

REDUÇÃO DO DEFEITO MARCA DESLIZAMENTO NO LAMINADOR DE ENCRUAMENTO 2¹

*Antônio Fabiano de Oliveira²
Gilberto de Oliveira Novaes³
Karl Kristian Bagger⁴
Júlio C. da C Carmazen⁵
Francisco Daniel da S Lopes⁶
André Paulo Tschiptschin⁷*

Resumo

Este trabalho tem como objetivo apresentar resultados de estudos realizados em bobinas a frio durante o processo de bobinamento e desbobinamento, avaliando o estado de tensões destas. Durante o processo de formação da bobina, a tira frio é bobinada sob tração em um mandril da enroladeira no laminador de tiras a frio, nesta etapa do processo pode surgir algumas variações de tensão na parte interna da bobina. Estas variações de tensão podem ser causadoras de alguns defeitos, tais como deslizamento, escorregamento, entre as espiras da bobina durante desbobinamento. Foram estudadas as influências da tensão e seus efeitos no produto. Alguns ajustes no processo foram introduzidos, e melhorias dos resultados com redução da ocorrência do defeito marca de deslizamento.

Palavras-chave : Tensão bobinamento; Laminação de encruamento; Deslizamento.

REDUCTION OF DEFECT SLLIPAGE IN SKIN PASS MILL 2¹

Abstract

This paper has as purpose presenting the results of the studies done with cold rolled coils during the winding and unwinding process, evaluating the tension state. When the cold strip is winding in on the tension reel, there might happen some tension variation. This tension variation can be the cause of some defects, as slippage, dished coil, collapsed, interwrap coil. The influence of the tension and it's effects on the product were studied. Some adjustments were introduced in the process in order improve the results slipping defect.

Key words : Winding tension; Skin pass mill; Slipping.

¹ *Contribuição técnica ao 45º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 21 a 24 de outubro de 2008, Ipojuca - Porto de Gainhas - PE*

² *Engenheiro Metalurgista; Departamento de Laminação a Frio da Cosipa; Cubatão, SP.*

³ *Engenheiro Eletricista; Departamento de Laminação a Frio da Cosipa; Cubatão, SP.*

⁴ *Engenheiro Metalurgista; Gerente do Suporte Técnico de Laminação a Frio da Cosipa;*

⁵ *Assistente Técnico; Departamento de Laminação a Frio da Cosipa; Cubatão, SP.*

⁶ *Assistente Automação; Departamento de Automação da Cosipa; Cubatão, SP.*

⁷ *Prof. Dr. Da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais*

1 INTRODUÇÃO

Durante o processo de desbobinamento no laminador de encruamento verificou-se a presença de uma marca no sentido transversal à direção de laminação na região superficial da bobina, que é formada por vários riscos paralelos no sentido de laminação que denominamos de marca de deslizamento, conforme figura abaixo.

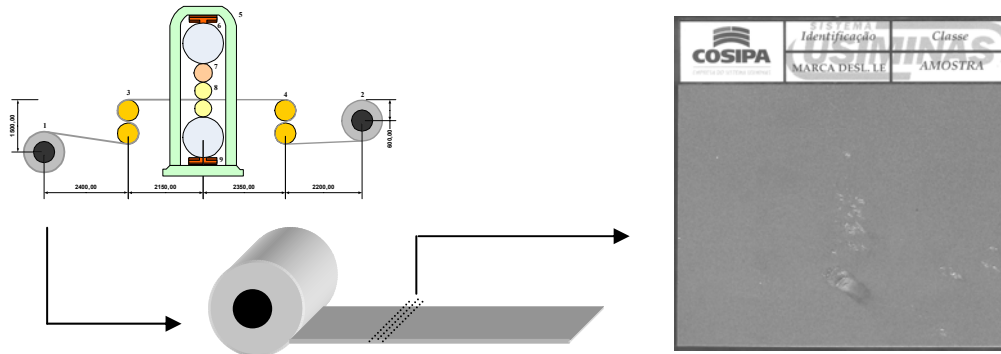


Figura 1. Defeito marca de deslizamento na superfície da bobina

O deslizamento entre as espiras ocorre devido a folga ou fluência^(T1) durante a formação do miolo no laminador a frio. Esta folga é denominada por bobinamento frouxo, que pode provocar o deslizamento entre as faces da espira. O bobinamento frouxo é evidenciado no laminador de encruamento que pode ter várias origens, desde problemas relacionados a equipamentos quanto a defeitos de matéria-prima, ou seja, oriundos da própria bobina.



Figura 2. Defeito marca de deslizamento durante desbobinamento

Segue abaixo, diagrama de causa-efeito realizado para estratificação do defeito.

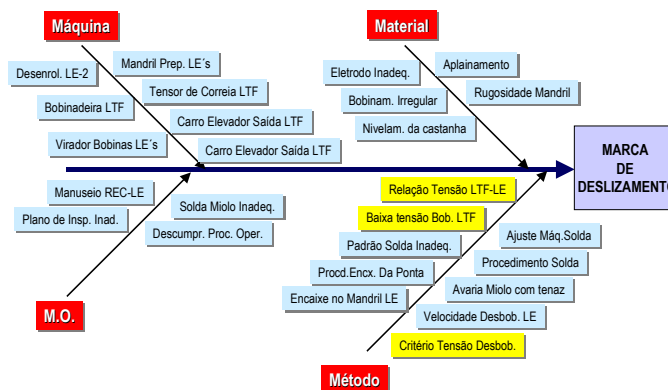


Figura 3. Diagrama causa-efeito da marca de deslizamento

Após o diagrama causa-efeito, foi realizada uma matriz de pontuação por peso, para priorização dos itens a serem avaliados.

Tabela 1. Matriz de priorização de defeito

ID	% Causas	Descrição da Causa	Nota	ID	% Causas	Descrição da Causa	Nota
1	8%	Critério Tensão de Desbobinamento	9	15	46%	Descumprimento de Procedimento	1
2		Critério descartes LE's	9	16		Baixa Tensão bobina LTF	1
3	Mandril com expansão Inadequada	3	17	Padrão de solda Miolo Inadequado		1	
4	Lead Speed	3	18	Procedimento de Encaixe Ponta		1	
5	Centralizador Fora de Posição	3	19	Ajuste da máquina de solda		1	
6	Carro desnivelado	3	20	Procedimento de Solda		1	
7	Pressão Inadequada da Correia	3	21	Avaria do miolo com a tenaz		1	
8	46%	Qualidade da solda do Miolo	3	22		Encaixe no Mandril	1
9		Tenaz Avariada	3	23		Velocidade desbobinamento LE	1
10		Mandril com variação de Pressão	3	24		Aplicação de Tensão Baixa	1
11		Mandril LTF com variação Pressão	3	25		Planos de Inspeção Inadequado	1
12		Realizar Solda Inadequadamente	3	26		Descumprimento de Procedimento	1
13		Descumprimento de Norma	3	27			
14		Descumprimento de Procedimento	3	28			

2 CÁLCULO TEÓRICO DAS TENSÕES INTERNAS NUMA BOBINA

2.1 Bobina de uma Espira

Uma vez que a primeira espira foi bobinada, a tensão circunferencial σ_{θ} com espessura “e”, possui tensão do bobinamento σ_T considerado a relação de equilíbrio de forças.⁽²⁾ A existência de σ_{θ} acarreta um efeito de aperto, pressão sobre o mandril através da espira, causando uma tensão radial σ_r ou pressão de aperto, na interface espira-mandril, expresso pela Figura 4.

A tensão radial é expressa pela equação 1.

$$\sigma_r = -\sigma_{\theta} \frac{e}{R_1} \quad (1)$$

A distribuição das tensões no interior do mandril, produzidas por σ_r é dada pelas fórmulas de LAMÉ (ensaio realizado com o tubo espesso submetido a uma pressão externa σ_r), conforme expressões abaixo:

$$\sigma_{\theta}(r) = \frac{\sigma_r}{1 - \left(\frac{R_i}{R_1}\right)^2} \left[1 + \left(\frac{R_i}{r}\right)^2 \right] \quad (2)$$

2.2 Bobina de N Espiras

Após a composição de uma bobina de N espiras, o bobinamento de uma espira suplementar é considerado como sendo o aperto do mandril e das N espiras já bobinadas. O cálculo do estado de tensões é feito sobrepondo dois estados de equilíbrio elástico:

- Estado 1: tensões após o bobinamento de N espiras.
- Estado 2: tensões produzidas pelo bobinamento de espira, o mandril e as N espiras já bobinadas formando um tubo espesso em repouso.

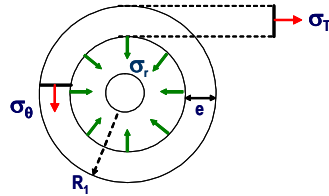


Figura 4. Aperto do mandril por parte da primeira espira

Os estados de tensão numa bobina são obtidos distribuindo as tensões nas diferentes partes da bobina. A figura abaixo é uma representação gráfica para três valores do raio externo da bobina.

Algumas considerações são feitas relativas a estas relações:

- As tensões são proporcionais à tensão de bobinamento σ_T , e da mesma ordem de grandeza;
- Na região próxima ao mandril, a tensão radial σ_r decresce até um ponto mínimo, e em seguida cresce com o diâmetro externo da bobina;
- Com aumento exponencial da tensão tangencial e raio da bobina, a tensão radial cresce.

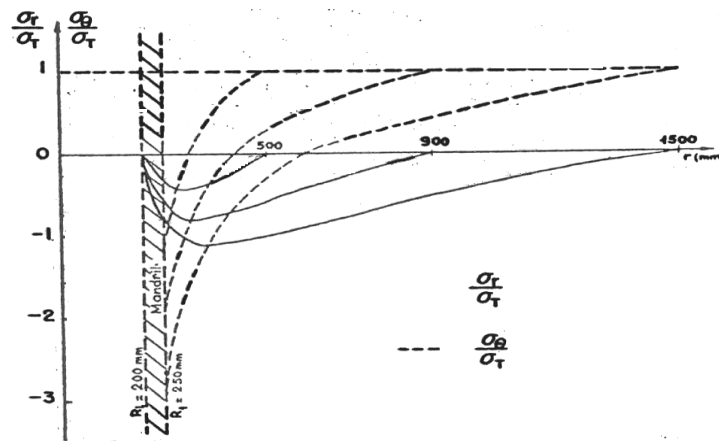


Figura 5. Estado de tensão numa bobina sobre seu mandril $R_N = 500, 900, 1500$ mm.

3 MÉTODO E AVALIAÇÃO DO DESLIZAMENTO

3.1 Influência da Variação da Velocidade

Durante aceleração e desaceleração, torque adicional é imposto na bobina devido às forças de inércia. No início do bobinamento, estas forças são pequenas, como é seu efeito no deslizamento entre espiras. Durante a desaceleração, as forças de inércia são significantes. Elas tendem a contrariar as tensões, fazendo deslizamento provável durante este estágio.⁽³⁾

Outro fator a ser considerado, são as mudanças bruscas de velocidades que ocorrem durante o bobinamento, que podem ser introduzidas, por exemplo, por desaceleração na região da solda ou algum problema de matéria-prima, permitindo o afrouxamento das espiras e, podendo levar ao deslizamento entre espiras, ou telescópio em casos extremos.

3.2 Tensão da Bobina nos Processos Consecutivos

A interação entre operações dos processos consecutivos é outro parâmetro a ser avaliado na análise deste defeito. Se uma bobina com uma certa tensão estratégica e o desbobinamento na próxima operação com uma tensão muito diferente, aumenta-se a possibilidade de deslizamento na superfície da tira. Por outro lado, se a tensão de desbobinamento é muito menor que a tensão original de bobinamento, surge uma região de fluência entre as espiras externas que deixa a bobina e a tensão das espiras internas.

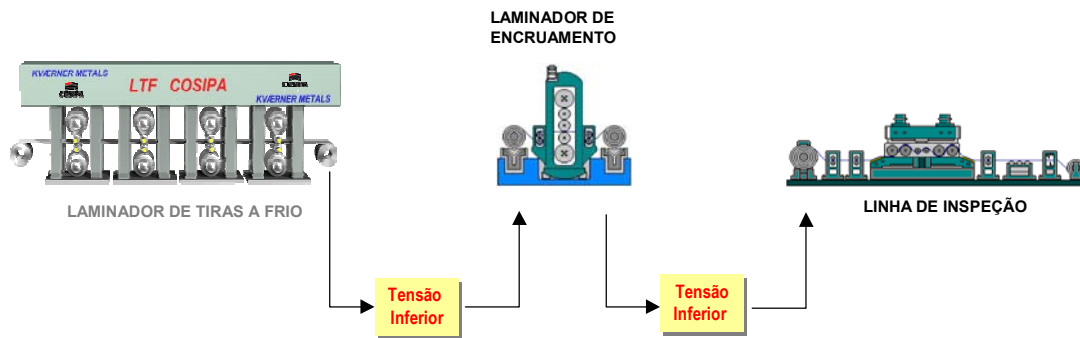


Figura 6. Relação de tensão dos equipamentos consecutivos

O deslizamento relativo entre as duas últimas espiras externas na região de fluência pode levar a riscos na superfície. Entretanto, se a tensão de desbobinamento é maior que a tensão de bobinamento, o deslizamento entre espiras pode ocorrer no corpo da bobina, causando riscos, deslizamento, etc.

Durante avaliação da relação de tensões de bobinamento do laminador de tiras a frio e desbobinamento do laminador de encruamento da Cosipa, verificamos a falta de correlação entre os valores estabelecidos e os critérios definidos em função do tipo de material, rugosidade, grau de resistência, e aplicação de estampagem.

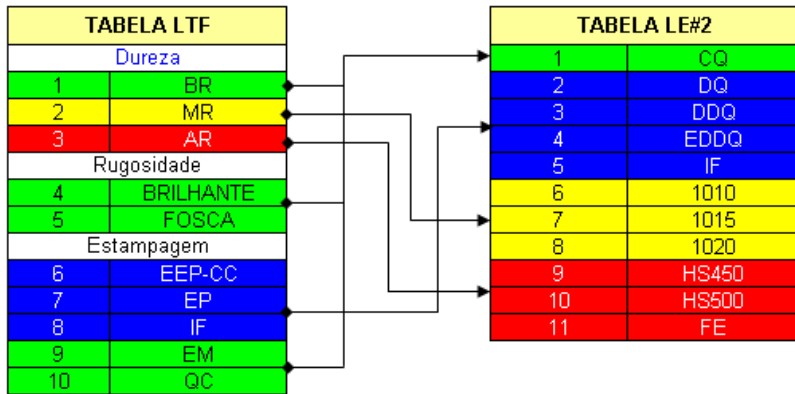
Segue abaixo tabela inicial de tensão do LE que relacionava somente a dimensão como parâmetro de correlação da tensão de desbobinamento.

Tabela 2. Tabela de tensão de desbobinamento LE#2

		1	2	3	4	5	6
		$W \leq 800$	$800 < W \leq 1000$	$1000 < W \leq 1100$	$1100 < W \leq 1300$	$1300 < W \leq 1400$	$1400 < W$
1	$T \leq 0,50$	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
2	$0,50 < T \leq 0,70$	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
3	$0,70 < T \leq 0,90$	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
4	$0,90 < T \leq 1,10$	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
5	$1,10 < T \leq 1,50$	2,50	2,50	2,42	2,05	1,90	1,90
6	$1,50 < T \leq 2,00$	2,50	2,00	1,82	1,54	1,43	1,43
7	$2,00 < T \leq 2,50$	2,00	1,60	1,45	1,23	1,14	1,14
8	$2,50 < T$	1,67	1,33	1,21	1,03	0,95	0,95

Com isto, foi realizada uma correlação entre as tabelas de tensão do LTF e LE#2, objetivando a modificação da tabela do LE#2 tal que seja contemplado as variáveis consideradas na tabela do LTF, conforme tabelas abaixo.

Tabela 3. Relação de tabelas de tensão do LTF e LE#2



3.3 Características do Mandril

Se o projeto do mandril limita a tensão máxima sobre seus componentes por permitir que o diâmetro do mandril contraia durante o tensionamento, certo cuidado deve ser tomado para assegurar que a contração seja minimizada por adequado projeto de estratégia de tensão. Contração do mandril significativa aumenta a probabilidade do deslizamento da bobina e ocorrência de telescópio por criar regiões de baixa pressão radial e aumento da tensão tangencial.⁽⁴⁾

Em função disto, para melhor controle e avaliação da performance dos mandris do LTF e LE quando estes estão expandido, foi implementado um ponto de coleta dos resultados da pressão dos mandris.

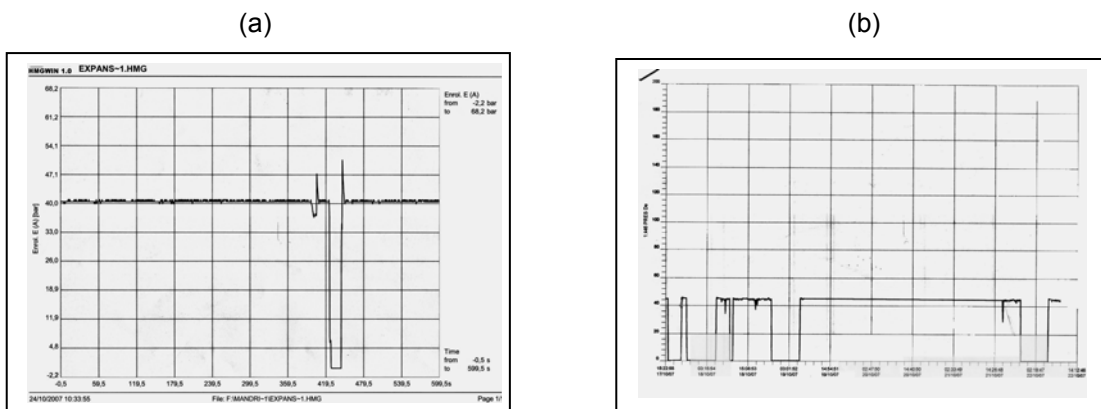


Figura 7. Registro de pressão do mandril de saída expandido do LE#2 (a) e LTF (b)

3.4 PARÂMETROS DO MATERIAL

Os parâmetros da tira que influenciam o comportamento de tensão são espessura, largura, dureza, módulo de Young e textura superficial ou rugosidade. No entanto, para um dado material, espessura e rugosidade são os mais significantes, devido afetarem a compressibilidade entre espiras na direção radial.⁽⁵⁾ A tira com rugosidade mais baixa e maiores tensões radiais seriam mais adequadas para evitar ocorrências de deslizamento. Entretanto, deve ser realizada com critério, pois esta condição aumenta o risco de colamento no recozimento em caixa.

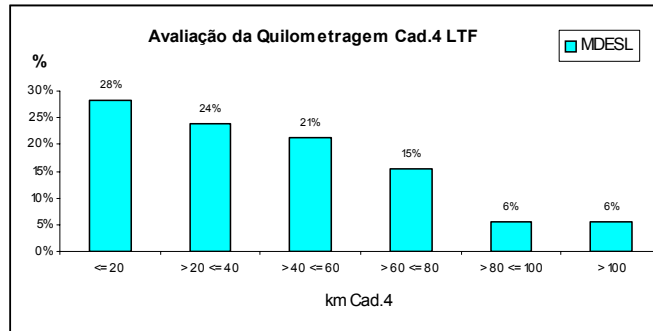


Figura 8. Gráfico da avaliação da quilometragem na Cad. 4 LTF

Esta condição foi verificada durante avaliação dos dados, onde a incidência de ocorrências de deslizamento é minimizada quando a condição de rugosidade no cilindro se encontra com a quilometragem avançada, caracterizando menores valores de rugosidade.

3.5 Influência da Movimentação da Bobina

A consequência da coroa da bobina irregular, aumenta a possibilidade de defeitos de movimentação durante o manuseio da tenaz da ponte rolante. A colocação da bobina na posição vertical com o bobinamento irregular, permite o deslocamento de espiras. Quanto menor a espessura da tira, intensifica a incidência do defeito.



Figura 9. Colisão durante manuseio da bobina com bobinamento irregular

A colisão provocada durante o manuseio poderá provocar o deslocamento das espiras e conseqüente afrouxamento. Em certas ocasiões, poderá haver a ruptura da solda na região do miolo realizada no laminador a frio, perdendo seu objetivo que é de fixar as primeiras espiras na região crítica ao deslizamento. A ruptura da solda no miolo poderá comprometer o tensionamento e provocar o deslizamento.

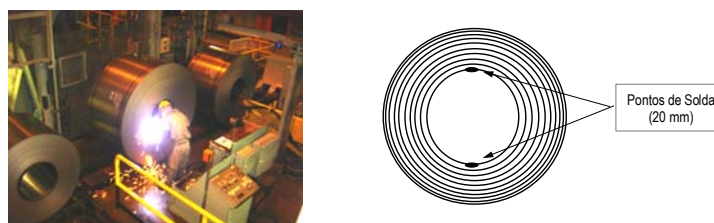


Figura 10. Solda de fixação na região do miolo da bobina no LTF

Além disto, foi implementado controle de avaliação da solda no miolo na entrada do laminador de encruamento. Os resultados apresentados neste controle foram

correlacionadas com as condições de processo, turno, material, operador, etc. Ajustes no processo foram realizadas, a partir destes dados para melhoria da solda.

Bobina	Solda rompida?		Tem Bava?	
	Sim	Não	Sim	Não

Figura 11. Controle de avaliação da solda no miolo

3.6 Estratégia de Tensão de Bobinamento

O deslizamento na bobina pode ser evitado pela estratégia de tensão. Conforme verificamos a relação entre a tensão radial e tensão de bobinamento, torna-se necessário com um aumento na tensão na região próxima ao diâmetro interno do mandril, de tal maneira que seja compensada com o decréscimo da tensão radial σ_r nesta região.

O patamar de tensão aplicado na região crítica ao deslizamento no LTF foi ajustado para garantia desta compensação, que possui uma correlação com o diâmetro da bobina, conforme gráfico abaixo.

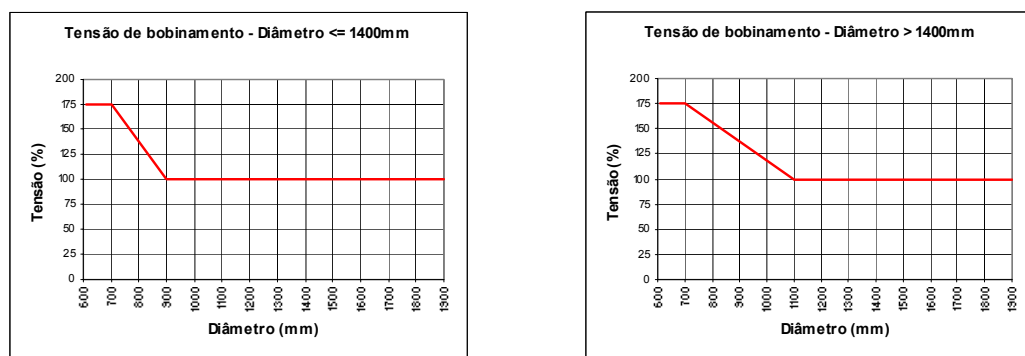


Figura 12. Curva de patamar de tensão do laminador a frio

Quando a força de tensão é aplicada para o tensionamento de uma bobina, existe a componente que é necessária para fletir a tira para conformar a forma da espira externa da bobina. Dependendo do raio R de uma bobina particular, espessura da tira h , largura W e limite de escoamento do material σ_y , pode ser um elástico quanto um componente de flexão plástico.⁽⁶⁾

3.7 Monitoramento do Processo de Desbobinamento

É também útil se um detector de deslizamento pudesse ser instalado para identificar quando o deslocamento entre espiras está ocorrendo. Estes parâmetros podem ser usados para compor um modelo de simulação de tensionamento da bobina para unir o que é observado e, então interativamente procurar por um ótimo ponto de operação que minimiza os problemas de tensionamento.

Tem sido utilizada para o monitoramento do defeito, a marcação no miolo da bobina conforme figura abaixo. O deslocamento desta marcação caracteriza-se o deslizamento durante o desbobinamento.



Figura 12. Método de avaliação de deslizamento no laminador de encruamento

4 RESULTADOS

Em função das ações realizadas nos parâmetros mencionados durante apresentação do trabalho, permitiu que reduzíssemos consideravelmente o índice de ocorrências do defeito marca de deslizamento, com redução significativa nos descartes e aumento no rendimento de produto, conforme gráfico abaixo.

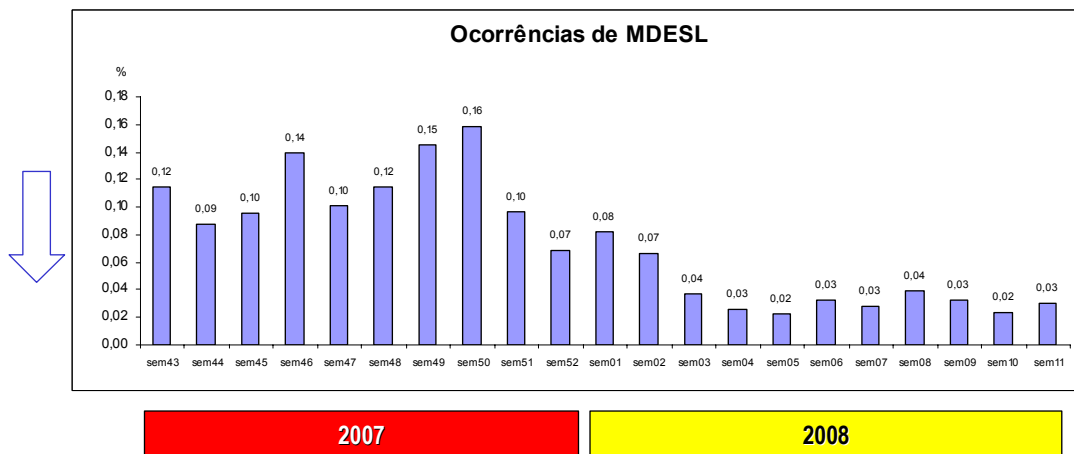


Figura 13. Ocorrências de marca de deslizamento no LE#2

5 CONCLUSÃO

Com algumas ações e monitoramentos permitiu-se reduzir e estabilizar os resultados operacionais com relação as ocorrências do defeito deslizamento, tais como:

1. Análise da geração dos defeitos;
2. Sistemática de acompanhamento dos resultados preliminares e parciais;
3. Principais ações realizadas para redução deste defeito são:
 - Controle sobre as velocidades do laminador;
 - Controle de tensão durante desbobinamento e bobinamento;
 - Adequação das tensões consecutivas;
 - Monitoramento da expansão dos mandris através de sensores e pressostato;
 - Controle de rugosidade;
 - Utilização de tenaz eletro-permanente em substituição a tenaz mecânica;
 - Relatório de avaliação da qualidade da solda de miolo LTF na entrada LE;
 - Avaliação operacional do bobinamento com marcação na coroa da bobina;

Portanto, como na maioria dos campos de engenharia de processo, muitos problemas aparecem devido à combinação de variáveis levando a falha do processo, para tal, é necessário o acompanhamento contínuo dos componentes chaves do equipamento e padronização das rotinas operacionais e de processo.

Agradecimentos

Jackson Soares de Souza Reis, Paulo Cesar de Andrade Duarte, Ivair Ferreira D'Oliveira, Carlos José A de Oliveira, Jorgival Alves dos Santos, Jair Eusébio Santana Jr, Supervisores de Operação do Laminador de Encruamento, Supervisores e Inspetores Mecânico e Elétrico do Laminador de Encruamento, Supervisores e Inspetores da Linha de Inspeção.

REFERÊNCIAS

- 1 Goodridge, R. J., Reel Drives for High Performance Rolling Mills and Metal Processing, GEC-AEI Journal, vol. 35, No. 1, 1968.
- 2 Sims, r. B., and Place, J. A., The Stresses in the Reels of cold Reduction Mills, Journal of applied Physics, vol. 4, 1953, p. 213.
- 3 Wilkening, H., doctoral thesis, Determination of the Radial Coiler Loading During the coiling of Strip, Rheinisch-Westflischen Technischen Hochschule, Aachen, 1965.
- 4 Wadsley, A. W., and Edwards, w. J., coil Winding Stresses, Journal of Australian Institute of Metals, Vol. 22, 1977, pp. 17-27.
- 5 Cozijnsen, M., and Yuen, W.Y.D., Stress Distributions in Wound Coils, Proceedings, 2nd Biennial Australian Engineering Mathematics Conference, Sydney, 1996, pp. 117-174.
- 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.