

DESENVOLVIMENTO DE AÇO BAIXO CARBONO PARA A APLICAÇÃO EM FITAS DE EMBALAGEM¹

*Leandro Neves Mendes Teixeira²
Willy Ank de Moraes³
Ricardo Augusto Carvalho Silva⁴
Sergio Luiz Serra⁵
Luiz Carlos Vieira Junio⁶
Fabricio da Silva Lucas⁷*

Resumo

Neste trabalho foi avaliado o comportamento das propriedades mecânicas e microestruturais de um aço baixo carbono modificado e tratado termicamente por um processo de austêmpera para obtenção de uma estrutura bainítica. Este produto final destinado para a aplicação em fitas de embalagem da classe FE-3 da norma ABNT EB-364 ou NBR 6653.

Palavras-chave: Propriedades mecânicas; Fitas de embalagem; Austêmpera; Aços.

LOW CARBON STEEL'S DEVELOPMENT TO PACKAGE BANDS APPLICATION

Abstract

This study evaluated the mechanical properties and microstructure of a low carbon modified steel and heat treated by an austempering process for obtaining a bainitic structure. This final product intended for use in packing tape from the FE-3 class of standard ABNT EB-364 or NBR 6653.

Keywords: Mechanical properties; Packaging tapes; Austempering; Steels.

¹ Contribuição técnica ao 47º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 26 a 29 de outubro de 2010, Belo Horizonte, MG.

² Mestrando, Eng^o Metalurgista, Engenheiro de Produto da Usiminas – Usina de Cubatão. E-mail: leandro.teixeira@usiminas.com

³ Doutorando, MSc., Eng^o Metalurgista, Téc. em Metalurgia, Engenheiro de Produto Sênior da Usiminas – Usina de Cubatão, Prof. da Faculdade de Eng^a da Unisanta e Diretor da divisão técnica “Aplicações de Materiais” da ABM. E-mails: willyank@unisanta.br; willy.morais@usiminas.com.

⁴ MBA, Eng^o Metalurgista, Engenheiro de Produto Sênior da Usiminas - Usina de Cubatão. E-mail: ricardo.silva@usiminas.com.

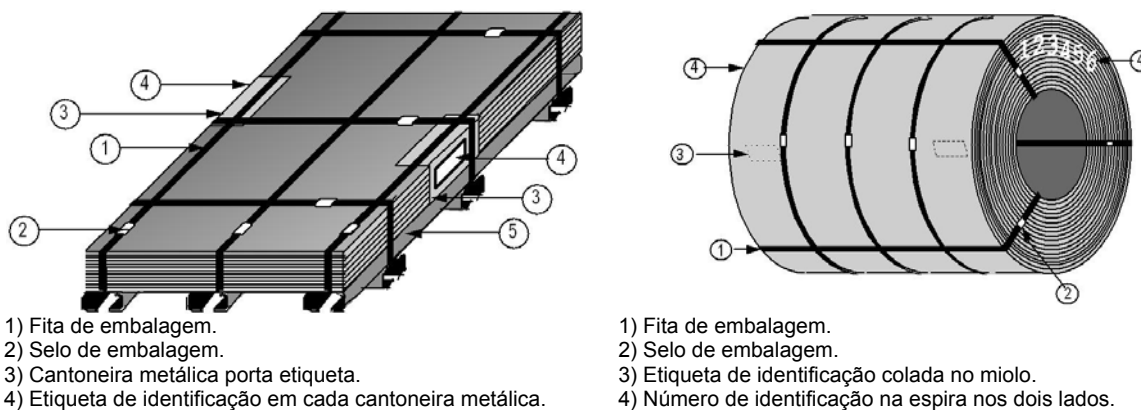
⁵ Engenheiro de Produção Pleno da Usiminas - Usina de Cubatão. E-mail: luiz.vieira@usiminas.com.

⁶ Engenheiro de Produção da Usiminas - Usina de Cubatão. E-mail: sergio.serra@usiminas.com.

⁷ Técnico de Sobressalentes da Usiminas - Usina de Cubatão.

1 INTRODUÇÃO

Embalagens para produtos siderúrgicos planos devem apresentar a qualidade necessária para acondicionar produtos cujo peso pode chegar a algumas poucas dezenas de toneladas, como é o caso dos produtos oriundos dos novos laminadores a quente, como será o caso da Usiminas - Usina de Cubatão. Na Figura 1 ilustram-se dois tipos de embalagem para produtos siderúrgicos planos laminados a quente: 1.a chapas e 1.b bobinas.



- 1) Fita de embalagem.
- 2) Selo de embalagem.
- 3) Cantoneira metálica porta etiqueta.
- 4) Etiqueta de identificação em cada cantoneira metálica.
- 5) Estrado metálico.

- 1) Fita de embalagem.
- 2) Selo de embalagem.
- 3) Etiqueta de identificação colada no miolo.
- 4) Número de identificação na espira nos dois lados.

Figura 1 – Exemplos de tipos de embalagem para produtos laminados planos de aço em conformidade com a norma Mercosul NM 73.⁽¹⁾

Nestas embalagens destaca-se o extensivo uso de fitas de embalagem (identificada na Figura 1 pelo número 1) que devem apresentar, obviamente, o mais baixo peso (espessura) possível, grande resistência mecânica para suportar o peso destes produtos e certa ductilidade para envolver convenientemente os produtos a serem embalados sem se romperem. Apesar da possível utilização de outros materiais, tais como o poliéster,⁽²⁾ para fazer fitas de embalagem ainda são muito utilizados os metais, particularmente os aços.

A utilização dos aços se deve à sua grande versatilidade, pois é possível, com uma mesma composição química básica, obter-se um largo espectro de propriedades. Estas são função da microestrutura do material, ou seja, da quantidade relativa e da forma de disposição das várias fases presentes na liga. Nas fitas de embalagem, as principais propriedades que estes materiais devem possuir são: ductilidade, resistência mecânica e baixo custo.

Existem dois processos básicos para a produção de fitas de embalagem de aço: (a) realização de um tratamento térmico brando em um aço encruado por laminação a frio e (b) utilização de um tratamento térmico de austêmpera. Ambos os processos permitem obter fitas de embalagem com grandes valores de resistência mecânica, porém, existem algumas particularidades nestes dois processos.

No processo de tratamento térmico para ajuste de um aço encruado por laminação a frio, o aço tem seu encruamento diminuído por um recozimento brando em temperaturas da ordem de 450°C. Esse tratamento não é feito com o objetivo de recristalizar o material, mas sim de recuperar parcialmente sua ductilidade. Este processo apresenta algumas características que o tornam mais econômico:

- ciclo mais curto de produção;
- não necessitar de temperaturas elevadas (necessárias para austenitização, como no outro processo); e
- não envolver banhos químicos (com sais fundidos ou chumbo líquido).

Entretanto, é limitada a capacidade de obter altos valores de resistência mecânica conjuntamente com uma boa ductilidade.

No processo de austêmpera, um aço com um valor de carbono equivalente mais elevado (da ordem de 0,50%C) é laminado a frio, austenitizado e posteriormente tratado por austêmpera. Este é um processo mais complexo, porque envolve temperaturas mais elevadas e um tratamento térmico que necessita de um meio líquido para manter a temperatura constante (austêmpera). Apesar da maior complexidade do tratamento, a estrutura bainítica oriunda deste tratamento oferece, em média, uma melhor combinação de propriedades de resistência e ductilidade.

Em ambos os casos, é possível obter e aperfeiçoar o tratamento de um aço para obter uma melhor combinação entre resistência mecânica e ductilidade. Porém, as etapas de produção deste aço, feito na siderúrgica, e seu tratamento térmico, feito no produtor de fitas de embalagem, apesar de serem complementares são etapas realizadas distintamente. O melhor tipo de aço pode até ser definido pela siderúrgica fornecedora, porém o melhor tipo de tratamento térmico aplicável a este aço deve ser analisado entre a siderúrgica e o produtor das fitas.

O efeito do tratamento realizado no produtor final das fitas de embalagem depende de vários parâmetros deste processamento, os quais já são conhecidos para os aços tipicamente utilizados. Porém, no desenvolvimento de um novo tipo de aço, no qual se deseja o máximo desempenho, deve-se buscar a melhor combinação destes parâmetros.

Este artigo descreve os resultados obtidos no processamento do aço via tratamento térmico de austêmpera. Foram empregadas diferentes combinações de temperatura e tempo para obter a combinação mais adequada de tratamento térmico de austêmpera as propriedades e microestrutura para que o aço desenvolvido atenda aos requisitos da aplicação.

Além disso, está sendo realizado um trabalho para averiguar o efeito de um tratamento térmico brando sobre as propriedades e microestrutura de uma nova proposta de aço para fitas de embalagem. Os resultados obtidos nos testes com amostras encruadas por laminação a frio e tratadas termicamente estão sendo utilizados como critério de comparação com os resultados dos mesmos testes de caracterização feitos em amostras industriais, processadas no produtor de fitas. Os parâmetros obtidos de ensaios mecânicos de tração (limite de escoamento, limite de resistência e alongamento) e análise microestrutural (metalografia) estão viabilizando a implementação desta outra rota de produção de fitas de alta resistência e ductilidade.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A maneira mais simples de se obter um metal de maior resistência mecânica é reduzindo a movimentação das suas discordâncias, principal fenômeno responsável pela deformação plástica dos metais. Assim, é natural que, com o aumento da resistência mecânica, ocorra uma diminuição da capacidade de deformação plástica (ductilidade) do metal ou de sua conformabilidade.⁽³⁾ Para ilustrar o efeito da deformação a frio sobre as propriedades mecânicas dos aços, a Figura 2 apresenta a comparação da resistência mecânica (obtida em tração pura) entre um material laminado a quente e a do mesmo material após 10% de redução em laminação a frio.

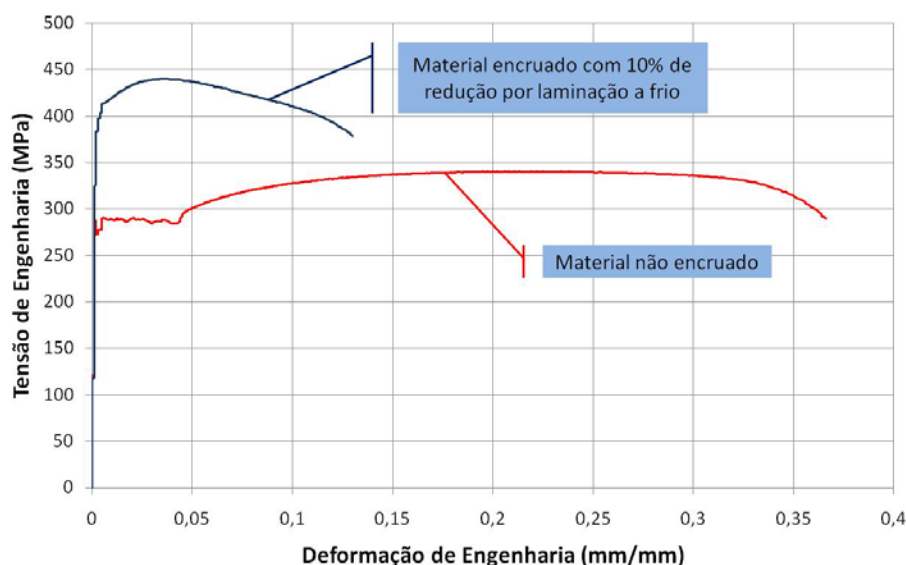


Figura 2 – Curvas tensão-deformação de engenharia obtidas em ensaios de tração para um aço comercial (classe SAE 1008 com espessura de 2,00 mm) não encruado e com apenas 10% de redução por laminação a frio (CP com $L_0=50$ mm).

Conforme observado pelas curvas tensão x deformação de engenharia da Figura 2, obtidas em ensaios de tração, o encruamento aumenta rapidamente a resistência mecânica e reduz mais rapidamente ainda os valores de alongamento do metal. A composição do aço e o processo de fabricação foram definidos justamente para facilitar a obtenção de um produto laminado a frio com a espessura final das fitas de embalagem a serem produzidas.

Como características relevantes desta categoria de aço, pode-se citar:

- Composição química conforme norma NBR 6650 CF30:⁽⁴⁾
 - Carbono: $\leq 0,30\%$ C
 - Fósforo: $\leq 0,040\%$ P
 - Silício: $\leq 0,040\%$ P
 - Enxofre: $< 0,010\%$
- Microestrutura
 - Perlita-ferrita (60%/40%) com bandeamento (antes de laminação a frio)
 - Tratamento de controle de morfologia de inclusões
- Condição de fornecimento
 - Bobinas de aço laminadas a frio com espessuras de 0,60 mm a 1,0 mm
 - Encruado sem recozimento pleno (conhecido como *Full-Hard*)

O tipo de aço estudado neste trabalho foi laminado a frio com 69% a 73% de redução na espessura; portanto, sofreu um grau de deformação e encruamento muito superior ao ilustrado na Figura 2. Portanto o processo de laminação a quente e as características mecânicas e microestruturais deste aço devem oferecer a ductilidade adequada para viabilizar este grau de redução na linha de laminação a frio.

Além de apresentar ductilidade suficiente para ser conformado, o aço também deve apresentar alta resistência mecânica e temperabilidade adequada para ter potencial de ser transformado em fitas de embalagem, preferencialmente pelas duas rotas (austêmpera e tratamento de material encruado). Entretanto, a temperabilidade está associada com o carbono equivalente conforme conhecido na literatura⁽⁵⁾ e em um trabalho anterior alguns dos autores já haviam confirmado as indicações de literatura⁽⁶⁾ que o carbono equivalente pode ser associado à resistência mecânica.⁽⁷⁾

Como a resistência mecânica é uma característica reconhecidamente antagônica com a ductilidade,⁽⁸⁾ assim a compatibilização destas três características (ductilidade, resistência mecânica e temperabilidade) torna-se o principal desafio neste desenvolvimento.

Quanto à estrutura, a Figura 3 ilustra a microestrutura original do material como laminado a quente. Pode-se perceber uma microestrutura ferrita-perlita típica com algum ligeiro alinhamento do constituinte perlítico, porém em linhas muito finas e relativamente próximas entre si. Esta característica microestrutural é importante, pois além de favorecer a conformação também auxilia a difusão dos elementos melhorando o desempenho obtido durante o tratamento industrial.

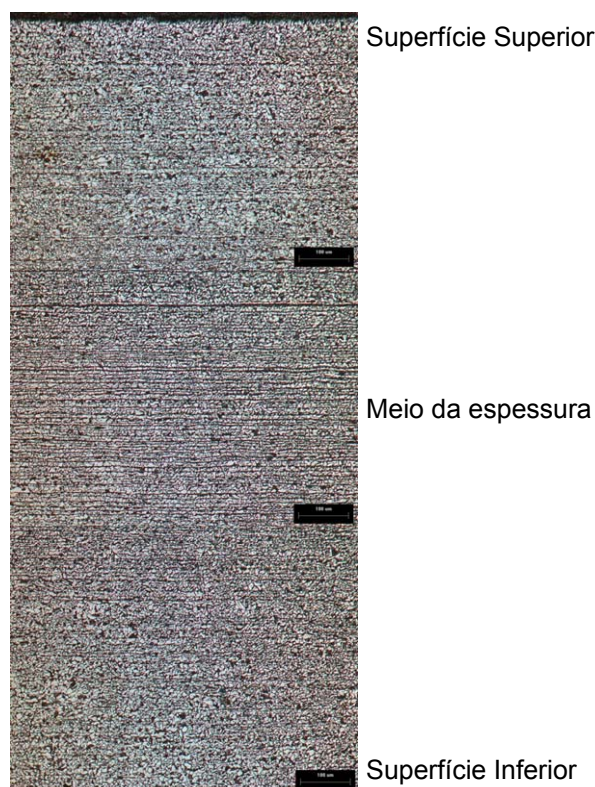


Figura 3 – Aspecto metalográfico da amostra retirada na superfície superior, inferior e no meio da espessura de uma bobina laminada a quente com aumento de 100x e ataque com nital.

Com relação às considerações de tratamento térmico, as fitas foram submetidas a um processo de austêmpera. Conforme ilustrado na Figura 4.a, o processo de austêmpera, consiste basicamente na obtenção de uma estrutura bainítica, que proporciona um material com boa relação entre alongamento e resistência mecânica,⁽⁵⁾ fatores essenciais para este tipo de produto. A Figura 4.b ilustra uma curva CCT, calculada pelo software SteCal[®] v.3,⁽⁹⁾ com base na composição química típica do material desenvolvido. Nota-se na curva da Figura 4.b, qual deverá ser o tipo de ciclo térmico que deverá ser realizado industrialmente.

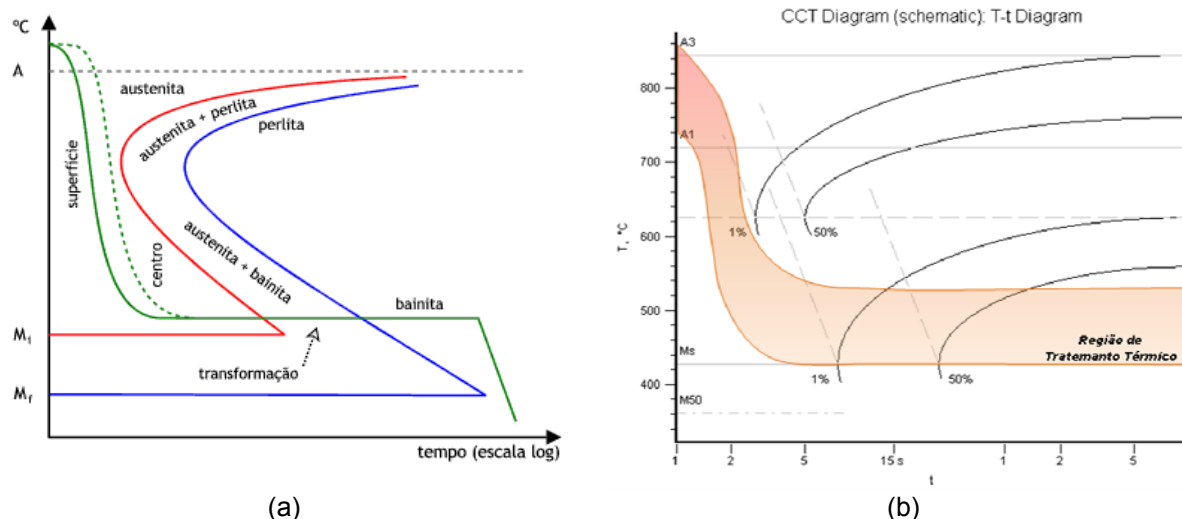


Figura 4 – (a) Figura esquemática do processo de transformação e (b) curva CCT média do aço utilizado, com a ilustração do tratamento realizado.⁽⁹⁾

O processo de austêmpera, envolvido neste trabalho, foi realizado em um forno contínuo de escala industrial, dividido essencialmente em duas regiões. A primeira região consiste basicamente no forno de austenização e a segunda parte do equipamento é o tanque onde está o banho de austêmpera que tem a função de resfriar o material de forma controlada acima da M_s de maneira que a transformação bainítica possa ocorrer conforme ilustrado pelos gráficos da Figura 4.a e 4.b.

As bobinas no estado encruadas foram cortadas em rolos de menor largura e posteriormente em fitas de embalagem. Na linha de austêmpera primeiramente foram processadas algumas fitas com a finalidade de ajustar a temperatura e a velocidade da linha de austêmpera.

A efetividade do processo de austêmpera e a homogeneidade da microestrutura e das características mecânicas obtidas estão diretamente ligadas à homogeneidade de resfriamento do material. Este é diferente entre a superfície (aonde é extraído o calor) para o centro, conforme mostrado na Figura 4.a. O material tratado já se encontrava na espessura final de uso e foi tratado na forma de fitas relativamente estreitas, com larguras de 100 a 200 mm. Esta é uma geometria favorável para a troca térmica com o banho de austêmpera, condição que leva a uma excelente homogeneidade de temperaturas durante o tratamento de toda a fita. Esta condição torna possível utilizar uma composição química de menor carbono equivalente e adições mais adequadas de elementos de liga, permitindo ao mesmo tempo uma boa conformabilidade – importante para a laminação a frio – mas também a obtenção de uma estrutura bainítica, como mostrado pelo gráfico da Figura 4.b e, conseqüentemente, atingir as propriedades mecânicas adequadas para o produto final.

3 RESULTADOS E ANÁLISE

O maior desafio no uso do novo produto foi determinar os parâmetros de processamento, ou seja, as temperaturas do forno e do tanque de austêmpera. Como discutido anteriormente, o aço desenvolvido é um material diferente do comumente utilizado para produzir fitas de embalagem por austêmpera.

Na Figura 5, ilustram-se os resultados obtidos de propriedades mecânicas. No eixo das abcissas do gráfico plota-se o limite de resistência a tração e no eixo das ordenadas o alongamento. Os marcadores com o formato de triângulo são as primeiras amostragens, momento em que se estava iniciando o processo.

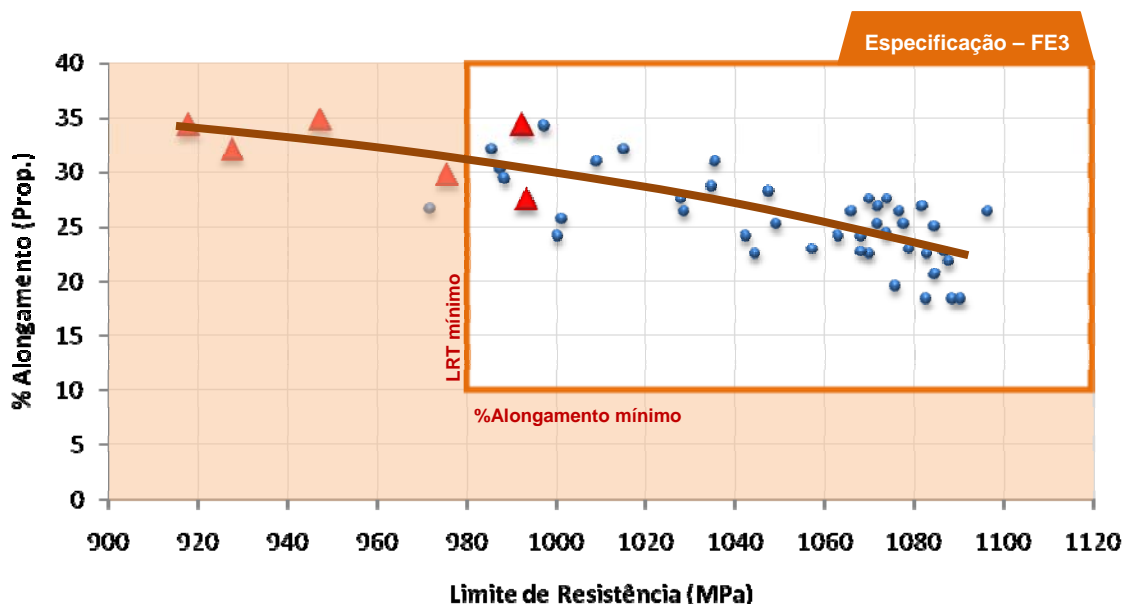


Figura 5 – Gráfico de análise das propriedades mecânicas obtidas nas fitas de embalagem.

As amostras que ficaram fora da especificação são relativas aos materiais utilizados para o ajuste do processo, após 5 amostragens, verifica-se que as fitas produzidas começaram a apresentar valores dentro do especificado conforme a norma ABNT EB-364 ou NBR 6653.⁽¹⁰⁾ O ponto ideal do processo foi encontrado quando as amostras começaram a apresentar uma variação mais precisa de tração e alongamento, entre valores de 1.060 MPa e 1.100 MPa de tração e alongamento proporcional entre 15% e 30%.

Na análise metalográfica, pode-se evidenciar que a estrutura obtida nas amostras de processo foi de 100% bainítica, conforme apresentado na Figura 6.

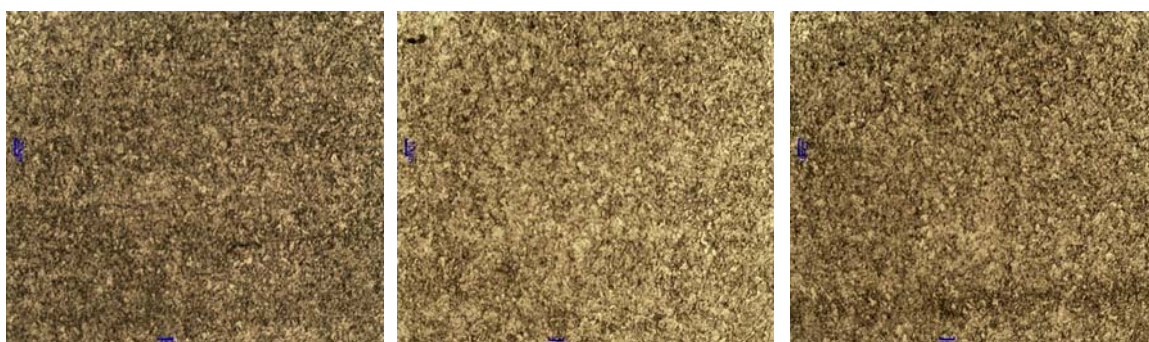


Figura 6 – Aspecto metalográfico de amostras das fitas de embalagens após tratamento de austêmpera, com aumento óptico de 400x (Nital).

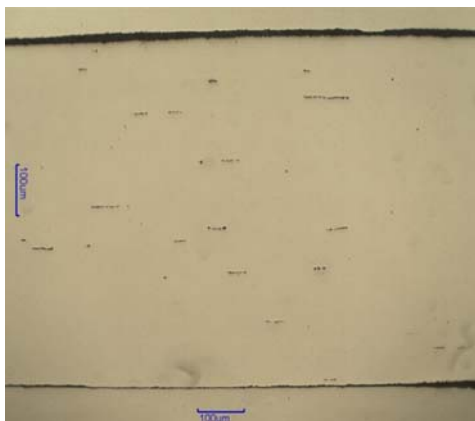


Figura 7 – Aspecto das inclusões com aumento de 100x (sem ataque químico).

Na análise de inclusões na amostra sem tratamento térmico (Figura 7), verifica-se que o material apresentou inclusões do tipo de alumina, da série fina com valores em torno de 1,5 conforme ASTM E 45.⁽¹¹⁾ Tal nível de inclusão não comprometeu a aplicação do produto, não ocasionando o desvio da especificação.

No ensaio de dobramento, todas as amostras atenderam as especificações, dobrando 180° com a utilização de calço 2E e em nenhum caso pode-se verificar a formação de trinca no produto final após tratamento. Em ensaios adicionais após o tratamento térmico, atestaram uma capacidade de dobramento além do exigido pela norma, ou seja, chegaram a dobrar 180° com calço 0 (zero).

4 CONCLUSÕES

Considerando os valores de composição química, propriedades mecânicas e metalográficas obtidas após o processamento de austêmpera nos volumes produzidos, conclui-se que este aço apresenta bom desempenho na aplicação para a qual foi projetado.

Tal concepção de projeto otimiza os custos da cadeia de produção de fitas de embalagem, em função de ser um material com menores teores de carbono, permitindo a conformação a frio deste material na própria usina até a espessura final desejada para as fitas, dispensando a contratação do serviço de terceiros para a execução da etapa de relaminação.

As experiências de fornecimento pela rota de austêmpera mostraram resultados positivos e pode-se considerar este produto desenvolvido com a utilização desta rota.

No momento, realizam-se experiências para o desenvolvimento da rota de obtenção de fitas através do processo de recozimento brando, a partir do material encruado do mesmo aço utilizado neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 NM 73: Embalagem para produtos planos laminados. Comitê Mercosur de Normalizacion. 1996.
- 2 – ALTERNATIVAS para embalar aço. In: Siderurgia Brasil, v.5, n.16, p.14-15, mar./abr.. 2004.
- 3 MORAIS, W.A.. Aumento da Resistência Mecânica. In: MORAIS, W.A.; MAGNABOSCO, A.S; NETTO, E.B.M.; Metalurgia física e mecânica aplicada. 2a Edição. São Paulo: ABM, 2009. Módulo 4. Cap.1, p.327-380.

- 4 ABNT NBR 6650. Chapas finas a quente de aço-carbono para uso estrutural. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1986.
- 5 MENEZES NETO, E. B.; Transformação de fase e tratamentos térmicos. In: MORAIS, W.A.; MAGNABOSCO, A.S; NETTO, E.B.M.; Metalurgia física e mecânica aplicada. 2a Edição. São Paulo: ABM, 2009. Módulo 4. Cap.1, p.327-380.
- 6 BODNAR, R. L.; FLETCHER, F. B.; MANOHAR, M.; The Physical Metallurgy of Normalized Plate Steels. MS&T Conference Proceedings, New Orleans, pp. 89-109, 2004.
- 7 MORAIS, W.A.; BORGES, H.C.; PEREZ, F.A.. Modelamento e quantificação da relação propriedades x microestrutura nos aços estruturais laminados a quente da Cosipa. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 62, 2007, Vitória. Anais. São Paulo. 2007. 3285-3296 p.
- 8 MORAIS, Willy Ank de Moraes. Análise das relações entre as características dos aços e sua tenacidade CONGRESSO DA ABM INTERNACIONAL, 65 Rio de Janeiro, RJ, 2010. 12p.
- 9 TARÍN, P.; PÉREZ, J.; SteCal3.0.3 – Low-alloy steels: Their properties and how to obtain them. A program to predict the properties and behaviour of steel. Computer Program by ASM International, 2004.
- 10 ABNT. NBR 6653. Fitas de aço para embalagem. Edição 1988.
- 11 ASTM. E 45. Test methods for determining the inclusion content of steel. Edition 2005; Release E3.