

TIRAS DE AÇO CARBONO NÃO LIGADOS E DE BAIXA LIGA PRODUZIDAS EM LINHAS CONTÍNUAS DE TÊMPERA E REVENIMENTO¹

*Antenor Ferreira Filho²
Norbert Asamer³*

Resumo

A contínua busca na melhoria da qualidade e a diminuição de custos, tem levado ao desenvolvimento e aprimoramento dos equipamentos e dos aços destinados a produção de tiras temperadas e revenidas em processos contínuos. Os aços de médio e alto carbono bem como os de baixa liga devido as suas características e seu baixo custo é a principal matéria prima utilizada para estas aplicações. Instalações modernas de têmpera e revenimento em processo contínuo fazem uso de um eficiente método resfriamento em banhos metálicos e um preciso controle de temperatura nos fornos de austenitização e revenimento, e desta forma são capazes de atender aos requisitos mais rigorosos em relação a planicidade, retilineidade (flexamento), microestrutura uniforme, propriedades mecânicas homogêneas, com o melhor acabamento superficial possível, e com redução de custos de produção. O trabalho tem como objetivo principal apresentar o processo de beneficiamento contínuo de tiras e de que forma são determinadas as características finais do produto, para que as mesmas possam atender além das especificações técnicas, às características tecnológicas gerais e os aspectos econômicos e ambientais exigidos. Para um melhor entendimento do processo, serão apresentados exemplos práticos de aplicações. No Brasil a produção de tiras de aço, de qualidade internacional, por processo de beneficiamento contínuo só foi possível de ser alcançada devido a estreita parceria entre o fornecedor do equipamento a empresa Ebner e o produtor da tira a empresa Brasmetal Waelzholz. Pode-se afirmar, que estes produtos apresentam hoje desempenho comparável aos de melhor qualidade disponíveis no mercado internacional, indicando uma ampla perspectiva de ampliação da participação no mercado nacional e internacional.

Palavras-chave: Tempera e revenimento; Fitas de aço; Aços ao carbono .

¹ *Contribuição Técnica ao 42º Seminário de Laminação Processos e Produtos Laminados e Revestidos; 25 a28 de Outubro de 2005, Santos, SP, Brasil.*

² *Engenheiro Metalurgista e de Produção, MSc.,Diretor Industrial da Brasmetal Waelzholz S/A Ind. e Com. - afilho@brasmetal.com.br*

³ *Engenheiro, Gerente de Vendas & Projetos da Ebner Industrieofenbau an@ebner.cc*

1 INTRODUÇÃO

O uso de tiras temperadas e revenidas oferece a possibilidades de reduzir o número de operações e facilitar a logística nas indústrias que processam estes materiais. Na maioria dos casos o produto após operações de corte ou leve estampagem já se encontra em sua forma acabada permitindo, adicionalmente, às empresas que não dispõem de tecnologia própria de tratamento térmico atuar como fornecedores de itens acabados. No entanto, as propriedades mecânicas destes materiais na condição de fornecimento exigem, o desenvolvimento de técnicas especiais para seu uso. A têmpera é um dos tratamentos térmicos mais importantes, por intermédio dela se obtém estruturas e propriedades que permitem o emprego do aço em peças de maior responsabilidade e em aplicações mais críticas como as que se encontram na indústria automobilística, mecânica e em outros seguimentos importantes.⁽¹⁾ O processo consiste na austenitização do material seguido de um resfriamento rápido em meio a grande capacidade de extração de calor. O resfriamento rápido da austenita até a temperatura ambiente conduz freqüentemente à formação de martensita, uma estrutura muito dura, na qual o carbono inicialmente em solução sólida na austenita, permanece em solução na nova fase. Ao contrário da ferrita e da perlita, a formação da martensita ocorre por um processo de distorção da rede cristalina da austenita, o qual não é normalmente acompanhado por difusão atômica.⁽²⁾ A formação de martensita é caracterizada por uma transformação por distorção, sem difusão, de natureza cristalográfica que origina uma característica microestrutura em ripas, muitas vezes designada por lenticular. A transformação martensítica nos aços é o exemplo mais bem conhecido de um grande grupo de transformações em ligas, com a característica comum de ocorrerem por distorção, sem alteração da composição química. Ela ocorre, por regra, atêrmicamente, ou seja, num intervalo de temperatura durante o resfriamento, podendo definir-se com precisão esse intervalo para um dado aço. A reação começa à temperatura de início da martensita (M_s) e pode se encerrar em temperaturas inferiores à ambiente, conforme a composição química do aço. Uma vez atingida a temperatura M_s , a transformação prossegue durante o resfriamento até que cessa a uma temperatura designada por final de transformação (M_f). A esta temperatura toda a austenita deveria estar transformada em martensita, mas na prática acontece freqüentemente que uma pequena parcela de austenita não se transforma (austenita retida ou residual). A velocidade de resfriamento tem de ser suficientemente alta para suprimir as reações de alta temperatura, governadas por difusão, ou seja, as reações que conduzem a formação de ferrita e perlita, bem como outras reações intermédias, como a de formação da bainita. A velocidade de resfriamento requerida depende muito da composição química do aço, principalmente dos elementos de liga presentes, sendo em geral, tanto mais baixa quanto maior for a concentração total desses elementos. Durante o beneficiamento contínuo de tiras de aço carbono não ligados ou de baixo teor de liga em um banho metálico fundido, são possíveis de se obter gradientes de resfriamento de até $600^\circ\text{K}/\text{seg}$.⁽³⁾ Esta moderna tecnologia de resfriamento é subdividida em duas etapas, e apresenta substanciais vantagens em relação ao resfriamento tradicional em óleo. Este tipo de resfriamento permite a obtenção de transformações isotérmicas em bainita e perlita, quando desejadas para fins

específicos, podendo tais linhas de beneficiamento ser amplamente empregadas em diversos produtos.

As tiras de aço quando produzidas por processo de beneficiamento contínuo, passam inicialmente por um processo de laminação a frio, que tem como finalidades básicas:

- Melhorar o condicionamento de superfície através da redução a frio.
- Produzir tolerâncias dimensionais apuradas, definindo a espessura final da tira, uma vez que após o beneficiamento a mesma não sofrerá modificações na espessura.
- Adequar a microestrutura antes da têmpera, tornando-a mais homogênea.

2 PRODUÇÃO DE TIRAS DE AÇO LAMINADAS A FRIO

As características dos aços laminados a frio são definidas através de sua composição química, condições de laminação a quente e a frio.

A Figura 1, apresenta o fluxo esquemático do processamento destes aços desde o recebimento das bobinas laminadas a quente até a obtenção da tira laminada a frio.⁽⁴⁾ No percurso padrão de produção são percorridas as etapas de:

- ❑ Decapagem
- ❑ Corte inicial
- ❑ Laminação de desbaste
- ❑ Recozimento
- ❑ Laminação de acabamento
- ❑ Recorte

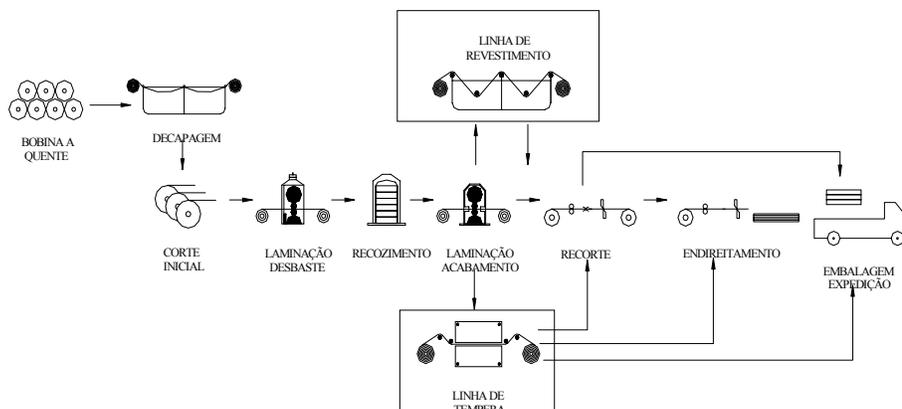


Figura 1. Fluxo do processo de laminação / relaminação a frio.⁽⁴⁾

3 BENEFICIAMENTO CONTÍNUO DE TIRAS

O emprego de tiras de aço por este processo é mais econômico que o processo convencional de beneficiamento de peças, pois além de reduzir etapas de processo preserva a estabilidade dimensional do produto. No entanto, devido aos elevados valores de propriedades mecânicas do material (tira), o desenvolvimento de técnicas especiais para sua produção deve ser considerado.

Um controle apurado de temperatura e atmosfera em cada etapa do processo permite a obtenção de baixa dispersão de propriedades tornando o produto homogêneo quanto às características de resistência, estabilidade dimensional e acabamento superficial.

3.1 Linha de Beneficiamento Contínuo

A instalação é composta basicamente de:

- Desbobinadeira
- Máquina de solda
- Forno de austenitização
- Resfriamento em banho metálico
- Resfriamento a ar
- Forno de endireitamento
- Forno de revenimento
- Resfriamento forçado (jet-cooler)
- Rolos de tração
- Bobinadeiras

A Figura 2 mostra a estrutura esquemática de uma linha completa de beneficiamento contínuo.

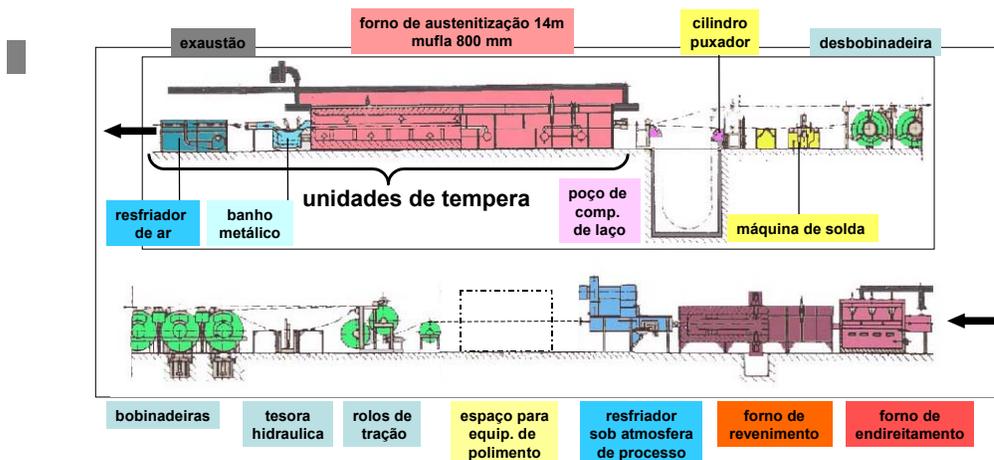


Figura 2. Representação esquemática de uma linha completa de beneficiamento contínuo de tiras.⁽³⁾

As tiras partem inicialmente da(s) desbobinadeira(s), passam por uma máquina de solda, para tornar o processo contínuo, e por um poço de acumulação (looping) antes de entrarem no forno de austenitização.

O forno de austenitização é revestido com refratários e no seu interior contém uma mufla, pela qual será conduzido o material. Para se obter a melhor estrutura possível com elevada uniformidade, a mufla é aquecida por queimadores de alta eficiência em diversas zonas, de forma que sejam atingidas temperaturas de austenitização com a mínima variação no seu interior (por exemplo: $950 \pm 5^\circ\text{C}$). As tiras deslizam dentro da mufla através de segmentos de apoio, placas de grafite, sob uma atmosfera protetora. Resíduos do óleo de laminação são queimados e eliminados pelo gás de proteção. No final da mufla a tira é desviada e imersa em um banho de resfriamento metálico através de régua de inversão e separadores revestidos por mantas especiais de fibras cerâmicas. O banho metálico é igualmente protegido pela atmosfera de proteção, e permite a obtenção de uma tira com superfície brilhante, isenta de riscos, e sem resíduos do banho metálico. Na Figura 3 pode ser visto uma foto da seção de entrada e do forno de austenitização de uma linha contínua.



Figura 3. Foto da seção de entrada e de forno de austenitização.⁽³⁾

Por se tratar de um processo contínuo, o tempo de exposição da fita à temperatura de austenitização é curto, e varia em média de 1 a 10 min., sendo função direta da espessura da tira. Portanto nesta etapa do processo, deve-se considerar:

- Homogeneização da temperatura da tira: Como regra prática adota-se que aproximadamente $2/3$ do forno são utilizados para o aquecimento e o restante para homogeneização. Cálculos teóricos levam a pequenos tempos para que esta etapa se conclua.
- Transformação de ferrita em austenita: Curtíssimos tempos são necessários para que se ocorra à transformação (ferro puro) de ferrita para austenita. Considerando que os aços a serem tratados não são puros este tempo deve ser acrescido, porém podemos considerá-lo como sendo plenamente atingível, não sendo motivo de preocupações.

- Dissolução de carbonetos (homogeneização de austenita): Certamente é a fase mais crítica dentro da etapa de austenitização (limitante). Portanto, cuidados devem ser tomados para que o aço quando resfriado, esteja com a totalidade de carbono dissolvido na austenita, caso contrário o aço poderá não atingir os valores de propriedades mecânicas e microestrutura desejada. Em casos especiais, pode-se trabalhar com dissolução parcial de carboneto.

Após a austenitização segue a etapa de resfriamento, onde ocorre a transformação martensítica. Instalações convencionais, mais antigas, de beneficiamento contínuo de tiras operam com óleo como meio de resfriamento, já as instalações mais modernas trabalham com resfriamento em duas etapas, ou seja, resfriamento em banho metálico seguido de resfriamento por jatos de ar.

O uso de meios de resfriamento a óleo promove um rápido resfriamento em uma única etapa, com conseqüente contração da tira, acompanhado de uma expansão de estrutura devido a transformação martensítica (temperaturas abaixo de M_s). A elevada severidade do meio de resfriamento causa na tira um estado de tensões internas extremamente alto, e causa distorções na tira difíceis de serem totalmente removidas em etapas subseqüentes. A Figura 4 representa o diagrama Tempo-temperatura-transformação (TTT) de um aço SAE 1075.⁽⁵⁾ A curva de resfriamento (I) é típica de instalações onde o meio de resfriamento é o óleo.

O objetivo principal no desenvolvimento de linhas contínuas mais modernas de beneficiamento de tiras foi o de se conseguir um resfriamento rápido da tira até temperaturas próximas a de transformação (M_s), e a partir daí, prosseguir o processo com uma velocidade de resfriamento mais lenta. Esta seqüência de processo pode ser vista esquematicamente através da curva de resfriamento (II) apresentada na mesma figura. Um material resfriado nesta condição apresentará tensões internas baixas, e conseqüentemente distorções baixas, passíveis de serem eliminadas em etapas posteriores obtendo-se assim um produto de excelente planicidade.

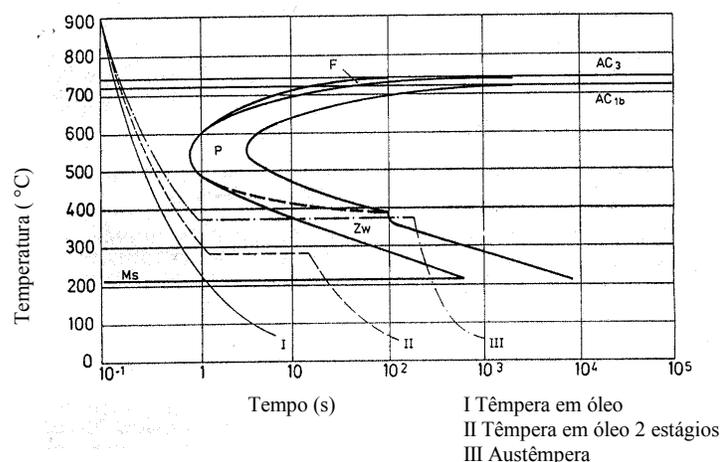


Figura 4. Diagrama T.T.T. de um aço SAE 1075.⁽⁵⁾

Pode-se definir como a seção de maior importância em uma linha contínua de beneficiamento de tiras de aço a zona de resfriamento. Pois a energia (calor)

contida nas tiras deve ser extraída num curtíssimo período de tempo, 1 a 2 segundos (passando de uma temperatura de aproximadamente 950°C para aproximadamente 270°C, ou seja, até 150 kWh/h em um percurso de 50 mm a 100 mm) pelo banho metálico fundido.⁽³⁾ Esta energia deve ser retirada simultaneamente banho metálico através do equipamento de resfriamento, por meio de trocadores de calor (resfriadores) com superfícies especialmente configuradas, as quais são resfriadas por ar ou por água. Para que isso seja possível um complexo sistema de regulagem tem a função de regular o nível de resfriamento em função do calor introduzido no banho de metal fundido. As Figuras 5 e 6 apresentam, as seções de resfriamento descritas.



Figura 5. Foto do tanque de resfriamento metálico.⁽³⁾



Figura 6. Foto das seções de resfriamento metálico e resfriamento com jatos de ar.⁽³⁾

Na seqüência ao processo de resfriamento encontra-se o forno de endireitamento, composto de placas planas e aquecidas, capazes de transmitir à fita temperatura e pressão, visando a correção da forma da tira resfriada a fim de obter uma elevada planicidade. Como função secundária o forno de endireitamento promove um início de revenimento na tira (vide Figura 7).



Figura 7. Foto forno de placas de endireitamento.⁽³⁾

Sabe-se que a martensita é uma fase muito resistente, e de natureza muito frágil, portanto faz-se necessário que após o endireitamento se tenha uma etapa de revenimento que tem por finalidade modificar as propriedades mecânicas dos aços temperados, conferindo a eles melhores propriedades de tenacidade.

Nos processos contínuos, é nesta fase que se determina a resistência mecânica final do produto, por meio da temperatura de revenimento, uma vez que o tempo de exposição já foi definido pela velocidade da linha, que por sua vez é função do tempo necessário para austenitização. O forno de revenimento deve ser equipado com um potente motor para promover a circulação (convecção) do gás protetor, além de um sistema de aquecimento elétrico de alta sensibilidade, para que as variações de resistência mecânica sejam extremamente baixas no produto acabado. A Figura 8 apresenta a foto de um forno de endireitamento e revenimento.



Figura 8. Foto de forno de endireitamento e de revenimento (3).

O uso de gás de proteção durante as etapas de endireitamento e revenimento faz com que a superfície da tira apresente um acabamento brilhante. No caso de se introduzir oxigênio ao gás de proteção, pode-se obter uma coloração azul na superfície (Natural de têmpera). Na seqüência ao revenimento tem-se o sistema de resfriamento acelerado (jet-cooler).

Como resultado final do processo obtém-se tiras completamente planas e com excelente acabamento de superfície (vide Figura 9).



Figura 9. Foto das tiras temperadas e revenidas. ⁽³⁾

A seção de saída da linha é composta de rolos tracionadores, guilhotina e bobinadeiras.

3.2 Características do Processo e do Produto

Os dados característicos e as vantagens das linhas de beneficiamento contínuo podem ser resumidos da seguinte maneira:

- Campo de aplicação
 - Qualidades de aço com 0,4 até 1,2% de C, com baixo e elevado teor de liga.
 - Fitas de 10 até 700 mm de largura e 0,05 até 4 mm de espessura.
- Elevada qualidade da fita
 - Desvio da planicidade: $< 1 \mu/\text{mm}$ de largura da fita
 - Uniformidade na resistência mecânica: exemplo: $LR = 1.500 \pm 25 \text{ N/mm}^2$
 - Aspecto da superfície: brilhante (ou azul), livre de defeitos superficiais
- Constante aperfeiçoamento
 - Visando maior rendimento e melhor qualidade.
- Baixos custos
 - Baixos custos de investimento quando comparados com a capacidade de processamento (até 1.700 kg/h).

- Elevada flexibilidade devido a rápida modificação de parâmetros do equipamento.Ex: temperatura de revenimento.
- Baixos consumos: somente 60% dos consumos tradicionais de gás de aquecimento.
- Reduzido números de operadores.
- Alto rendimento de processo.

4 APLICAÇÕES

Muitas são as aplicações tecnológicas de fitas temperadas continuamente. A seguir selecionamos alguns grupos de maior aplicação.

- *Molas:* Este grupo exige que a tira apresente elevado desempenho quanto a propriedades de fadiga. Portanto, defeitos superficiais ou inclusões devem ser evitados. Deve-se também objetivar uma baixa rugosidade e uma microestrutura homogênea. Aqui o acabamento de borda da tira (quando utilizada na largura final) é de extrema importância, pois pequenas fissuras ou imperfeições podem ser fontes de propagação de trincas.



Figura 11. Molas em geral, em destaque molas para segmentos de embreagem. ⁽⁴⁾

- *Serras e serrotes:* Para este grupo de aplicações a tira deverá conjugar elevada resistência ao desgaste com alta tenacidade. As características de planicidade, retilinidade (flexamento), e acabamento de superfície são de extrema importância.



Figura 12. Serras planas, circulares e serrotes. ⁽⁶⁾

- *Ferragens:* Neste grupo, importância deve ser dada ao acabamento de superfície e principalmente na planicidade da tira.

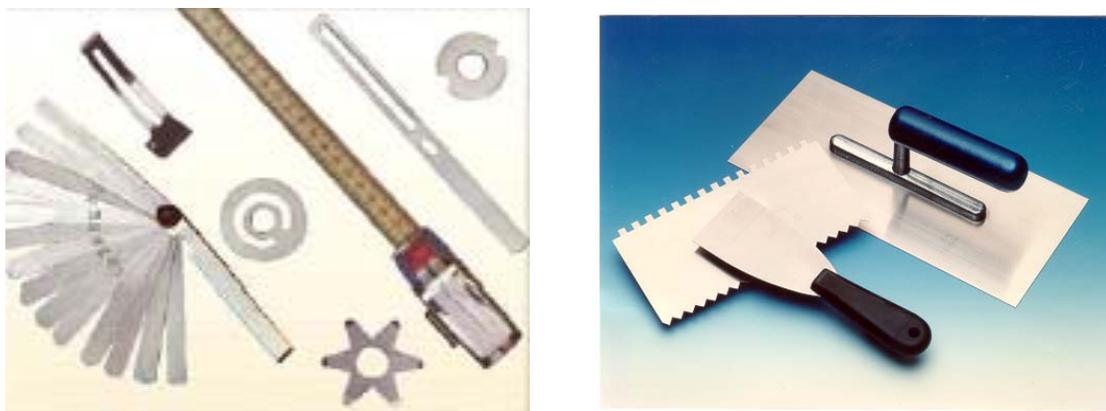


Figura 13. Ferragens em geral. ⁽⁶⁾

5 CONCLUSÃO

Devido a estreita parceria entre as empresas Brasmatal Waelzholz e Ebner, se tornou possível a produção de tiras de aço por processo de beneficiamento contínuo com qualidade comparável aos melhores produtos de nível internacional. A Brasmatal Waelzholz seguindo os mesmos passos de sua coligada na Alemanha à CDW, conta com a mais moderna tecnologia na produção de tiras de aço relaminadas a frio e beneficiadas por processos contínuos. Seus fornos são de tecnologia Ebner, que proporcionam altíssima qualidade em seus produtos.

Recentemente a Brasmetal Waelzholz investiu aproximadamente US\$ 1,0 milhão na modernização de sua linha de têmpera. Esta modernização envolveu a compra de uma nova unidade de resfriamento de banho metálico e um novo forno de revenimento (com convecção), além da troca de todo acionamento elétrico e reforma do forno de placas e desbobinadeiras. Investimentos em equipamentos periféricos como lixadeira/politriz e laminador para tratamento de cantos/bordas também foram contemplados.

Uma segunda linha Ebner está prevista para entrada em operação no segundo semestre do ano corrente. O novo forno a ser instalado será capaz de produzir tiras de até 4,0 mm de espessura e 650 mm de largura, e será o forno de maior capacidade dimensional instalado no país. Nesta nova linha serão incorporadas todas as tecnologias que foram descritas no trabalho, de forma a proporcionar produtos de excelente qualidade no que diz respeito a garantias de planicidade, retilineidade (flexamento), homogeneidade de propriedades mecânicas e acabamentos de superfície. Esta nova linha permite ainda a obtenção de transformações isotérmicas em bainita indicando uma ampla perspectiva no desenvolvimento de novos produtos e a ampliação da participação da empresa no mercado nacional e internacional.

REFERÊNCIAS

- 1 FERREIRA, A.F.; Processo contínuo de tempera - Apostila curso interno Brasmetal Waelzholz, 1996.
- 2 HONEYCOMB, H.W.K.; Aços microestrutura e propriedades, 1981
- 3 LOCHNER, H. Harterei Techn. Mitteilungen, 2004.
- 4 FERREIRA, A.F.; Produção de tiras de aço para molas, laminadas a frio e com beneficiamento contínuo. Seminário de laminação, ABM, Florianópolis-SC, 2000.
- 5 TONI, H.J.; Production of cold rolled and heat treated steel strip; Wire, 1992.
- 6 Catálogo de produtos – C.D.Waelzholz.

CARBON STEEL STRIPS NON ALLOYED AND LOW ALLOYED PRODUCED IN HARDENING AND TEMPERING CONTINUOUS LINES¹

*Antenor Ferreira Filho*²
*Norbert Asamer*³

Abstract

The continuous search for quality improvement and costs reduction, have pushed for developments and improvements from equipments and steels used in the production of steel strips in continuous process. Medium and high carbon and low-alloyed steels due to its characteristics and low costs is the main raw material used to this end. Modern plants of hardening and tempering in continuous line make use of an efficient cooling method in metallic bath and precise control of temperature in the hardening and tempering furnace, and thus are able to answer very close requirements related to flatness, camber, homogeneous microstructure and mechanical properties with the best as possible surface finish, and with low production costs. This paper has as main objective present the process of continuous benefaction of steel strips and how the final product characteristics are determined, for answering technical requirements, economic and environmental aspects. For a better understanding of the process, some final applications are presented. In Brazil the production of steel strips, according international standards, by the continuous benefaction was only possible due to a very close partnership between the equipment supplier, Ebner and steel producer Brasmetal Waelzholz. It can be affirmed that this products present nowadays similar performance comparing to international standards, highlighting one large perspective of work on national and international market.

Key words: Hardening and tempering; Strip steel; Carbon steel.

¹ *Paper presented at 42th Rolling Processes, Rolled and Coated Products Seminar of ABM; Santos, SP, October 25 to 26, 2005.*

² *Member of ABM; Engineer Metallurgy and Production, MSc.; Industrial Director of Brasmetal Waelzholz S.A: Industry.*

³ *Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH), Manager Sales & Projects at EBNER Industrieofenbau.*