

IMPLANTAÇÃO DE CILINDROS DE TRABALHO COM ALTO CROMO NO LAMINADOR DE CHAPAS GROSSAS DA COSIPA ¹

Jackson Soares de Souza Reis ²
José Herbert Dolabela da Silveira ³
Flávio Viana de Freitas ⁴
Jairo Dias ⁵
Antonio Augusto Gorni ⁶
Antônio Francisco Valdiero ⁷

RESUMO

A seleção correta dos cilindros de laminação é um fator que contribui significativamente para a competitividade de uma usina siderúrgica, não só pelo alto custo intrínseco dessas ferramentas, como também pelo seu efeito decisivo na qualidade superficial e precisão dimensional dos laminados. No caso dos laminadores de chapas grossas, os cilindros de ferro fundido com alto cromo estão substituindo os de camada indefinida com grande sucesso, como já comprovaram diversas siderúrgicas ao redor do mundo. Em função desses resultados positivos, a COSIPA também resolveu experimentar essa inovação em sua linha de chapas grossas. Os primeiros resultados foram extremamente animadores: aumento do rendimento do cilindro em mais de 100%, com economia de custos decorrente do consumo de cilindros de trabalho da ordem de 40%, além de melhoria na qualidade superficial dos laminados e redução na frequência de troca dos cilindros de trabalho.

Palavras-Chave: cilindro de trabalho, ferro fundido com alto Cr, laminação de chapas grossas

¹ Trabalho a ser apresentado no XXXVI Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Belo Horizonte MG, 22 a 24 de Setembro de 1999.

² Sócio da A.B.M. Engenheiro Metalurgista e de Qualidade, Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Quente da Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP.

³ Sócio da A.B.M. Engenheiro Metalurgista e Mestre em Engenharia, Gerência de Laminação de Tiras a Quente da Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP.

⁴ Sócio da A.B.M. Engenheiro Metalurgista, Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Quente da Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP.

⁵ Sócio da A.B.M. Técnico de Mecânica, Gerência de Laminação de Chapas Grossas da Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP.

⁶ Sócio da A.B.M. Engenheiro de Materiais e Mestre em Engenharia, Gerência de Suporte Técnico à Laminação a Quente da Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP. E-Mail: gorni@cosipa.com.br

⁷ Sócio da A.B.M. Assistente Técnico, Thyssen Comercial Brasil S.A., Rio de Janeiro RJ.

- INTRODUÇÃO

Cilindros de laminação são a terceira fonte de custos em uma usina siderúrgica integrada [1]. Esta circunstância e mais o fato dessas ferramentas serem responsáveis diretamente pela precisão de formato e qualidade superficial do laminado fazem com que sua seleção tenha de ser judiciosamente feita. Afinal, encontram-se em jogo não só uma fração considerável dos custos da empresa, como também aspectos vitais da qualidade de seu produto final. A escolha correta do cilindro, portanto, simultaneamente maximiza o faturamento da empresa e minimiza seus gastos.

Nos últimos tempos as solicitações mecânicas dos cilindros de trabalho nos laminadores de chapas grossas tem ficado cada vez mais severas, devido à adoção cada vez mais intensa da laminação controlada e da laminação de esboços finos, que impõem altas cargas de laminação em função das baixas temperaturas de acabamento. Os antigos cilindros de trabalho de ferro fundido com camada coquilhada indefinida se mostram menos adequados para atender a esses novos requisitos, apresentando elevação nas ocorrências de lascamento e desgaste mais acelerado de sua superfície [2].

A resposta para esses novos desafios foi a adoção de cilindros de trabalho feitos em ferro fundido de alto cromo, que contém 12 a 18% desse elemento e apresentam dureza idêntica aos cilindros de ferro fundido com camada coquilhada indefinida, ou seja, 68 a 72 Shore C. Este cilindro é produzido por dupla fusão, com uma região de trabalho (ou casca) de ferro fundido de alto cromo e núcleo de ferro fundido nodular. O limite de resistência da camada coquilhada dos ferros fundidos de alto cromo é da ordem de 700 a 800 MPa, contra os 350 a 450 MPa dos ferros fundidos com camada coquilhada indefinida. Esta maior resistência mecânica se traduz na prática por menor susceptibilidade à formação de trincas térmicas durante a operação do cilindro, desde que obedecidas as condições operacionais recomendadas para ele [2,3].

A camada coquilhada deste novo material apresenta microestrutura composta de uma matriz martensítica contendo 25 a 30% de carbonetos eutéticos de cromo (M_7C_3). Estes carbonetos são os responsáveis diretos pela sua alta resistência ao desgaste, que é proporcional à sua fração volumétrica. Não ocorre queda de dureza ao longo da camada coquilhada, fato típico dos cilindros de ferro fundido com camada coquilhada indefinida. Essa microestrutura peculiar na superfície do cilindro induz ao aparecimento de tensões de compressão circunferenciais em sua casca, representando uma contribuição adicional para a resistência ao aparecimento de trincas térmicas provocadas pela fadiga térmica convencional [3-5].

A figura 1 mostra uma comparação entre o desempenho dos cilindros de ferro fundido com camada coquilhada indefinida e os de alto cromo num laminador de chapas grossas. Como se pode observar, ocorreu aumento de 50 a 100% na tonelagem laminada por mm de cilindro de trabalho consumido quando se passou a usar o cilindro de alto cromo. Nos melhores casos conseguiu-se obter valores superiores a 6.000 t/mm [2].

A superioridade dos cilindros de trabalho de ferro fundido com alto cromo vem sendo corroborada por sua adoção em várias siderúrgicas importantes ao redor do mundo: Thyssen, Dillingen, Mannesmann (Alemanha), Rautaruukki, Outokumpu (Finlândia), ILVA (Itália), Voest-Alpine (Áustria), Oxelösund (Suécia), POSCO (Coreia do Sul), Lukens (E.U.A.) e British Steel (Inglaterra), entre outras.

Também foram feitas experiências com cilindros de aço com alto cromo em laminadores de chapas grossas [2]. Os resultados obtidos, contudo, não foram plenamente satisfatórios. O melhor desempenho em termos de maior resistência ao desgaste foi anulada pela maior profundidade de retífica que se fez necessária para remover as trincas térmicas mais profundas que ocorreram neste tipo de cilindro. Além disso, os cilindros de aço com alto cromo são mais caros que os de ferro fundido com alto cromo. Logo, não há nenhuma vanta-

gem em se utilizar este cilindro em laminadores de chapas grossas.

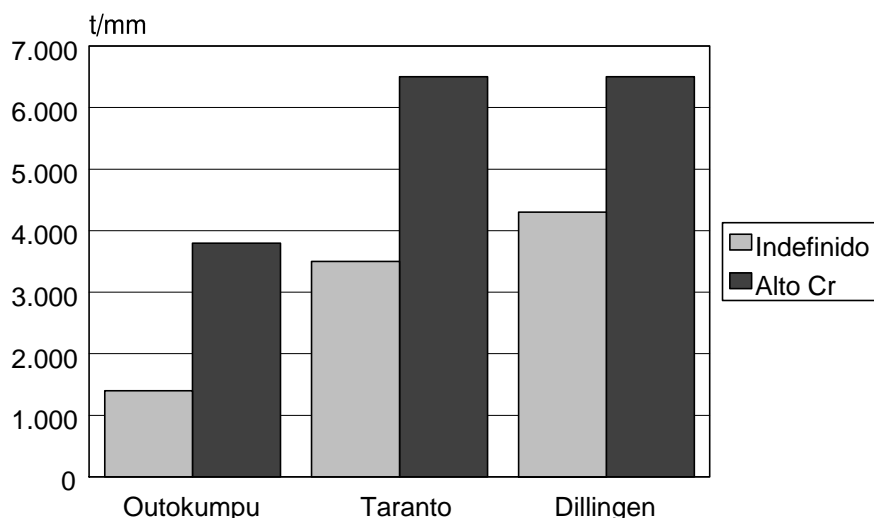


Figura 1: Comparação entre o desempenho de cilindros de ferro fundido com camada coquilhada indefinida e de alto cromo num laminador de chapas grossas.

Para que se consiga aproveitar plenamente as vantagens deste novo tipo de cilindro é necessário observar alguns cuidados básicos. Os requisitos de refrigeração dos cilindros de trabalho em ferro fundido de alto cromo são similares aos que apresentam camada coquilhada indefinida, ou seja, o cilindro deve ser mantido sob temperaturas entre 50 e 60°C. Sob essas condições, há formação de uma camada negra de óxido de cromo superficial (a chamada *black skin*), que atua como uma barreira de proteção térmica, minimizando o grau de contato direto entre o esboço quente que está sendo laminado e o cilindro [4].

Os cilindros de ferro fundido de alto cromo são mais sensíveis a choques térmicos. Logo, é vital que sejam evitadas situações desse tipo durante sua operação. Por exemplo, no caso de travamento do esboço entre cilindros durante a laminação, a água de refrigeração deve ser imediatamente desligada enquanto se providencia a abertura dos cilindros. Assim que o esboço for removido, os cilindros devem ter sua superfície examinada para verificar a possível ocorrência de trincas. Em caso positivo, eles devem ser retirados e retificados para se remover o defeito.

- DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

A COSIPA, no intuito de simultaneamente reduzir os custos operacionais do laminador de chapas grossas e aumentar o nível de qualidade de seus produtos, resolveu adquirir um par de cilindros de trabalho em ferro fundido com alto teor de cromo para verificar quantitativamente seu efeito positivo na linha. Foi adquirido então um par de cilindros desse novo material da Walzengiesserei Meiderich GmbH. Eles apresentam diâmetro de 1073 mm, comprimento de mesa de 4100 mm e comprimento total de 7429 mm. As principais características mecânicas e composições químicas de sua camada coquilhada e núcleo podem ser vistas na tabela I.

Foi mantida nestes cilindros a mesma coroa utilizada nos cilindros de ferro fundido com camada coquilhada indefinida, ou seja, +0,1 mm no início da campanha do cilindro de encosto. O aquecimento dos cilindros após entrada no laminador continuou sendo feito pelo próprio material que está sendo laminado. Não foram efetuadas alterações nos pa-

rômetros de refrigeração dos cilindros, uma vez que a temperatura média conseguida atualmente nos cilindros de trabalho do laminador de chapas grossas da COSIPA (55°C) foi considerada adequada para o novo material, que deve trabalhar sob temperaturas superficiais entre 50 e 60°C.

	Módulo Young [MPa]	L.R. [MPa]	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V
Coquilha	220.000	800-1000	2,6-3,0	0,5-0,8	0,8-1,2	16-18	1,0-1,5	1,0-1,5	0,2-0,6
Núcleo	150.000-170.000	350-550	2,8-3,2	1,8-2,8	0,4-0,7	< 0,2	1,0	-	-

Tabela I: Principais características mecânicas e composições químicas do cilindro de ferro fundido de dupla fusão com alto Cr. Teores expressos em percentagens em peso.

O início de utilização dos cilindros de ferro fundido com alto cromo requereu acompanhamento especial com alguns cuidados adicionais, como:

- Realização de ensaio de ultra-som nos cilindros antes e após cada campanha;
- Medição de suas durezas antes e após cada campanha;
- Inspeção minuciosa do sistema de refrigeração dos cilindros durante sua troca;
- Medição das temperaturas ao longo das mesas dos cilindros após 30, 45 e 60 minutos de sua retirada da cadeira;
- Exame das superfícies dos cilindros usando o ensaio de líquido penetrante para localizar eventuais trincas;
- Monitoramento dos dados de processo através de computador de processo;
- Medição das coroas dos esboços laminados;
- Determinação, após cada campanha, do desgaste provocado pela laminação e cálculo do rendimento de cilindros para cada programa acompanhado.

- RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÃO

O início de operação dos cilindros de trabalho em ferro fundido com alto cromo transcorreu de forma normal. Não foram anotadas irregularidades nos parâmetros de processo, nos perfis de dureza da mesa do cilindro e nos ensaios de ultra-som e líquido penetrante.

A figura 2 mostra um perfil típico de temperaturas ao longo da mesa dos cilindros de trabalho em ferro fundido com alto cromo. Os resultados indicam temperaturas na faixa entre 38 e 54°C, conforme a posição na mesa do cilindro. Uma vez que a faixa ideal de temperaturas de trabalho para o cilindro encontra-se entre 50 e 60°C, ainda há a necessidade de se efetuar um ajuste fino na refrigeração dos cilindros de modo a elevar um pouco a temperatura dos mesmos.

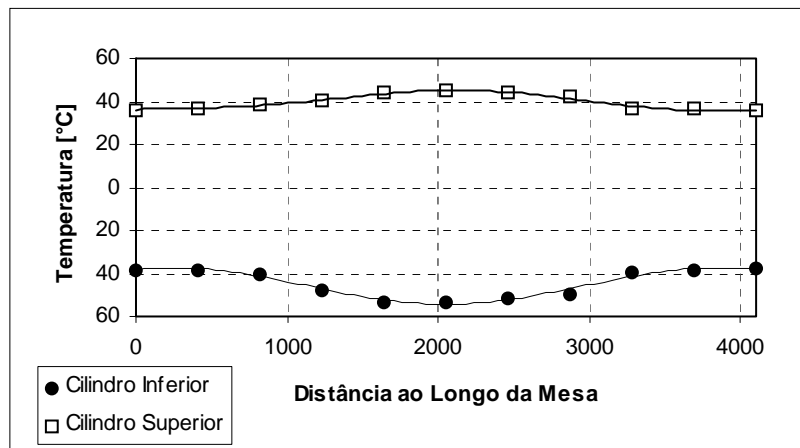


Figura 2: Perfil típico de temperaturas ao longo da mesa dos cilindros de trabalho de alto cromo, 20 minutos após o término da laminação.

Os resultados obtidos em termos do perfil de espessura dos esboços após a primeira campanha dos cilindros de trabalho de alto cromo, mostrados na figura 3, apontam que a coroa se manteve consistentemente negativa ao longo da espessura dos laminados (reta cheia). Isso indicou a necessidade de se abaixar o valor da coroa após retífica nos cilindros de trabalho, que passou a ser zero, seguindo a prática já observada em outras usinas que utilizam esse mesmo tipo de cilindro. Os resultados mostrados na figura 3 (reta tracejada) indicam que após essa modificação a magnitude média da coroa do laminado diminuiu, passando a ser positiva para os esboços mais leves.

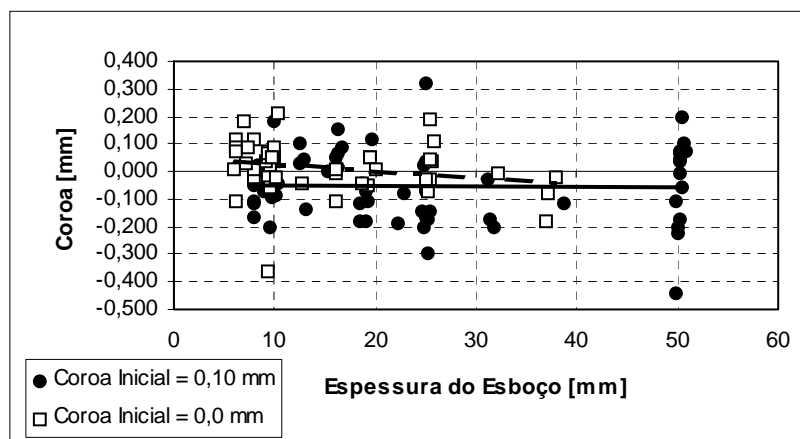


Figura 3: Evolução da coroa ao longo da espessura dos esboços para diferentes coroas iniciais aplicadas aos cilindros de trabalho de ferro fundido em alto cromo.

Analisando a evolução da coroa dos esboços ao longo da campanha, mostrada na figura 4, pode-se observar que, ao se utilizar coroa inicial no cilindro de trabalho igual a +0,1 mm (reta tracejada), a coroa dos esboços se manteve negativa. No início do cone ela apresentou valor médio de quase -0,1 mm, reduzindo-se paulatinamente ao longo do programa até quase se anular após a laminação de 350 esboços. O uso de coroa zero no cilindro de alto cromo passou a proporcionar coroa média positiva no esboço, conforme mostra a reta cheia da figura 4, com valor em módulo bem menor em relação ao proporcionado pela coroa anterior. De fato, neste caso o valor médio da coroa no esboço foi menor que +0,05 mm no

início do cone, reduzindo-se gradativamente ao longo da programação de modo a apresentar um valor praticamente igual a zero a partir do 160º esboço.

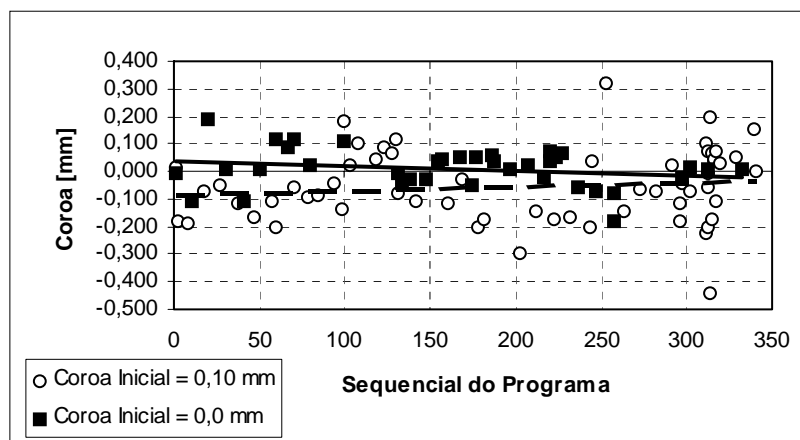


Figura 4: Evolução do coroamento no esboço ao longo do cone de laminação para diferentes valores de coroa imposta por retífica do cilindro de trabalho de alto cromo.

Esta evolução no coroamento do esboço está bem mais próximo do normalmente observado para os cilindros de trabalho de ferro fundido com camada coquilhada indefinida, conforme mostra a figura 5. Note-se que a ausência de coroa imposto ao cilindro durante sua retífica contribui para aumentar seu rendimento, em função da diminuição da necessidade de se remover metal para gerar a coroa.

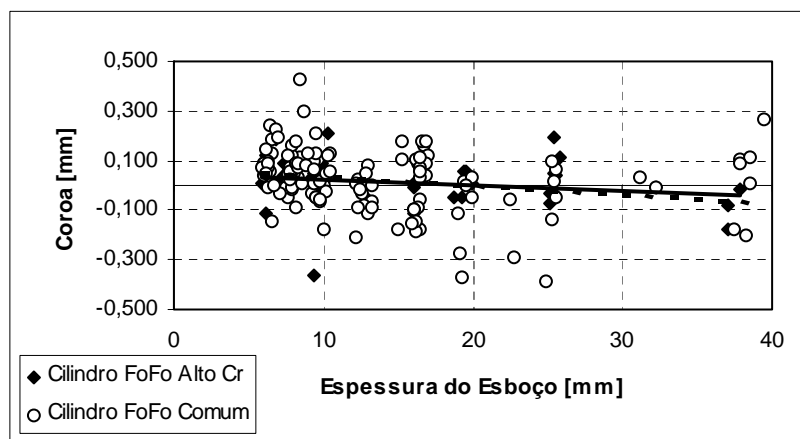


Figura 5: Comparação entre a evolução da coroa do esboço ao longo de sua espessura para os cilindros de trabalho de ferro fundido com camada coquilhada indefinida (coroa após retífica de +0,1 mm) e de alto cromo (coroa após retífica nula).

Os primeiros resultados em termos de rendimento podem ser observados na figura 6. Como se pode ver, o rendimento proporcionado pelo novo tipo de cilindro de trabalho foi significativamente maior que o do antigo. Enquanto que o valor médio de rendimento dos cilindros de ferro fundido com camada coquilhada indefinida era da ordem de 2700 t/mm, os cilindros de alto cromo vêm apresentando um valor médio por volta de 5464 t/mm. Isto corresponde a um aumento de pouco mais de 100% no rendimento destes novos cilindros.

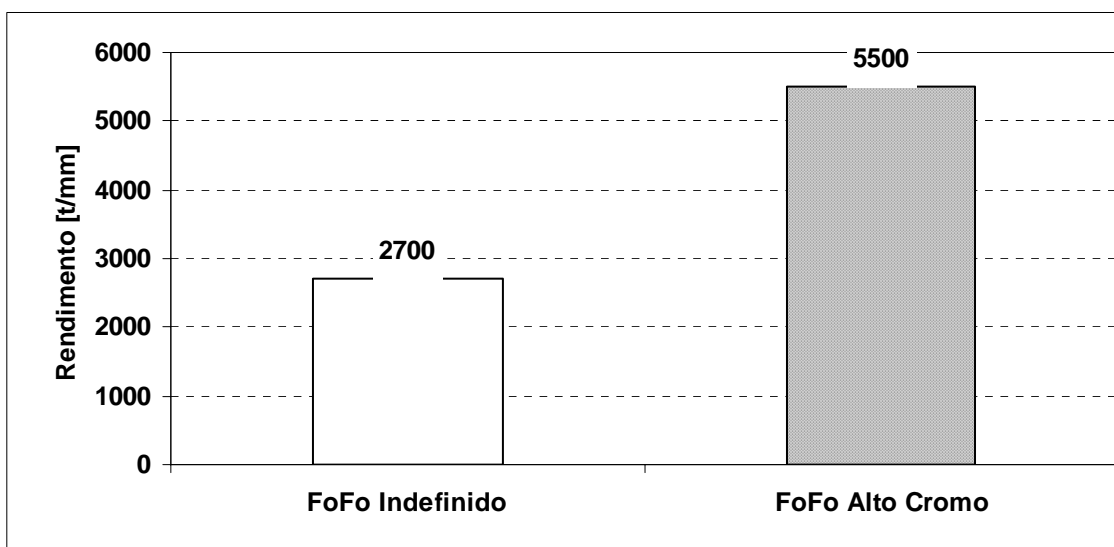


Figura 6: Comparação entre o rendimento médio observado para os cilindros de trabalho de alto cromo e o rendimento médio verificado para os cilindros de trabalho com camada coquilhada indefinida.

A tabela II mostra uma comparação das implicações econômicas decorrentes do uso de cada tipo de cilindro. Como se pode observar, o custo relativo ao desgaste dos cilindros de trabalho por tonelada de esboços laminados passou de US\$ 0,441 para US\$ 0,264 ao se passar do ferro fundido com camada coquilhada indefinida para alto cromo. Ou seja, uma redução de 40% no custo do consumo de cilindros, já levando em conta o maior custo inicial dos cilindros de ferro fundido com alto cromo.

	FoFo com Camada Indefinida	FoFo com Alto Cromo
Camada Útil [mm]	100	100
Custo do Cilindro [US\$]	119.000	144.500
Custo por mm de camada [US\$/mm]	1.190	1.445
Rendimento [t/mm]	2700	5464
Custo por tonelada laminada [US\$/t]	0,441	0,264

Tabela II: Implicações econômicas do uso dos cilindros de trabalho feitos de ferro fundido com camada coquilhada indefinida versus cilindros de alto cromo.

Outras vantagens econômicas decorrentes do uso do cilindro de alto cromo são a maior produtividade da linha em decorrência do intervalo de tempo mais longo entre as trocas de cilindros e a maior qualidade superficial do esboço. Estas vantagens, contudo, somente poderão ser medidas com maior precisão a longo prazo, quando a maior experiência com este novo tipo de cilindro de trabalho permitirá que se extraia o máximo possível de seu potencial de desempenho.

- CONCLUSÕES

Os resultados operacionais obtidos após a substituição dos cilindros de trabalho de ferro fundido com camada coquilhada indefinida por alto cromo permitiu chegar às seguintes conclusões:

- ⇒ O rendimento aumentou em mais de 100%, passando de 2.700 t/mm para 5.464 t/mm;
- ⇒ Esse aumento de rendimento foi mais do que suficiente para contrabalançar o maior custo dos cilindros de ferro fundido em alto cromo, ocorrendo redução de 40% nos custos decorrentes do consumo de cilindros de trabalho, que passaram de US\$ 0,441/t para US\$ 0,264/t.
- ⇒ Em função do menor desgaste sofrido pelos cilindros de alto cromo houve a necessidade de se reduzir a coroa imposta por retífica, que passou de +0,1 mm para zero, o que contribui ainda mais para aumentar o rendimento desses cilindros;
- ⇒ A temperatura de operação dos cilindros ainda se encontra um pouco baixa, sendo necessário um ajuste fino neste parâmetro.
- ⇒ Em resumo, o uso de cilindros de trabalho de alto cromo mostrou-se ser plenamente viável. Deve-se levar em conta alguns benefícios intangíveis decorrentes do uso deste cilindro, como o aumento da produtividade da linha decorrente da menor frequência da troca de cilindros e a melhoria na qualidade superficial dos esboços laminados, que ainda não puderam ser adequadamente avaliados.

- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FERRAZ, M.J.O. (Coordenador). In: Laminação dos Aços. Associação Brasileira de Metais, 4^a edição, São Paulo, 1981.
2. ANON. CRONA 70: High Chrome Rolls for Plate Mills. Walzengiesserei Meiderich GmbH, Duisburg, 1997.
3. ANON. COMET: High Chromium Iron. S.A. des Fonderies J. Marichal Ketin & Cie, Liège, 1999.
4. LEÓN, M.U. e outros. In: XXXII Seminário de Laminação: Processos e Produtos Laminados e Revestidos, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Curitiba, 1995, 203-217.
5. HIRAOKA, H. e outros. ISIJ International, November 1992, 1177-1183.

START-UP OF HIGH CHROME WORK ROLLS AT COSIPA PLATE MILL

ABSTRACT

The correct selection of working rolls has a paramount contribution to the competitiveness of a steelworks, due not only to the high intrinsic cost of those tools, as well because of their decisive effect over the surface quality and dimensional precision of the rolled stock. In the specific case of plate mills, indefinite chill double pour cast iron work rolls are being replaced by high chrome work rolls with great success, as comproved by several steelworks all over the world. These positive results motivated COSIPA to test this innovation in its plate mill. The first results are being extremely promising: the performance of the new work rolls is more than the double of the former, cutting 40% of the costs related to work roll consumption. It is also promoting the improvement of the surface quality of the rolled stock and the minimization of the replacement frequency of the work rolls.

Keywords: work rolls, high chrome cast iron, plate mill