

TIMKEN UMA HISTÓRIA DE PARCERIAS E SOLUÇÕES INDIVIDUALIZADAS – CSN UM CASO PRÁTICO ⁽¹⁾

Falhas Consecutivas em Rolamentos no Mancal de Apoio dos Mandris das Bobinadeiras IHI do Laminador de Tiras a Quente (LTQ) da CSN

Augusto Pacca Condino ⁽²⁾
Celeyda Maria Tavares Coelho Neves ⁽³⁾
César Silvestre Santos ⁽⁴⁾
Eduardo Esberard ⁽⁵⁾
José Luiz Pimentel ⁽⁶⁾
Marcelo Lima Miki ⁽⁷⁾
Ronaldo Fernandes ⁽⁸⁾
Wagner Mistrinelli ⁽⁹⁾

RESUMO

Desde a partida do Laminador de Tiras a Quente (LTQ) da CSN, os rolamentos dos mancais de apoio dos mandris das Bobinadeiras nunca tiveram uma performance que atendessem plenamente suas necessidades de produção, com diversas quebras e paradas de emergência. Em meados dos anos 80, por solicitação da CSN, os fabricantes dos rolamentos usados introduziram melhorias na fabricação dos mesmos que contornou o problema por algum tempo. Contudo, no final de 2001 até meados de 2002, iniciou-se uma nova fase de quebras sucessivas desses rolamentos, com vida útil extremamente precoce, levando o LTQ a uma situação de emergência em termos de sobressalentes. A Timken foi então solicitada a ajudar na análise de falha e a resolver este problema de baixa performance dos rolamentos. Após avaliar o problema, fez diversas recomendações e selecionou o produto mais adequado à aplicação, em termos de material e tecnologia. Uma estratégia de ação em conjunto com a CSN foi definida para acompanhar a evolução e performance dos rolamentos Timken. O resultado desta parceria foi a maior vida útil realizada até então, sem nenhuma quebra ou parada de emergência desde a montagem de seu primeiro rolamento em julho de 2002. Acrescenta-se ainda como ganhos uma maior confiabilidade no serviço da manutenção, o aumento na disponibilidade dos conjuntos de mandris, redução do Hh usado nas trocas e menor gasto com requisição de sobressalentes.

Palavras-chave: LTQ, bobinadeira, mandril, rolamento

-
- (1) *Contribuição técnica apresentada no 41º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos da ABM, de 26 a 28 de outubro de 2004, Joinville/SC – Brasil.*
(2) *Engenheiro Especialista da Manutenção da Laminação a Quente (GMQ) da CSN*
(3) *Analista de Suprimentos do Setor de Importação da CSN*
(4) *Engenheiro de Serviços da Timken do Brasil*
(5) *Engenheiro Especialista da Engenharia da Laminação (GTEL) da CSN*
(6) *Engenheiro de Vendas Industriais da Timken do Brasil*
(7) *Técnico de Desenvolvimento da Manutenção da Laminação a Quente (GMQ) da CSN*
(8) *Engenheiro Especialista da Manutenção Central e Oficinas (GGMC) da CSN*
(9) *Engenheiro de Serviços da Timken do Brasil*

1. Introdução

O que será visto no decorrer deste trabalho é uma solução de engenharia, tecnologia, experiência e competência das equipes envolvidas para resolver um problema crônico de quebras e falhas de rolamentos nos mandris das bobinadeiras do Laminador de Tiras a Quente (LTQ) da CSN.

O trabalho mostra o resultado de uma parceria saudável entre cliente e fornecedor, quando existe uma predisposição para a cooperação mútua visando atingir metas estabelecidas, com quebras de paradigmas e soluções suportadas pela mais alta tecnologia envolvida na fabricação de rolamentos.

2. Descrição do Equipamento

O LTQ da CSN, tem 3 Bobinadeiras do tipo “*down coiler*”, projeto da Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd (IHI), cuja função básica é enrolar a tira processada pelo Laminador.

A Figura 1 mostra o diagrama com a ordem das bobinadeiras no processo do LTQ:

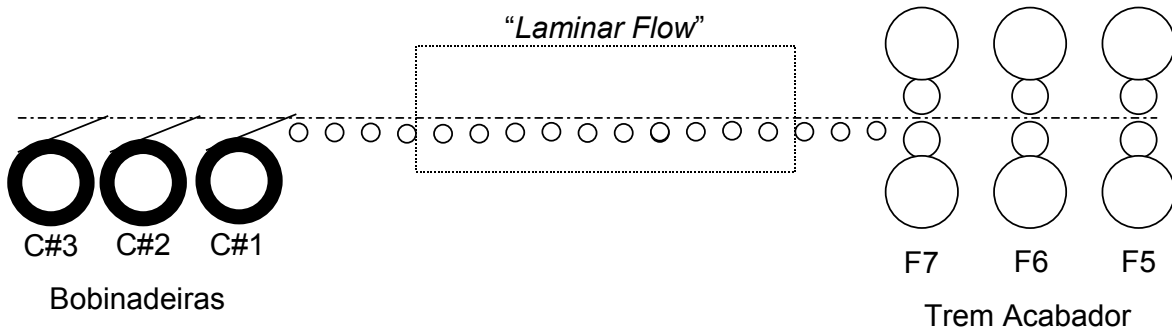


Figura 1 – Diagrama esquemático com o posicionamento das bobinadeiras no LTQ

A seguir, a Figura 2 apresenta o desenho esquemático de um conjunto de mandril de uma Bobinadeira, mostrando o posicionamento do mancal de apoio, em amarelo:

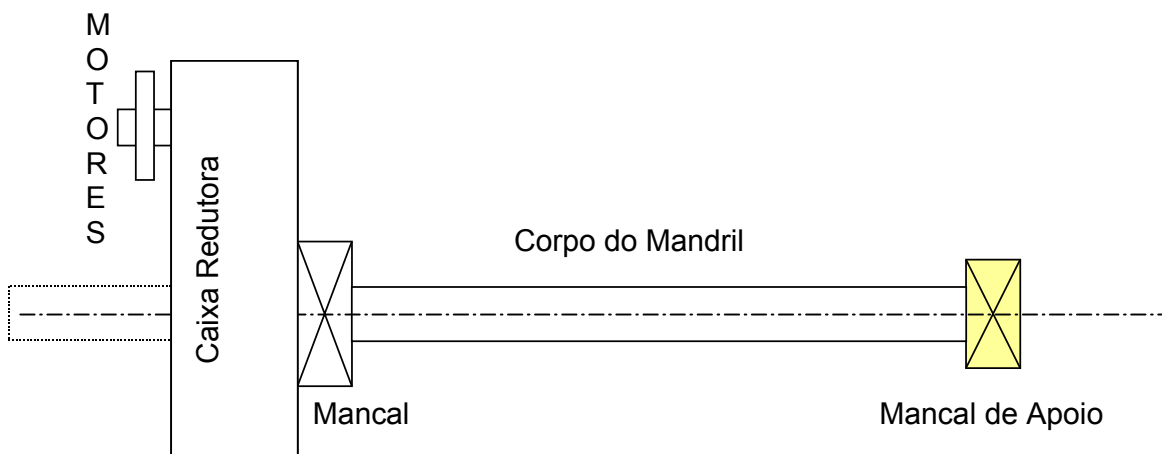


Figura 2 – Desenho esquemático de um conjunto de mandril

3. Breve Histórico e Descrição do Problema

As bobinadeiras foram originalmente concebidas para uma capacidade individual nominal de 40 toneladas. Assim, têm trabalhado dentro de suas capacidades nominais pois o peso médio de uma bobina do LTQ da CSN é de 20 toneladas. Por razões operacionais e de disposição no processo, a bobinadeira C#1 sempre foi a mais exigida, ou seja, a tonelagem/mês processada nela é sempre superior as demais. Sucessivamente, em ordem decrescente de solicitação vem a C#2 e a C#3.

Desde a partida deste equipamento, em 1981, o rolamento do mancal de apoio do mandril IHI sempre foi alvo de preocupação por parte do pessoal da manutenção do LTQ. O motivo era que além do baixo MTBF (*“mean time between failures”* – tempo médio entre falhas), sempre que um conjunto de mandril parava na oficina central para algum tipo de intervenção, independentemente de ter ocorrido alguma quebra, invariavelmente era necessário optar-se pela troca do mesmo devido aos sinais de falha existentes, mesmo que incipientes, para se trabalhar a favor da segurança.

Os principais sinais de falhas apresentados eram pequenos *“spalls”*, marcas de trabalho profundas e cor mais escura nas pistas e elementos rolantes caracterizando deficiência na lubrificação. As vezes também apareciam *“spallings”* excessivos, fraturas e até quebras de componentes.

Uma vida útil considerada adequada e satisfatória para estes rolamentos se dava quando atingiam uma marca próxima de 300.000 toneladas processadas, ou seja, 3 meses de operação contínua, no máximo. O consumo médio histórico deste rolamento era de 7 aquisições por ano e seu valor médio US\$3,500.00/FOB.

O rolamento original de projeto, fornecido pelo fabricante “A”, é um rolamento de dupla carreira de rolos cônicos do tipo TDI (duplo cone, duas capas simples e um espaçador de capas) e tem a seguinte designação: 45T775318-GCS725.

Em meados da década de 80, após uma crise de quebras freqüentes desses rolamentos durante operação causando diversas paradas de emergência, a CSN solicitou aos usuais fabricantes fornecedores dos rolamentos (fabricante “A”, original e fabricante “B”) que fizessem um estudo e avaliassem as causas dessas falhas. Chegou-se a conclusão que melhorias nos seus processos de fabricação deveriam ser introduzidas para atender as necessidades do equipamento e da produção.

Após os primeiros lotes dos rolamentos com as alterações realizadas pelos fabricantes, aparentemente o problema foi contornado, ou seja, conseguia-se que um rolamento trabalhasse até atingir uma vida útil superior a marca das 700.000 toneladas produzidas, uma evolução em relação aos padrões anteriores.

4. Desenvolvimento do Trabalho e Resultados

Após o *“revamp”* do LTQ, findado no início de setembro de 2001, no período de dezembro/2001 até janeiro/2002, diversos rolamentos apresentaram falhas catastróficas e precoces novamente. Neste momento foi criado um grupo de trabalho (GT) multi-disciplinar na CSN para estudar o problema.

A seguir, as principais ações tomadas pelo GT e seus resultados:

4.1 Acionar os fabricantes A e B dos rolamentos

Novamente os fabricantes A e B foram chamados e ambos relataram que não encontraram qualquer irregularidade na fabricação do lote de rolamentos fornecidos.

4.2 Levantamento do histórico de quebras para correlacionar fabricante

O resultado das 5 quebras registradas em dois meses seguidos de operação pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Apresentação do histórico de falhas

Quebra	BOB	Fab	Vida, em ton. produzida	Vida, em N ^o meses operando	Causa Provável
1	C#3	A	750.000	4 meses	Quebra por vida útil
2	C#2	A	800.421	6 meses e meio	Quebra por vida útil
3	C#1	A	52.237	1 mês	Falha prematura
4	C#1	A	423.637	3 meses	Falha prematura
5	C#3	A	259.125	2 meses	Falha prematura
6	C#1	A	150.000	1 mês	Falha prematura

Notas sobre a Tabela 1:

- A. As informações foram tomadas do sistema de informações gerenciais da manutenção (SIGMA) do LTQ, disponíveis na rede da CSN.
- B. As aparências das falhas apresentadas são muito similares às ocorridas em meados da década de 80. Vide fotos da falha típica nas Figuras 3 e 4.
- C. A falha precoce do item 6 foi detectada pela análise de vibração, com o equipamento ainda em funcionamento, onde a tendência foi monitorada quinzenalmente pela equipe de preditiva da Laminação.

As Figuras 3 e 4 mostram fotos com o aspecto da falha típica desses rolamentos:



Figura 3 – Foto da falha típica de um rolamento do mandril – detalhe do cone duplo



Figura 4 – Foto da falha típica de um rolamento do mandril – detalhe da capa e outros componentes

4.3 Levantamento das ocorrências de processo nas bobinadeiras

Foram levantadas pelo sistema de controle de ocorrências de turno do LTQ (planilha disponível na rede da CSN), todas as paradas de emergência envolvendo as bobinadeiras para fazer uma correlação com as quebras dos rolamentos. Os eventos que fizeram com que a bobina quente ficasse presa no mandril podem ter afetado a lubrificação e, de fato, poderiam ter contribuído para uma vida prematura nas quebras 3 e 4 (Tabela 1), ocorridas com os rolamentos montados na C#1.

4.4 Levantamento topográfico entre mancais dos conjuntos dos mandris

Apareceram pequenos desvios (diferenças de até 2mm, no máximo) em relação às cotas de projeto, porém considerados aceitáveis pela ordem de grandeza das dimensões envolvidas e pela robustez do equipamento.

4.5 Levantamento das anormalidades mecânicas, hidráulicas e elétricas

Não ocorreu qualquer anormalidade relevante para ser levada em consideração. A única pendência de intervenção que pode ter influenciado na performance dos rolamentos é a folga no suporte do mandril da máquina C#1.

4.6 Levantamento dos valores do “set-up” de tensão das bobinadeiras

Mesmo na operação dos materiais considerados mais críticos para o processo de bobinamento, após o “revamp” não foi encontrada nenhuma condição desfavorável aos rolamentos. No período das falhas, as tensões estavam dentro dos padrões normais esperados de ajuste.

5 Comparação dos Resultados de Performances

Os rolamentos do fabricante B, após uma campanha de 800.000 toneladas sempre apresentavam desgaste e as vezes até saíam com algum tipo de falha. Raramente foram testados em uma segunda campanha, pois a aparência visual dos mesmos sempre indicava para, no mínimo, pequenos “spalls” nas pistas e marcas de trabalho bem acentuadas. Porém, como a expectativa de vida (vida útil ≥ 700.000 toneladas) estava sendo atingida, os rolamentos do fabricante B estavam aprovados tecnicamente para continuar em uso.

O fabricante A não reconheceu ter havido qualquer problema na fabricação dos lotes fornecidos. Desta forma, foi concluído que sua performance não estava sendo satisfatória, tendo sido suspenso para fornecimento de rolamento nesta aplicação.

Em janeiro de 2002, em plena crise de quebras sucessivas, o estoque desses rolamentos ficou abaixo do limite de segurança e o prazo mínimo para entrega de rolamento dado pelo fabricante B era superior a 48 semanas.

A TIMKEN foi acionada e recebeu os seguintes desafios:

- Determinar a(s) causa(s) provável(is) para as falhas catastróficas ocorridas.
- Desenvolver e fabricar novo “*part number*” para atender as necessidades da aplicação da CSN e fornecer um lote com 6 rolamentos em emergência para evitar uma parada de bobinadeira no LTQ.

A TIMKEN imediatamente apresentou os seguintes resultados:

5.1 Análise das Falhas

Analisando as falhas, a TIMKEN destaca os seguintes comentários:

A. Aspecto de falha catastrófica

- Ocorreram muito provavelmente por sobrecarga extrema para o rolamento.
- Este tipo de falha ocorre com mais frequência em rolamento cujos anéis foram fabricados com tratamento térmico por têmpera total.
- A TIMKEN sugere para este tipo de aplicação, onde além das cargas de trabalho envolvidas também existem choques inerentes ao processo, rolamentos com aço cementado e temperado. Este tipo de tratamento térmico profere ao material dos seus componentes um núcleo dúctil e uma camada superficial “dura” com alta resistência. Assim, a possibilidade de uma falha catastrófica fica minimizada pois uma trinca superficial dificilmente se propagaria pelo núcleo, causando fratura conforme as apresentadas nas Figuras 3 e 4.

B. Pista do cone duplo com marcas de “*spalling*” profundo por fadiga

- Normalmente resultado de deficiência na lubrificação.

C. Furo do cone duplo com marcas intensas de corrosão tipo “*fretting*”

- Este tipo de marca na superfície do furo do cone é causada por elevada deflexão do eixo na posição do mancal, podendo ser efeito da folga no suporte do mandril.

5.2 Desenvolvimento de Novo Rolamento para a CSN

A TIMKEN não tinha um rolamento equivalente. O primeiro passo foi então avaliar a aplicação e desenvolver um novo produto para a CSN. A equipe de projetos de aplicação, em Canton/EUA, desenvolveu um “*part number*” específico para este equipamento, que recebeu a seguinte designação: NP561915-902A1. Trata-se de um TDI também, com dimensões similares ao original, diferindo apenas na largura, onde o rolamento TIMKEN é maior em 13,7 mm.

Visualmente, comparando os rolamentos dos diversos fabricantes, percebe-se que o da TIMKEN é mais robusto e possui 2 rolos a mais por carreira, o que lhe confere capacidades de carga superiores aos demais. Este número de rolos a mais por carreira é obtido devido a sua gaiola (porta-rolos) ser pinada e não estampada.

Na figura 5 podem ser observados os desenhos com detalhes construtivos do rolamento A e o da TIMKEN.

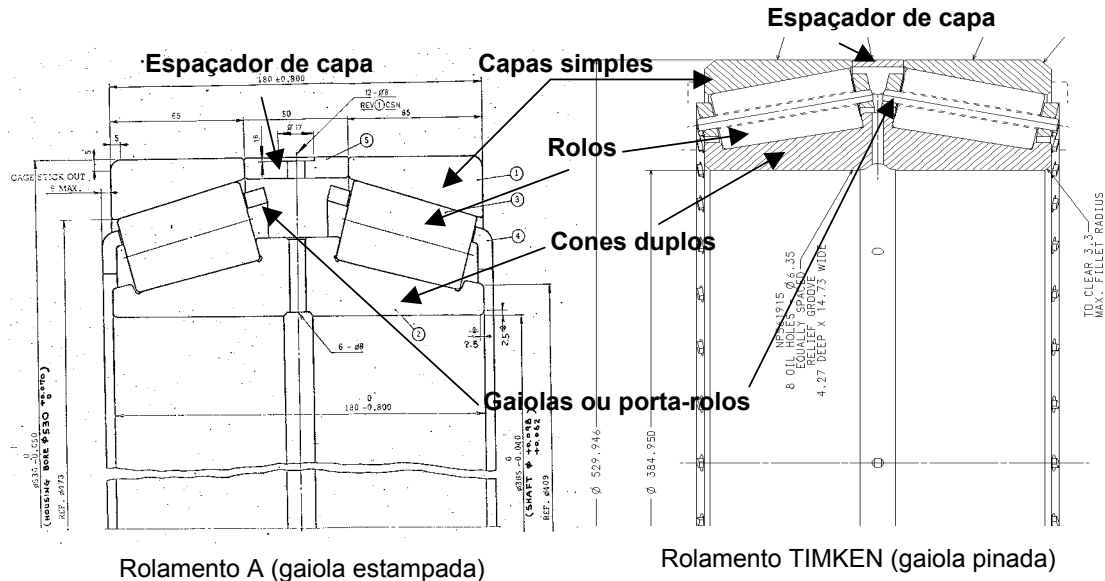


Figura 5 – Comparação dos detalhes de construção interna dos rolamentos

Na tabela 2 são comparados os valores de capacidades de carga dos rolamentos:

Tabela 2 – Estudo comparativo das capacidades de carga e vida nominal (L₁₀) dos rolamentos

Fabricante	PN	Capacidades de carga radial, em kN		Esforço radial estimado (P), em kN	Rotação mínima (n), em rpm	Vida L ₁₀ estimada, em horas	Vida L ₁₀ estimada, em anos	Relação entre L ₁₀ (TIMKEN) / L ₁₀ (A ou B)
		C	C ₀					
A	45T775318	2.128	3.030	750	181	30.013	3	6
B	CRD-7701	2.130	3.450	750	181	30.107	3	6
TIMKEN	NP561915	3.660	4.730	750	181	182.952	21	1
Fabricante	PN	Capacidades de carga radial, em kN		Esforço radial estimado (P), em kN	Rotação máxima (n), em rpm	Vida L ₁₀ estimada, em horas	Vida L ₁₀ estimada, em anos	Relação entre L ₁₀ (TIMKEN) / L ₁₀ (A ou B)
A	45T775318	2.128	3.030					
B	CRD-7701	2.130	3.450	750	544	10.017	1	6
TIMKEN	NP561915	3.660	4.730	750	544	60.872	7	1

Na tabela 2 usou-se a fórmula para cálculo da vida nominal, conforme Norma ISO 281:

$$L_{10} = (C/P)^{10/3} \times B/n \times a$$

- onde:
- L₁₀ - vida nominal
 - C - capacidade de carga dinâmica
 - P - carga equivalente estimada no eixo do mandril
 - B - fator (ISO) = 1.000.000/60
 - N - rotação do mandril (valores mínimo e máximo)
 - a - fator de ajuste de vida (considerado = 1)

Notas sobre a Tabela 2:

- A. C₀ é a capacidade de carga estática. Não entra na fórmula de L₁₀.
- B. Para efeito da simulação foram desprezadas as condições adversas de trabalho.

C. A fórmula da ISO tem a seguinte definição para a vida nominal: “É a vida de um grupo de rolamentos idênticos, em número de rotações (ou de horas a uma determinada velocidade constante), que 90% deste grupo alcançam ou superam, antes que apareçam os primeiros sinais de fadiga do material.”

5.3 Fabricação e Fornecimento

Após definido o “*part number*” foi usada a planta de Asheboro em Carolina do Norte/EUA especialmente implementada para atender situações críticas, rolamentos de grandes dimensões, pequenos lotes e aplicações especiais.

O programa “*Mill Express*” da TIMKEN, criado para minimizar os efeitos de paradas de emergência em plantas siderúrgicas nos EUA, foi acionado para poder fabricar e tornar os 6 rolamentos da encomenda da CSN disponíveis em 8 semanas. Esse prazo para entrega ainda poderia ter sido menor, mas esse “*lead time*” foi a melhor relação Benefício x Custo encontrada.

Recapitulando a cronologia:

- A TIMKEN foi acionada em meados de janeiro de 2002.
- Uma semana depois já tinha definido em conjunto com a CSN a causa das falhas catastróficas, deixando uma série de recomendações (item 5.4), bem como desenvolveu um novo rolamento e entregou uma proposta técnica e comercial.
- A CSN agiu rápido e cumpriu as recomendações da TIMKEN e colocou o pedido.
- Em 2 meses a TIMKEN fabricou e forneceu os rolamentos para a CSN.

5.4 Recomendações e Acompanhamento de Performance

A principal recomendação deixada pela TIMKEN foi em relação à alteração do sistema de lubrificação. Isto foi necessário pois originalmente a graxa chegava no rolamento pelo centro do cone duplo, vinda pelo eixo. Isto estava dificultando com que o lubrificante chegasse na extremidade menor do cone duplo.

Para aproveitar o efeito de “bombeamento” do rolamento de rolos cônicos, que faz com que o lubrificante vá da extremidade menor do rolo para a extremidade maior, recomendou-se que a lubrificação fosse tomada também pela lateral do mancal. Isto garante que o lubrificante percorra toda a pista de rolagem do rolamento e se torne mais eficiente.

Para efetivar estas alterações no sistema de lubrificação, bem como para adaptar o rolamento TIMKEN no mancal (13,7 mm maior na largura) foi necessário revisar diversos desenhos conforme recomendações. Prontamente a engenharia da CSN cuidou desses detalhes e os executou com perfeição.

Em maio de 2004, após 2 anos de montado o primeiro rolamento TIMKEN no mandril, o acompanhamento sistêmico de sua performance na desmontagem na oficina central constata um resultado inédito (resumido na tabela 3), quebrando todos os paradigmas estabelecidos para esta aplicação.

O rolamento PN 1 da Tabela 3 já está indo para a terceira campanha. Sem qualquer falha dos rolamentos TIMKEN e como os mesmos têm demonstrado perfeitas condições, estão todos portanto aptos para uma próxima campanha.

Tabela 3 – Performance dos 6 rolamentos TIMKEN montados

PN	Nº da Campanha	BOB	Vida, em tonelada produzida		Vida, em Nº de meses operando	
			Por campanha	Total	Por campanha	Total
1	1ª	C#3	249.290	836.854	4	8
	2ª	C#2	587.664		4	
2	1ª	C#3	426.730	> 1.173.435	4	> 10, ainda operando na 2ª
	2ª	C#1	> 746.705		> 6	
3	1ª	C#2	235.520	> 345.483	2	> 4, ainda operando na 2ª
	2ª	C#2	> 109.963		> 2	
4	1ª	C#2	407.063	407.063	2	2
5	1ª	C#3	158.735	158.735	4	4
6	1ª	C#1	765.367	765.367	3	3

6 Conclusão

Com esse trabalho em conjunto entre a CSN e a TIMKEN, ficou comprovado que uma parceria onde ambas as partes estão com o mesmo objetivo de resolver problemas e dar resultados, os resultados são extremamente promissores.

Como principais benefícios alcançados têm-se:

- A CSN recebeu um lote de 6 rolamentos dentro do prazo mais curto de sua história para esta aplicação e, com isso, não foi necessário parar qualquer bobinadeira por falta de sobressalente.
- A melhoria no sistema de lubrificação vale para qualquer rolamento montado.
- Redução significativa das paradas de emergência por falhas catastróficas dos rolamentos do mancal de apoio do mandril IHI.
- Redução do número de intervenções de troca desses rolamentos.
- Maior confiabilidade do equipamento.
- Maior disponibilidade do conjunto de mandril para a operação.

7 Agradecimentos

Os nossos mais sinceros agradecimentos:

- A equipe de técnicos, gerentes e profissionais da área comercial da CSN que mostrou muito profissionalismo, competência para agir na hora certa, tiveram coragem de fazê-lo e o fizeram lançando mão de toda tecnologia, serviços e engenharia de rolamentos disponível, que a TIMKEN orgulhosamente coloca a disposição dos seus clientes preferenciais.
- Aos gerentes da TIMKEN que souberam entender e deram o maior apoio para a participação neste belo trabalho em equipe. Também agiram no momento certo para agilizar as ações necessárias em atendimentos de emergência. Aos eficientes e sempre prestativos pessoal do corpo técnico e do “customer service” da TIMKEN do BRASIL. E a importante e precisa atuação do pessoal da engenharia, fabricação e do “customer service” de Canton, Asheboro e Atlanta, respectivamente.

8 Referências Bibliográfica

- Norma ISO 281.
- Catálogo TIMKEN 3M-T-03-GB-d-02, “The tapered roller bearing guide”.
- Catálogo TIMKEN 50M-9-86, “Bearing Selection Handbook”.
- Programa FPDB do “Global Engineering System”, intranet da TIMKEN
- Planilhas da rede interna da CSN (SIGMA e relatório de turno do LTQ).

TIMKEN A HISTORY OF PARTNERSHIP AND INDIVIDUAL SOLUTION – CSN A PRACTICAL CASE ⁽¹⁾

Several Failures at IHI Mandrel Outboard Bearings from the Down Coilers of CSN Hot Strip Mill

Augusto Pacca Condino ⁽²⁾
Celeyda Maria Tavares Coelho Neves ⁽³⁾
César Silvestre Santos ⁽⁴⁾
Eduardo Esberard ⁽⁵⁾
José Luiz Pimentel ⁽⁶⁾
Marcelo Lima Miki ⁽⁷⁾
Ronaldo Fernandes ⁽⁸⁾
Wagner Mistrinelli ⁽⁹⁾

ABSTRACT

Since CSN Hot Strip Mill started up, down coilers mandrel outboard bearings did not have an acceptable performance due a several failures and breakdowns. In the middle of 80th, as the problem became worst, the two bearing suppliers (manufacturers) decided to improve their manufacturing process and it gave some results for a while. However, from the end of 2001 to middle of 2002, new bearings failures occurred with a very limited life and let CSN to a lack of spare parts. Thus, Timken was involved in order to help CSN in the failure analysis process and also to solve the low bearing performance problem. After a careful analysis, Timken sent several recommendations and selected the best product, in terms of technology and material, to fit in the application. A strategic action plan was made together, to follow up Timken bearings performances. The result of this partnership was an increase in the life, without any damage and/or failure since the first mounted bearing on July/2002. Another earnings like higher reliability in the maintenance service can be added, as well as higher mandrels assembly sets availability, minor hourly time involved to fix this sort of problem and less money spent with spare parts.

Key-words: HSM, down coiler, mandrel, bearing

-
- (1) *Technical Contribution to the 41st Rolling Seminar – Process and Coated Rolled Products of Brazilian Society for Metallurgy and Materials (ABM), October 26th to 28th, 2004, Joinville/SC – Brazil.*
- (2) *Mechanical Engineer, M. Sc., from Maintenance Area of CSN Hot Strip Mill*
- (3) *International Purchasing, from CSN*
- (4) *Service Engineer, from Timken do Brasil (The Timken Company Branch)*
- (5) *Mechanical Engineer, from Rolling Mills Maintenance Engineering Area of CSN*
- (6) *Industrial Sales Engineer from Timken do Brasil (The Timken Company Branch)*
- (7) *Mechanical Technician, from Maintenance Area of CSN Hot Strip Mill*
- (8) *Mechanical Engineer, from Centralized Maintenance and Shops Area of CSN*
- (9) *Service Engineer, from Timken do Brasil (The Timken Company Branch)*