

GANHOS PROMOVIDOS PELA EQUALIZAÇÃO DE PERFORMANCE DE CILINDROS DE TRABALHO NO LAMINADOR DE TIRAS A QUENTE¹

*Felipe Gustavo Bernardes²
Waldemar Braatz Krueger³
Marcelo Arantes Rebellato⁴
Gilson Teixeira Cornélio⁵*

Resumo

Os cilindros de ferro fundido centrifugados passaram por uma série de evoluções e atualmente é comum encontrar laminadores de tiras a quente (LTQ) utilizando cilindros de aço rápido (HSS) nas primeiras cadeiras e cilindros de ferro fundido de coquilhamento indefinido microligado (ICDP) nas últimas cadeiras. Nesta configuração as campanhas de laminação estão limitadas pelo desgaste dos cilindros de trabalho (WR) das últimas cadeiras. Neste trabalho discute-se a importância de haver uma equalização da performance destes cilindros. Por meio de dados estimados apresentam-se os ganhos a serem alcançados mediante obtenção desta equalização.

Palavras-chave: Laminador de tiras a quente; Cilindro de trabalho; Produtividade em LTQ.

GAINS OBTAINED BY THE EQUALIZATION OF THE PERFORMANCE FROM THE WORK ROLLS IN THE HOT STRIP MILL

Abstract

The centrifugal cast iron rolls have passed through a series of evolutions and nowadays it is usual to find hot strip mills (HSM) with high-speed steel (HSS) in the first stands and indefinite chilled cast iron microalloyed (ICDP) in the last ones. With this configuration the rolling mill campaigns are limited by the wear of the work rolls (WR) from the last stands. In this article it is discussed the importance of having an equalization of all rolls performance. By means of estimated datas it was presented the gains to be reached with this equalization.

Key words: Hot strip mill; Work roll; Campaign.

¹ *Contribuição técnica ao 44º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 16 a 19 de outubro de 2007, Campos do Jordão – SP, Brasil;*

² *Mestre em Engenharia, Engenheiro de Vendas e Assistência Técnica de Cilindros de Laminação, Aços Villares/Sidenor, Pindamonhangaba, SP;*

³ *Engenheiro Mecânico, Trainee, Aços Villares/ Sidenor, Pindamonhangaba, SP;*

⁴ *Engenheiro Metalurgista, Gerente Comercial de Cilindros de Laminação, Aços Villares/ Sidenor, Pindamonhangaba, SP;*

⁵ *Mestre em Engenharia, Supervisor Técnico de Desenvolvimento de Cilindros de Laminação, Aços Villares/ Sidenor, Pindamonhangaba, SP.*

1 INTRODUÇÃO

A laminação de tiras a quente passa por uma evolução constante em busca de melhorias na produtividade e na qualidade do produto laminado, em especial a forma e condição superficial da tira. Ambos aspectos dependem diretamente dos cilindros de laminação, o primeiro relacionado com a duração da campanha e o tempo de troca de cilindros em serviço, e o segundo relacionado com a qualidade superficial do cilindro que determina as características do produto laminado.⁽¹⁾

Com a finalidade de esta demanda por melhorias, no final dos anos 60, os fabricantes de cilindros passaram a utilizar uma nova técnica para a fabricação dos cilindros, chamada fundição centrífuga. Esta técnica permitiu a fabricação de cilindros compostos por dois materiais, sendo um material constituinte do núcleo e pescoço e o outro constituinte da casca do cilindro (região que entra em contato com a tira laminada). Desta forma, os materiais da casca do cilindro passaram a ter compromisso direto com as solicitações tribológicas. Este avanço se traduziu em aumento da tonelagem laminada por cilindro, melhora da qualidade da chapa e redução de custos de manutenção.⁽²⁾

Durante estes poucos anos, a fundição centrífuga passou por muitos avanços. Inicialmente empregava-se ferro fundido branco de alto cromo na casca do cilindro. Posteriormente aplicou-se o aço de alto cromo (*High Chrome Steel – Hi-Cr Steel*). Atualmente o mercado está voltado para o desenvolvimento da aplicação do aço rápido (HSS).

Os cilindros HSS estão sendo empregados por apresentarem algumas vantagens do ponto de vista tribológico em relação aos demais materiais, como por exemplo, maior dureza na temperatura de trabalho e resistência ao desgaste³. Para aperfeiçoar o emprego dos cilindros HSS nos laminadores, pesquisadores estão trabalhando na otimização das propriedades tribológicas deste tipo de material especificamente para a aplicação em cilindros para laminação.⁽²⁻⁵⁾

Ferro fundido de coquilhamento indefinido tem sido o material convencional para os cilindros WR utilizados nas últimas cadeiras dos LTQ's devido ao bom compromisso entre resistência ao desgaste, condutividade térmica e tenacidade. Ainda hoje, é o material mais adaptado para utilização sem restrições nas últimas cadeiras dos LTQ's. Nos últimos anos, esse material tem sofrido modificações microestruturais através de pequenas mudanças na composição química e no processo de fabricação. Essas mudanças têm buscado o melhor balanço entre fração volumétrica, forma e distribuição de grafita e carbonetos.

A grafita é indicada como elemento principal no sucesso desse material para a aplicação nas últimas cadeiras. A presença de grafita na superfície melhora a resistência do material aos choques térmicos, devido a sua maior condutividade térmica. A grafita reduz o módulo de elasticidade do material, diminuindo as tensões durante a laminação. Essa capacidade de absorver as tensões, promovendo um efeito de alívio, aumenta a resistência às trincas térmicas. O efeito da grafita como lubrificante sólido tem sido verificado em alguns experimentos para estudar o fenômeno de *sticking*.⁽⁶⁾ Recentemente, alguns ensaios têm mostrado que a taxa de propagação das trincas sob fadiga mecânica é menor nos ferros indefinidos que nos ferros com alto-cromo ou nos aços rápidos.⁽⁷⁾ Essa menor taxa é atribuída à restrição da propagação da trinca pela grafita.

A introdução de carbonetos finos de vanádio, tungstênio e nióbio, formando carbonetos dispersos na matriz, tem melhorado a resistência ao desgaste sem considerável diminuição da fração volumétrica de grafita e, conseqüentemente, sem

perda em tenacidade e resistência aos choques térmicos.⁽⁸⁾ A hipótese que um aumento na fração volumétrica de partículas mais duras é desejável para aumentar a resistência à abrasão não é incondicionalmente verdadeira.⁽⁹⁾ A matriz do material deve possuir adequada resistência mecânica e tenacidade. Em alguns materiais onde a matriz é frágil, essas partículas podem atuar como concentradores de tensão, as trincas podem iniciar na interface partícula/matriz e se propagar pela matriz. Portanto, para melhorar a resistência ao desgaste, além dos carbonetos mais duros dispersos na matriz, refinar as células eutéticas e aumentar a dureza da matriz através de composição e tratamento térmico apropriados, são soluções possíveis.

Nos dias de hoje a tendência é de utilizar nas primeiras cadeiras cilindros de HSS, e nas últimas, cilindros ICDP microligados. Nesta configuração a campanha de laminação tem sido limitada em função da performance dos cilindros das últimas cadeiras, ou seja, a produtividade do laminador é hoje limitada, em termos de cilindros, pela performance do ICDP.

Conforme descrito acima, o desenvolvimento de cilindros para laminação tem sido realizado objetivando-se obter melhoria de desempenho em termos ton/mm^{1,2}. Esta abordagem tem possibilitado evoluções em termos de utilização de cilindros com melhores relações de custo benefício (USD/mm). Além disso tem-se obtido ganhos no processo produtivo em termos de qualidade superficial e aumento de campanhas de laminação.

A aplicação dos novos materiais ICDP microligados levou a um aumento médio de performance de 20% nas últimas cadeiras.⁽⁸⁾ Com a aplicação de cilindros HSS em substituição aos cilindros de HiCr obteve-se rendimento três vezes e meia (3,5) maior.

Embora os ganhos apresentados acima são significativos, uma abordagem com enfoque não só no aumento de campanha, mas também na equalização das campanhas de todos os cilindros WR do LTQ traria ganhos ordens de grandeza maiores. Isto ocorre porque os ganhos obtidos por meio de aumento de disponibilidade/produtividade do laminador são muito maiores do que aqueles obtidos apenas por redução de consumo de cilindros.

Neste trabalho objetiva-se mostrar que o foco de desenvolvimento de cilindros deve ser mais abrangente no sentido de obter ganhos cada vez maiores no processo de LTQ. Isto significa dizer que o paradigma de desenvolvimento de cilindros em termos de rendimento (ton/mm) deve ser quebrado. Desta maneira justifica-se investimentos de maiores proporções no desenvolvimento de novos produtos e novas tecnologias de fabricação de cilindros.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para comparar os ganhos que seriam obtidos com equalização das campanhas dos cilindros WR do LTQ com aqueles já obtidos com a implementação de HSS nas primeiras cadeiras e com a implementação de ICDP microligado nas últimas cadeiras foram coletados alguns dados de custo de produção de BQ. Seguem abaixo os dados coletados:

- Custo de cilindro (USD/ton);
- Custo de transformação da placa para BQ (USD/ton);
- Produção mensal (ton/mês);
- Campanha (ton/campanha);
- Tempo por parada (min);
- Performance por material (ton/mm);

- Quantidade de paradas programadas por dia;
- Preço médio da BQ (USD).

A partir dos dados apresentados acima se estimaram os ganhos obtidos em três condições: a) aplicação de HSS em substituição do HiCr; b) aplicação de ICDP microligado em substituição ao ICDP tradicional; c) equalização das campanhas dos cilindros WR no LTQ.

Para se estimar os ganhos que seriam obtidos com a equalização dos cilindros WR no LTQ foram realizadas algumas considerações. Primeiramente considerou-se que a campanha de laminação é limitada pela campanha dos cilindros de ferro das últimas cadeiras. Com relação aos cilindros HSS das primeiras cadeiras, considerou-se que estes são capazes de, no mínimo, realizarem duas campanhas sem precisarem ser retirados do laminador. Portanto, segundo as considerações acima, para equalizar as campanhas dos cilindros WR do LTQ é preciso que a campanha dos cilindros das últimas cadeiras seja o dobro da atual.

Como exemplo, para realização dos cálculos consideraram-se as características do laminador da CSN. O laminador de tiras a quente da CSN possui capacidade nominal de 5.400.000 t/ano de bobinas a quente com espessuras que variam de 1,2 mm a 12,7 mm e largura de 680 a 1.575 mm. A linha é composta de 04 fornos de reaquecimento de 250t/h, 04 laminadores desbastadores, sendo 01 laminador duo e 03 quadro, 04 laminadores verticais, um trem acabador de 07 cadeiras, uma mesa de resfriamento e 03 bobinadeiras.

3 RESULTADOS

3.1 Ganhos Obtidos com Uso de Cilindros ICDP Microligados

Conforme já citado anteriormente, podemos considerar que na média o uso de cilindros ICDP microligados trouxe um ganho de 20% de performance (ton/mm) em relação ao cilindro ICDP tradicional. Entretanto, devido à elevação dos custos de fabricação, gerou-se um aumento médio de 10% no preço do cilindro.

Com isso e com as considerações que seguem abaixo é possível estimar os principais ganhos obtidos com a utilização do ICDP microligado.

- O ICDP microligado é utilizado nas 4 últimas cadeiras do laminador;
- O custo de transformação da placa em BQ é de 30 USD/ton;
- Custo de compra de cilindros WR 0,90 USD/ton;
- 60 % do custo de compra de WR são devido à compra de cilindros para as 4 últimas cadeiras;
- Produção mensal de 440.000 ton.

Segue abaixo cálculo para estimativa do ganho anual com uso do ICDP microligado.

Cálculo do custo de cilindros utilizados da F4 a F7 considerando uso do ICDP tradicional:

$$USD0,90/t \times 440.000 \text{ t/mês} \times 12 \text{ meses/ano} \times 60\% = USD 2,851 \text{ milhões/ano}$$

Cálculo do custo de cilindros utilizados da F4 a F7 considerando uso do ICDP microligado:

$$\frac{USD 2,851 \text{ milhões/ano} \times USD 1,1/t \text{ (elevação no custo)}}{1,2 t/USD \text{ (aumento de performance)}} = USD 2,613 \text{ milhões/ano}$$

Cálculo do ganho anual com a utilização do ICDP microligado:

USD 2,851 milhões/ano - USD 2,613 milhões/ano = USD 238.000/ano

Portanto, a utilização do ICDP microligado trouxe um ganho de aproximadamente USD 238.000 por ano. Este ganho calculado considera apenas os ganhos atingidos em termos custo de cilindro por tonelada laminada. Mas, logicamente, houveram outros ganhos que aqui não foram considerados, mas que em um trabalho mais detalhado sugere-se que sejam considerados. Como exemplo dos ganhos não considerados pode-se citar:

- Ganho com redução de estoque;
- Ganho com redução de custo de operação da oficina de cilindros;
- Ganho com melhoria da qualidade superficial da tira laminada;
- Ganho com melhoria da estabilidade do laminador.

3.1 Ganhos Obtidos com Uso de Cilindros HSS

O ganho obtido com a utilização do HSS em termos de performance (ton/mm) foi de aproximadamente 3,5 vezes em relação aos cilindros de HiCr. Entretanto, o preço do cilindro de HSS é 2,5 vezes maior que o HiCr. Considerando as mesmas condições descritas acima se pode estimar o ganho obtido com a utilização do HSS nas primeiras cadeiras do laminador.

Cálculo do custo de cilindros utilizados da F1 a F3 considerando uso do HiCr:

USD0,90/t x 440.000 t/mês x12 meses/ano x 40% = USD1,900 milhões/ano

Cálculo do custo de cilindros utilizados da F1 a F3 considerando uso do HSS:

USD 1,9 milhões/ano x USD 2,5/t (elevação no custo) = USD 1,358 milhões/ano
3,5 t/USD (aumento de performance)

Cálculo do ganho anual considerando o uso de HSS:

USD 1,900 milhões/ano - USD 1,357 milhões/ano = USD 543.000/ano

Portanto, o uso de HSS nas primeiras cadeiras do LTQ trouxe um ganho aproximado de USD 543.000 por ano. As mesmas ressalvas feitas para o caso do ICDP microligados são válidas neste caso. Ou seja, os ganhos calculados consideram apenas melhoria em termos de redução do custo de cilindros por tonelagem laminada. Entretanto, existem outros ganhos a serem considerados.

3.1 Ganhos a Serem Alcançados com a Equalização de Campanhas dos Cilindros WR do LTQ

Calculo do tempo atual de parada mensal devido à troca regular de cilindros WR:

Antes de estimar quais seriam os ganhos a serem obtidos com a equalização, estimou-se qual é atualmente o tempo de parada mensal devido à troca de cilindros. Para considerou-se os seguintes dados:

- O tempo necessário para troca de cilindros WR é de 8 min;
- A campanha de laminação é de 1.500 ton;
- A produção mensal nas condições atuais de laminação é de 440.000 ton.

Para realização do cálculo apresentado abaixo são considerados dados de um laminador com produção mensal de 440 mil toneladas, campanha de 1.500 e, portanto, aproximadamente 292 trocas programadas por mês. Considerando que a troca leva em média 8 minutos, obtém-se que 39 horas mensais são utilizadas para a troca de cilindros de trabalho.

$$\frac{440.000 \text{ t/mês}}{1.500 \text{ t}} \times \frac{8 \text{ min}}{60 \text{ min/hora}} = 39 \text{ horas/mês}$$

Calculo do ganho em produção mensal devido ao aumento de disponibilidade do laminador:

Conforme foi descrito anteriormente, para alcançar a equalização das campanhas dos cilindros de trabalho, os cilindros das últimas cadeiras deveriam permanecer duas campanhas seguidas em serviço, da mesma forma que os cilindros HSS das primeiras cadeiras, alcançando o valor de 3.000 toneladas por campanha. Neste caso, o número de trocas programadas reduziria pela metade, 146 por mês, e seriam utilizadas 19,5 horas para a realização das mesmas. Neste cenário, seriam disponibilizadas 19,5 horas de produção mensais, gerando um aumento na produção de 12.000 toneladas por mês, considerando uma produtividade de 720 ton/h. Com isso obteria-se um ganho de 2,7% na produção mensal, passando de 440.000 para 452.000 ton/mês. Por ano este ganho significaria aproximadamente 144.000 ton.

Além dos ganhos considerados acima outros ganhos poderiam ter sido considerados, como por exemplo:

- Redução do custo de transformação devido à diluição dos custos fixos;
- Redução de estoque de cilindro;
- Redução de custo de operação da oficina de cilindros.

4 DISCUSSÃO

Até o momento os ganhos devido a desenvolvimento de cilindros de trabalho eram calculados considerando principalmente a redução do índice de consumo de cilindros (ton/mm).

Os resultados apresentados neste trabalho mostram que se limitar a este tipo de análise no momento de avaliar a viabilidade de um produto significa limitar os ganhos a serem obtidos. Haja vista que uma abordagem mais abrangente, na qual seriam considerados os ganhos obtidos com redução de hora parada de um laminador, apresenta ganhos ordens de grandeza maior.

Vide os resultados apresentados pode-se fazer uma análise comparativa dos ganhos considerando-se o preço da BQ e margem de lucro do processo de laminação.

Segundo o *Steelbenchmarker* em 28 de junho de 2007, o preço médio da BQ no mundo é 567 USD/ton (FOB). Considerando o ganho de produção apresentado nos resultados, isto significa dizer que no ano seria alcançado um aumento na receita anual de USD 81 milhões. O gráfico apresentado na Figura 1 apresenta os ganhos obtidos com a equalização considerando diferentes margens de lucro. Neste mesmo gráfico comparam-se os resultados obtidos pela equalização com os dados obtidos com a implementação do HSS e do ICDP microligado.

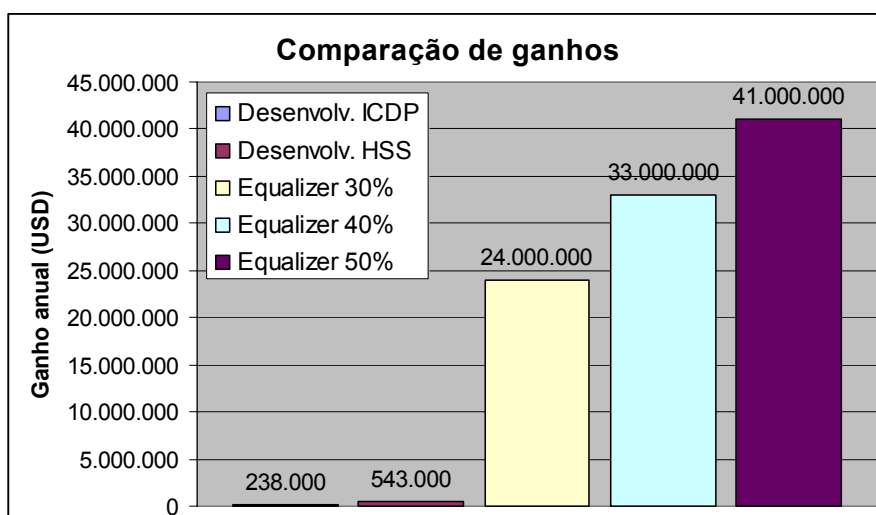


Figura 1 – Comparação dos ganhos

Portanto, a equalização da campanha nos cilindros de trabalho de um LTQ geraria um ganho (considerando a margem de 40%), apenas com o adicional de produção devido a menor tempo de parada, 6.000% maior que aquele gerado devido à implementação do cilindro HSS nas primeiras cadeiras, e 13.800% maior que aquele gerado devido ao desenvolvimento do cilindro ICDP microligado, conforme ilustra a Figura 1. Lembrado ainda que não foram considerados os ganhos com redução de capital imobilizado (estoque) e redução dos custos da oficina de cilindros, como a retificação, montagem e desmontagem de mancais e inspeção.

5 CONCLUSÕES

O paradigma de desenvolvimento de cilindros objetivando-se apenas melhoria de rendimento dos cilindros (ton/mm) limita a possibilidade de ganhos no processo de LTQ.

A aplicação de maiores montantes de capital por parte dos fabricantes de cilindros no desenvolvimento de novos produtos e/ou processo produtivos se justifica à medida que o ganho a ser alcançado pelo cliente pode ser calculado de maneira mais abrangente.

Agradecimentos

Aos Eng^o Danilo Guelli e Sebastião Azevedo, que deram total apoio no levantamento de dados, possibilitando a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 JUNIOR, A. R., XAVIER, R. R., SANTOS, C. E. R., CARVALHO, M. A., SINATORA, A. “*Desenvolvimento de Cilindros em Aço Rápido para a Laminação de Não Planos*”, 40^o Seminário de Laminação, Processos e Produtos Laminados e Revestidos, ABM, Vitória/ES, 2003;
- 2 CAITHNESS, L.; COX, S. X.; EMERY S. “*Surface behaviour of HSS in hot strip mills*”, Rolls 2000 Conference of Institute of Materials, Birmingham, U.K., April, 1999;

- 3 KERR, E. J., "*High Speed Steel work roll at Dofasco*", Iron and Steel Maker USA, vol. 27, no. 1, pp. 27-30, Jan. 2000;
- 4 BOCCALINI JR., M.; C.L. SERANTONI, A. SINATORA., Y. MATSUBARA, Science of Casting and Solidification, Brasov, May 2001, edited by D.M. Stefanescu (Lux Libris, Brasov, 2001) 393;
- 5 KALS, H.J.J., "*Preface*", Journal of Materials Processing Technology, v. 103, p. ix, 2000;
- 6 CHOI, J.W., KIM, D., "*Mechanisms of Surface Deterioration of High-Ni Grain Roll for Hot Strip Rolling*", ISIJ International, Vol. 39 (1999), No. 8, p.823-828;
- 7 KUBO, O, HASHIMOTO, M., MATSUBARA, Y., "*Influence of Microstructure on Crack Propagation Property and Wear Resistance of White Cast Iron Rolling Mill Rolls*" Conference on the Science of Casting and Solidification, Brasov, Romênia, (2002), p.399-406;
- 8 XAVIER, R. R., OLIVEIRA, M. J., MURAD, B., CARVALHO, J. G., "*Desenvolvimento de Cilindros para as Últimas Cadeiras do Laminador de Tiras a Quente da CST*", 41º Seminário de Laminação, Processos e Produtos Laminados e Revestidos, ABM, Joinville/SC, 2004;
- 9 HUTCHINGS, I.M., "*Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials*", Edward Arnold pub., U.K., 1992, p. 156-166.