

CARGA AXIAL NOS ROLAMENTOS DOS MANCAIS DOS CILINDROS DE TRABALHO DO LAMINADOR A FRIO DA NOVELIS DE PINDAMONHANGABA /SP¹

*José Nilton Fonseca²
José Ricardo Martins³
Newton Pesenti⁴*

Resumo

Este trabalho tem o objetivo de compartilhar todo o processo de investigação, as interessantes e diferentes causas das falhas dos rolamentos dos mancais dos cilindros de trabalho encontradas, até chegarmos a força axial excessiva, suas causas, ferramentas desenvolvidas para medição, ações e resultados.

Os conceitos e parâmetros usados nos projetos dos novos laminadores são também aqui discutidos.

Palavras-chave: Mancais; Rolamentos; Cilindros de trabalho; Cilindros cruzados.

AXIAL LOAD IN THE COLD MILL WORK ROLLS BEARINGS OF NOVELIS PINDAMONHANGABA / SP

Abstract

This work has the objective of sharing the whole investigation process, the interesting and different causes of the work roll bearing fails found, until to arrive at excessive axial force, their causes, tools developed for measurement, actions and results.

The concepts and parameters used in the projects of the new rolling mills are also here discussed.

Key words: Chocks; Bearings; Work rolls; Rolls cross

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

² *Engenheiro Mecânico – Líder de Confiabilidade - Laminação a Frio – Novelis*

³ *Técnico Mecânico – Coordenador de Produção - Laminação a Frio – Novelis*

⁴ *Engenheiro Mecânico – Coordenador Projetos da Laminação a Quente e Frio - Engenharia - Novelis*

1 INTRODUÇÃO

Na última expansão da planta da Novelis de Pindamonhangaba/SP em 1999, instalamos na área da Laminação a Frio, um segundo laminador trazido da Novelis Kingston (Canada), que após modificado e modernizado entrou em operação.

Nos primeiros dois anos operou normalmente, mas sem utilizar sua plena capacidade. Porém, no período de 2001 a 2005 ocorreram 15 travamentos de rolamentos dos mancais dos cilindros de trabalho conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Resumo das falhas

Nº falhas em função da posição do mancal	
Operador superior 05 (cinco)	Motor superior 05 (cinco)
Operador inferior 03 (três)	Motor inferior 02(duas)

Estas falhas, além das perdas por máquina parada, acarretaram danos aos mancais, perda dos cilindros de trabalho e limitação de velocidade de laminação.

Durante este período vários trabalhos foram realizados na tentativa de solucionar o problema, mas sem sucesso.

Diante desta conjuntura, com o foco de liberar a plena capacidade deste laminador, foi formada no início de 2005, uma equipe envolvendo as áreas de manutenção, operação, engenharia e outras assessorias externas (SMS responsável pela modernização, Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, Thimken / SKF) que iniciou um trabalho para identificar a causa raiz destas falhas, propor soluções e medir os resultados.

Diversas ferramentas foram utilizadas. Desde análise do histórico para a identificação das causas especiais até a análise de deformação por modelamento 3D do laminador para entender os esforços que atuavam durante a operação. Porém, desenvolver um sistema para medição dos esforços axiais existentes nos mancais *on line* foi a de melhor eficácia.

Este trabalho tem o objetivo de compartilhar todo o processo de investigação, as interessantes e diferentes causas das falhas dos rolamentos e finalmente a força axial excessiva, suas causas, ferramentas desenvolvidas, ações e resultados.

2 O LAMINADOR

Projeto Original

Dominion Engineering Works Limited – 1973

Laminador acabador não reversível, 4 – Hi, 21” x 54” x 84’ .

Velocidade Máxima 4300 FPM (1300 MPM)

Força de separação 2400 tons

Acionamento Principal 2x3000 HP

Diâmetro cilindro de trabalho 21” Max – 19” min.

Diâmetro cilindro de apoio 54” Max - 50” min.

Coolant – Óleo Mineral porém preparado para trabalhar com água no futuro

Conversão para Água

Dominion Engineering Works Limited – 1980

Configuração atual

SMS Engeneering –1997.

Alguns pontos importantes foram modificados nesta adequação ao nosso processo, como por exemplo, a alteração dos diâmetros dos cilindros de trabalho e apoio, substituição dos drives de forma a possibilitar a mesma velocidade e torque. Estes dados podem ser verificados no Quadro 2.

Quadro 2 – Especificação do laminador.

Mill Specification			
GENERAL	Speed		4300 FPM (1300 MPM)
	Width		76" (1930 mm) max 30"(762mm)min
	Thicknes		3,5 mm – 0,15 mm
	Coil I.D.		24"(610mm) 20" (508 mm)
	Coil O.D.		80" (2032mm)
	Mill Drive Motors		3000 HP per roll
	Spindles		Gear type
	Coolant		water base
	Roll load		Push up system
	Pass line adjustment		by step block
	Separating force max		2400 Mton
Rolls & Bearings	WR bearings		LM258648DW - TIMKEN
	BUR bearings		830RX3362A (axial) TIMKEN 200TDIE728DA1671 TIMKEN
	WR		22"(548mm)/20"(508 mm) x 84" (2133,6 mm)
	BUR		52"(1320mm)/50"(1270mm) x 83"(2108mm)
	WR Crown		100 µm positive
	BUR Crown		100 µm positive
	WR roughness		19 - 22 Ra
	BUR roughness		90 - 100 Ra
Bearing Lube System	Type		Oil Mst
	WR - mist generator		41 CFM
	BUR - mist generator		61 CFM

3 HISTÓRICO

No período de 2001 a 2005 ocorreram 15 travamentos de rolamentos dos mancais dos cilindros de trabalho conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Resumo fahas 2001 a 2005.

Falhas de 2001 a 2005 (Fevereiro)	
Operador superior 05 (cinco)	Motor superior 05 (cinco)
Operador inferior 03 (três)	Motor inferior 02(duas)

Na busca de indicação de sinais de falha, iniciamos a medição de temperatura por amostragem dos mancais ao longo da campanha de cada conjunto de cilindros. Esta porém ineficiente, em função da velocidade que ocorria a falha, nos forçou a uma

medição contínua dentro do mancal e próximo ao rolamento que implementada começa a orientar novas ações (Figuras 1 e 2).

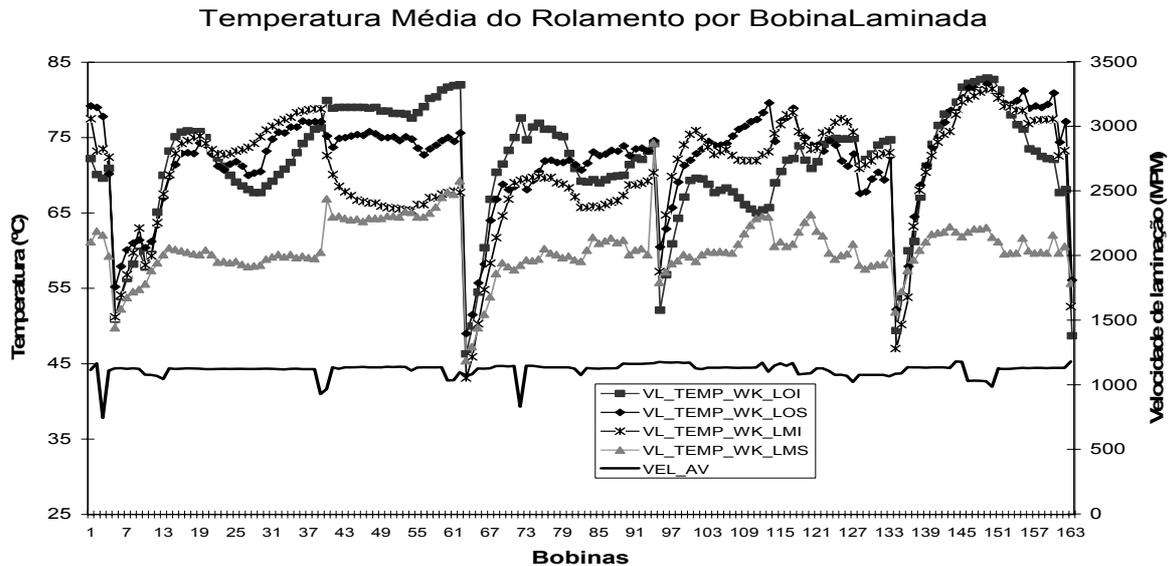


Figura 1- Temperatura média por bobina laminada.

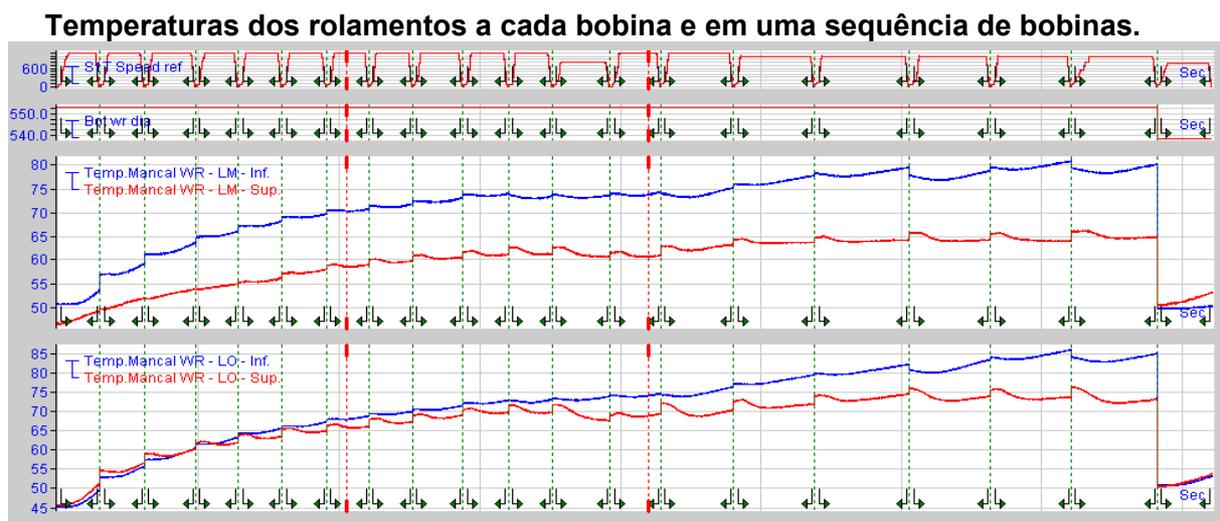


Figura 2 – comportamento da temperatura ao longo da laminação

Associando as falhas a temperatura foram realizados estudos, definição de procedimentos, alterações no projeto que, como veremos mais adiante, eliminaram as falhas por causas especiais mas não a causa raiz. Durante esta fase os esforços axiais nos rolamentos aparecem e foram analisados, mas como a falha acontecia inclusive nos mancais livres não ranqueava nas primeiras possibilidades.

As principais ações foram:

1. Melhorias no sistema de lubrificação por névoa;
2. Reforma dos Mancais dos cilindros de trabalho para recuperação das condições originais de projeto;
3. Aumento diâmetro do alojamento do rolamento no mancal e da folga de ajuste do rolamento;
4. Deslocamento dos centros dos cilindros de trabalho em relação apoio em 6 mm;

5. Redução do diâmetro dos pinos que são utilizados para sustentar o cilindro de trabalho inferior junto ao superior durante a troca no laminador. Estes pinos justos levavam a interferência de um mancal inferior no seu par superior durante a laminação;
6. Operação com velocidade limitada em função da temperatura dos rolamentos;
7. Inversão da posição da vedação mais externa, lado cilindro, do mancal para eliminar a entrada de água;
8. Corrigida a centralização dos conjuntos de cilindros de trabalho;
9. Substituição do Mobil 634 pelo Mobil Mist Lube 34 na lubrificação dos rolamentos;
10. Modificação no mancal para garantir a de centralização do anel espaçador do rolamento no mancal;

Com estas ações houve uma redução de 10°C no patamar de temperatura e redução nas forças axiais até então medidas.

Porém, as falhas continuavam acontecendo. O quadro abaixo resume as falhas ocorridas durante os anos de 2006 e 2007.

Quadro 4 – Resumo falhas 2006/2007.

2006/2007	
Operador superior 04 (quatro)	Motor superior 01 (um)
Operador inferior 05 (cinco)	Motor inferior 01 (um) água dentro

As Figuras 3 e 4 exemplificam o comportamento característico da temperatura dos rolamentos durante o processo de falha. Neles podemos observar a velocidade que ela ocorre. Na Figura 4 a falha ocorreu com a máquina parada entre duas bobinas.

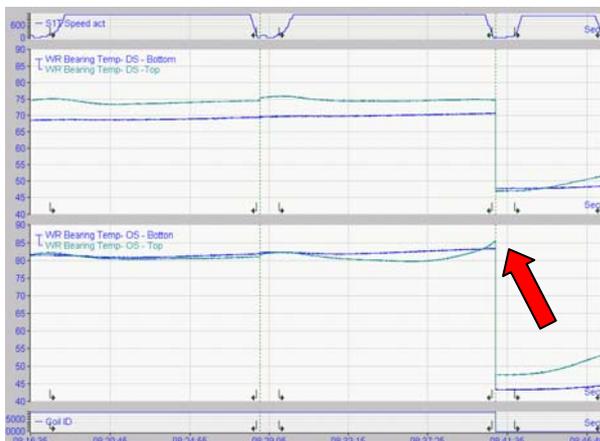


Figura 3 – temperatura falha laminando

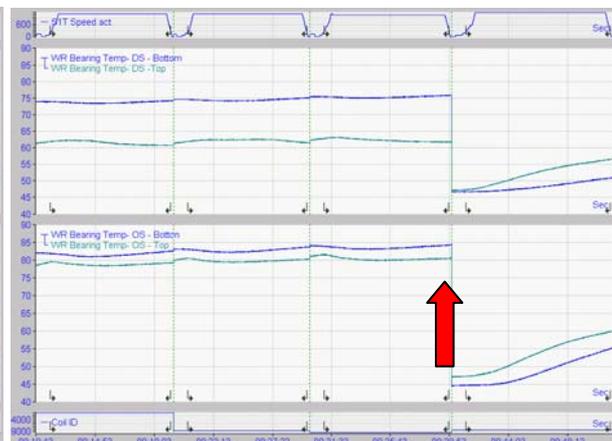


Figura 4 – temperatura falha máquina parada

4 O PROBLEMA

Com a eliminação das causas especiais e a oportunidade de retirarmos de operação o conjunto em falha antes de travar, clareava novos indícios:

1. Todos os mancais trabalham um nível alto de temperatura. Isto sugere que a temperatura não é a causa das falhas mas, um indicador de algum desalinhamento dos cilindros de trabalho;
2. A maioria das falhas ocorre no lado do operador superior e inferior (Mancal fixo);

3. A distribuição da carga axial no rolamento suportada sempre na segunda carreira de rolos do rolamento próximo ao cilindro;

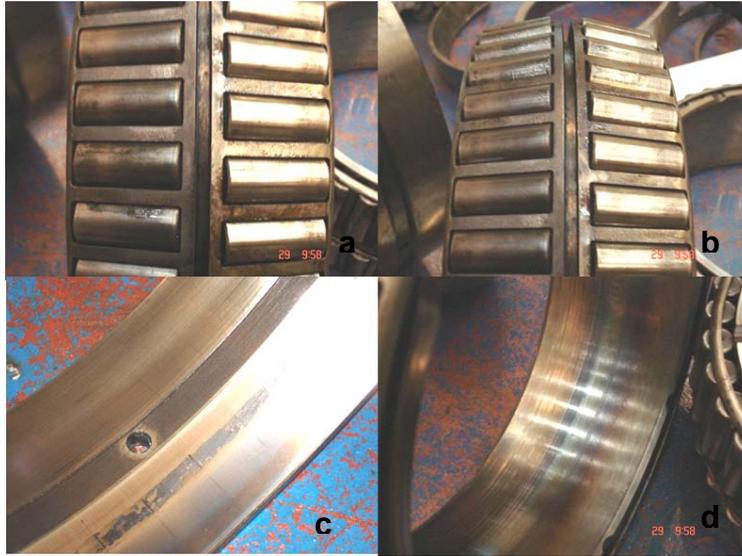


Figura 5. Rolamento danificado. a e b - rolos danificados; c e d - pista danificada.

As Figuras 5 a, b, c e d são de um rolamento que foi retirado de operação por apresentar uma elevação de temperatura repentina entre duas bobinas.



Figura 6 – danos pescoço do cilindro



Figura 7 – danos pista interna

As Figuras 6 e 7, mostram um caso crítico que afetou o pescoço do lado do operador do cilindro de trabalho, na região abaixo da segunda carreira de rolos que suporta toda a carga experimentada.

Casos como o exemplificado acima, analisados por especialistas do fornecedor (TIMKEN – E.U.A.) sugerem fortemente como causa uma força axial excessiva atuando no cilindro de trabalho. Distribuída de forma desproporcional nos dois rolamentos do mancal fixo do conjunto, cabe à segunda carreira de rolos suportar 95% do valor da força.

5 FORÇA AXIAL NOS CILINDROS DE TRABALHO

É o resultado de forças assimétricas nascidas dentro do laminador devido a um desalinhamento mecânico ou do dinâmico processo de laminação:

- Cilindros cruzados (trabalho com trabalho ou trabalho com apoio) devido a folga entre os mancais e a cadeira do laminador;

- Cilindros cruzados (trabalho com trabalho ou trabalho com apoio) devido a assimetria dos centros dos mancais;
- Cilindro hidráulico de bombeio quando não tem a atuação centralizada no mancal;
- Devido a diferença carga (Roll Force) aplicada entre o lado do operador e o motor;
- Devido à assimetria entre os cilindros de trabalho e os mandris;
- Causadas pelo eixo de acionamento dos cilindros de trabalho (Spindles);
- Devido ao atrito entre os liners dos mancais e os da cadeira do laminador.

A Figura 8 mostra as diferentes configurações de cruzamento entre os cilindros dentro do laminador.

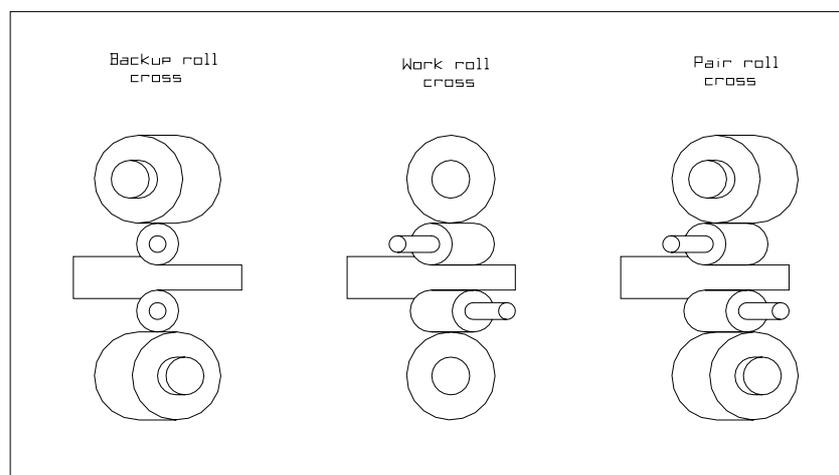


Figura 8 – Configurações de cruzamento de cilindros

Dados importantes:

- Nos projetos atuais, as folgas entre os mancais e a cadeira do laminador são determinadas em função da carga de laminação utilizada;
- Fabricantes de laminadores usam 0,4 a 0,5% da força total de separação como força axial admissível para dimensionamento dos mancais;

6 MEDIÇÃO

Para conhecer os esforços a que os rolamentos eram submetidos a laminação, desenvolvemos um sistema confiável de medição capaz de armazenar dados continuamente. Assim, poderíamos experimentar ações, verificar o resultado e eliminar hipóteses de causa e buscar a causa raiz.

Outra ferramenta utilizada foi a análise de deformação por modelamento 3D do laminador desenvolvida pela SKF.

Operation Deflection Shape - ODS

A SKF desenvolveu uma ferramenta que por meio de vibrações mapeia o comportamento dinâmico do sistema e identifica diversos problemas estruturais e dinâmicos que existam.

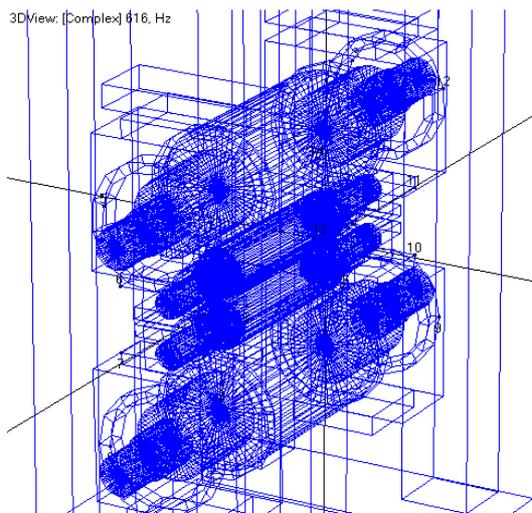


Figura 9 – resultado gráfico análise da cadeira do laminador

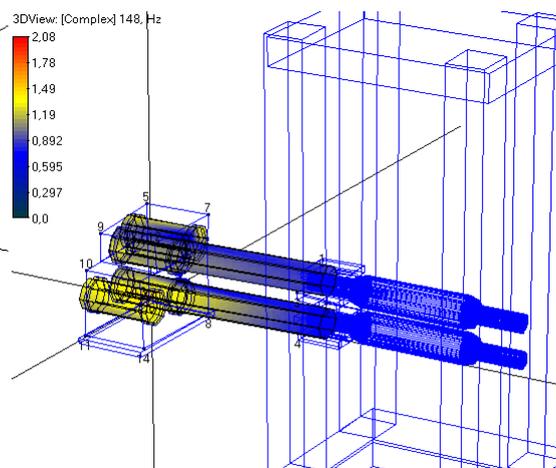


Figura 10 – resultado gráfico análise caixa de pinhões e spindles

A conclusão deste indica como mostrado na figura 8 todo o equipamento em fase e saída da caixa de pinhão um deslocamento que é absorvido pelos acoplamentos do eixo de transmissão (Figura 10).

Sistema para medição da força axial:

Com o apoio do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT que instrumentou com extensômetros os parafusos das travas de fixação dos mancais do cilindro de trabalho (Figura 11). O sinal enviado é convertido e adequado a entrada num sistema de coleta de dados, instalado em um notebook, que indica as forças atuantes em tempo real e armazena estes valores.



Figura 11 – dispositivo de medição

A Figura 12 mostra o resultado da medição de um conjunto de mancal durante a laminação.

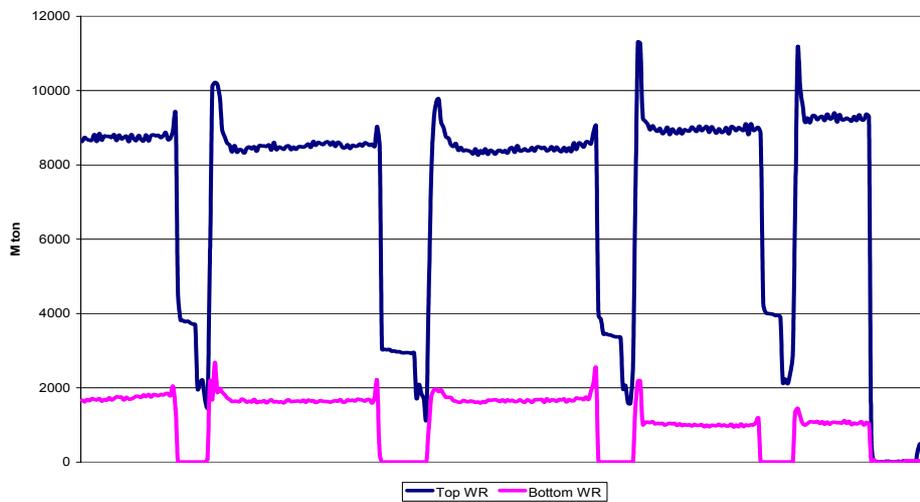


Figura 12 – carga axial medidas nos cilindros

Juntamente com a SMS foram planejadas medições e testes para verificar todas as hipóteses de causa destas forças:

1. Diferentes passes com os dois conjuntos de mancais;
2. Diferentes passes com os dois conjuntos de mancais com folga reduzida (0,5mm cilindros de trabalho e 0,25mm apoio recomendadas pela SMS)
3. Sem graxa nos liners dos mancais;
4. Com graxa no pescoço do cilindro;
5. Sem bombeio positivo e negativo;
6. Girando nas duas direções a 20 MPM, com 700 ton de carga e sem material;
7. Nas mesmas condições acima, porém compensando o alinhamento do conjunto dos cilindros em relação aos de apoio com calços colocados nos mancais;

Nestes dois últimos testes (Figuras 13 e 14), mostram as forças axiais aplicadas e a carga sentida no lado do motor e operador.

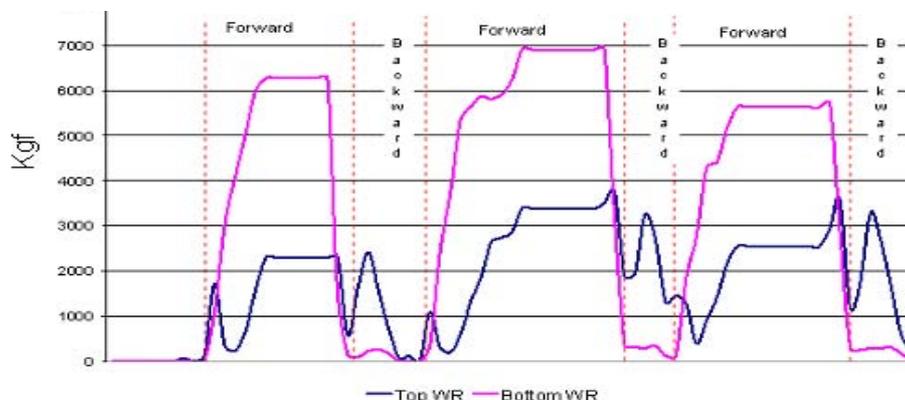


Figura 13 – comportamento carga axial girando os cilindros para frente e para traz

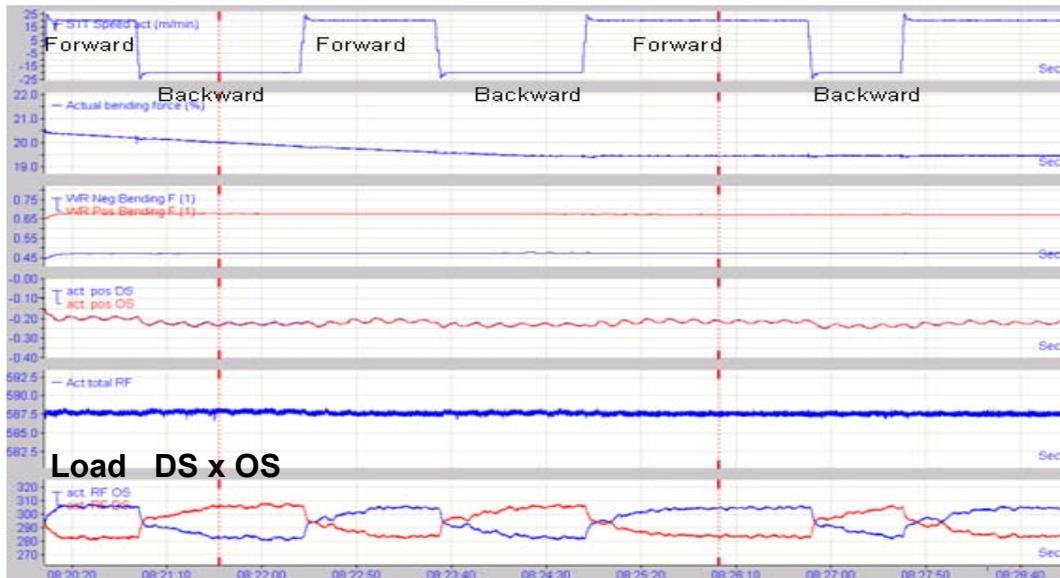


Figura 14 – comportamento carga de laminação girando os cilindros para frente e para traz

7 ANÁLISE

- Nas condições de projeto, atuam nos mancais fixos dos cilindros de trabalho um força axial na ordem de 6 ton. a 11 ton. dependendo do conjunto em operação.
- A redução da folga mostra uma ligeira melhoria no resultado, porém aumentou bastante a estabilidade do conjunto;
- Nos testes sem material girando no sentido de laminação e no oposto, as forças atuantes mudam também de direção mostrando a existência de um cruzamento entre os cilindros de trabalho e os de apoio.
- Os diferentes resultados de força axial obtidos com variação dos valores de bombeio positivo e negativo podem ser devido a possíveis pequenos movimentos dos mancais;
- A máxima força resultante do atrito entre o mancal do lado do motor e o laminador é muito baixa para levá-lo a falha por esforço axial;
- Minimizar as folgas e compensar mecanicamente as tolerâncias irão ajudar a reduzir os possíveis cruzamentos dos cilindros;
- Este procedimento sem material não considera a atuação das tensões na chapa (entrada e saída). Com a influência destas provavelmente os cilindros cruzem numa condição diferente.

8 DISCUSSÃO

Redução da Força axial por compensação do cruzamento dos cilindros:

- O resultado da redução da força axial durante a laminação com a redução das folgas entre os cilindros de trabalho e os de apoio em relação a cadeira de laminação e a compensação não simétrica das tolerâncias indica a influência desta no cruzamento dos rolos;
- Desta forma encontramos um modo de ajustar a força axial;

- Todo conjunto de mancais tem de ser ajustado com calços dentro do laminador para que possamos realmente reduzir estas forças;
- Os mancais após ajustados não poderão ser misturados;
- Ainda assim teremos um range de forças devido a posição relativa dos mancais na cadeira. Diferentes posições terão diferentes tolerâncias;
- Adicionar um sistema mecânico para empurrar os mancais dos cilindros de apoio e mantê-los encostados à cadeira do laminador reduziria a variação da força;

9 CONCLUSÃO

- Os rolamentos deste laminador falham na segunda carreira de rolos na direção do cilindro devido a carga axial a que são submetidos;
- A causa desta força é o cruzamento dos cilindros de trabalho e os de apoio;
- Temperaturas altas dos mancais são causadas pela força axial ou lubrificação insuficiente;
- Apesar da carga axial ter uma grande influência na temperatura experimentada a condição de lubrificação não pode ser ignorada. Nos modernos laminadores de alta performance é usada a lubrificação forçada;
- Com o ajuste das forças axiais utilizando calços nos diferentes conjuntos de mancais deverão garantir uma condição normal de operação;

10 RESULTADOS

A Figura 15 mostra a evolução em velocidade do laminador e temperatura dos mancais à partir da implementação das ações acima.

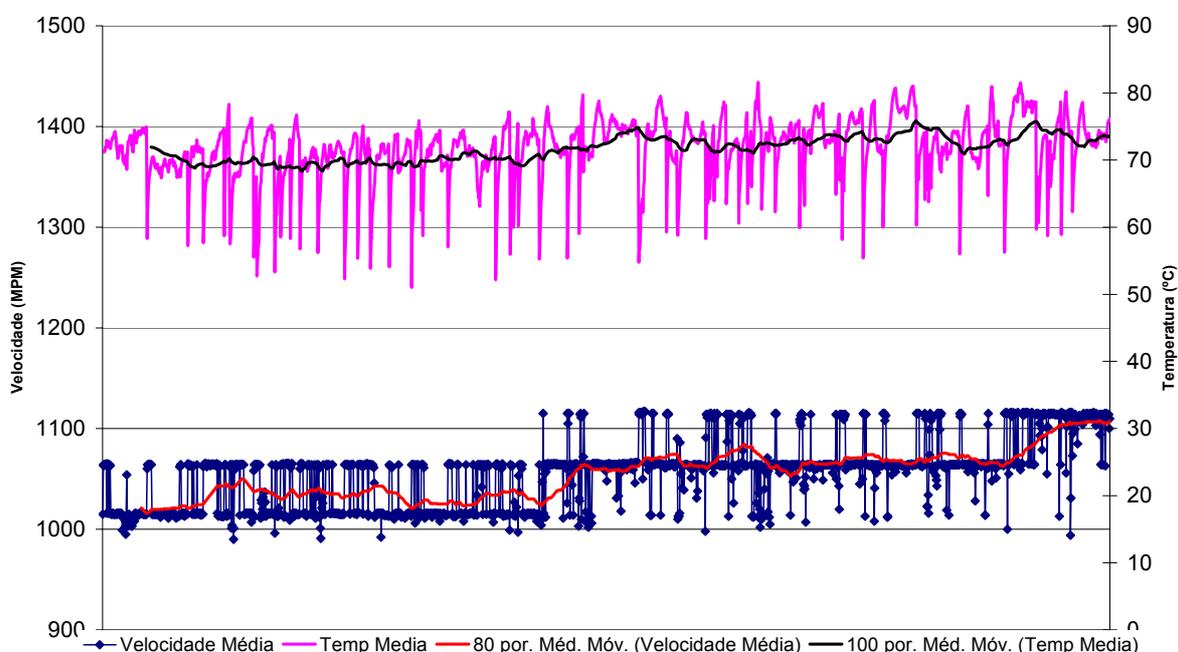


Figura 15 – evolução velocidade versus comportamento da temperatura

Hoje, as forças são medidas continuamente durante a laminação e sempre que os valores ultrapassam os limites de segurança é informado ao operador e limita automaticamente a velocidade do laminador.

Ainda, temos desvios que sinalizados são tratados. A dificuldade maior é manter todo o sistema mecânico sem alteração.

A Figura 16 é de bobinas laminadas recentemente durante aproximadamente três dias. Nele podemos observar a redução da carga axial que o rolamento submetido com também um desvio onde o valor cresce e se mantém por toda uma campanha.

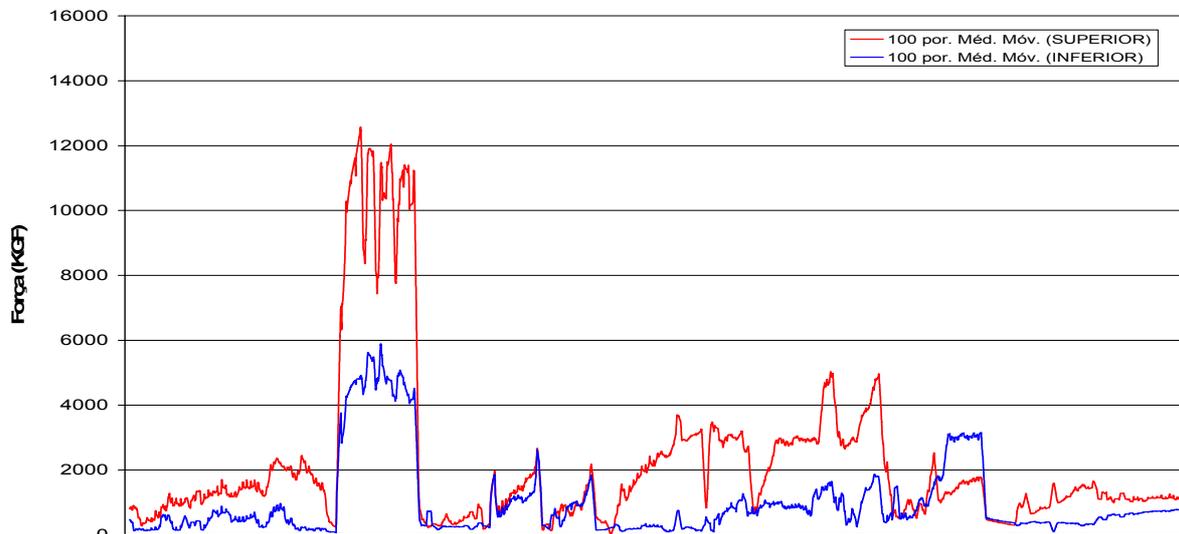


Figura 16 – carga axial medida durante a laminação após modificações e ajustes

Como ganho adicional deste trabalho, temos hoje um sistema de medição, coleta e armazenamento e dados que nos permite conhecer a cada instante a situação de cada mancal no que se refere a força axial e temperatura.

Agradecimentos

A todo o grupo que participou deste trabalho:

Edson de Figueiredo – Eng. Mecânico - Gerente de Projetos – Engenharia/Novelis

Dárcio Allegretti – Eng. Mecânico - Gerente de Projetos - Engenharia/Novelis

Anderson Buzzo – Engenheiro Mecânico – Retífica /Novelis

José Edésio do Carmo – Técnico Mecânico – Coordenador - Retífica/ Novelis

Renato Reis – Técnico Mecânico – Preditiva/Novelis

Júlio César Raele – Gerente Geral – Bardella – Timken

Patric M. Miller – Principal Engineer – Flat Rolling Mills – SMS Demag USA

Wolfgang Denker – Manager Plant Tech. Hot/Cold Rolling Mills - SMS Demag AG