

INSTALAÇÃO DE EIXO DE ACIONAMENTO TUBULAR LUBRIFICADO A ÓLEO NA NORTHSTAR-BLUESCOPE STEEL¹

Keith Hoffman²
Cristoph Sundermann³
Steffen Knoblauch⁴
William Malan⁵

Resumo

A North Star BlueScope Steel é uma *joint venture* entre a BlueScope Steel e a Cargill Inc. A usina tipo mini-mill foi construída em 1997 para fornecer bobinas laminadas a quente. Desde o comissionamento da planta, a NSBS tem incrementado seus processos e equipamentos para aumentar a produtividade via aumento da confiabilidade. Recentemente completou a troca do eixo de acionamento original lubrificado por graxa por moderno eixo tubular lubrificado a óleo eliminando uma fonte de custo de manutenção e parada. Este trabalho inicia com uma visão das instalações da NSBS e histórias de confiabilidade relativas a melhorias implementadas ao longo dos anos. Será discutida a razão para a troca do eixo, a seleção racional do eixo lubrificado a óleo e o processo de conversão. Conclui com uma análise de custo-benefício e economia conseguida no Laminador a Quente.

Palavra-chave: Laminação a quente; Eixo de acionamento.

INSTALLATION OF OIL LUBRICATED TUBE SPINDLES AT NORTHSTAR-BLUESCOPE STEEL

Abstract

North Star BlueScope Steel is a joint venture between BlueScope Steel and Cargill Inc. The plant was constructed in 1997 as a medium-slab caster mini-mill designed to supply hot band. Since the plant's commissioning, NSBS has continued to upgrade its processes and equipment toward greater productivity via increased reliability. Recently has completed the replacement of the original grease lubricated spindles with modern oil-lubricated tube-type spindles to eliminate a recurring source of maintenance cost and downtime. This paper will open with an overview of the NSBS facility and history of other reliability related upgrades that have been implemented over the years. It will discuss the reasons for replacing the grease-lubricated spindles, selecting oil-lubricated tube type spindles and the process of conversion. It will conclude with a cost-benefit analysis and overall savings realized at the hot mill.

Key words: Hot rolling mill; Spindle.

¹ Contribuição técnica ao 46º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 27 a 30 de outubro de 2009, Santos, SP.

² Gerente de Manutenção, North Star-BlueScope Steel,

³ Gerente Geral, Acionadores e Componentes, SMS Siemag AG

⁴ Engenheiro de Projeto, Acionadores e Componentes, SMS Siemag AG

⁵ Gerente de Geral Vendas e Serviços – acionamentos, SMS Siemag LLC

1 INTRODUÇÃO

Desde a partida, a North Star-BlueScope Steel tinha problemas com falhas dos eixos de acionamento do laminador (*spindles*) que prejudicavam as operações e a lucratividade. Em 2003, um estudo interno para corrigir esses problemas resultou na decisão de substituir todos os eixos lubrificados com graxa por outros lubrificados a óleo de última geração.

Este artigo dá detalhes dos problemas relacionados aos eixos e do processo de tomada de decisão para mudança do conceito de lubrificação a graxa para óleo. Também será apresentada um pouco da perspectiva do projeto de engenharia, além dos resultados obtidos até o momento.

2 HISTÓRICO DA NORTH STAR BLUESCOPE STEEL

Construída em 1997, a North Star BlueScope Steel (NSBS) é um *joint venture* 50 - 50% entre a BlueScope Steel (antiga BHP Steel) e a divisão North Star Steel da Cargill Inc. As instalações estão estrategicamente localizadas para a produção de chapas laminadas a quente para processadores de bobinas, produtores de chapas laminadas a frio, fabricantes originais de equipamentos, indústrias de tubos de aço e centros de serviços.

A tecnologia usada na North Star BlueScope Steel permite uma rápida conversão de sucata em bobinas laminadas a quente. Trata-se de um processo de duas etapas.

A fundição e o lingotamento convertem a sucata de aço em placas. O laminador converte as placas em bobinadas laminadas a quente. A qualidade das bobinas é verificada por computador, sendo em seguida embarcadas por trem ou caminhão para clientes em todo o Meio-Oeste dos EUA. A linha de produto da NSBS é detalhada na Tabela 1.

Tabela 1 – Material produzido na North Star BlueScope

Grau	Espessura em pol. (min.)	Espessura em mm. (min.)	Largura em pol.	Largura em mm	Obs.
1006–1008	0,050–0,500	1,27–12,70	41,5–60,0	1.055–1.550	Com ou sem boro
1018, 1020, 1021	0,058–0,500	1,47–12,70	45,25–60,0	1.150–1.550	
Alta resistência, Escoamento mín. 35.000– 60.000 PSI	0,0524–0,500	1,33–12,70	41,5–60,0	1.055–1.550	
Alta resistência, Escoamento mín. 70.000– 80.000 PSI	0,078–0,248	1,98–6,30	41,5–60,0	1.055–1.550	

Peso da bobina: 107 – 178 kg por cm de largura

3 DESCRIÇÃO GERAL DAS INSTALAÇÕES DA NSBS

O forno elétrico a arco (EAF) é um projeto de corrente alternada (CA), carcaça e veios gêmeos. A sucata é alimentada no forno por um veio pré-aquecido. O forno produz 172 toneladas de aço líquido a cada 40 minutos e está preparado para permitir uma alimentação contínua de sucata e/ou ferro gusa, otimizando o uso de energia e os custos. As painéis de refino são projetadas para operar com eletrodos de 18 polegadas, injeção de pó e arame, introdução de ligas, com agitação de argônio e de cálcio. As painéis de refino são projetadas para controlar a

composição química, limpeza e temperatura, resultando em placa de ótima qualidade e processamento. O lingotamento produz placas de espessura média; quatro polegadas (100 mm) de espessura x 41,5–60 polegadas (1.055 mm – 1.524 mm) de largura. O lingotamento é dotado de molde retangular convencional, freio eletromagnético e oscilação hidráulica, para otimização da superfície e da qualidade interna das placas. Ao deixar o lingotamento, a placa entra em um forno tipo túnel de 486 pés (148 metros), onde a temperatura é de 2.192°F (1.200°C) aproximadamente.

Fornecido originalmente por outro fabricante, o laminador foi construído com duas cadeiras de desbaste e seis cadeiras de acabamento (Figura 1). A configuração em oito cadeiras oferece uma ampla variedade de estratégias de laminação controlada para aperfeiçoamento da superfície, forma e ductibilidade. A laminação conta com dois laminadores verticais de bordas e três descarepadores que proporcionam melhor rendimento e uma superfície mais limpa. As cadeiras de acabamento são dotadas de sistema de deslocamento axial do cilindro de trabalho (*shifting*) e da força de flexão (*bending*), o que proporciona controle superior de coroa e forma. Rolos tensores entre cadeiras foram acrescentados em 2003. Todas as oito cadeiras são acionadas por motores elétricos de tamanhos variados, redutores e conjunto de pinhões. Os eixos fornecidos pelo fabricante original eram dotados de dentes de engrenagens cementados e temperados ou nitretados, com coroa central de engrenagem padrão.

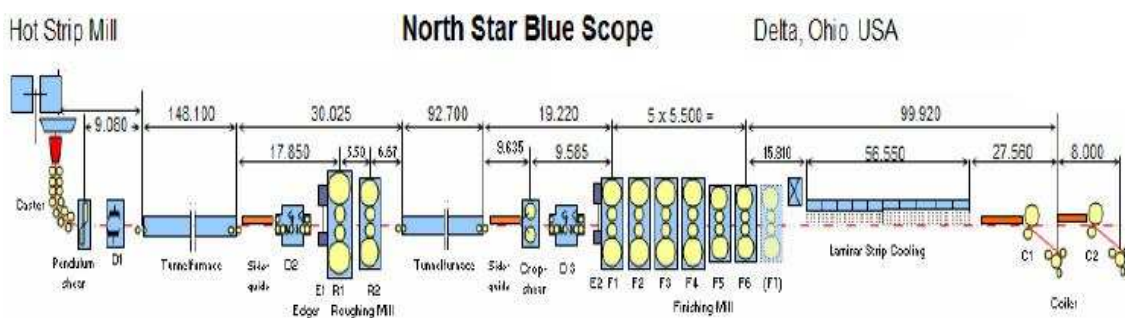


Figura 1– Layout da Planta da NSBS.

A mesa de fluxo laminar foi projetada para controlar as temperaturas de laminação, garantindo propriedades metalúrgicas uniformes. As temperaturas de laminação são fundamentais para produzir um material dúctil com propriedades mecânicas constantes. As duas bobinadeiras são equipadas com guias laterais hidráulicas, para uma melhor apresentação das bobinas.

4 TECNOLOGIA DO EIXO DE ACIONAMENTO

A tecnologia de laminação evoluiu de maneira impressionante nas últimas décadas. Contudo, o princípio fundamental do processo de laminação permanece relativamente o mesmo. Por exemplo, uma fonte de alimentação elétrica, como um motor, faz girar um ou mais eixos, tipicamente chamados de *spindles*, diretamente ou através de caixas de engrenagem, que giram os eixos e estes, por sua vez, giram um conjunto de rolos que se movimentam em sentidos opostos. O material é forçado através desses rolos em movimento, obtendo-se assim, o formato e o tamanho desejado.

A tecnologia dos eixos dos laminadores, na verdade, não evoluiu tão significativamente em comparação com as capacidades e velocidades dos laminadores. Os primeiros eixos eram normalmente do tipo oscilante (*wobbler*) de

conexão macho que giravam caixas oscilantes de conexão fêmea. Mais tarde foram usados eixos deslizantes (*slipper*) do tipo "osso de cachorro" (Figura 2). Esses eixos deslizantes tinham alta capacidade de torque e movimentação angular, porém com velocidade limitada. Eixos oscilantes e deslizantes de gerações mais antigas demandavam uma manutenção considerável e, devido ao seu projeto original e aos métodos de fabricação, podiam falhar sem aviso, normalmente causando danos.

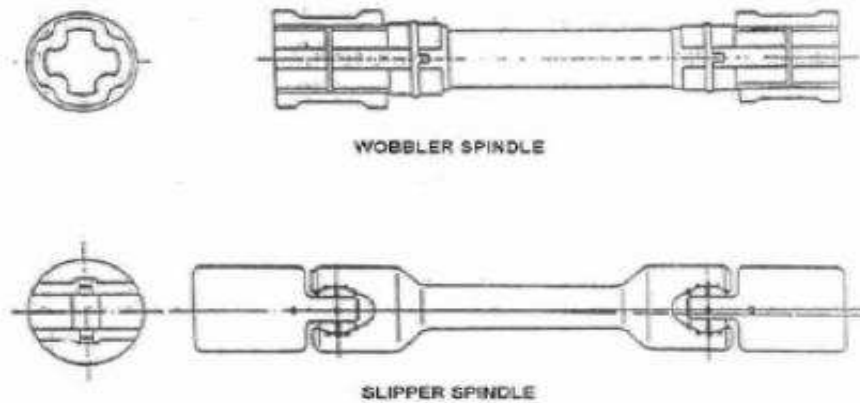


Figura 2 – Tipos antigos de eixos para laminadores.

Nos anos de 1950, com o aumento dos requisitos de velocidade e torque dos laminadores, os eixos com engrenagens e lubrificação por graxa se tornaram mais usuais. Eixos com engrenagem ofereciam maior capacidade de torque e previsibilidade, além de reduzirem os custos de manutenção e lubrificação. Os eixos com engrenagem originalmente eram dotados de dentes de engrenagem com tratamento térmico, porém conforme o torque de laminação aumentava, dentes de engrenagem cementados se tornavam mais populares. Nas laminações a frio mais velozes, o uso de dentes nitretados diminuiu a incidência de avarias relacionadas ao aquecimento.

Os requisitos dos laminadores da nova geração continuam a aumentar com altas velocidades, maior cargas e materiais mais resistentes. As maiores exigências dos processos de laminação aumentaram consideravelmente a geração de calor nos eixos com engrenagem. O alto torque de laminação, combinado com a separação centrífuga da graxa em altas velocidades fez com que o resfriamento dos dentes de engrenagem dentro do eixo se tornasse um grande problema. A graxa usada em eixos com engrenagens é cara e tem uma vida útil limitada. Quando os elementos lubrificantes da graxa perdem propriedades, o calor danifica os dentes. A única maneira verdadeiramente eficiente de evitar danos relacionados ao aquecimento gerado durante o processo de laminação é remover o calor com segurança.

5 EIXOS COM LUBRIFICAÇÃO CONTÍNUA A ÓLEO SIEFLEX®

Introduzidos pela primeira vez pela SMS Siemag AG no início dos anos de 1980, os eixos com lubrificação contínua a óleo SIEFLEX® oferecem aos usuários uma maneira confiável de remover continuamente o calor que pode danificar os eixos durante sua operação. O escoamento regular do óleo elimina a necessidade de manter o nível de graxa e de limpar a graxa que poderia contaminar o ambiente. O conceito de lubrificação por óleo prolonga significativamente a vida útil do eixo e reduz o tempo de parada do laminador.

Desde sua introdução, os eixos com lubrificação a óleo contínua Sieflex evoluíram em diversos conceitos de projeto. Os primeiros projetos incorporavam caixas coletoras de óleo (Figura 3) montadas no eixo no lado do rolo. Muitos desses projetos ainda hoje são utilizados, porém estão sendo substituídos pelo conceito tubular.



Figura 3 – Projeto do sistema SIEFLEX lubrificado a óleo – lado do rolo.

O conceito tubular Sieflex (patenteado pela SMS Siemag AG) consiste em um eixo com escoamento interno do óleo (Figuras 4 e 5), reduzindo, dessa forma, a manutenção a um nível o mais baixo possível. O óleo limpo e com temperatura regulada proveniente do sistema de lubrificação do laminador é introduzido no eixo pelo lado do acionamento e transferido para o lado do rolo através de um duto central. O óleo circula através dos elementos de engrenagem do lado do rolo e é transferido por intermédio de um tubo montado externamente de volta para um coletor de óleo montado no lado de acionamento. O óleo aquecido retorna para o sistema de circulação de óleo do laminador, para resfriamento e limpeza (Figura 6). A lubrificação contínua tem diversas vantagens. Quinze litros de óleo por minuto (3,96 galões) resfriam continuamente os elementos de engrenamento e remove possíveis contaminantes que poderiam danificar o eixo. O óleo circulante mantém a qualidade e temperatura constantes, reduzindo dessa forma a geração de calor que poderia destruir os elementos de engrenamento.

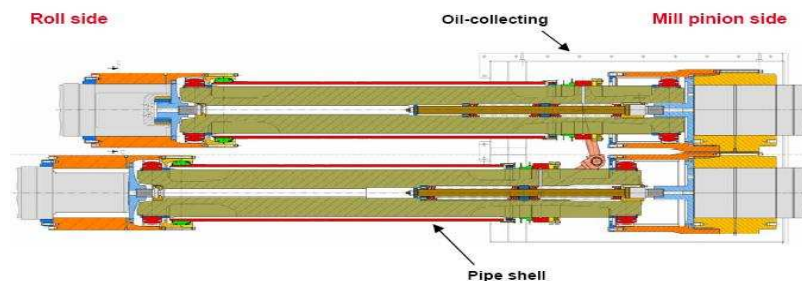


Figura 4– Eixo tubular lubrificado a óleo SIEFLEX para laminador a quente.

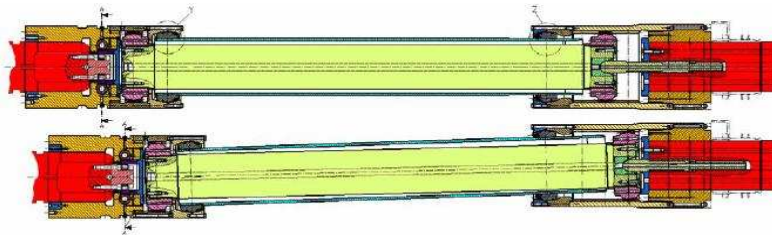


Figura 5 – Eixo tubular SIEFLEX para laminador a frio com óleo através do eixo-pinhão.

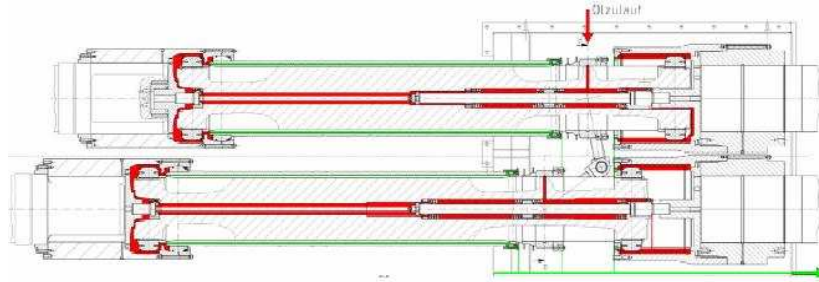


Figura 6 – Escoamento do óleo através do eixo tubular. Vermelho entrada; verde saída.

6 HISTÓRICO DOS EIXOS NA NSBS

Conforme dissemos anteriormente, desde início de operação da NSBS, todas as oito cadeiras de laminação a quente foram equipadas com eixos de engrenagem lubrificadas com graxa. Esses eixos eram cementados e temperados ou nitretados (dependendo da cadeira) com guia de raiz nas engrenagem da conexão macho (Figura 7). As luvas do lado dos rolos de laminação eram dotadas de chapas de desgaste substituíveis nas partes planas.

Desde o início e durante os primeiros cinco anos de operação, os eixos com engrenagem lubrificadas por graxa foram identificados como os principais contribuintes para os custos de manutenção e tempo de parada. Várias medidas corretivas foram tentadas, porém conforme a crescia a produção da usina, aumentavam proporcionalmente os custos relacionados aos eixos e as paradas.

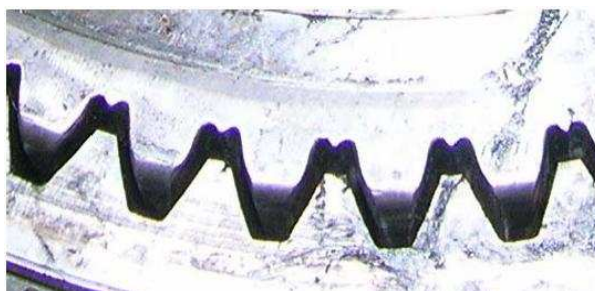


Figura 7 – Configuração original dos dentes dos engrenamento.

Em 2003, foi realizado um estudo interno e a NSBS decidiu substituir todos os eixos lubrificadas por graxa pelos lubrificado a óleo. A NSBS solicitou preços e conceitos de engenharia a diversos fornecedores. Após um cuidadoso processo de seleção, que incluiu uma análise de custo-benefício (Figura 8), optou pelos eixos tubulares Sieflex lubrificadas a óleo (Figura 9).

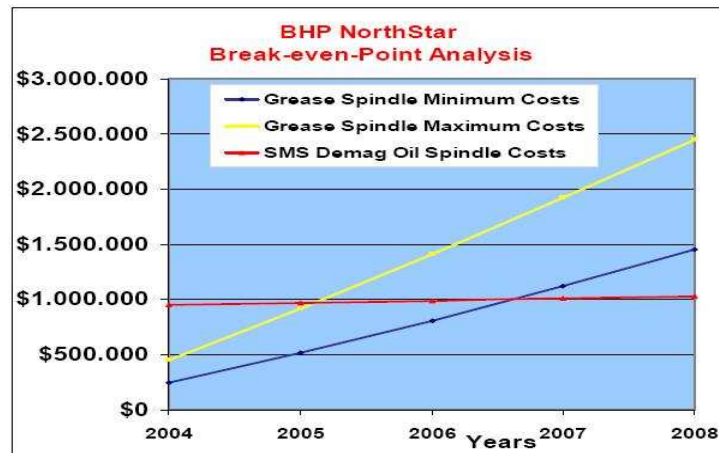


Figura 8 – Análise de custo-benefício original base 2004.

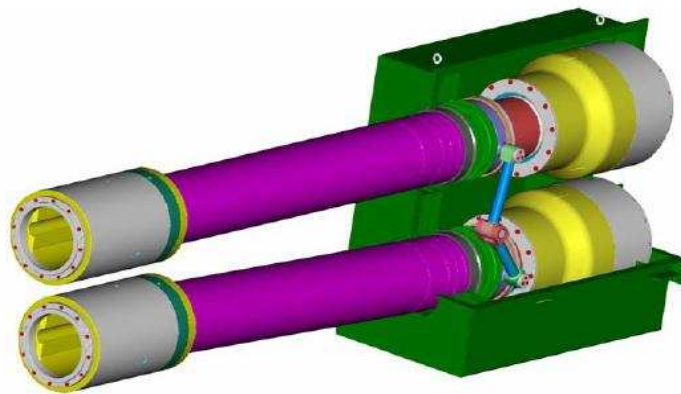


Figura 9 – Desenho conceitual do eixo tubular Sieflex.

7 ENGENHARIA DOS EIXOS TUBULARES LUBRIFICADOS A ÓLEO SIEFLEX

A SMS Siemag AG fez uma análise completa dos diversos problemas relacionados aos eixos na NSBS e foram divididos como segue:

- danos nas partes internas relacionados à capacidade de torque. Essas questões (Figura 10) foram avaliadas através de análise destrutiva e por elementos finitos – FEA.



Figura 10 – Quebra dos dentes após quatro meses de operação.

Resumindo, descobriu-se que a capacidade de transmissão de torque dos eixos originais lubrificadas com graxa era insuficiente para transmitir os torques reais necessários para o processo de laminação da NSBS. Assim, foi preciso considerar o novo conceito de eixos tubulares com uma maior capacidade de transmissão de torques. Os materiais e a geometria dos elementos de engrenagem do eixo tubular Sieflex foram aperfeiçoados para aumentar a capacidade de transmissão de torque e para todas as cadeiras foram projetados com dentes padronizados cementados e temperados de forma a aumentar a resistência mecânica e ao desgaste. As chavetas removíveis da carcaça foram substituídas por carcaça integral cementadas e temperadas conforme padrão SMS Siemag, aumentando assim a seção transversal e a respectiva resistência em mais de 25% (Figuras 11 e 12). A seção transversal da luva do projeto original era de 89,6 mm e o novo 114,5 mm.

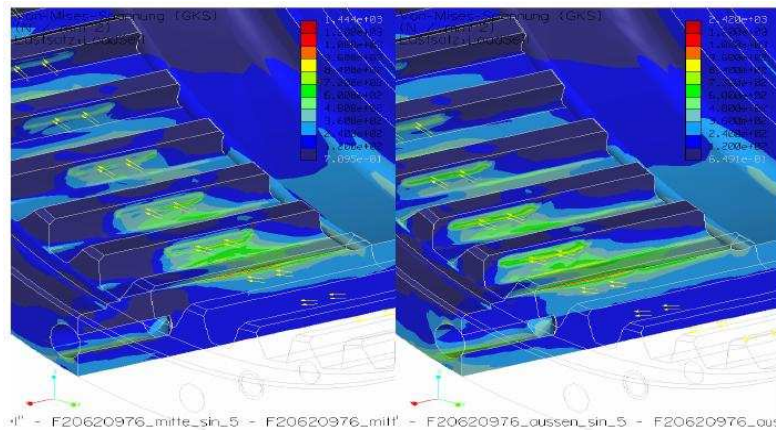


Figura 11 – Análise FEA das engrenagens da luva lado do rolo.

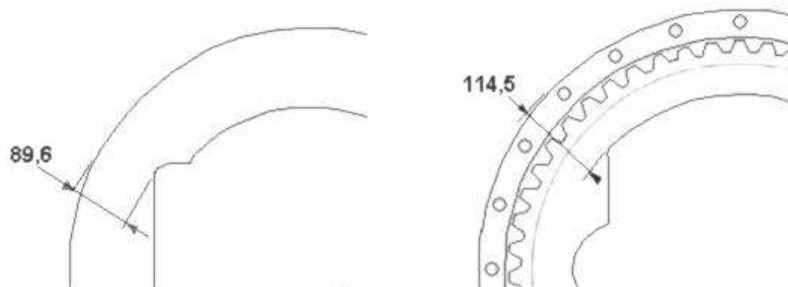


Figura 12 – Seção transversal da luva da extremidade lado do rolo. Original 89,6 mm x Sieflex 114,5 mm.

- Danos nas partes internas relacionados ao calor. Da mesma forma que a questão acima, partes danificadas pelo calor foram submetidas a ensaios destrutivos. O aumento do calor foi resultado da perda, baixo nível e separação da graxa pela força centrífuga, particularmente nas cadeiras de mais alta velocidades (Figura 13). Felizmente, em função de seu projeto, os eixos tubulares lubrificadas a óleo removem o calor das cavidades internas do eixo com engrenagem. Assim, os danos causados pelo calor existentes na NSBS foram eliminados pela simplesmente mudança do conceito de lubrificação.



Figura 13 – Graxa removida dos eixos originais da NSBS.

- Perda de lubrificação e impacto na limpeza. A perda de lubrificação é o problema mais comum dos eixos lubrificadas com graxa. Não importa os materiais de vedação e o projeto, a perda de graxa ocorre mais comumente durante trocas de rolos. Na NSBS, foram projetadas e instaladas grandes caixas coletoras sob a extremidade do eixo no lado do rolo de trabalho e no lado do acionamento (Figura 14).



Figura 14 – Coletor de graxa da NSBS.

Ao longo do tempo, essas caixas se enchem de graxa e precisam ser removidas e limpas. A segunda maior causa de perda de graxa é a separação durante a operação. Em termos simples, isso ocorre quando o calor destrói os elementos internos da graxa que transportam óleo. Se os eixos não forem engraxados freqüentemente, a incidência de danos por calor é acelerada. Infelizmente, a única maneira de engraxar o eixo é parar o equipamento, o que aumenta o tempo de parada programada ou não. Foi verificado que todos esses desafios relacionados à graxa poderiam ser eliminados pela introdução de eixos tubulares com lubrificação a óleo Sieflex.

8 INSTALAÇÃO E PARTIDA DOS EIXOS TUBULARES COM LUBRIFICAÇÃO A ÓLEO SIEFLEX NA NSBS

A instalação dos eixos tubulares lubrificadas a óleo foi realizada em diversas fases ao longo de 18 meses, com prioridade para as cadeiras que apresentavam o mais alto custo de manutenção. As cadeiras R2 e F2 foram as primeiras a serem instaladas em junho de 2005 (Figuras 15-16), a F1 em junho de 2006 e F5-F6 em novembro de 2006. Ocorreram inicialmente alguns pequenos problemas com a angularidade do eixo, resultantes das mudanças imprevistas no projeto do equipamento de troca de rolos e em procedimentos operacionais da laminação. Tanto a NSBS quanto a SMS Siemag AG abordaram e resolveram esses problemas imediatamente.



Figura 15– Eixos Sieflex instalados na cadeira F2 sem a tampa do coletor de óleo.



Figura 16 – Instalação completa do eixo na cadeira F2, junho 2005. Ao fundo o eixo lubrificado por graxa em F1.

9 RESULTADOS ATÉ O MOMENTO

Desde a instalação dos eixos tubulares lubrificados a óleo SIEFLEX nas cadeiras R2, F1, F2, F5 e F6 da NSBS, os custos gerais de manutenção dessas cadeiras diminuiu drasticamente (Figura 17). Em geral, houve uma redução de 75% nas cadeiras convertidas, sendo que, desses custos de reparo, um grande percentual pode ser atribuído a questões não relacionadas diretamente aos eixos, como maior resistência dos materiais laminados e acidentes na laminação.

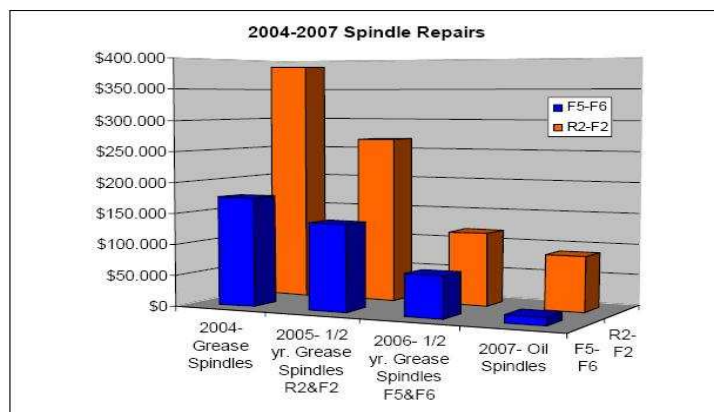


Figura 17 – Custos totais com reparo antes e após conversão Sieflex.

Além disso, na análise original de custo-benefícios não foram considerados os custos relacionados à aplicação e remoção da graxa. A economia foi muito maior

que a prevista (Figura 18). O consumo de graxa caiu 60% e esses dados ainda incluem as três cadeiras com eixos lubrificados por graxa.

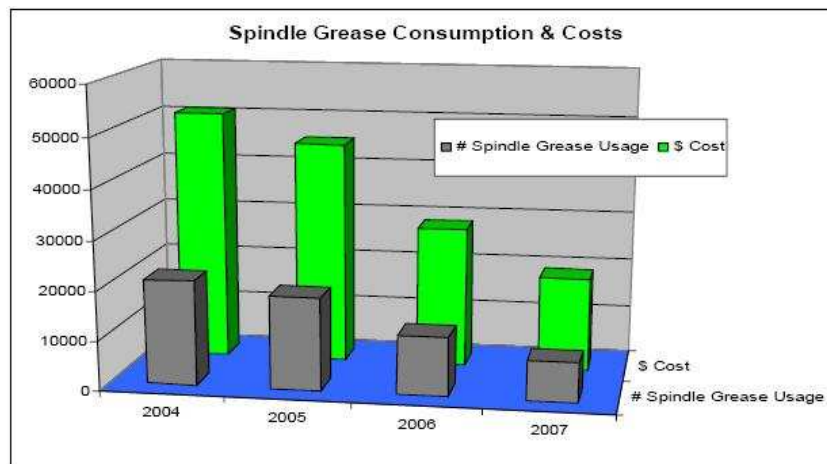


Figura 18 – Consumo total de graxa.

O tempo de parada programado e não programado relacionado ao eixo também reduziu drasticamente (Figura 19). As cadeiras F5-F6, por exemplo, não sofreram paralisações devido ao eixo desde a sua conversão, enquanto R2-F2 sofreram somente uma paralisação, mas não atribuída ao desempenho do eixo (ou seja, problemas da laminação).

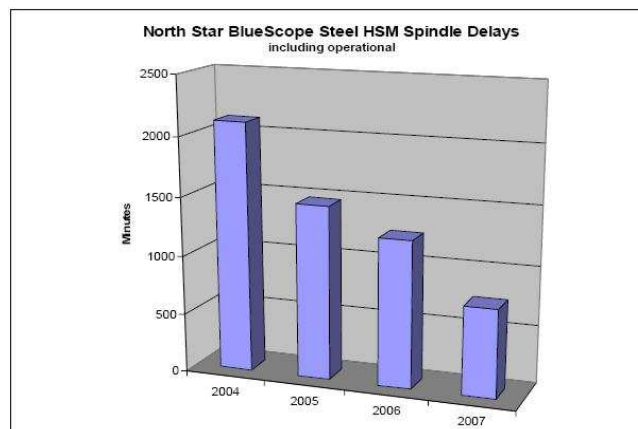


Figura 19 – Atrasos relacionados aos eixos da NSBS.

Após aproximadamente um ano de serviço (dois milhões de toneladas) nas cadeiras F5-F6, dois eixos foram removidos para inspeção preventiva. Como pode ser visto na Figura 20, os danos nos dentes causados pelo desgaste e pelo calor foram eliminados.

Na verdade, os dentes de engrenamento exibem padrões de desgaste típicos. Não foi virtualmente possível medir desgaste da luva na extremidade lado do rolo. Os eixos foram remontados e instalados. A próxima remoção programada para inspeção preventiva será após quatro anos de serviço (mais de oito milhões de toneladas). O melhor desempenho anterior dos eixos lubrificados por graxa foi de 700.000 toneladas e em geral todas as peças precisaram ser substituídas para que esse ponto fosse atingido.

Os novos eixos lubrificados a óleo das cadeiras R2-F2 foram removidos diversas vezes desde a sua instalação, principalmente por questões operacionais da

laminação. A cada vez, os dentes foram inspecionados, medidos e fotografados (Figura 21).



Figura 20 – F5-F6 após um ano de serviço dois milhões de toneladas.



Figura 21 – R2-F2 após laminadas e dois milhões de toneladas.

A vida útil esperada dos elementos de engrenagem e luvas é comparável com a obtida nas bancadas F5-F6.

10 CONCLUSÃO

A introdução de eixos tubulares lubrificadas a óleo Sieflex na NSBS foi um sucesso que superou a análise inicial de custo-benefício. Os problemas de instalação e partida foram resolvidos com a cooperação das empresas. A economia geral foi maior que a prevista e continua a crescer. A NSBS tem planos para finalizar a compra e instalação para as três cadeiras restantes em um futuro próximo.

Agradecimentos

Os autores agradecem a North Star BlueScope Steel e a SMS Siemag AG por seu apoio na produção deste artigo.