

COORDENAÇÃO DE TENSÕES MECÂNICAS DAS BOBINAS ENTRE O LAMINADOR DE TIRAS A FRIO E O LAMINADOR DE ENCRUAMENTO Nº 2 DA USINA DE CUBATÃO DA USIMINAS¹

Gilberto de Oliveira Novaes²
 Sergio Luiz Muratori³
 José Valdir Amorim Dantas⁴
 Karl Kristian Bagger⁵
 Sabrina Rizzo Celante⁶

Resumo

Os equipamentos de produção da laminação a frio da usina de Cubatão da Usiminas não são acoplados entre si, o que impõe a necessidade de formação de bobinas. O processo de bobinamento e desbobinamento propicia o surgimento de defeitos superficiais na tira processada, os quais levam a descartes e conseqüentes perdas de material e paradas de produção. Um dos defeitos mais significativos relacionado ao bobinamento de tiras de aço são as chamadas “marcas de deslizamento”. Essas marcas são originadas pelo deslizamento (com atrito) entre espiras subseqüentes de uma bobina. Esse trabalho tem o objetivo de apresentar a minimização desse defeito marca de deslizamento a partir da atuação nas tensões de bobinamento e desbobinamento do laminador de tiras a frio (LTF) e laminador de encruamento 2 (LE2).

Palavras-chave: Tensão; Bobinamento; Desbobinamento; Deslizamento.

COORDINATION OF MECHANICAL TENSION OF COILS BETWEEN THE TANDEM COLD MILL AND THE NO.2 SKINPASS MILL OF THE USIMINAS PLANT IN CUBATAO

Abstract

The equipments in the area of cold rolling of Usiminas's plant in Cubatão are not coupled to each other, requiring the formation of coils. The process of winding and unwinding propitiates the occurrence of surface defects in the processed strip, obliging the scrapping of material. One of the more significant problems related to coiling steel strip are the so-called skid marks. These marks are caused by slippage (with friction) between one layer of the coil and the other thereafter. The present work aims to minimize the defect "skid marks" acting on the winding and unwinding tensions of the tandem cold mill and skinpass mill no.2.

¹ Contribuição técnica ao 49º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 22 a 25 de outubro de 2012, Vila Velha, ES, Brasil.

² Mestre em Engenharia Elétrica, Engenheiro Sênior da Laminação a Frio da Usiminas.

³ Engenheiro Eletricista, Engenheiro Sênior da Laminação a Frio da Usiminas.

⁴ Técnico em metalurgia, Assistente técnico industrial, Laminação a Frio, Usiminas.

⁵ Engenheiro Metalurgista, Gerente técnico da Laminação a Frio, Usiminas.

⁶ Engenheira da Computação, Analista de Automação Sênior, Usiminas.

1 INTRODUÇÃO

Nos casos de fábricas com linhas de produção não acopladas, como é caso da laminação a frio (LF) da planta de Cubatão da Usiminas, o bobinamento de tiras de aço se faz necessário para que estas possam ser transferidas ao equipamento subsequente na linha de produção. O bobinamento – etapa final no LTF, após as tiras terem suas espessuras reduzidas –, os processos intermediários associados ao manuseio, bem como o desbobinamento – para início de processo no LE2 – podem introduzir defeitos superficiais na tira, comprometendo a sua qualidade.

Alguns dos principais fatores de influência na qualidade superficial da tira, no que se refere à formação de bobinas são: os valores e o perfil das tensões mecânicas empregadas no bobinamento e no desbobinamento, a rugosidade e o aplainamento da tira, o grau de resistência do aço, o ciclo térmico de recozimento, os cuidados no manuseio das bobinas, além do travamento das espiras internas e externas. A atuação sobre a maioria desses fatores é limitada por questões de qualidade e processo, dificultando as ações de contramedida.

O principal defeito superficial gerado entre as etapas de bobinamento e desbobinamento são as chamadas “marcas de deslizamento”. Essas marcas surgem na superfície da tira como resultado do deslizamento (com atrito) entre as espiras subsequentes da bobina.

Basicamente, ele ocorre devido à “folga” entre as espiras durante a formação do miolo (da bobina) no LTF e por esse motivo essa condição é denominada “bobinamento frouxo” sendo evidenciada no LE2.

Nessa situação ocorre um “arraste” de material danificando a superfície da tira.⁽¹⁾ Assim, para que não ocorra o defeito é necessário que haja contato homogêneo e uma condição satisfatória de atrito entre espiras subsequentes.

Eventualmente, quando é aplicada a tensão de desbobinamento no LE2 as espiras podem deslocar-se transversalmente de forma homogênea, como apresentado na Figura 1, internamente chamado de “bacia”. Em outros casos o deslocamento se dá em pontos específicos e na forma de degraus, como visto na Figura 2. Na Figura 3 é evidenciado o deslocamento longitudinal da tira. Já a Figura 4 apresenta uma amostra do defeito “marca de deslizamento”.



Figura 1 – Deslocamento de espiras com a formação de “bacia”.

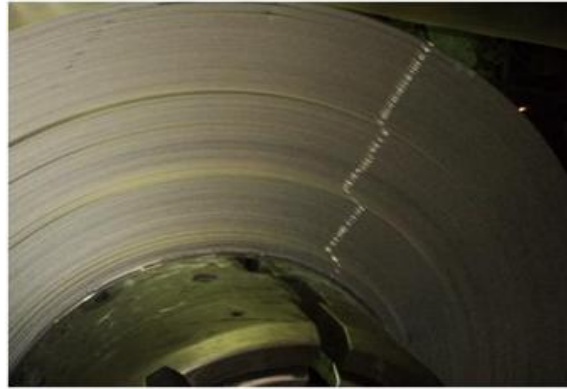


Figura 2 – Deslocamento de espiras na forma de “degrau”.



Figura 3 – Deslocamento longitudinal das espiras.



Figura 4 – Amostra de defeito “marca de deslizamento”.

Se não forem tomadas ações efetivas, o defeito pode representar perdas significativas no rendimento do produto e na eficiência de equipamento devido à necessidade de parada do processo para o descarte da parte danificada da tira.

2 METODOLOGIA

2.1 Análise dos Fatores de Influência

A seguir serão apresentados alguns fatores de influência que podem gerar o defeito de deslizamento. Contudo, por estarem “sob controle” ou por impossibilidade de alterações, alguns desses fatores não serão discutidos no decorrer do trabalho de eliminação do defeito.

- **Aplainamento:** se houver ondulações na tira não haverá contato homogêneo entre as espiras e a pressão se concentrará em algumas regiões nas quais haverá a propensão de deslizamento. Como o aplainamento é uma característica de qualidade de grande importância para o produto, já existem ações para garanti-la.
- **Rugosidade:** um valor baixo de rugosidade na tira propicia à ocorrência de deslizamento.^(2,3) Contudo, modificações na rugosidade devem respeitar os limites impostos pelas especificações dos clientes, o que impede alterações significativas.
- **Recozimento:** o ciclo de recozimento pode influenciar nas tensões internas da bobina.⁽⁴⁾ Modificações no processo de recozimento teriam alguma complexidade, com o risco de comprometer as propriedades mecânicas do material. Os levantamentos estatísticos não indicaram correlação entre a ocorrência do defeito e os ciclos de recozimento aplicados às bobinas.
- **Manuseio e travamento das espiras:** durante o manuseio da bobina devem ser tomados cuidados especiais para que não ocorra um “afrouxamento” das espiras que pode levar ao deslizamento. O manuseio inadequado poderia causar outros tipos de marcas na tira e por esse motivo são tomadas medidas necessárias para evitar possíveis danos às bobinas.
- **Grau de resistência do aço:** o grau de resistência influencia nas tensões internas de bobinamento, tendo em vista que a tira precisa ser “curvada” para se acomodar sobre as espiras precedentes. Os aços de maior grau de resistência demandam maiores tensões mecânicas para estabelecer a mesma pressão entre espiras quando comparados com os aços de menor grau de resistência.⁽⁵⁾ A tabela de tensões do LTF já considera esse fator.
- **Tensões de bobinamento e desbobinamento:** o bobinamento com tensões mecânicas abaixo das ideais ou o desbobinamento com tensões acima das ideais podem ocasionar deslizamento entre espiras, gerando as marcas. Embora haja restrições às tensões máximas e mínimas a serem aplicadas em ambos os casos, existe uma faixa de tensão na qual podem ser feitos ajustes sem efeitos indesejáveis no processo. Geralmente as ações sobre as tensões mecânicas são as que produzem os melhores resultados na redução do defeito de deslizamento. As ações para a solução do problema foram direcionadas para este parâmetro.

2.2 Análise das Tensões de Bobinamento e Desbobinamento dentro do Processo Produtivo

2.2.1 Bobinamento no LTF

Após o processo de redução de espessura no LTF a tira fica “encruada” – endurecida –, tornando mais difícil a atividade de bobinamento. O risco é o bobinamento ficar frouxo, o que possibilita a ocorrência do defeito de deslizamento.

Além disso, o miolo deve ser rígido e capaz de suportar o peso próprio da bobina. Assim, as espiras internas devem ser submetidas a um valor de tensão mecânica acima do nominal, valor esse conhecido com “sobretensão”. À medida que o diâmetro aumenta, após a formação do miolo, a tensão é decrementada até atingir seu valor nominal – representado por 100% –, como mostra a Figura 5.

Soluções práticas se baseiam no aumento dos valores nominal e ou de sobretensão ou ainda na mudança do patamar quando ocorre a diminuição da sobretensão em direção à tensão nominal.

Tais ações estão limitadas, basicamente, por duas condições: a tensão mecânica deve ser suficiente para produzir uma pressão adequada entre as espiras e não deve ser excessiva para evitar o colamento (das espiras) dentro dos fornos de recozimento, ou até o colapso das espiras internas.⁽⁶⁾

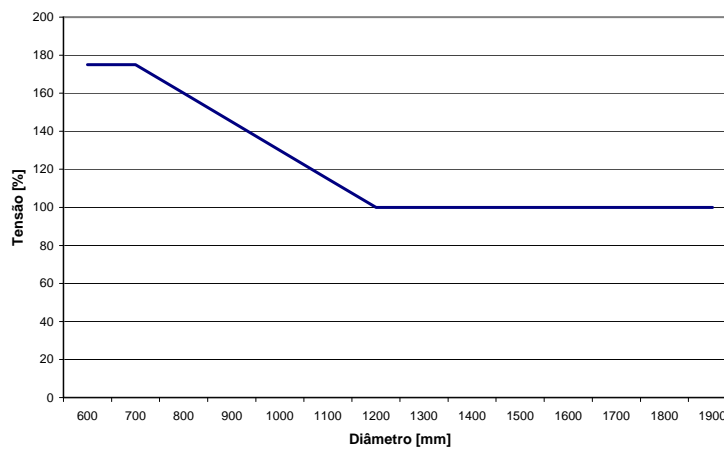


Figura 5 – Perfil da tensão de bobinamento com patamar de sobretensão.

2.2.2 Recozimento da bobina

Após o bobinamento no LTF as bobinas são transportadas aos fornos de recozimento, que no caso da planta de Cubatão são do tipo “em caixa”. Neste tipo de recozimento as bobinas são empilhadas no seu eixo vertical e uma campânula seguida de um forno são inseridos de forma a enclausurá-las. Cada ciclo de recozimento possui parâmetros de velocidade de aquecimento, tempo de encharque, temperatura de encharque e tempo de resfriamento, os quais definem as propriedades mecânicas do produto. Domanti⁽⁴⁾ estudou os esforços mecânicos a que as espiras das bobinas estão submetidas devido ao aquecimento e resfriamento do recozimento. Dependendo da rugosidade, as bobinas com tensões excessivas podem apresentar colamento entre suas espiras, o que será evidenciado no momento do desbobinamento.

2.2.3 Desbobinamento no LE2

As bobinas provenientes do recozimento são desbobinadas na desenroladeira do LE2. De modo geral, pode-se dizer que se a tensão de desbobinamento for maior que a tensão utilizada no bobinamento do LTF há grande possibilidade de que as espiras deslizem, gerando as marcas. Por outro lado, se a tensão de desbobinamento for muito baixa pode haver, marcas de colamento,^(7,8) instabilidade no processo, deslocamento lateral da tira, provocando a ruptura da mesma. Do mesmo modo que no bobinamento do LTF, o valor da tensão de desbobinamento é definido por meio de tabelas, em função de características do produto.

2.3 Comparação de Critérios de Definição das Tensões de Bobinamento e Desbobinamento

Tanto a tensão de bobinamento do LTF quanto a tensão de desbobinamento do LE2 são definidas por tabelas. No entanto, os parâmetros e os critérios utilizados são diferentes.

A tensão específica de bobinamento do LTF é definida em função de algumas características, tais como: faixa de espessura, dureza, rugosidade e tipo de

estampagem; já a tensão específica de desbobinamento do LE2 é definida em função do limite de escoamento do aço, da faixa de espessura e da faixa de largura.

Isso significa que os dois critérios não garantem, automaticamente, tensões de desbobinamento menores que as tensões de bobinamento para todos os materiais. Em um trabalho anterior,⁽⁹⁾ foi verificada, por simulação computacional, a relação entre as tensões de bobinamento e desbobinamento e efetuado o ajuste da tabela do LE2 para coordená-la com a do LTF.

2.4 Ajustes Manuais da Tensão de Desbobinamento do LE2

Eventualmente, em função de uma observação visual do comportamento da bobina durante o processo, o operador pode diminuir ou aumentar a tensão mecânica aplicada no desbobinamento da tira.

Caso as espiras estejam frouxas o operador pode reduzir a tensão a um valor abaixo daquele definido pela tabela do computador de processo. Nesse caso ele deverá ter o cuidado de acompanhar o desbobinamento para que a tira não perca a estabilidade e se rompa. Nos casos em que haja um colamento excessivo das espiras ele pode aumentar a tensão de desbobinamento para melhorar o descolamento (entre as espiras), minimizando a possibilidade de ocorrência de marcas de “quebra de superfície”. O aumento da tensão também contribui para a estabilidade do desbobinamento da tira.

2.5 Ações para Eliminação ou Mitigação do Defeito “Marcas de Deslizamento”

No decorrer deste item serão apresentadas as ações efetivas que foram implementadas e que diminuíram sensivelmente as marcas geradas durante o desbobinamento no LE2.

2.5.1 Limitação da faixa de atuação do operador, com base na tabela de tensões

No projeto original do LE2 não havia limitação para a atuação manual do operador sobre a tensão de desbobinamento, permitindo que ele aplicasse a tensão máxima disponível para qualquer tipo de material.

Em uma primeira fase foram definidas as tensões máximas e mínimas que o operador do LE2 pode utilizar, como um percentual da tensão de *preset* definida pela tabela do computador de processos.

2.5.2 Automatização da transferência do valor de tensão do LTF para o LE2

Os critérios de definição das tensões do LTF e do LE2 consideram as necessidades individuais do seu processo, mas não proporcionam uma integração entre eles.

Para limitar a faixa de tensão de desbobinamento do LE2, com segurança, é necessário conhecer, de maneira confiável, a tensão real de bobinamento no LTF.

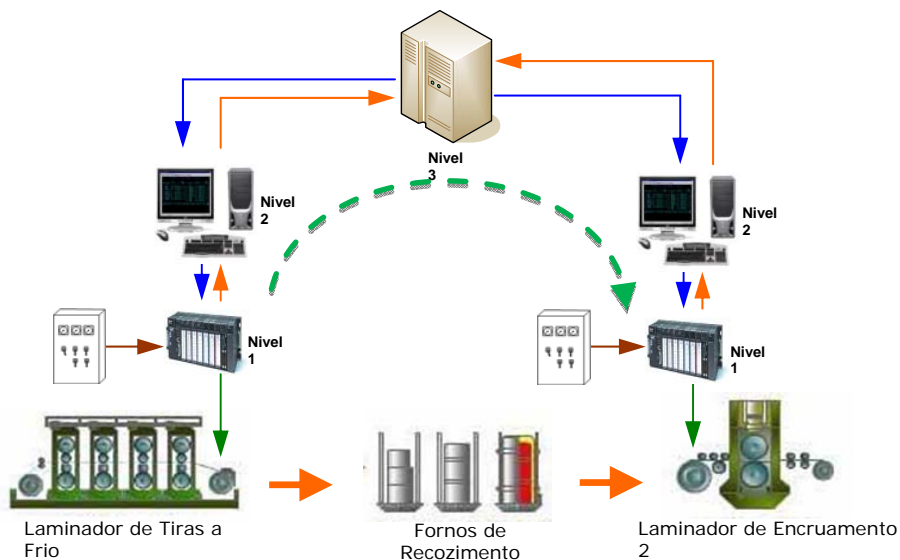


Figura 6 - Fluxo da informação de tensão de bobinamento do LTF para o LE2.

Utilizando o sistema de automação existente, a informação de tensão aplicada durante o bobinamento do LTF foi enviada ao computador de processo de nível 2 e reenviada para o sistema corporativo de nível 3, juntamente com as demais informações da bobina. Os sistemas de nível 1 e 2 do LE2 foram preparados para receber a informação de tensão do LTF. Desta forma, todas as informações são remetidas ao computador de processo de nível 2 do LE2 e descarregadas no seu controlador lógico programável (CLP). Este fluxo é mostrado na Figura 6.

De posse dessa informação o LE2 pode definir a faixa de valores corretos para a tensão de desbobinamento, a qual não deve ser superior à tensão de bobinamento do LTF.

2.5.3 Metodologia da definição dos limites de tensão de desbobinamento do Laminador de Encruamento 2

Desde a partida do LE2 a tensão de desbobinamento é definida pelo computador de processo por meio de tabelas, com base nas informações de largura e espessura da tira. Essa informação de *preset* é, então, enviada ao CLP.

Utilizando a informação de tensão de bobinamento recebida via sistema de automação, foi elaborado um software no controlador lógico programável.

Esse software estabelece os limites máximo e mínimo de tensão mecânica a serem aplicados ao desbobinamento do LE2. O *preset* de tensão continua sendo executado com base na mesma tabela do computador de processo, entretanto, dependendo da condição de processo, o operador pode alterar a tensão de desbobinamento, para um valor acima ou abaixo desse valor, de forma segura.

2.5.3.1 Definição do valor mínimo de tensão de desbobinamento

O valor da tensão mínima de desbobinamento do LE2 é limitado pelas condições de estabilidade da tira. Para a definição deste valor foi arbitrado um valor percentual da tensão de *setup* definida pelo computador de processos.

2.5.3.2 Definição do valor máximo de tensão de desbobinamento

O valor máximo de tensão de desbobinamento está diretamente relacionado com o defeito marca de deslizamento. Como já explicado, a tensão mecânica utilizada no desbobinamento deve ser menor que a tensão de bobinamento,

incluindo-se ainda um valor de segurança. Considerou-se utilizar como referência uma tensão igual a 75% do valor nominal de bobinamento no LTF. Adotou-se como premissa respeitar a tabela de tensões do próprio LE2. Pretende-se que essas tabelas sejam ajustadas sempre que necessário para a obtenção dos melhores resultados do processo.

A Figura 7 mostra o fluxo de cálculo para a determinação do valor limite máximo da tensão de desbobinamento que pode ser aplicada ao LE2.

Inicialmente são recebidos o valor de tensão calculado para o LE2 e o valor utilizado no LTF.

O valor determinado pelo computador de processos do LE2 é comparado com 75% daquele utilizado no LTF. Se esse valor for maior que o definido pelo processo, a tensão máxima será igual ao definido pela tabela de *preset*. Ao mesmo tempo será gerado um alarme de texto. Este é o caso 1, apresentado na Figura 8.

Na comparação seguinte, se o valor correspondente a 140% da tensão definida na tabela do LE2 for menor que 75% da tensão de bobinamento do LTF será considerado o valor de 140% da tensão da tabela como limite máximo (vide Figura 9). Caso contrário, o valor máximo de tensão será definido como 75% da tensão de bobinamento do LTF. Esta condição é o caso 3 mostrado na Figura 10.

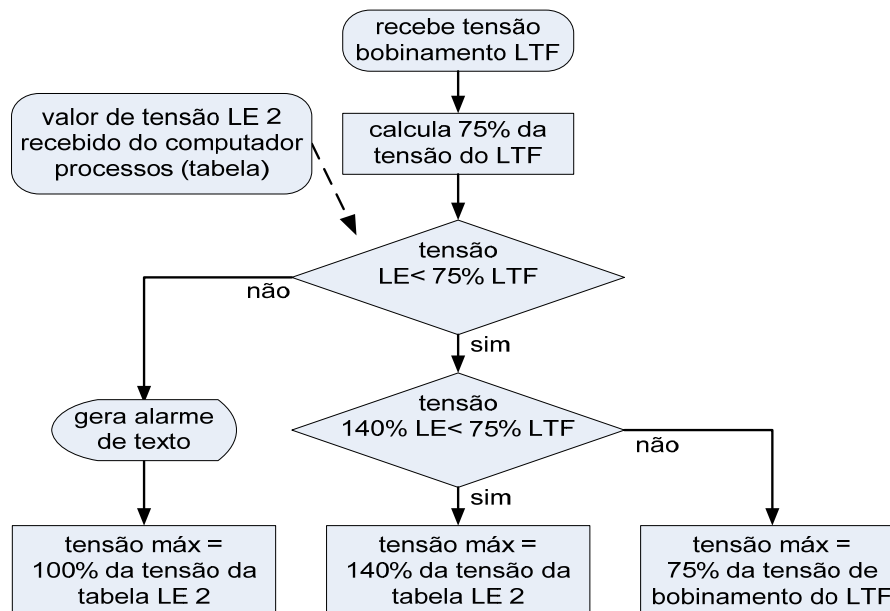


Figura 7 - Fluxo para a determinação do limite de tensão máxima de LE2.

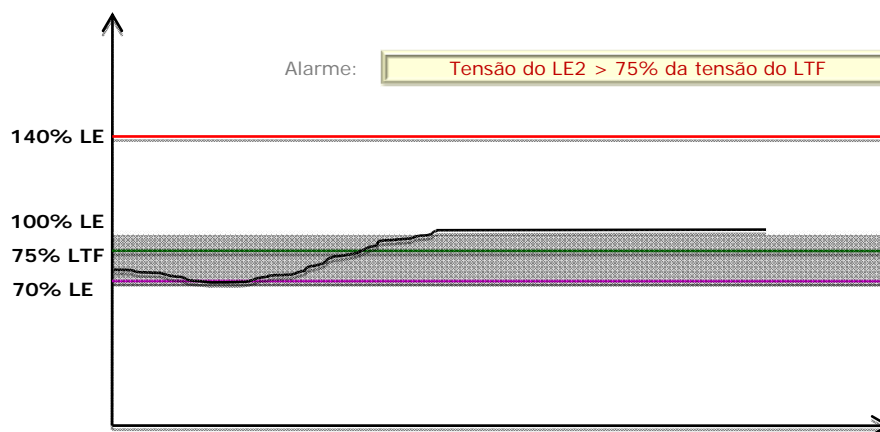


Figura 8 - Caso 1, no qual 75% tensão LTF é menor que 100% tensão LE2.

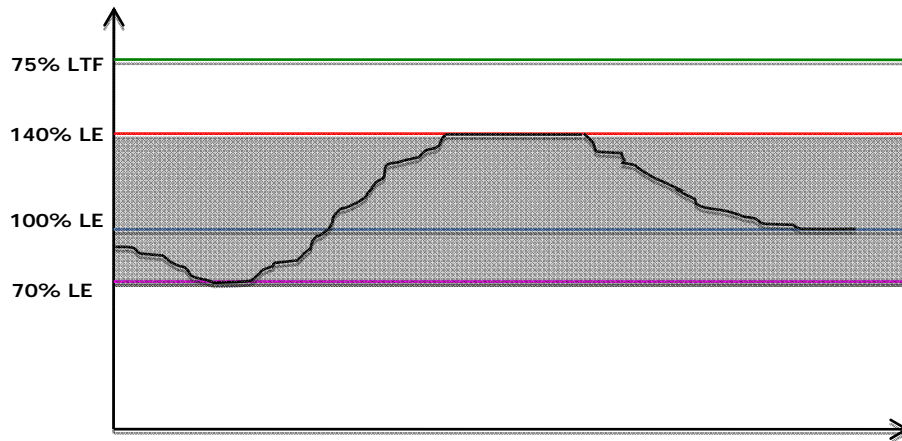


Figura 9 - Caso 2, no qual 75% tensão LTF é maior que 140% tensão LE2.

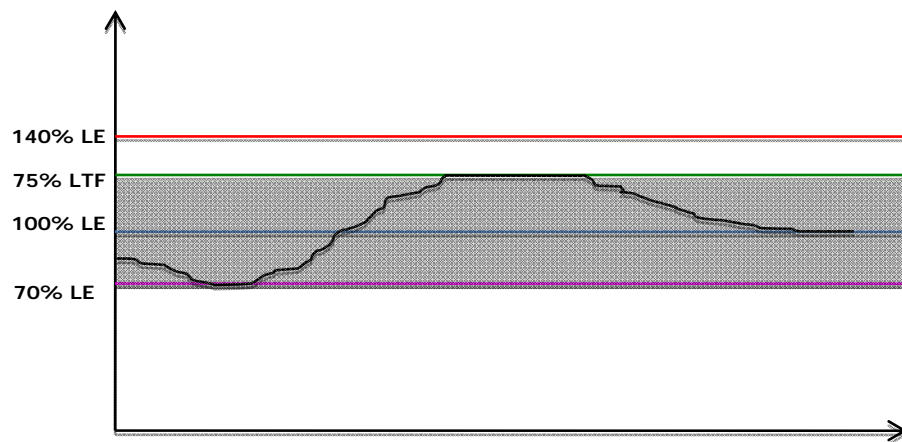


Figura 10 - Caso 3, no qual 75% tensão LTF é menor que 140% tensão LE2.

2.5.4 Alarme de cruzamento de tensões

Por segurança, nos casos em que o limite de tensão máxima definido a partir da informação do LTF for menor que o valor de *preset* definido pela tabela de tensão do LE2, optou-se por utilizar o valor definido pela tabela do LE2 como limite máximo.

A aplicação de tensões menores que a definida pela tabela poderia criar um risco de acidente operacional por instabilidade da tira. Assim, para o monitoramento e controle dessa ocorrência foi criado um alarme para sinalizar esses casos de modo que sejam analisados individualmente e a tabela ajustada, se necessário.

2.5.5 Ajuste das tabelas de tensão

2.5.5.1 Ajuste da tabela de tensões de desbobinamento do LE2

No passado Oliveira⁽⁹⁾ realizou um trabalho de ajuste das tabelas de tensão do LE2. O conceito da época era o de que a tabela de tensões do LTF estaria adequada e de que haveria um sério risco de ocorrência de colamento de espiras nos fornos de recozimento, caso essas tensões fossem aumentadas.

Partindo dessa premissa as ações foram concentradas na tensão de desbobinamento do LE2. Com base em simulações em computador foram identificadas as situações onde a tensão de desbobinamento do LE2 estaria muito próxima da tensão de bobinamento do LTF. Identificou-se também, as regiões da tabela às quais correspondiam aos maiores índices de descarte por marcas de deslizamento. Progressivamente foram reduzidas as tensões da tabela, sempre

através de acompanhamento na área de produção. Em alguns casos a tensão foi reduzida até o limite técnico de segurança. Abaixo desse valor a tira começava a perder sua estabilidade.

2.5.6 Alterações dos valores específicos das tensões para algumas faixas de espessuras

Em virtude da inviabilidade de novos ajustes nas tabelas de tensões de desbobinamento do LE2, o grupo decidiu investigar outras possíveis causas no bobinamento do LTF.

Foi investigado o sistema de aplicação de tensão do LTF, mas não foram evidenciados problemas. As tensões aplicadas à tira correspondiam às tensões determinadas pelas tabelas.

Decidiu-se efetuar experimentos com aumentos gradativos nas tensões de bobinamento para lotes controlados. No primeiro teste foram aumentadas as tensões de um lote de bobinas com espessuras entre 1,00 e 1,50 mm em 14%, obtendo resultados satisfatórios. A modificação da tabela relativa a esta faixa de material foi implantada em seguida.

Em um segundo teste foram processados materiais de espessura superior a 1,50 mm com acréscimo de tensão de 20%. O novo lote de bobinas, também apresentou resultados satisfatórios. A modificação nesta tabela de material também foi implantada.

3 RESULTADOS

As bobinas processadas após os ajustes das tabelas de tensão do LTF tiveram melhoria da condição de bobinamento da tira que pôde ser observada na não ocorrência de deslocamento de espiras ou geração de marcas de deslizamento.

Após a mudança da tabela pode-se constatar também a melhor aderência entre as espiras pelo ruído sibilante característico. Antes da modificação da tabela, era observado que, em algumas regiões do desbobinamento, o ruído cessava, indicando a falta de aderência, propensão ao deslocamento de espiras e deslizamento.

Não houve indícios de que a tensão de bobinamento do LTF estivesse próxima de um valor crítico que pudesse vir, em algum momento, a causar colamento entre espiras. Até o momento não houve ocorrências desse tipo.

4 DISCUSSÃO

O trabalho continuará para outras faixas de espessura mais críticas. Sabe-se que tiras de menores espessuras tem maior tendência à ocorrência de colamento; sendo assim os experimentos e modificações deverão ser realizados com mais cuidado.

Na eventualidade de ocorrência do caso 1, o alarme gerado alertará a equipe técnica do LE2 para investigar as causas da tensão aplicada no LTF ser menor que a definida pela tabela do LE2 e fazer as devidas correções, onde elas forem aplicáveis.

5 CONCLUSÃO

O simples fato de garantir que a tensão de desbobinamento do LE2 seja menor do que a tensão de bobinamento do LTF não garante a não ocorrência de defeito. É necessário que o bobinamento do LTF, juntamente com as demais condições de processo promovam a adequada aderência entre as espiras das bobinas. Ainda assim, se o desbobinamento for efetuado com uma tensão maior que a utilizada no bobinamento, poderá ocorrer deslizamento e geração de marcas. Por isso é importante garantir o limite de proporcionalidade das tensões.

A automação do envio da tensão efetivamente utilizada no LTF para o LE2 se mostrou muito útil, especialmente quando modificações de tensão são implantadas no LTF. Esse recurso é especialmente importante no aspecto operacional, por minimizar a dependência da experiência e habilidade do operador; melhora a repetibilidade do processo. A inclusão da informação de tensão de bobinamento do LTF no banco de dados do LE2 facilita a verificação e a revisão dos critérios de tensão da tabela de desbobinamento deste.

Se os fatores de influência do defeito deslizamento não estiverem todos sob controle os descartes de produto e as paradas de produção podem ser consideráveis, principalmente por se tratar de uma etapa final do processo.

REFERÊNCIAS

- 1 GOODRIDGE, R. J., **Reel Drives for High Performance Rolling Mills and Metal Processing**, GEC-AEI Journal, vol. 35, No. 1, 1968.
- 2 YUEN, W. Y. D. and COZIJNSEN, M., **Optimum Tension Profiles to Prevent Coil Collapses**, SEAI Quarterly, p. 50-59, July 2000.
- 3 COZIJNSEN, M., and YUEN, W.Y.D., **Stress Distributions in Wound Coils**, Proceedings, 2nd Biennial Australian Engineering Mathematics Conference, Sydney, 1996, pp. 117-174.
- 4 DOMANTI, S. A., **Analysis of the Stress Fields in a Coil During Batch Annealing**, AISE Steel Technology, p. 57, november/december 2003.
- 5 VATHAIRE, M. et FAESSEL A., **Contraintes Internes dans les Bobines de Tôles Laminées à Froid**, *Revue de Métallurgie – CIT*, p. 405, Mai 1981.
- 6 WADSLEY, A. W., and EDWARDS, W. J., **Note on Coil Winding- Investigation of Tight Centre Coil Collapse**, Australasian Institute of Metals, 30th Annual Conference, Newcastle, May 1977.
- 7 EDWARDS, W. J. and BOULTON, G. J., **The Science of Coil Winding**, AISE Steel Technology, p. 24, november/december 2001.
- 8 WADSLEY, A. W., and EDWARDS, W. J., **Coil Winding Stresses**, Journal of Australian Institute of Metals, Vol. 22, 1977, pp. 17-27.
- 9 OLIVEIRA, A.F., **Estudo do Defeito Marca de Deslizamento no Laminador de Encruamento**, 45º Seminário de Laminação e Produtos Laminados e Revestidos da ABM; Ipojuca - Porto de Galinhas, PE, outubro/2008.