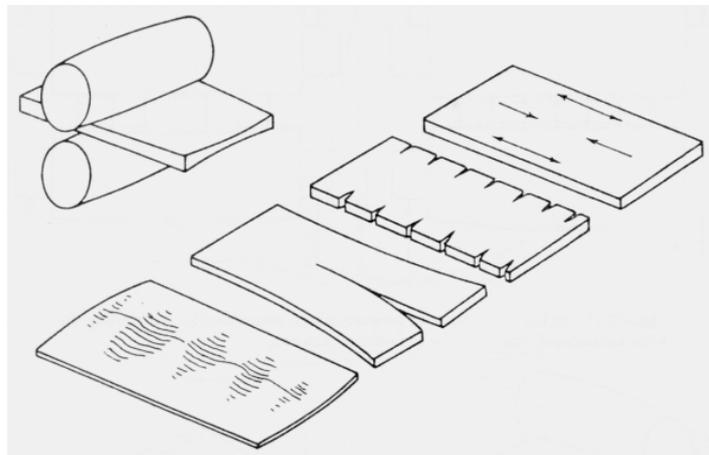


Figura 3. Coroamento negativo da chapa.⁽⁴⁾

Cunha é a variação de espessura da chapa entre as bordas opostas (em valor absoluto), mede-se da seguinte maneira:

$$\text{CUNHA} = h_{40LM} - h_{40LO}$$

2.3 Cambagem

É um encurvamento lateral da tira no sentido horizontal, com deslocamento da borda defeituosa em relação ao alinhamento. Se a curvatura é muito forte, pode dar a aparência de uma bobina telescópica. Quando aparece concentrado na ponta, é conhecido como *hook* (gancho). A Figura 4 mostra um desenho desse atributo, e a Figura 5 o apresenta numa fotografia, em que a largura da tira é da ordem de 1.245 mm.

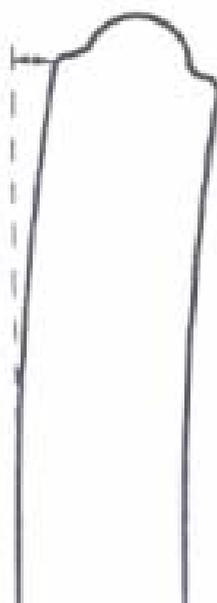


Figura 4. Cambagem.⁽³⁾



Figura 5. Saída da mesa de resfriamento.⁽⁵⁾

As principais causas da cambagem incluem: diferença de temperatura de uma borda da chapa em relação à outra, excessivo tempo de parada com o desbaste na boca do forno, má nivelção dos cilindros do acabador, excesso de carga de um lado dos cilindros de trabalho, resfriamento mal regulado na mesa de resfriamento, cilindros desnivelados ou gastos, velocidade de passada pela mesa de resfriamento mal regulada. As principais ações corretivas podem ser o aquecimento uniforme da placa nos fornos e a correta regulagem da pressão nos cilindros do trem acabador.⁽⁶⁾

2.4 TFL e TB

O controle das temperaturas TFL e TB é muito importante, pois tais atributos determinam as propriedades desejadas da bobina final. Uma pequena alteração na temperatura pode fazer com que a estrutura final formada se altere, provocando mudanças severas nas propriedades desejadas, como se pode verificar a partir de uma análise cuidadosa das Figuras 6 e 7.

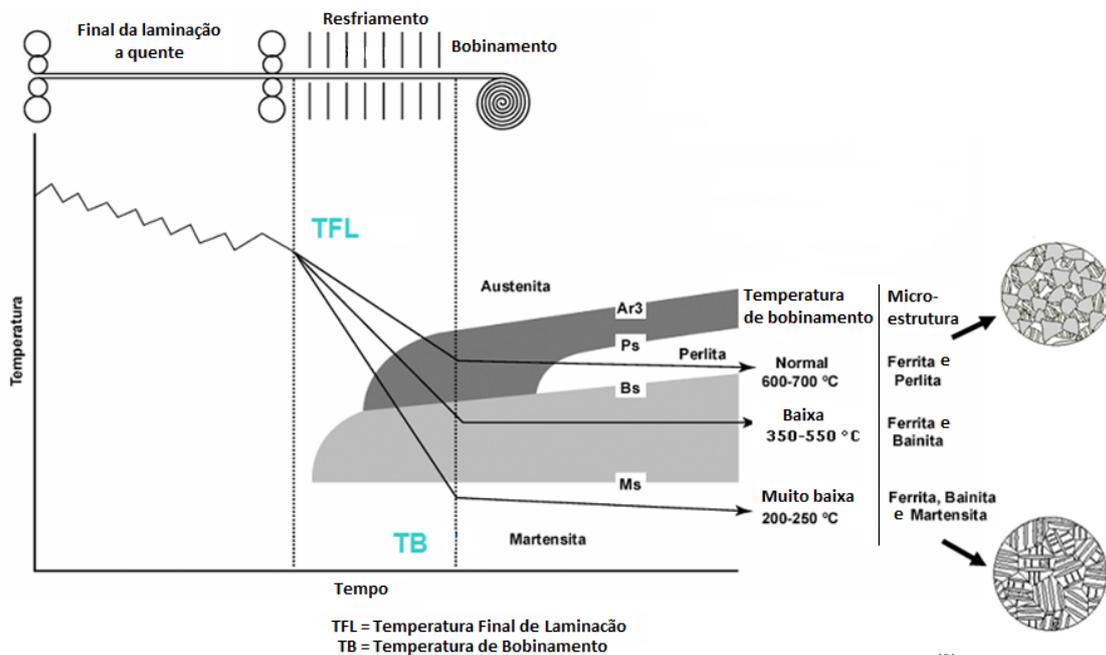


Figura 6. Controle microestrutural durante a laminação a quente.⁽³⁾

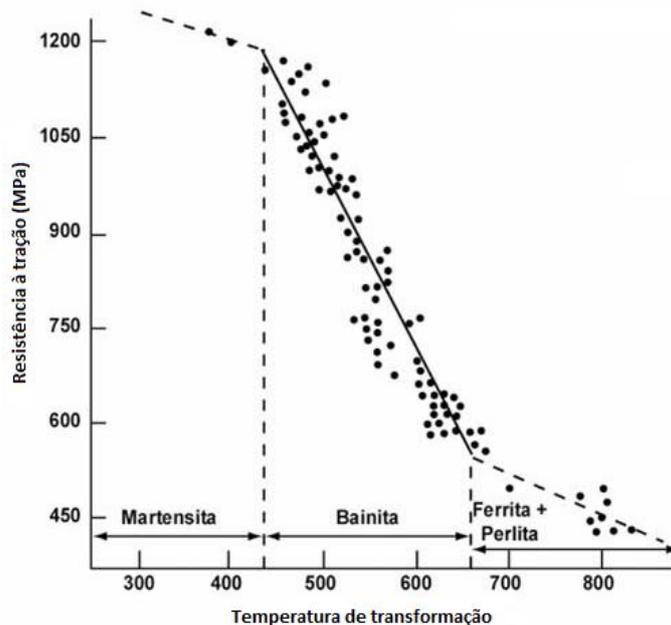


Figura 7. Resistência, microestrutura e temperatura de transformação.⁽³⁾

2.5 Tensão de Escoamento, Limite de Resistência, Alongamento e Patamar de Escoamento

Os atributos mecânicos (Tensão de Escoamento, Limite de Resistência, Alongamento e Patamar de Escoamento) são as mais importantes porque medem a estabilidade do material contra deformações e rupturas. Além disso, um deles (tensão de escoamento) é nada menos que a capacidade de o material suportar as solicitações externas sem que estas lhe causem deformação plástica. A deformação plástica depende diretamente do movimento das discordâncias na estrutura do material. Quando maior a facilidade do movimento, menos resistente é o material.

O alongamento é expresso em porcentagem relativamente ao comprimento original medido em uma amostra normal e é calculado pela diferença entre os pontos de referência, antes e depois do ensaio de tração. Esse atributo indica a ductilidade do metal ou da liga. Quanto mais fina a amostra (e maior sua largura inicial), menos ela alarga.

O patamar de escoamento se manifesta quando um metal é solicitado por uma carga, sofre imediatamente uma deformação elástica e, com a aplicação constante da carga, a deformação plástica avança lentamente com o tempo até provocar uma estricção e a ruptura do material. A ocorrência do patamar de escoamento tem relação com a temperatura a qual o material é submetido: quanto mais elevada for a temperatura, maior é a deformação final por escoamento descontínuo e em menos tempo ela ocorre, porque o calor facilita seu início e seu fim, tornando menor o tempo de vida do componente. O escoamento descontínuo muitas vezes é um dos fatores limitantes da vida útil do material, sendo, assim, uma propriedade muito importante na seleção dos materiais.

O fenômeno de ocorrência do patamar de escoamento se dá quando as impurezas ou os elementos de liga bloqueiam as discordâncias da rede cristalina impedindo seu deslocamento, processo pelo qual o material se deforma plasticamente. Alcançado o limite de escoamento, liberam-se as discordâncias, produzindo-se uma deformação brusca. A deformação neste caso também se distribui uniformemente em todo o material, mas concentrando-se nas zonas em que se alcançou a liberação

das discordâncias (bandas de *Lüders*). Nem todos os materiais apresentam este fenômeno: nesses casos a transição entre a deformação elástica e plástica do material não se aprecia de forma clara. Seu valor é calculado e executado pela aplicação de uma carga uniaxial constante a uma amostra de mesma geometria das utilizadas nos ensaios de tração, a uma temperatura elevada e constante.

3 METODOLOGIA

Foram analisados e caracterizados alguns dos atributos dos produtos laminados a quente, já descritos neste trabalho, tanto por meio de dados estatísticos e ensaios mecânicos como também por trabalhos de inspeção visual. Tais atributos (Quadro 1) incluem: espessura e largura, coroamento e cunha, cambagem, temperatura final de laminação (TFL) e temperatura de bobinamento (TB), tensão de resistência, alongamento e ocorrência de patamar de escoamento.

Quadro 1. Atividades realizadas com suas descrições e resultados esperados.

ATRIBUTOS	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	RESULTADOS IDEAIS
ESPESSURA	Levantamento da porcentagem mensal de bobinas produzidas dentro das tolerâncias de espessura.	Espessura uniforme ao longo da largura da chapa e dentro das especificações.
LARGURA	Levantamento da média mensal das bobinas que tem largura superior ao limite de largura máximo.	Uniformidade e cumprimento de especificações de largura pelo comprimento da chapa.
COROAMENTO E CUNHA	Porcentagem mensal de bobinas produzidas dentro das tolerâncias de coroamento e cunha.	Atributos dentro da especificação.
CAMBAGEM	Análise da ocorrência mensal de cambagem (máximo, média, desvio padrão e mínimo) para sete diferentes dimensões de largura e espessura.	Chapa perfeitamente retilínea.
TFL E TB	Levantamento da porcentagem da produção mensal dentro das tolerâncias para a temperatura final de laminação (TFL) e a temperatura de bobinamento (TB).	Resultados dentro das tolerâncias ao longo do comprimento da chapa
RESISTÊNCIA, ALONGAMENTO E OCORRÊNCIA DE PATAMAR DE ESCOAMENTO	Levantamento da porcentagem mensal de resultados de ensaios, feitos para todas as espessuras e larguras, dentro dos limites de máximo e mínimo da faixa de especificações.	Propriedades mecânicas dentro das especificações.

4 RESULTADOS

A seguir mostram-se os dados referentes às atividades realizadas, bem como uma breve discussão dos resultados, acompanhada de sugestões para estudos futuros.

4.1 Espessura

Apresentam-se aqui as análises das porcentagens de bobinas que se mantiveram mensalmente dentro das especificações de espessura. As bobinas foram divididas em três regiões: cabeça, corpo e cauda, que correspondem a 10%, 80% e 10% do comprimento respectivamente. Como visto na Figura 8, no corpo das bobinas a

espessura apresenta uma variação muito pequena, comprovando dados históricos de que a ponta e a cauda são as regiões mais críticas para a variação de espessura. Consta-se que a média mensal das bobinas que estão fora da faixa de tolerância é de 5,08% para a cabeça e de 4,48% para a cauda.

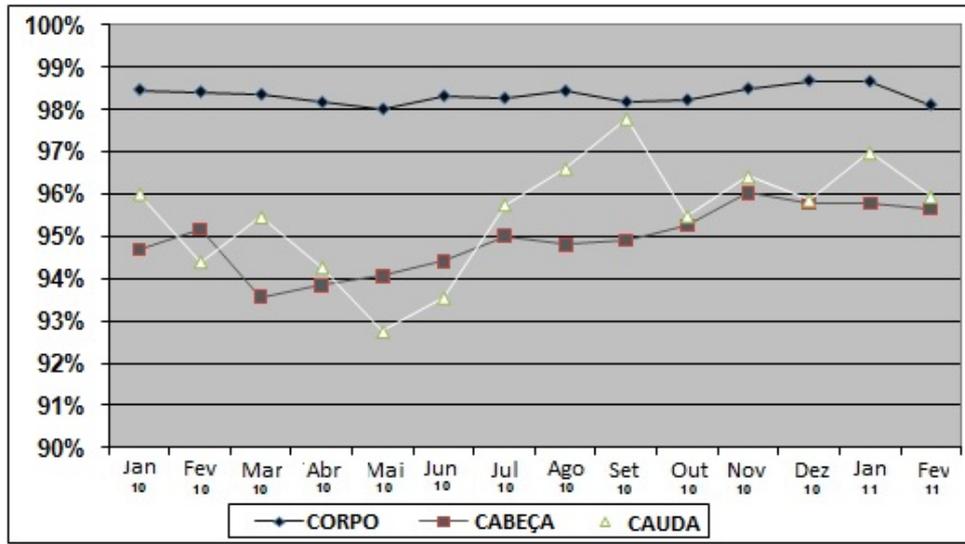


Figura 8. Porcentagem mensal das bobinas que estão dentro das especificações de espessura.

4.2 Largura

As margens de tolerância para excesso de largura, na Ternium Siderar, é de +20 mm para produtos destinados a exportação e, para produtos de mercado interno, essas margens podem ser de +26 mm ou +32 mm de acordo com as especificações dos clientes. Assim, como mostra o gráfico da Figura 9, durante o período de quatorze meses a que se refere o levantamento realizado, a largura se manteve dentro das especificações.

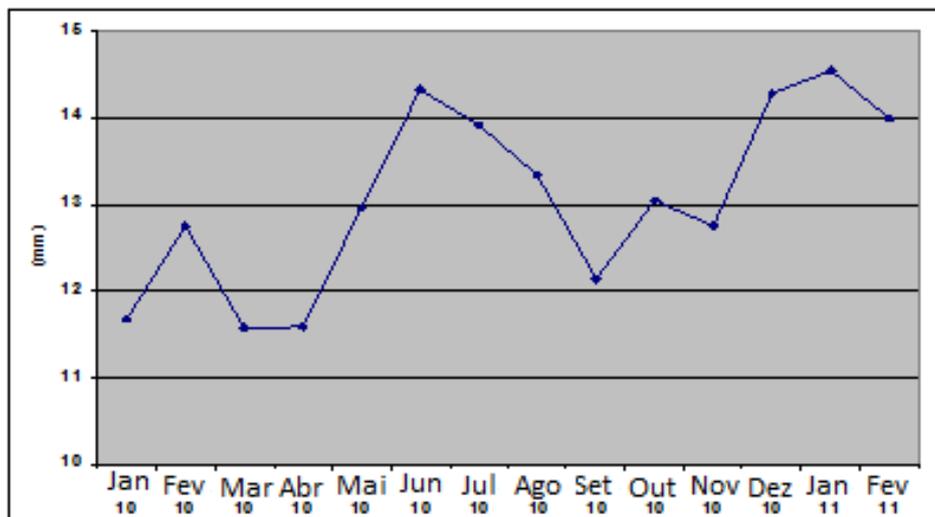


Figura 9. Média mensal de excesso de largura.

De acordo com as análises do gráfico de sobre-largura e das tolerâncias admissíveis pela Ternium Siderar, como durante os 14 meses analisados, nenhuma tira chegou

a 15 mm de sobre-largura, concluiu-se que não há nenhum problema com este atributo, ele está dentro das tolerâncias.

4.3 Coroamento e Cunha

Como já mencionado, os atributos Coroamento e Cunha referem-se a variações de espessura ao longo da largura da tira. Assim sendo, devem ser detectados em todo seu comprimento, de maneira automática, por meio do registro em gráficos como os mostrados na Figura 10. Tais registros gráficos variam continuamente ao longo do comprimento e cada um representa, isoladamente, a situação numa determinada linha transversal à tira. O levantamento apresentado na Figura 11 mostra a maneira como estes atributos se comportaram durante treze meses, entre janeiro de 2010 e janeiro de 2011, na Laminação de Tiras a Quente da Ternium Siderar.

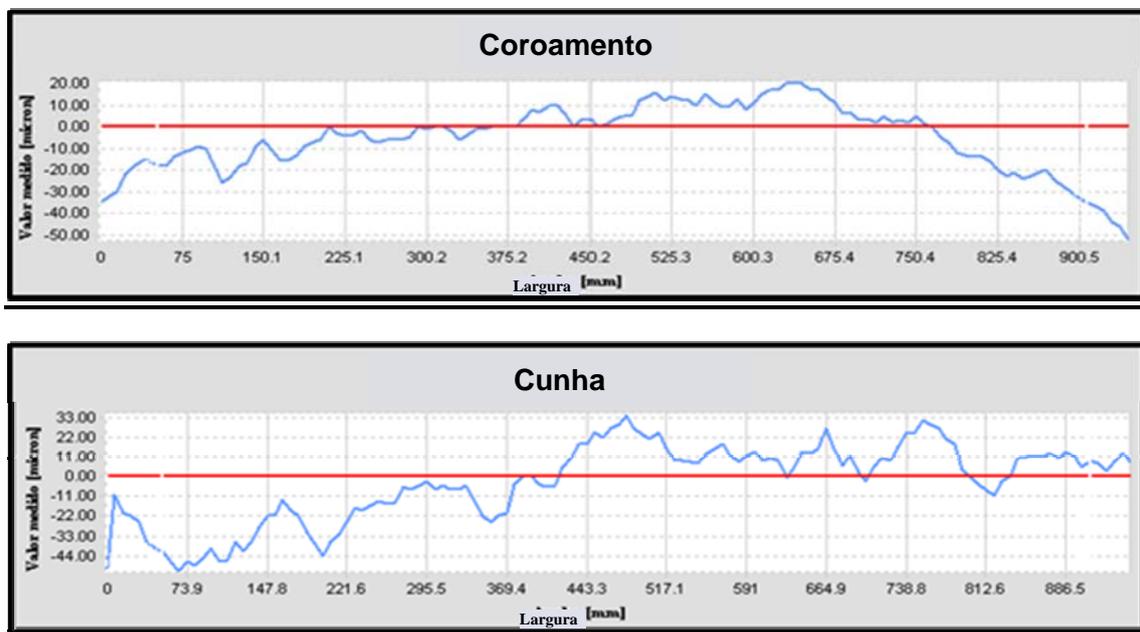


Figura 10. Exemplos de verificação da ocorrência de coroamento e cunha nas tiras produzidas. ⁽⁵⁾

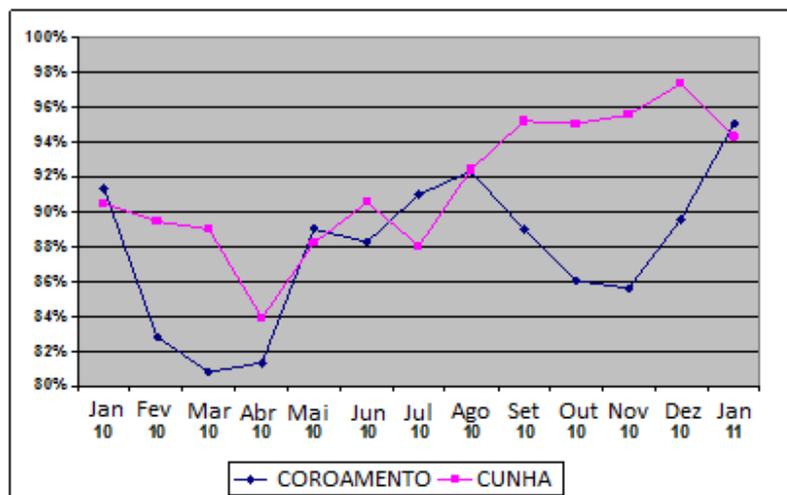


Figura 11. Porcentagem mensal dentro das especificações de coroamento e cunha.

Quase sempre os valores de coroamento fora das tolerâncias estão muito acima dos valores de cunha. Tais desvios, acima de 10%, afetam significativamente a

planicidade no processo posterior de re-laminação a frio, aumentando assim os custos de processamento e do próprio produto.

O controle rigoroso do coroamento e da cunha da tira, feito de maneira automática via AGC, certamente levará a uma maior qualidade do produto, com menor incidência de outros defeitos, já que podem existir correlações entre defeito.

4.4 Cambagem

Foram realizadas análises de todas as bobinas de uma mesma corrida, para sete dimensões diferentes de largura e espessura, realizando-se os cálculos das variáveis do desvio lateral da média, desvio padrão, máximo e mínimo. As espessuras variaram de 2 mm a 3,7 mm, as larguras de 1.026 mm a 1.523 mm e, para cada corrida, foram analisadas de 16 a 54 bobinas.

Os resultados de desvios de cambagem mostraram-se bastante similares entre si, praticamente não apresentando variações com a espessura e com a largura das tiras analisadas. O exemplo mostrado na Figura 12 refere-se a uma das amostras analisadas, com as dimensões de 2 mm de espessura, 1.026 mm de largura, referentes à corrida 1249 de 14/11/2010. As demais amostras apresentaram resultados bastante similares.

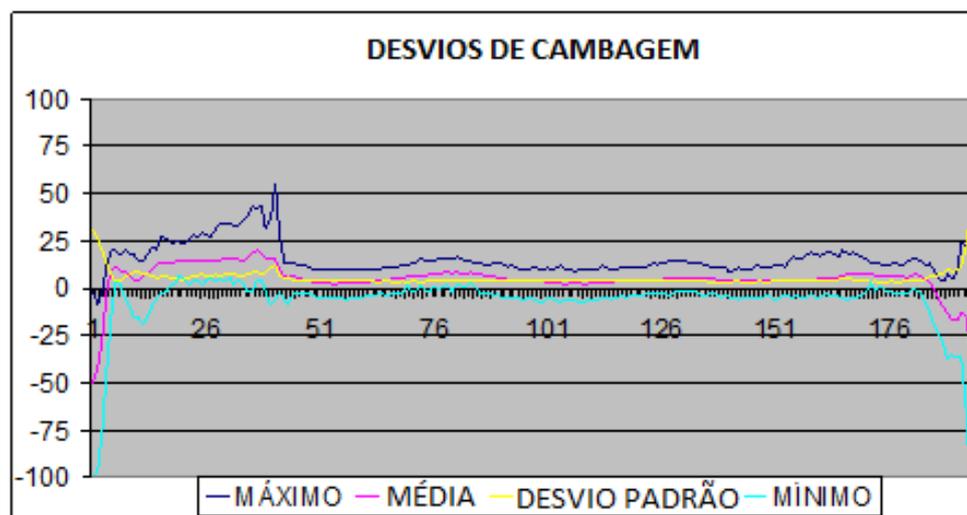


Figura 12. Cálculo do desvio lateral do máximo, média, desvio padrão e mínimo.

Com as análises, pôde-se concluir que as tiras laminadas a quente são retílineas em praticamente todo o corpo, mas o atributo cambagem está presente, normalmente, na ponta e na cauda das tiras.

4.5 Temperatura Final de Laminação e Temperatura de Bobinamento

A Figura 13 apresenta, num gráfico, a porcentagem das bobinas produzidas mensalmente que estão dentro dos limites especificados como máximo e mínimo para a Temperatura Final de Laminação (TFL) e a Temperatura de Bobinamento (TB). Observa-se que a temperatura de bobinamento está sujeita a variações de maior extensão do que a temperatura final de laminação.

De acordo com os resultados encontrados nas análises, conclui-se que para a TB existe uma grande variação e também a porcentagem que está fora das tolerâncias é alta, especialmente se comparada com a TFL que apresenta valores mais

constantes em uma porcentagem maior. Embora já se suspeite de que a origem dessa diferença de comportamento provavelmente esteja no sistema de resfriamento da tira, na mesa de saída, deve-se fazer um estudo futuro, mais aprofundado, sobre as causas principais destes desvios.

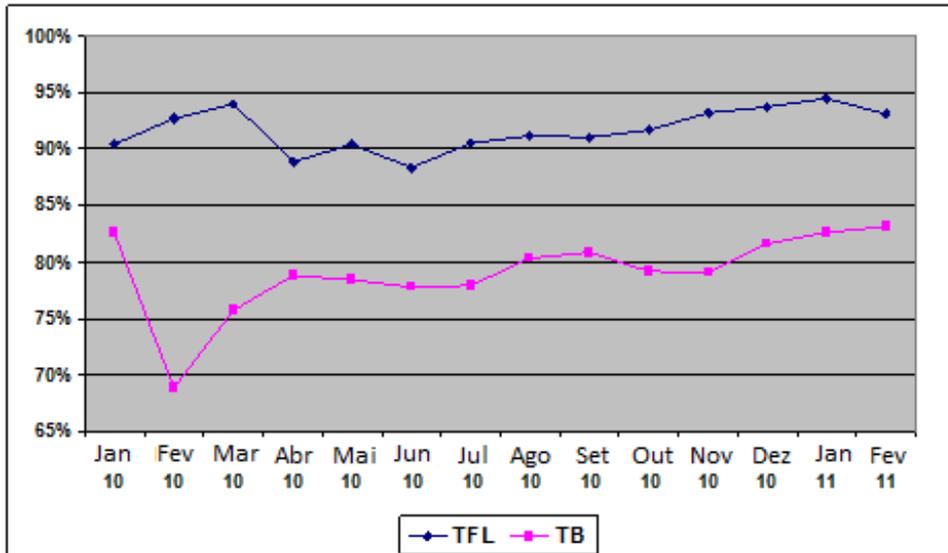


Figura 13. Porcentagem mensal dos resultados de Temperatura Final de Laminação e Temperatura de Bobinamento dentro das especificações.

4.6 Resistência, Alongamento e Ocorrência de patamar de escoamento

No que diz respeito aos atributos Resistência, Alongamento e Ocorrência de Patamar de Escoamento, determinados mediante a realização de ensaios mecânicos, a Figura 14 mostra as porcentagens de resultados mensais dos três ensaios, feitos em tiras de distintas espessuras e larguras, que estão dentro dos limites de máximo e mínimo.

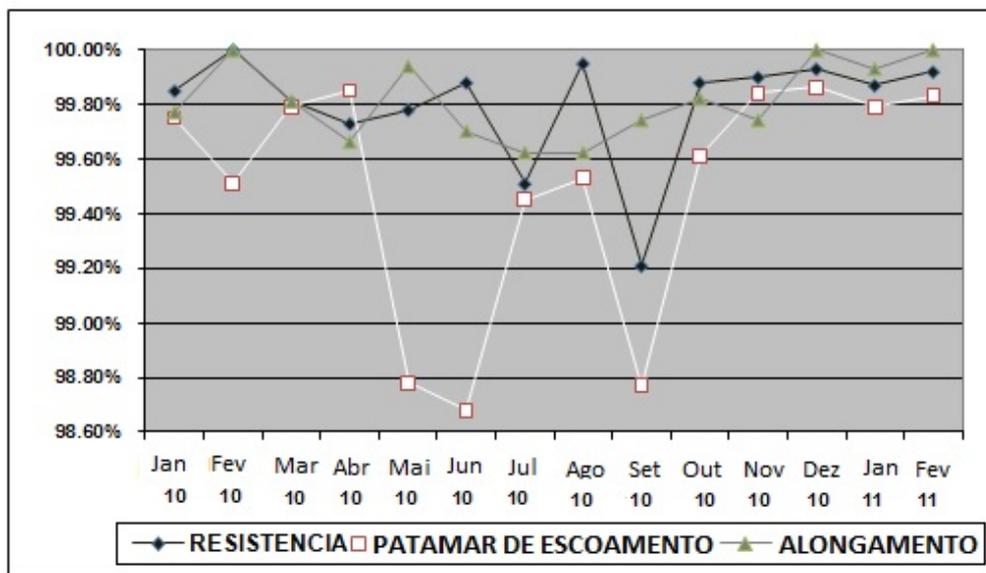


Figura 14. Porcentagem mensal que estão dentro dos limites superior e inferior de resistência, ocorrência de patamar de escoamento e alongamento.

Os três ensaios realizados estão com uma porcentagem muito elevada dentro das tolerâncias, nenhuma menor do que 98%. Somente a ocorrência de patamar de escoamento apresentou uma dispersão maior durante o ano, sugerindo aprofundar estudos futuros, no sentido de prevenir desvios.

5 CONCLUSÕES

Os resultados apurados neste trabalho serviram como sugestão para a empresa, que já está implantando algumas das modificações pertinentes. Nos casos de maior complexidade, como cambagem, temperaturas de acabamento e propriedades mecânicas, serão necessárias correlações com fatores causadores de defeitos, para que se possam corrigir os problemas nas suas raízes, de modo a eliminar as causas e evitar o aparecimento dos respectivos defeitos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Ternium Siderar, unidade de San Nicolás, Argentina, na pessoa do seu Gerente Geral da Laminação, Sr. Jorge Von Bergen, pela disponibilização de suas instalações e equipamentos e pela concessão e tutoria do estágio ao Graduando Mateus Ladeira, encarregado da coleta de dados que deu origem a esta contribuição. Agradecem, também, ao Departamento de Pesquisa e Educação Continuada da Fundação Gorceix, Ouro Preto, MG, Brasil, por possibilitar a efetiva orientação do Graduando, realizada pelos demais autores deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 CAMPOS, V. F., Controle Total de Qualidade, 1992.
- 2 IACIA, J. C., Importância da qualidade na gestão de produtos e serviços para alcance da efetividade e satisfação do consumidor, 2006, disponível em <http://www.administradores.com.br/informe-se/artigos/a-importancia-da-qualidade-na-gestao-de-produtos-e-servicos-para-alcance-da-efetividade-e-satisfacao-do-consumidor/12569/>, consultado em fev./2011.
- 3 TERNIUM SIDERAR, Manuais do Departamento de Laminação a Quente, 2005.
- 4 DOMINGUES, R. P., Notas de aula, MET146 Transformação Mecânica dos Metais, UFOP, 2010.
- 5 TERNIUM SIDERAR, Controle Integral de Processos e Produtos, 2011.
- 6 TERNIUM SIDERAR, Manual de Defeitos da Laminação a Quente, 2004.