

ESTUDO E CONTROLE DE CHATTER MARKS EM LAMINADORES SENDZIMIR ⁽¹⁾

José Carlos Batista (2)
Clenio da Silva Santana (3)
Custódio de Oliveira Leite (4)
José Torres de Castro (5)
Christophe Carel (6)
Paulo César da Silva (7)
Sérgio R. Guimarães (8)
Ronaldo de A. Rodrigues (9)

RESUMO

O laminador 3 da Laminação a Frio de Inoxidáveis apresentava o defeito vibrado (T91) desde o seu *start-up* em 1985. Vários estudos já foram realizados, inclusive por equipes externas, sem contudo se lograr o completo domínio da performance do equipamento. Nas intervenções realizadas anteriormente, apenas se obtinha a eliminação do nível mais grave do defeito.

O projeto foi iniciado em novembro de 2001 e desenvolvido por uma equipe multi-disciplinar (Operação, Retífica de Cilindros, C. Processo, Manutenção e Engenharia) aplicando as 07 etapas da metodologia DIP, visando a redução do valor histórico de ocorrência de T91 de 49,3% em 2001 (741t mensais, em média) para uma meta inicial de 24,6%.

Foram identificadas 207 causas possíveis, das quais 175 priorizadas. Foram estudados as 35 causas com maior criticidade implantando melhorias e correções no Processo tais como :

- Eliminação das folgas no equipamento;
- Melhoria nas máquinas de retífica;
- Padronização das operações de retífica de cilindros, operação e manutenção do LB3;
- Alterações elétricas nos motores principais do equipamento;
- Identificação e eliminação de faixas críticas de velocidade;
- Desenvolvimento de rolos tensores e defletores revestidos;
- Revisão do padrão de pressões de óleo.

Como resultado, foi obtida uma redução da ocorrência de vibrado (T91) para 12,9% em 2002 e 3,7% em 2003.

Palavras-chave: *chatter-marks*, laminação, inoxidáveis

(1) Contribuição Técnica a ser Apresentada no 41º COLAM – Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos – Joinville – SC – 2004.

(2) Engenheiro Mecânico, M. Sc., Metalurgista da Gerência de Laminação a Frio de Inoxidáveis da Acesita.

(3) Engenheiro Mecânico, Assistente Técnico Coordenador da metodologia DIP da Gerência de Melhoria Contínua da Acesita.

(4) Técnico Mecânico, Assistente técnico da Gerência de Laminação a Frio de Inoxidáveis da Acesita.

(5) Engenheiro Mecânico, Assistente Técnico da Gerência de Manutenção da Laminação a Frio de Inoxidáveis da Acesita.

(6) Consultor da Arcelor, Assistente Técnico da Gerência de Inoxidáveis da Acesita.

(7) Técnico em Mecânica, Assistente Técnico da Gerência de Laminação a Frio de Inoxidáveis da Acesita.

(8) Engenheiro Mecânico, Assistente Técnico da Gerência de Engenharia da Acesita.

(9) Engenheiro Eletricista, Assistente Técnico da Gerência de Manutenção da Laminação a Frio de Inoxidáveis da Acesita.

1- Introdução

O defeito vibrado (ou tremido ou *chatter marks*) é extensivamente estudado nos processos industriais em todo o mundo, quer sejam em operações de laminação a quente, laminação a frio, mandrilhamento, retífica, polimento e inúmeros outros processos em que haja contato entre uma ferramenta em movimento e o material. O defeito se caracteriza por marcas repetitivas causadas pela existência de freqüências no equipamento.

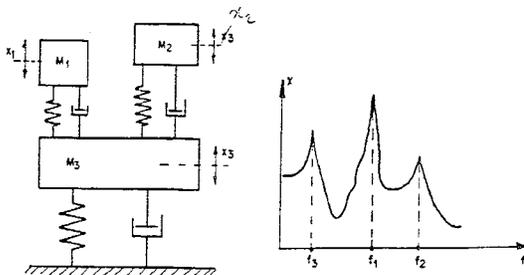
O laminador 3 da Laminação a Frio de Inoxidáveis apresentava o defeito vibrado (T91) desde o seu *start-up* em 1985. Vários estudos já foram realizados, inclusive por equipes externas, sem contudo se lograr o completo domínio da performance do equipamento. Nas intervenções realizadas anteriormente, apenas se obtinha a eliminação do nível mais grave do defeito.

Em meados de 2000, face à reclamações de clientes, os materiais considerados críticos passaram a ser laminados somente no LB4 que provocava a redução de produção das bobinas mais finas, perdendo oportunidade de laminar um material de maior retorno financeiro para a ACESITA. Um grupo multifuncional foi criado em novembro de 2001 para abordagem ao sistema utilizando a metodologia DIP (Domínio Integrado do Processo), cujo coordenador na Acesita é Clênio Santana da Silva – EMC.

2- Desenvolvimento

2.1 - Análise de vibração

A vibração é uma oscilação em torno de uma posição de referência ⁽¹⁾. Ela é encontrada em todos os equipamentos industriais como resultado de forças dinâmicas de excitação. Um sistema simples MASSA-MOLA-AMORTECEDOR, chamado de sistema de um grau de liberdade, colocado como exemplo para um movimento vibratório exibirá, ao receber uma determinada energia de excitação, um movimento periódico que poderá ser caracterizado por sua freqüência em ciclos por segundo ou Hertz. Um sistema MASSA-MOLA-AMORTECEDOR composto, chamado de múltiplo grau de liberdade, exibirá freqüências que serão resultado da combinação dos componentes rigidez (a mola), a inércia (a massa) e a dissipação de energia (amortecimento) do sistema (figura 1).



Além das freqüências naturais, poderão haver outras originadas de defeitos nos componentes do sistema, quer sejam folgas, falhas em rolamentos, excentricidades, desbalanceamentos, problemas de lubrificação, erros de projeto, dentre outros, chamadas freqüências determinísticas ou vibração forçada.

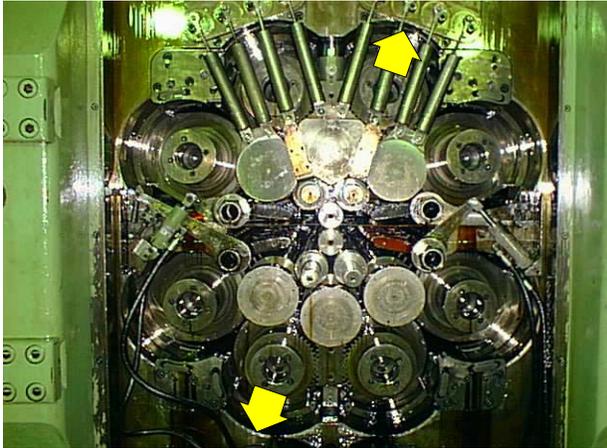
2.2 - *Chatter marks* na Laminação

Dada a sua complexidade e o efeito extremamente danoso ao produto, existe uma grande variedade de estudos sobre *chatter marks* na laminação a frio e a quente ⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾⁽²³⁾⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾⁽³⁰⁾⁽³²⁾⁽³⁵⁾, bem como alguns trabalhos tratando de seu controle ⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾⁽³³⁾⁽³⁴⁾.

Os trabalhos mais antigos são relativos a laminadores de grande porte e apontam os primórdios da análise dos espectros de freqüência e sua utilização na identificação das fontes de *chatter* principalmente torcionais ⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾⁽³⁵⁾⁽³⁷⁾, identificando freqüências da ordem de 5 a 20Hz. Em geral, o defeito descrito consistia de grandes variações cíclicas de espessura, inaceitáveis nos dias de hoje.

A partir da década de 80, trabalhos mais aprimorados tecnicamente apresentam a discussão das origens das freqüências do *chatter* e a análise mais detalhada dos espectros obtidos ⁽¹¹⁾⁽²⁰⁾. Yarita et alli ⁽¹¹⁾ apresenta uma análise detalhada da laminação com vistas a discussão matemática do

fenômeno enquanto Tamiya et alli ⁽²⁰⁾ apresenta uma visão extremamente prática, discutindo defasagem nas freqüências de variação de tração como causa do *chatter*. O trabalho de Tamiya



é analisado matematicamente em detalhe por Yun ⁽¹³⁾ que, entretanto, não apresenta validação experimental da discussão.

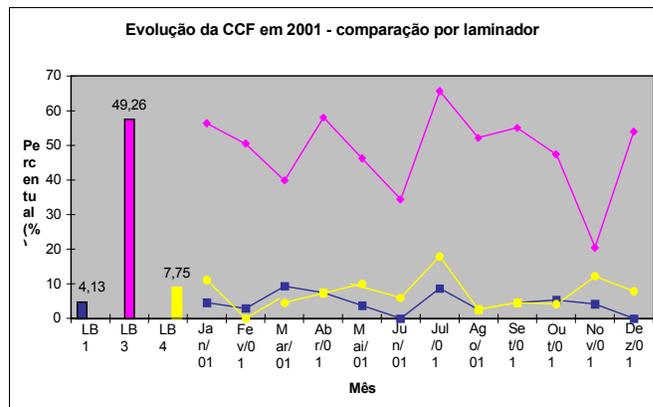
O efeito da lubrificação na laminação é analisado por Moller et Hoggart ⁽³⁷⁾, porém para condições críticas de lubrificação e por Yarita et alli ⁽¹¹⁾ para a condição de laminação com emulsão. Guo ⁽¹⁶⁾ apresenta o amortecimento (*damping*) do material como um efeito de excitação das freqüências, apoiando o trabalho de Yun et alli ⁽¹³⁾ e discordando parcialmente do trabalho de Tamiya et alli ⁽²⁰⁾. Uma revisão matemática geral do fenômeno que, embora discuta vários dos autores citados não apresenta resultados experimentais ou confirmação industrial é apresentada por Johnson et Chekuruki ⁽¹⁹⁾.

Não existem trabalhos publicados tratando do defeito em laminadores tipo Sendzimir. Uma referência bibliográfica foi obtida na Kawazaki Steel ⁽²²⁾ onde o defeito foi minimizado com a alteração das rugosidades de cilindro primeiro intermediário.

Vários destes fenômenos foram estudados na identificação de fontes de vibrado no LB3 da Acesita. A aplicação de técnicas de análise de vibração através de captura de espectros foi utilizada, porém sem se obter resultados esperados. O principal motivo é a inexistência de local adequado para instalação dos sensores tipo acelerômetros. Como a cadeira do laminador Sendzimir não possui mancais fixos próximos á mordedura dos cilindros de trabalho, os valores obtidos são de utilização limitada na análise (figura 2).

2.3 - Vibrado ou Chatter marks no Laminador de Bobinas 3 (LB3) da ACESITA

Em 1995 o fornecedor do equipamento foi contratado para análise do problema, utilizando modernas técnicas de análise de vibração, sensores tipo acelerômetros e de detonação, bem como sensores capacitivos de proximidade. O resultado apresentado por Cerv et Geropp ⁽²⁴⁾, já identificava as freqüências principais da cadeira correlacionando-as com defeitos mecânicos. Estes supostos defeitos foram procurados à exaustão sem se obter a comprovação de sua existência. Os estudos continuaram internamente com os trabalhos conduzidos por Pozzi et alli ⁽³¹⁾, que identificaram uma freqüência de 300Hz, possivelmente natural do 2º intermediário ou gerada pelo acionamento elétrico das armaduras.



Um grupo de trabalho foi montado em fins de 2000, envolvendo equipes da Operação, Manutenção e Engenharia, que em finais de 2001 se transformaria no grupo de trabalho do DIP.

Para acompanhamento dos andamento dos trabalhos e da eficácia das ações, dentro da etapa 2 da metodologia DIP, decidiu-se trabalhar com a seguinte característica crítica final (CCF):

- Aços 3XX e 430;

- Espessura $\geq 1,00\text{mm}$ e $\leq 2,00\text{mm}$;
- Laminado no LB3;
- Recozido e encruado na RB4 e LE2; *chatter* intensidade média ou grave.

O histórico da ocorrência do defeito foi apurado, conforme condições estipuladas acima. De acordo com a figura 3, observa-se que o percentual de ocorrência de vibrado no LB3 atingiu, em média, 49,26%, valor muito superior ao observado no LB1 (4,13%) e LB4 (7,75%).

2.4 - Caracterização do defeito vibrado (T91) no Laminador de Bobina 3 (LB3)

O defeito vibrado do LB3 pode ser definido como a existência de marcas periódicas de distância entre 5 e 10mm, geralmente em toda a largura e toda a extensão. Pode também se apresentar em regiões localizadas na largura. Em geral é mais forte nas extremidades da bobina.

Neto ⁽⁷⁾ conduziu análises por perfilometria laser em amostras de vários níveis do defeito, identificando variações de planicidade da ordem de 2 microns para os casos mais graves. O trabalho não foi conclusivo, entretanto, na identificação da correlação entre o nível do defeito percebido a olho nu e as variações de planicidade encontradas. Também não foram conduzidos testes para confirmação das variações de espessura. A avaliação do nível mais grave de tremido por perfilometria laser é mostrada na figura 4.

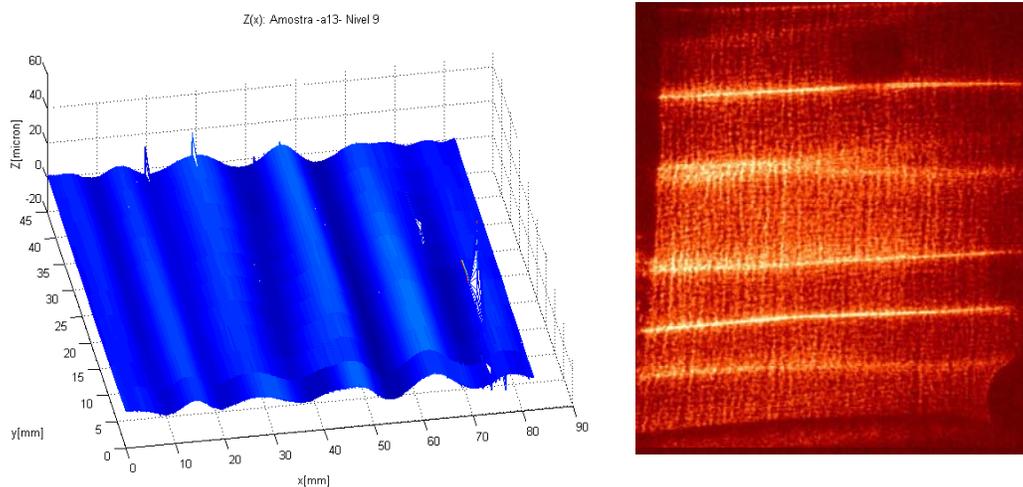


Figura 4 – análise do vibrado através de perfilometria a laser (esquerda) e reflexão de luz (direita)

Pozzi et alli ⁽³¹⁾ identificaram uma frequência fixa de 300Hz (espaçamento de aproximadamente 9,1mm a 200mpm de velocidade de laminação), visível desde o primeiro passe.

2.5 - Análise das causas do vibrado do LB3

Para identificação das possíveis causas do defeito, dentro da metodologia DIP (etapa 3), foi realizado *brainstorming* com a participação de operadores, mantenedores, metalurgistas, engenheiros de manutenção e engenharia, identificando 207 causas possíveis (ou PCP's, parâmetros críticos de processo), dos quais 175 foram priorizados. Foi construída a árvore DIP. Os PCP's foram priorizados utilizando o FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) simplificado, identificando os 35 mais importantes. Foram avaliadas analítica ou objetivamente várias possíveis causas do vibrado do LB3. Em várias delas não se pode obter resultados conclusivos, devido a dificuldade de se medir analiticamente o efeito de cada ação, haja visto as técnicas tradicionais de análise de vibração serem de aplicação limitada na cadeira do laminador Sendzimir. Em outras ações, entretanto, fica clara a influência.

2.5.1 - Vibração torcional

As frequências de vibração torcional no eixo principal do LB3 foram analisadas por Khater ⁽⁴⁾. Os valores mais importantes se situam em torno de 360Hz e 475Hz. Os valores de frequência variam de acordo com a condição de operação do laminador, indicando a presença de não-linearidade do

sistema. Outras frequências que merecem destaque são: 110Hz, 245Hz e 580Hz. A frequência de 300Hz, apesar de não evidenciada nos resultados, não apresenta característica de frequência natural do sistema quando opera sem carga.

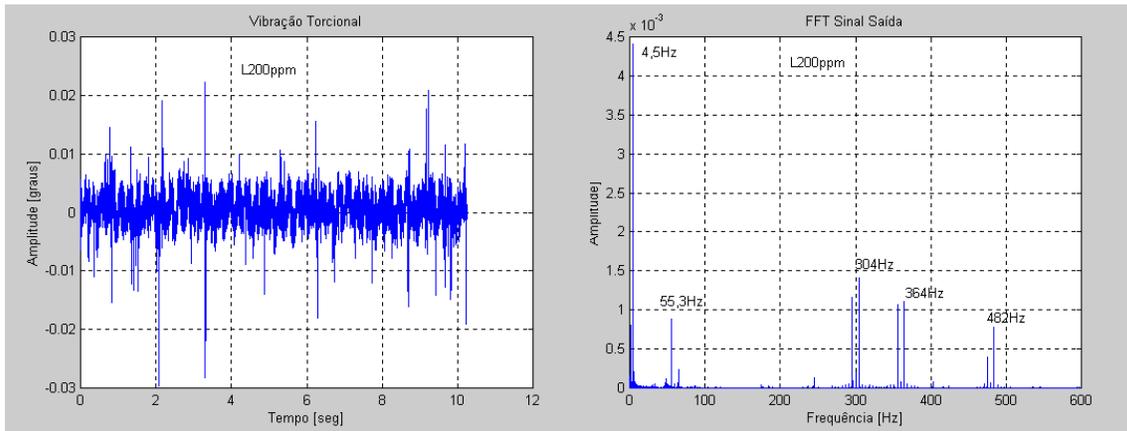


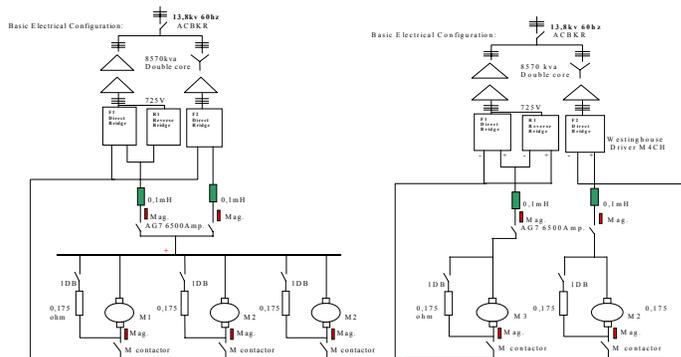
Figura 5 – sinais no tempo e espectro (FFT) de vibração torcional a 200ppm

2.5.2 - Vibrações elétricas

Outra fonte de possível de vibração seria a de fontes elétricas. A característica deste tipo de vibração é que tem frequência constante e normalmente possui alguma relação com a frequência de rede elétrica e o número de pólos do motor elétrico do equipamento.

No caso do LB3, os 2 motores existentes funcionavam com 2 pontes porém sem separação. Os testes efetuados pelo grupo demonstraram que este arranjo provocava aumento da intensidade do vibrado devido às dificuldades no controle do balanço de carga.

Foi efetuada a separação das armaduras dos motores conforme arranjo mostrado na figura 6, que passaram a trabalhar em série, eliminando o controle de balanço de carga e a possibilidade de danos nos motores devido falha no controle. Obtendo-se uma redução do nível de chatter.



2.5.3 - Variações de tração

As variações de tração são tidas pela grande maioria dos trabalhos encontrados na literatura como uma fonte muito importante de vibrado durante a laminação⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽²⁰⁾.

Em novembro de 2001 foi efetuado o teste de laminação com apenas 1 motor nas bobinadeiras, visando simular o efeito da separação das armaduras dos motores e a eliminação do controle na

minimização das variações de tração de bobinamento e desbobinamento. Houve visível melhoria no nível de vibrado observado na cadeia.

2.5.4 - Fenômenos de slip-stick

Os fenômenos de *slip-stick* são mencionados em vários trabalhos sobre vibrado⁽¹⁰⁾⁽¹⁷⁾⁽²⁴⁾⁽³³⁾. Segundo Cerv⁽²⁴⁾, é causado por mudanças de energia cinemática e potencial nos contatos entre os rolos da cadeia. Podem ser harmônicos e podem ter frequência constante. São de difícil comprovação. O trabalho desenvolvido na Kawasaki⁽²²⁾ sugere, ao encontrar a solução do

problema na alteração das rugosidades dos cilindros 1º intermediário, que o problema fosse um fenômeno de *slip-stick*.

2. 5. 5 - Falhas mecânicas na cadeira

Falhas mecânicas na cadeira, por gerarem choques (vibração forçada), podem excitar frequências do vibrado. A cadeira do Sendzimir, por ter elevada rigidez e necessitar de ajustes precisos, é muito susceptível à falhas em componentes como:

- Mancais do 1º intermediário (folgas excessivas, empeno, travamento, etc);
- Rolamentos da porta e do lado de acionamento (folgas excessivas, travamento, falta de lubrificação);
- Rolamentos da ponta do 2º Intermediário;
- Molas de sustentação do 1º e 2º intermediários (folgas, excesso de pressão, curso insuficiente);
- Hastes do 1º intermediário;
- Folgas na porta frontal;
- Folgas axiais na linha de passe.

2. 5. 6 - Folgas mecânicas nos acionamentos

As folgas mecânicas nos acionamentos são conhecidas desde os primeiros trabalhos sobre vibrado no LB3 como uma causa preponderante para o aparecimento do defeito em intensidades elevadas. Entretanto, este efeito é gradual. Uma vez controlada a folgas em determinado nível, seu efeito é mínimo. A figura 7 mostra o espectro de frequências da cadeira antes e após a troca das luvas trevo.

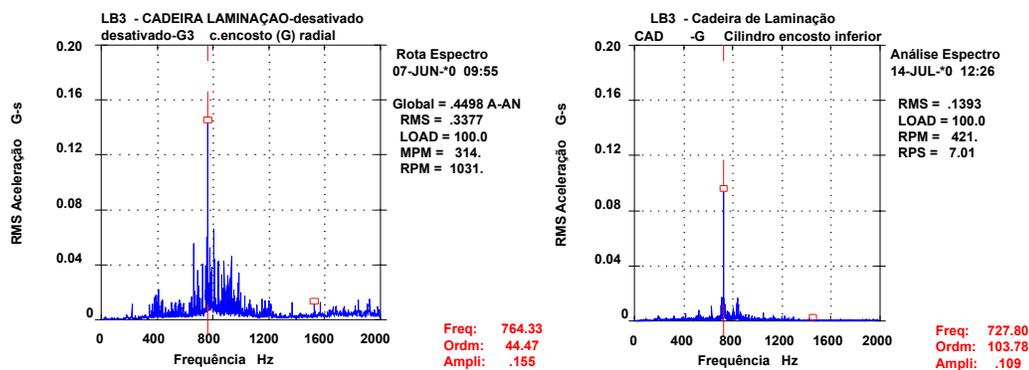


Figura 7 – Espectro de vibração da cadeirado LB3 antes e após a troca das luvas trevo

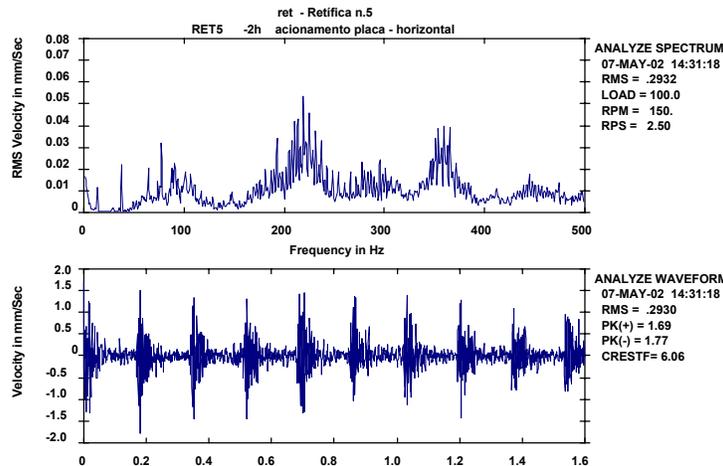
Folgas mecânicas atuam no aumento do *back-lash* dos acionamentos, desestabilizando o controle elétrico e excitando frequências de cadeira, motores e frequências oriundas de folgas na redutora. Possivelmente têm efeito no fenômeno *slip-stick*.

3. 5.7 - Instabilidade de lubrificação

Alguns autores mencionam a instabilidade de lubrificação como um dos fatores importantes para o vibrado ⁽¹¹⁾⁽³⁷⁾, principalmente para emulsão ou grandes variações no tipo de lubrificante. No LB3, que utiliza óleo mineral integral aditivado com éster sintético, tem-se grande estabilidade do lubrificante.

3. 5. 8 - Falhas nas retíficas de cilindros

A cadeira do Sendzimir, a grosso modo, pode ser comparada à uma redutora. Tem-se a transmissão de potência em ambos os lados superior e inferior da cadeira que, necessariamente, não pode ter grandes na mordedura do cilindro. Desta forma, diferenças de diâmetro entre cilindros deve ser criteriosamente controlada. A prática atual permite, no máximo, 5 microns de diferença de diâmetros entre cilindros no conjunto.



Foram identificadas frequências de 88Hz nos cilindros 2º intermediário do LB3 durante auditoria na área e frequência de aproximadamente 200Hz nos cilindros de trabalho. A análise de espectros de vibração da retífica é mostrada na figura 8.

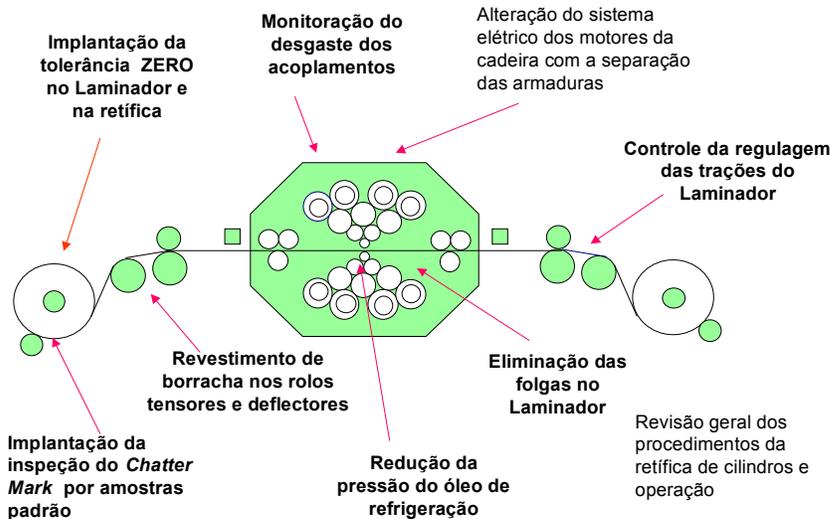
2. 5. 9 - Vibração da tira (efeito lençol)

Durante os trabalhos do grupo DIP a hipótese de vibração da tira (efeito lençol) como a fonte de vibração foi levantada por Prof. Lépure, a

Universidade de Uberlândia. Na literatura foi encontrada apenas uma referência a esta causa em Yarita et alli ⁽¹¹⁾, que calcula esta frequência para uma tira de 0,23 a 0,16mm x 780mm, encontrando apenas 18 a 30Hz.

2.6 - Principais ações implementadas

Várias ações foram implementadas pela equipe DIP, garantindo uma padronização adequada e melhorias do processo no LB3, dentre as quais destacamos abaixo:



3. 6. 1 – Implantação de amostras-padrão

Para medir a eficiência do trabalho, a equipe desenvolveu amostras padrão para nível de chatter variando de 1 a 9, assim os operadores do LB3 poderiam atuar de imediato e não somente após o resultado da inspeção nas RBs finais. Os operadores dos laminadores e os inspetores de qualidade foram treinados nas amostras padrão.

2. 6. 3 - Implantação de tolerância ZERO

Implantação da tolerância ZERO nos Laminadores quanto ao defeito vibrado, ou seja, foi aumentado o rigor em relação às condições de equipamento, cilindros e produto. Com isto a CCF, em média, foi de 7,9%.

2. 6. 4 - Eliminação das folgas da cadeira

Foram programadas e realizadas as seguintes atividades no LB3:

- Troca do cilindro de expansão do mandril da bobinadeira direita;
- Troca dos rolamentos superior e inferior da porta do Laminador e calibração de nivelamento;
- Reforma da base e sistema de travamento do suporte do rolete de encosto LA , com aferição de nivelamento, alinhamento, verificação das folgas dos cilindros de trabalho entre rolete de encosto LA e LO (4 mm);
- Inspeção dos sprays reservas da cadeira;
- Inspeção dos conjuntos de transmissão dos segundos intermediários (luvas primárias, secundárias, trevos e árvore flutuantes).

Com exceção das árvores, as luvas apresentavam desgastes acentuados e foram trocadas após a aquisição das novas.

2 . 6 .5 - Instalação de rolos tensor e deflector revestidos com borracha

Os rolos tensor e deflector revestido de bronze foram provisoriamente substituídos pelos revestidos com *steelprene* com o objetivo de :

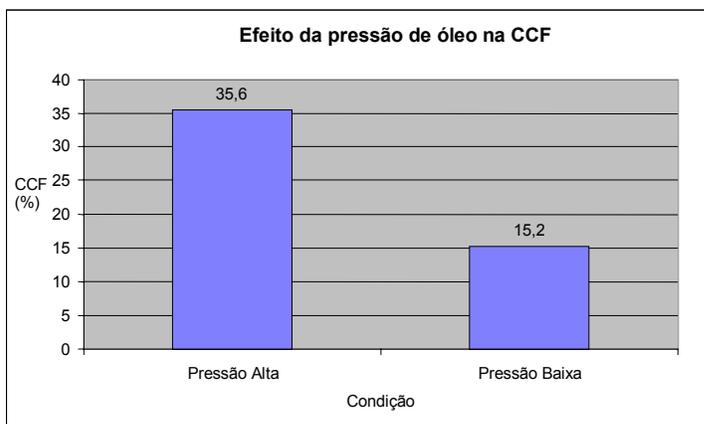
- amortecimento das variações de tração das bobinadeiras;
- alteração da modulação em amplitude do rolo.

Após alguns meses de uso do rolo tensor de borracha , voltamos com o rolo de bronze para verificarmos se haveria alteração dos índices de ocorrência + desvios por chatter nas Bobinas e foi constatado pela equipe a permanência dos índices , mostrando que os rolos não funcionam como filtro mecânico nas variações de tração.

A substituição dos rolos trouxe um ganho financeiro em função do custo do revestimento de *steelprene* ser mais barato que o revestimento de Bronze (*Steelprene* tem fornecimento nacional e de Bronze é importado).

2 . 6 . 6 - Diminuição da pressão do óleo de refrigeração do LB3

A alteração da pressão de óleo de 11 kg/cm² para 6 kg/cm² proporcionou notável melhoria na CCF, conforme podemos ver no gráfico abaixo:



3. 6 . 7 - Melhorias na retífica de cilindros

A equipe DIP ao acompanhar as retificas dos cilindros do LB3 constatou várias anormalidades que influenciava na qualidade dos cilindros retificados, destacando :

- Folgas nos pontos de apoio;
- Empeno no fuso de translação;
- Falhas nos barramentos da mesa de translação;
- Problemas elétricos.

A retífica de cilindros número 5 foi reformada (RCO).

3 - Resultados obtidos

Com o trabalho realizado pela equipe DIP deste projeto foi obtido a estabilidade do processo do LB3 e a Característica Crítica do Final (CCF) ficou melhor que a meta do projeto, conseqüente das melhorias no processo., obtendo uma redução da ocorrência de vibrado (T91) para 12,9% em 2002 e 3,7% em 2003, em média .

Os materiais críticos quanto a vibrado estão liberados para processo no LB3, obtendo os ganhos previstos de R\$ 945 mil/ano.

Abaixo temos os gráficos de comparação da CCF entre os Laminadores de Bobinas de Inoxidáveis (LB1, LB3 e LB4) da situação anterior ao projeto e da situação com o projeto, constatando o resultado obtido :

4 - Conclusões

Atualmente temos o Domínio do Processo do LB3 quanto a ocorrência do Vibrado, obtido pela utilização da Metodologia DIP, que contribuiu para o sucesso do projeto, pois trouxe :

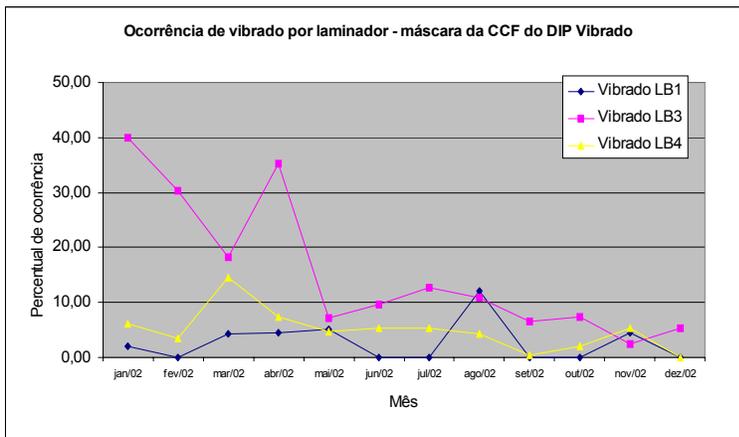
1) - Na garantia das Medições :

- ✓ Padronização dos critérios de medição, avaliando as Práticas Padrão para detectar falta de informações (Incompletas) e verificando o nivelamento entre os responsáveis de caracterização dos defeitos;
- ✓ Verificação com rigor dos equipamentos de medições, quanto à calibração, freqüência, faixa de trabalho, com o apoio da Metrologia;
- ✓ Rigor no acompanhamento dos Indicadores de Desempenho do projeto, sendo utilizadas carta de controle, acompanhamento de Parâmetros, *Check-list*, etc;

2) - Na identificação e solução das Lacunas :

- ✓ Envolvimento de todas as pessoas para identificação das causas prováveis da instabilidade e incapacidade do Processo (operadores, mantenedores, Técnicos, Pesquisadores, etc);
- ✓ Uma ferramenta (Plano de Monitoração) para verificação da padronização adequada do Processo, baseado em auditorias na área ;
- ✓ Uma maior disciplina de trabalho em equipe;
- ✓ Rigor nos acompanhamentos dos planos de ação com evidências das corretas soluções;
- ✓ Maior integração entre a Operação e a manutenção.

O projeto foi concluído em Dezembro/02 com sucesso pois o processo apresenta-se ESTÁVEL e



foi acompanhado por mais 06 meses para verificar a sua CAPACIDADE. Conforme o gráfico de acompanhamento da CCF permaneceu abaixo da meta (5%), tendo um desvio médio de Janeiro/2003 a Setembro /2003 de 3,7% gerando um Benefício final de R\$ 945 mil .

Atualmente os materiais críticos quanto a vibrado, que eram laminados somente no LB4, estão liberados para serem processados no LB3.

5 - Bibliografia

- (1) Galva, Robert - *Nouvelle approche de la production*, Paris, 1996.3
- (2) Guimarães, Sérgio R. – Inspeção termográfica da cadeira do Laminador 3 da Acesita, Relatório Interno da ACESITA, Maio de 2002.
- (3) Santana, Clenio da S.; Carel, Christophe – Apostila de treinamento da metodologia DIP, Material interno da ACESITA, Outubro de 2000.
- (4) Khater, Prof. Dr. Evaldo - Relatório sobre Medições da Vibração Torcional no Laminador LB3 da ACESITA, FUNTIR/FUNREI, Janeiro de 2001.
- (5) Diet, Francis - Acesita LB3 Mill: VIBRATIONAL EXPERTISE by IRSID, October, 2001.
- (6) Guimarães, Sérgio R. – Avaliação das molas prato de sustentação dos cilindros intermediários do LB3, Relatório Interno da ACESITA, Maio de 2002.
- (7) Neto, Prof. Dr. Francisco P.L. - Relatório sobre Medições de Chatter em amostra de tiras laminadas no Laminador LB3 da ACESITA, UFU, Junho de 2002.
- (8) Khater, E. - Diagnóstico de falhas em máquinas rotativas através da análise da vibração torcional
- (9) Diet, F. – *Rewiew of chatter marks problem of Z mill LB3 in Acesita*, october 4.; Irsid technical note ref. FD 00.033; October 2000.
- (10) Pozzi, D. M. et alli; Estudo e avaliação preliminar das causas de vibração (chattermarks) nas chapas laminadas no LB3; RT 38-195/2000; Julho 2000
- (11) Yarita, I. et alli; *An analisys of chattering in cold rolling for ultrathin gauge steel strip*; Transactions ISIJ, Vol. 18, 1978
- (12) Paton, D. L. et Critchley, S.; *Tandem mill vibration: its cause and control*; ISS 26th Mechanical Working and Steel Processing Conference; Chicago; October 1984
- (13) Yun, S. et alli; *Chatter in rolling*; Transacions of NAMRI/SME; volume XXIII; 1995.
- (14) Chefneux, L. et alli; *Study and controle of chatter in cold rolling*; Iron and Steel Engineer, november 1984.
- (15) Gasparic, J. L.; *Vibration analisys identifies the causes of mill chatter*, Iron and Steel Engineer, February 1991.
- (16) Guo, R-M; *Material dumping during mill chatter*, draft of paper to be presented in AISE annual conference, Pittsburgh, PA, September 1993.
- (17) Mackel, J.; *Condition Monitoring and Diagnostic Engineering for Rolling Mills*;
- (18) Helekal, G. et alli; *Automatic vibration analisys and trending as a predictive maintenance tool relating to complex mill drives*, rolling mills asn cutting lines
- (19) Johnson, R. E. and Chekuruki, H. P., *Chatter dynamics in sheet-rolling processes*; Dynamics and Chaos in Manufacturing Processes, John Wiley & Sons, Inc; 1998
- (20) Tamiya, T. et alli; *Analisys of chattering phenomenon in cold rolling*; Iron and Steel Engineer yearbook, pp 1191-1207.
- (21) Almeida, M. T. de. e Góz, R. D. S.; Curso de Análise e Medidas de Vibrações em Máquinas; FUPAI – Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Industria
- (22) Kawazaki Steel; *Training Material for Cold Rolling – Chatter Mark Prevention Technology*, pp. II-10-19 a II-10-26
- (23) Nessler, G. L. and Cory, jr., J. F.; *Identifications of Chatter Sources in Cold Rolling Mills*
- (24) Cerv, H and Geropp, B. ; *Report on the Examination of Chattermarks at the Acesita Sendzimir Mill III*; Mannesmann Demag Huttentechnik MDS; August 1995
- (25) Krahe, D et Beyerer, J.; *Detecton of chatter marks in Honing textures*; WTA '98 – Workshop on Texture Analisys 1998; University of Freiburg; Germany
- (26) Yanabe, S.; *Vibrations of a shaft Passing Through a Critical Speed*; Bulletin of JSME; Vol. 23; n.o 180; June 1980
- (27) Gunasekera, J. S. et Alexander, J. M.; *Analisys of rolling*
- (28) Nessler, G. L. et Cory, Jr., J. F.; *Cause and Solution of Fifth Octave Roll Chatter on 4-h Cold Mills and Temper Mills*; Iron and Steel Engineer; December 1989
- (29) Guo, R-M. at alli; *Analisys of Chatter Vibration Phenomena of Rolling Mills Using Finite Element Methods*; Iron and Steel Engineer; January 1993.
- (30) Donkle III, L. B.; *Fifth Octave Chatter Problem Solve Vibration Analisys*; AISE Steel Technology; November 1999

- (31) Pozzi, D. M. et alli; *Study and preliminary Evaluation of the Causes of Chatter (Chattermarks) in Rolled Strips at Acesita Sendzimir Mill III (LB3)*; RT 38 257/2000; Outubro 2000.
- (32) Kashay, . M. et alli; *Dynamic Shock Phenomena in Rolling Mills*; Journal of Engineering for Industry; May 1972.
- (33) Luckmann, F. at alli; *Mill Diagnostic System (MiDaS) – A Monitoring System With Quality – and Maintenance – Related Diagnostic Functions*; Aluminium (74); Jahrgang 1998;
- (34) Nieb, J. R. et Nicolas, V. T.; *Automated Monitoring and Control of Vibration and Chatter in Rolling Processes*; Iron and Steel Engineer; July 1991.
- (35) Thomas, C. W. et alli; *Torque Amplification and Torsional Vibration in Large Reversing Mill Drives*; Iron and Steel Engineer; May 1969
- (36) Hardwick, B. R.; *Identification and Solution of Chatter Vibration on Roll Grinding Machines*; Iron and Steel Engineer; July 1994.
- (37) Moller, R. H. et Hoggart, J. S.; *Periodic Surface Finish and Torque Effects During Cold Strip Rolling*; The Journal of Australian Institute of Metals; Vol. 12; N.o 2; May 1967
- (38) Matsubara, T, et alli; *Chatter Supression by using Piezoelectric Active Damper*;

ABSTRACT

Chatter marks phenomena was studied at Acesita's Stainless Steel #3 Sendzimir Mill in order to identify and control its causes and to allow this mill to produce high grade materials. Acesita's Sendzimir #3 showed chatter marks higher levels since its start-up, comparing to Sendzimir #1 and Sendzimir #4 results. Vibrations analysis were conducted, electrical and mechanical modifications were implemented as well as standard practices were changed. As a result, Acesita's Stainless Steel Sendzimir #3 fulfilled the performance and from this study on is allowed to produce high grade materials.