

REDUÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE MARCAS DE VIBRAÇÃO NO LAMINADOR DE TIRAS A FRIO No. 3 (LTF#3) DA CSN ¹

*Eduardo Sidney Dias ²
João Eduardo Baptista Zeghir ³
Wanderlei da Silva Grecia ⁴
Hélio Cabral de Oliveira ⁵*

Resumo

O defeito “marca de vibração” em materiais laminados a frio é bastante conhecido e motivo de estudo em siderúrgicas de todo o mundo. No LTF#3 da CSN, esse defeito causou em 2003 uma perda de receita estimada em R\$ 5.000.000,00 devido ao não atendimento de encomendas, perdas de produtividade e aumento nos custos de produção. O trabalho aqui descrito foi desenvolvido utilizando as técnicas e Métodos para Análise e Solução de Problemas (MASP) e apresenta os estudos realizados e as contramedidas utilizadas por um grupo formado por profissionais de operação, engenharia de equipamentos, manutenção preditiva e oficina de cilindros. Também são apresentados detalhes sobre as técnicas utilizadas para medição de vibração que se mostraram fundamentais para os resultados alcançados. Após implementação das medidas propostas, as ocorrências do defeito tiveram uma redução de aproximadamente 50% e nenhum desvio foi observado durante o ano de 2004.

Palavras-chave: Vibração; Laminação a frio; Laminador; Medidas

¹ *Contribuição técnica ao 42º. Seminário de Laminação Processos e Produtos Laminados e Revestidos da ABM, outubro de 2005, Santos-SP*

² *Engenheiro Eletrônico, Coordenador de Projetos Especiais da Gerência Geral de Galvanizados e Laminados a Frio da Usina Presidente Vargas – CSN, Volta Redonda/RJ*

³ *Engenheiro Sênior de Manutenção da Gerência de Tecnologia de Equipamentos da Usina Presidente Vargas – CSN, Volta Redonda/RJ*

⁴ *Técnico Especialista da Gerência de Tecnologia de Equipamentos da Usina Presidente Vargas – CSN, Volta Redonda/RJ*

⁵ *Técnico Especialista da Gerência de Cilindros da Laminação da Usina Presidente Vargas – CSN, Volta Redonda/RJ*

1 INTRODUÇÃO

O Laminador de Tiras a Frio No. 3 (LTF#3) é do tipo quádruplo de 5 cadeiras, iniciando sua operação em 1982, projetado para uma capacidade de 1.500 Mton/ano e velocidade máxima de laminação igual a 1890 m/min. Atualmente, o LTF#3 é o único fornecedor de bobinas “full-hard” para os fluxos de produtos zincados e de linha a frio da CSN-Volta Redonda e GALVASUD, logo, interrupções de produção não planejadas e defeitos de qualidade no LTF#3 irão afetar diretamente o abastecimento e qualidade desses fluxos.

O defeito “Marca de Vibração” é bastante conhecido e motivo de estudo em siderúrgicas de todo o mundo⁽¹⁻⁸⁾ que operam em laminação a quente, laminação a frio ou laminação de encruamento. Esse defeito é inaceitável nos produtos laminados a frio para aplicações mais nobres (Linha branca e Ind. Automobilística, dentre outras). No LTF#3 da CSN, esse defeito causou em 2003: i) Perda no atendimento à data compromisso com o cliente devido ao desvio da encomenda original; ii) Aumento dos custos de produção com a mudança de fluxo para aproveitamento do material; iii) Aumento de custo com a redução do rendimento metálico; iv) Perda de produção no LTF#3 devido às paradas para inspeção e trocas de cilindros (trabalho e encosto) e redução da velocidade de laminação (principal contramedida para o defeito); v) Maior consumo de cilindros de laminação decorrente do maior número de trocas.

O trabalho desenvolvido teve como principal objetivo controlar as ocorrências das “Marcas de Vibração”, garantindo o atendimento da qualidade necessária aos produtos laminados e o atendimento de produção para abastecimento das linhas a frente do Laminador. O domínio sobre os principais fatores que provocam a vibração no LTF#3 também foi objetivado como fator preponderante na manutenção de nossa competitividade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Esse trabalho foi desenvolvido utilizando as técnicas e Métodos para Análise e Solução de Problemas (MASP) com a formação de uma equipe constituída por profissionais de operação, engenharia de equipamentos, manutenção preditiva e oficina de cilindros. A seqüência de ações a seguir foi usada na condução do nosso trabalho:

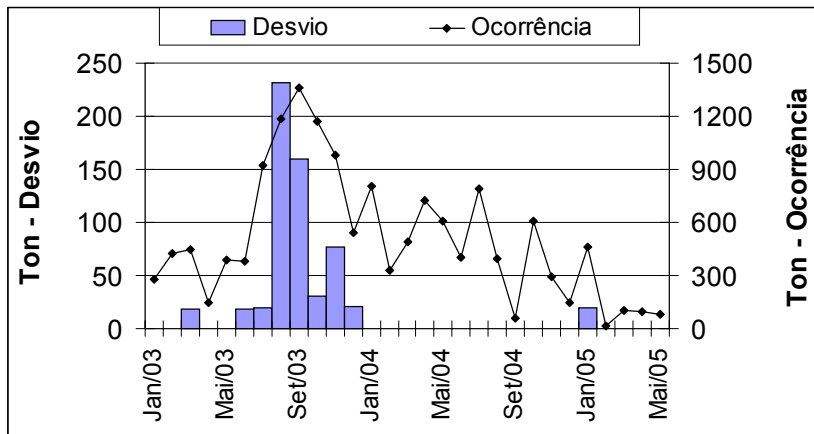
1. Identificação e caracterização das “Marcas de Vibração”;
2. Identificação da cadeira com vibração;
3. Análise e identificação das causas da vibração;
4. Ações Corretivas sobre as causas levantadas;
5. Verificação dos resultados;
6. Padronização e treinamento.

Para a aquisição dos dados de vibração foram utilizados os seguintes instrumentos e acessórios: i) Analisador e coletor de dados CSI 2120; ii) Fototacômetro modelo 404; iii) Acelerômetros e cabos.

Os dados de vibração (espectros de freqüência e forma de onda) foram adquiridos posicionando-se os sensores de vibração nos mancais dos cilindros de trabalho e encosto das referidas cadeiras de laminação, durante o processamento de materiais com velocidades e cargas variadas.

3 RESULTADOS

O gráfico adiante não deixa dúvidas sobre a eficácia das ações realizadas, entretanto, fica evidente também que o defeito ainda se manifesta.



Definição:

Desvio – A bobina produzida não tem qualidade para atender a Ordem de Venda, então, ela é “desviada” para outra Ordem de Venda com qualidade inferior;

Ocorrência – O defeito não é impeditivo de atender a Ordem de Venda.

Figura 1. Evolução do defeito “Marca de Vibração”

Nesse gráfico podemos identificar um patamar comum de qualidade no período de janeiro a junho/2003 com ocorrências em torno de 400 ton e desvios esporádicos de apenas 1 bobina/mês. De julho a novembro/2003 temos um período de crise, quando o grupo de trabalho foi montado e atuou de forma mais intensa sobre o defeito tomando ações de execução em curto prazo (conforme detalhamento adiante). De dezembro/03 a dezembro/2004, temos um novo patamar comum de qualidade, entretanto, com volumes mais elevados de ocorrências, variando de 400 a 700 ton/mês, aproximadamente. Durante esse período, realizamos o acompanhamento e demos continuidade as ações estabelecidas (conforme detalhamento adiante) que exigiam maior tempo para implantação. Ao final de 2004, concluímos todas as ações estabelecidas pelo grupo de trabalho.

4 DISCUSSÃO

4.1 Identificação e Caracterização das “Marcas de Vibração”

Vários artigos e autores⁽⁸⁻¹⁰⁾ destacam 3 tipos predominantes de vibração: i) Torsional⁽¹¹⁻¹⁴⁾; ii) 3^a. Oitava^(1,15-18) que, na prática, se apresenta em frequências próximas a 150 Hz e iii) 5^a. Oitava^(19,20) que, na prática, se apresenta em frequências de 550 a 650 Hz. Nessa literatura também são destacadas as principais conseqüências para cada tipo de vibração e a forma mais usual de sua manifestação. Sendo assim, a caracterização das “Marcas de Vibração” é realizada observando as condições de laminação, especificação do material e o padrão das marcas quando das suas ocorrências. Nessa etapa, recomendamos o uso de uma ficha a ser preenchida quando for verificada a “Marca de Vibração”. Sugerimos que as seguintes informações sejam incluídas nessa ficha:

- Dados do Material: Identificação da Bobina, Espessura a Quente, Espessura a Frio, Largura, Grau do aço e Fluxo de Produção (linha a frio, zincado, “full-hard”, etc.);
- Dados da Laminação: Data, Hora, Equipe, Padrão de lubrificação e refrigeração (concentração, pressão, etc.), Dados dos cilindros de trabalho e encosto (diâmetros, rugosidade, coroa e campanha), Plano de redução, Velocidades, Forças e Tensões;
- Dados do Defeito: Intensidade (leve/médio/forte), Face (superior/inferior), Local na bobina (Início/Meio/Fim) e Distância entre marcas.

Com os dados levantados, uma estratificação utilizando gráficos de pareto irá apontar as características mais influentes para a ocorrência do defeito. Em nosso caso, as informações a seguir se destacaram dentre os materiais com “Marcas de Vibração”:

- Espessura a quente de 3.30 a 3.50 mm e espessura a frio entre 0.60 e 0.80 mm (inclusive);
- Largura entre 1200 e 1400 mm (inclusive);
- Velocidade de Laminação acima de 800 mpm;
- Distância entre as “Marcas de Vibração” de 25 a 35 mm.

Verificando os dados de laminação para esses materiais, podemos determinar a frequência com que a marca ocorre. A seguir, são apresentados esquemas de laminação utilizados quando da ocorrência de marcas numa distância de 31 mm verificadas na saída do laminador:

Tabela 1. Dados referentes a 2 casos de vibração registrados

	Material 3.30 x 0.60 x 1200 mm				Material 3.50 x 0.80 x 1200 mm			
	Red.	Vel. (mpm)	(1) Dist. (mm)	(2) Freq. (Hz)	Red.	Vel. (mpm)	(1) Dist. (mm)	(2) Freq. (Hz)
Cad#1	35,0%	333	9	645	32,0%	404	10	645
Cad#2	40,0%	555	14	645	35,0%	621	16	645
Cad#3	34,0%	841	22	645	30,0%	887	23	645
Cad#4	27,0%	1152	30	645	23,0%	1152	30	645
Cad#5	4,0%	1200	31	645	4,0%	1200	31	645

NOTAS:

- (1) Distância calculada entre as marcas na saída da cadeira para chegar a 31 mm na saída da cadeira 5;
- (2) Frequência (F) calculada da marca de acordo com a distância (D) e a velocidade (V) na cadeira.

$$F \text{ (Hz)} = 16.67 \times V \text{ (mpm)} / D \text{ (mm)}$$

Verificamos que uma única frequência de vibração (nesse caso, 645 Hz) em qualquer uma das cadeiras pode ser a responsável por essa marca. Essa frequência conduz a uma vibração do tipo 5^a. Oitava.

4.2 Identificação da Cadeira com Vibração

Para a identificação da cadeira que está provocando as Marcas no produto com uma vibração de 5^a. Oitava, podemos recomendar as seguintes observações que podem ser realizadas isoladamente ou de forma combinada:

- Inspeção nos cilindros de encosto – Na vibração de 5^a. oitava, os cilindros de trabalho se movimentam de encontro aos cilindros de encosto que, por possuírem uma dureza inferior aos de trabalho,

sofrerão maiores deformações tornando a visualização das marcas no encosto mais perceptível;

- Medir o nível de vibração nas cadeiras de laminação – Utilizando equipamentos específicos para essa medição, verificamos a cadeira que apresenta nível de vibração mais elevado em frequências próximas a determinada pelos cálculos apresentados no item anterior.

Dentre as formas citadas acima, a mais eficiente é a medição do nível de vibração porque os cilindros de encosto podem não apresentar marcas perceptíveis⁽²¹⁾ no início de sua campanha ou porque o nível de vibração é muito baixo para provocá-las, entretanto, os produtos laminados podem apresentar marcas que não são aceitáveis. O uso combinado entre as duas formas é o ideal nesse tipo de vibração, e foi exatamente assim que determinamos a 4ª. cadeira como sendo a geradora das marcas no produto laminado.

As medida de vibração mostrada a seguir destaca a 4ª. cadeira como a que possui maior amplitude em frequências próximas à calculada na Tabela 1. Uma inspeção nos encostos dessa cadeira também nos revelou as marcas.

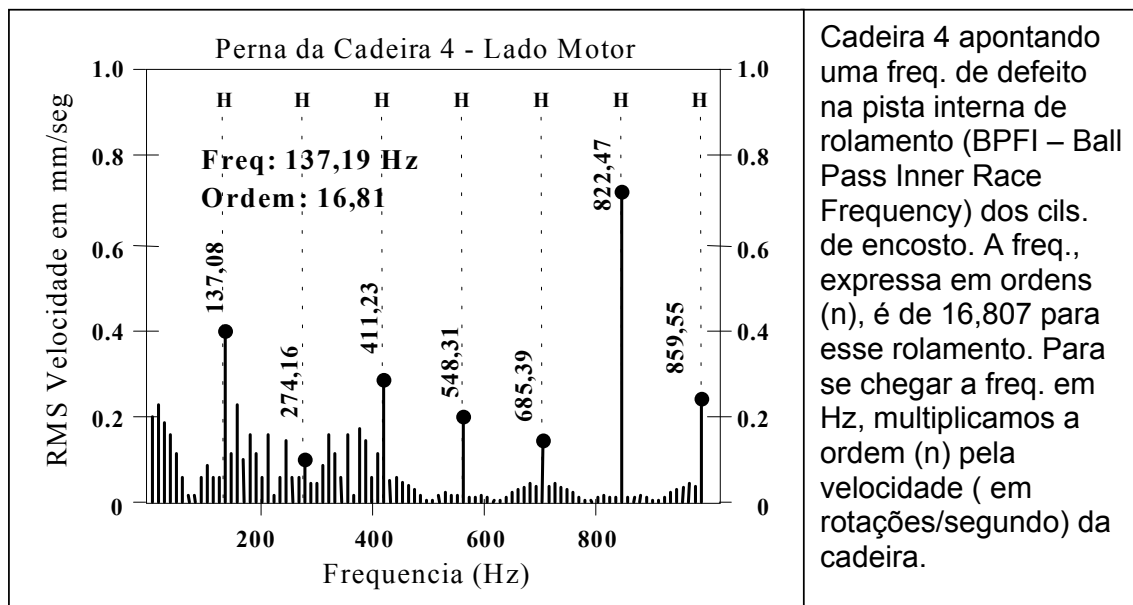


Figura 2. Medida de Vibração na Cadeira 4.

4.3 Análise e Identificação das Causas da Vibração

Em nosso caso particular, a medição de vibração da cadeira 4 apresentada na figura anterior (Figura 2) apontava frequências de defeito na pista interna do rolamento (BPFI – Ball Pass Inner Race Frequency) dos cilindros de encosto. A ação tomada imediatamente foi realizar a troca do par de encostos nessa cadeira. Inspeccionando a superfície do encosto trocado, verificamos “marcas de vibração”, num padrão semelhante ao verificado nos materiais laminados. No primeiro dia da campanha do novo encosto, as medições não apresentaram as frequências de defeito e o material sendo laminado não apresentou “Marcas de Vibração”. Contudo, no segundo dia de campanha desse novo encosto, detectamos frequências BPFI referentes aos rolamentos dos cilindros de encosto e trabalho, porém, com níveis de vibração bem mais baixos. As “Marcas de Vibração” estavam presentes nos

materiais laminados e, após a troca dos cilindros de trabalho, as marcas no produto laminado desapareceram, assim como, as frequências BPFi verificadas anteriormente. Realizando uma inspeção visual sobre a superfície do encosto não identificamos nenhuma marca. Essa observação nos levou a uma conclusão inicial de que a frequência BPFi do encosto era reflexo de outras excitações que foram eliminadas quando da troca dos cilindros de trabalho. Ou ainda, que aquele conjunto substituído apresentava alguma falha.

Realizamos testes de impacto (“bump test”)^(20,22) para determinação das frequências naturais dos conjuntos de cilindros de trabalho e de encosto e obtivemos o seguinte resultado nas medições de vibração:

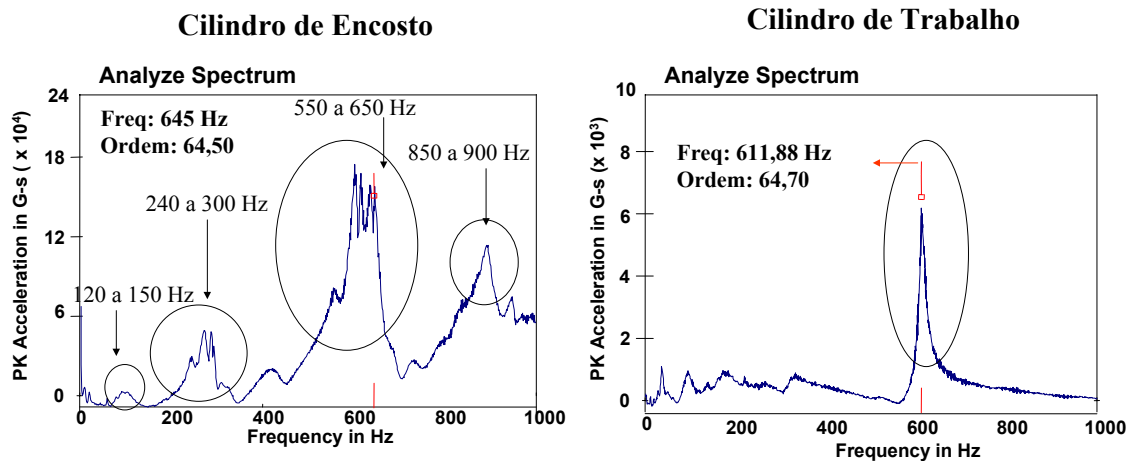


Figura 3. Modos Naturais de Vibração dos Conjuntos de Cilindros

Esses resultados indicam uma concordância total entre as frequências naturais dos cilindros de encosto (3º. modo – de 550 a 650 Hz), cilindros de trabalho (600 a 620 Hz) e a faixa de frequência observada (645 Hz) na “Marca de Vibração” da Tabela 1.

Verificando o comportamento da vibração de acordo com a velocidade de laminação, realizamos medições em instantes com velocidades de regime diferentes. Esses resultados são apresentados a seguir:

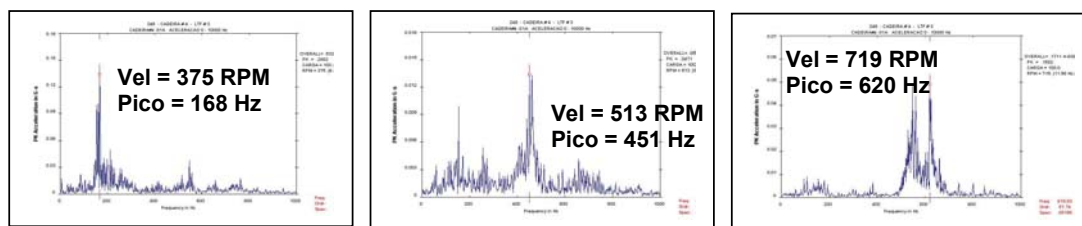


Figura 4. Vibração da 4ª. cadeira em diferentes velocidades.

Essa análise nos levou a considerar que as frequências naturais dos cilindros de encosto e trabalho são excitadas em certas velocidades de laminação^(4,21) que podem ser atingidas em um curto período durante um estágio de aceleração ou desaceleração, ou ainda, numa situação mais grave, quando essa velocidade é mantida num estágio de regime permanente. Essa vibração provoca marcas nos cilindros de encosto que, dependendo de sua intensidade, podem ser transferidas ao

produto laminado mesmo que não haja excitações externas, pois nesse caso, as próprias marcas do encosto farão o papel de excitador.

As folgas na cadeira e componentes dos mancais irão determinar a intensidade da vibração, ou seja, não basta apenas que haja excitações, mas o deslocamento permitido a ela também será fundamental.

4.4 Ações Corretivas sobre as Causas Levantadas

Seguindo as nossas considerações preliminares, realizamos uma série de inspeções nos mancais dos cilindros e verificamos um grande desgaste nas pistas dos rolamentos em alguns mancais de trabalho, conforme figuras a seguir:

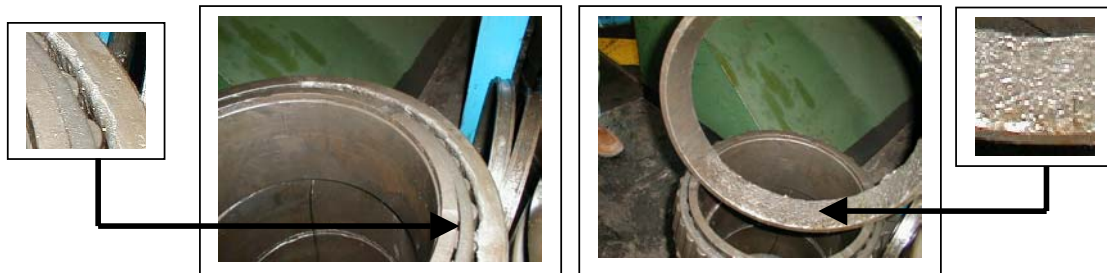


Figura 5. Fotos de um rolamento usado num Mancal do Cilindro de Trabalho

Estudando mais detalhadamente esse problema, descobrimos que a braçadeira para ajustar as folgas do rolamento não estava sendo montada corretamente em alguns conjuntos permitindo um passeio axial dos roletes sobre as pistas de rolamento além das condições de projeto. Os parafusos de frenagem dessa braçadeira, em regime de trabalho, também não estavam suportando os níveis de vibração e se soltavam permitindo o aumento das folgas nesse rolamento.

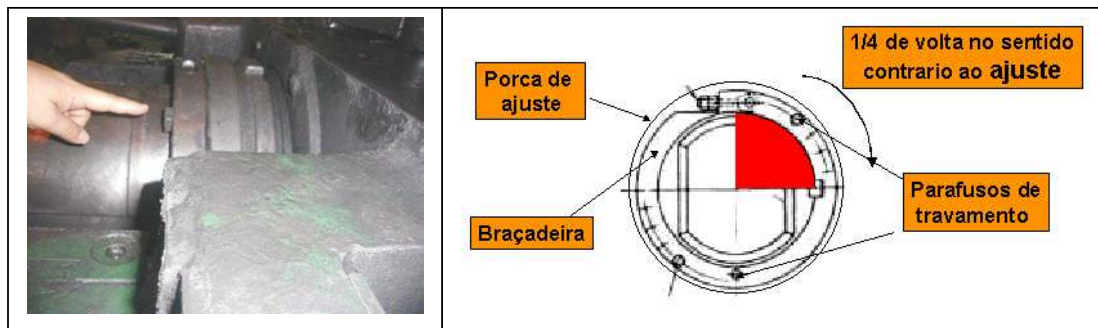


Figura 6. Detalhe de fixação da braçadeira no mancal do cilindro de trabalho.

Uma medição geral das folgas nas cadeiras foi realizada e todas as não conformidades encontradas foram eliminadas. Essas medições incluíram os liners dos cilindros de trabalho, encosto e trancas.

Os esquemas de laminação nos materiais onde as velocidades de laminação em regime correspondem às distâncias das “Marcas de Vibração” (Tabela 1) e às frequências naturais de vibração dos cilindros de trabalho e encosto foram revisados para evitar a situação mais crítica que é permanecer em regime com uma velocidade mais próxima a vibração.

4.5 Verificação dos Resultados

Com a evolução nas ocorrências e desvios por “Marcas de Vibração” apresentadas na Figura 1, podemos verificar que as ações realizadas promoveram uma significativa redução desse defeito atendendo plenamente o objetivo do grupo.

4.6 Padronização e Treinamento

Essa fase é tão importante no trabalho quanto as análises e ações realizadas, porque ela irá garantir a confiabilidade nos resultados obtidos. Nesse sentido, foram revisados os padrões de montagem dos conjuntos de cilindros de trabalho e os procedimentos operacionais referentes a utilização de planos de redução e velocidades de laminação. A disseminação ao piso de fábrica dos conhecimentos adquiridos com o trabalho realizado, juntamente com o treinamento de utilização dos padrões revisados, é fundamental para garantir uma perfeita execução e promover uma consciência de co-responsabilidade sobre o defeito tratado.

5 CONCLUSÃO

Em nosso caso particular, entendemos que a existência de frequências naturais comuns entre os conjuntos de cilindros de trabalho e encosto é uma condição potencial para níveis de vibração mais elevados quando essa frequência é excitada por certas velocidades de laminação e condições de processo. As folgas excessivas nos rolamentos de alguns mancais de cilindros de trabalho, provocadas por uma falha de montagem, propiciavam condições de vibração com intensidade capaz de marcar os encostos que serão mais “danificados” quanto maior for o período de exposição. Uma vez que o encosto já se apresenta bastante “danificado”, mesmo sem a ocorrência de vibração, as marcas serão transferidas para o material.

Em nosso trabalho, obtivemos um bom resultado mesmo sem fazermos uso de sistemas para medição “on-line” de vibração, o qual é fortemente recomendado em várias literaturas consultadas. Isso pode ter sido um dos motivos para que não tenhamos conseguido eliminar totalmente as ocorrências de vibração conforme mostrado na Figura 1. Contudo, os resultados obtidos atendem plenamente as expectativas para os nossos produtos sem que necessitássemos realizar nenhum investimento em equipamentos, apenas utilizando recursos já disponíveis a nossa manutenção preditiva.

BIBLIOGRAFIA

- (1) L. Chefneux, J.-P. Fischbach, J. Gouzou, *Iron Steel Engr.* 61 (11) (1984) 17-26
- (2) G.L. Nessler, J.F. Cory Jr., *Iron Steel Engr* 70 (1) (1993) 40-45
- (3) G.L. Nessler, J.F. Cory Jr., *Iron Steel Engr* 66 (12) (1989) 33-38
- (4) B.R. Hardwick, T.S. Dunlop, *Iron Steel Engr.* 76 (1) (1999) 39-45
- (5) S.J. Richards, *Iron Steel Engr.* 69 (6) (1992) 33-38
- (6) W. Hofmann, H. Aigner, *Metall. Plant Technol. Int.* 22 (1) (1998) 98-100, 102
- (7) J.J. Gasparic, *Iron Steel Engr.* 68 (2) (1991) 27-29
- (8) W.L. Roberts, *Flat Processing of Steel*, Marcel Dekker 1987, 575-664
- (9) Y.X. Wu, J.A. Duan, *Journal of Materials Processing Technology* 129 (2002) 148-151
- (10) I.S. Yun, W.R.D. Wilson, K.F. Ehmman, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 38 (1998) 1499-1530
- (11) J.H. Gallenstein, *Torsional chatter on a 4-h cold mill*, AISE Year Book (1981) 60-65
- (12) R.H. Moller, J.S. Hoggart, *Journal of Australian Institute of Metals* 12 (2) (1967) 155-164
- (13) N.H. Cook, *Manufacturing Analysis*, Reading, Mass., 1966
- (14) G. Monaco, *Dynamics of rolling mills – mathematical models and experimental results*, AISE Year Book (1977) 399-410
- (15) T. Tamiya, K. Fumi, H. Iida, *Analysis os chattering phenomenon in cold rolling*, Proceedings of International Conference on Steel Rolling, ISIJ, Tokyo, 1980, pp-1191-1202
- (16) J. Tlustý, G Chandra, S. Critchley, D. Paton, *Chatter in cold rolling*, *Annals of the CIRP* 31 (1) (1982) 195-199
- (17) O Pawelski, W. Rasp, K. Friedewald, *Chattering in cold rolling – Theory of interaction of plastic and elastic deformation*, in: Proceedings of 4th International Steel Rolling Conference, The Science and Technology of Flat Rolling, Deauville, France, 2, 1987, E.11.1-E.11.5
- (18) D.L. Paton, S. Critchley, *Tandem mill vibration: its cause and control*, *Iron and Steel Making* (1985) 37-43
- (19) W.L. Roberts, *A simplified cold rolling model*, *Iron and Steel Engineer Year Book* (1965) 925-937
- (20) G.L. Nessler, J.F. Cory, *Cause and solution of fifth octave backup roll chatter on 4-h cold mills and temper mills*, *Iron and Steel Engineer* (1989) 482-486
- (21) J.C. Groothuizen, L.J. van Egmond, G. Van Steden, *Chatter detection in a five stand cold mill*, presented during yearly conference of Association Technique de la Sidérurgie Française, Paris, 4-5 december, 1991
- (22) J.R. Nieb, V.T. Nicolas, *automated monitoring and control of vibration and chatter in rolling processes*, *Iron and Steel Engr*, july, 1991, 33-42

REDUCTION OF CHATTER MARKS IN MATERIALS ROLLED AT CSN TANDEM COLD MILL ¹

*Eduardo Sidney Dias*²
*João Eduardo Baptista Zeghir*³
*Wanderlei da Silva Grecia*⁴
*Hélio Cabral de Oliveira*⁵

Abstract

Chatter marks in cold rolled products is well-known and studied by several steel makers all around the world. This defect caused to CSN's Tandem Cold Mill a lost estimated of US\$ 1,500,000 due to productivity reduction, rejection of rolled materials and increase of production costs (mainly by roll changes and mill stoppages to products inspection). The work described herein was developed in accordance with TQC tools and techniques for analysis and solution of problems presenting the actions and studies done by a group formed of operational, equipment and roll shop professionals. The techniques used to measure vibration are present in detail as an important event to match the targets. After implementation of actions the chatter mark occurrence has reduced strongly.

Key words: Vibration; Cold rolling; Cold mill; Measurements.

¹ *Technical Contribution to the 42th Rolling Seminar, Processes, Rolled and Coated Products of Brazilian Society for Metallurgy and Materials (ABM), october-2005, Santos-SP, Brazil*

² *Electronic Engineer, Special Projects Coordinator of the Galvanizing and Cold Rolled Production General Management, Usina Presidente Vargas – CSN, Volta Redonda/RJ, Brazil*

³ *Senior Maintenance Engineer of the Management for Equipment Technology, Usina Presidente Vargas – CSN, Volta Redonda/RJ, Brazil*

⁴ *Senior Technical of the Management for Equipment Technology, Usina Presidente Vargas – CSN, Volta Redonda/RJ, Brazil*

⁵ *Senior Technical of the Roll Shop Management, Usina Presidente Vargas – CSN, Volta Redonda/RJ, Brazil*