

APLICAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE CILINDROS DE FERRO FUNDIDO INDEFINIDO MICROLIGADO¹

Marcelo dos Santos Oliveira²
Claudia Regina Serantoni³
Marcos Machado Matsumoto⁴
Gilson Teixeira Cornelió⁵
Luiz Alberto Pereira Campbelf⁶

Resumo

Objetiva-se o aumento da disponibilidade do LTQ da CSN, com o aumento da produtividade das últimas cadeiras do trem acabador. Essa melhoria é reforçada pelo aumento de desempenho de cilindros de trabalho nessa aplicação. Por meio da adequação e projeto de materiais de cilindros, de acordo com os principais mecanismos de degradação atuantes e na análise detalhada do cilindro durante sua aplicação, com a identificação das principais causas de consumo que afetam seu desempenho, é possível, com o conhecimento gerado, uma avaliação mais aprofundada da especificação de produto para a aplicação, sendo escolhida uma qualidade entre os produtos do portfólio de cilindros em desenvolvimento. Com isso, foram realizados testes com essa nova especificação, cujos resultados foram comparados com outras qualidades em uso. O uso dessa metodologia permitiu identificar a interação da microestrutura com os mecanismos de degradação encontrados naquele laminador, além de registrar um aumento de desempenho dos cilindros nas cadeiras estudadas, de acordo com a alteração de especificações na aplicação.

Palavras-chave: Laminador de tiras a quente; Cilindros de laminação; Ferro fundido indefinido microligado.

APPLICATION AND DEVELOPMENT OF ROLLING MILL ROLLS IN INDEFINITE CHILL DOUBLE POURING MICRO ALLOYED

Abstract

It aims to increase the availability of the CSN HSM, with the productivity increasing of the last stands in the finishing tandem. This improvement is supported by the performance increasing of work rolls in this application. By specification adapting and roll materials designing, according to the main wear mechanisms and detailed analysis of the rolls during its application, identifying the main causes of consumption that affect its performance was possible, with the cumulative knowledge generated, further evaluation of the product specification for the application, being chosen among a quality product portfolio of rolls in development. Thus, tests were performed with this new specification and the results were compared with other qualities in use. The use of this method allowed us to identify the interaction between the microstructure and wear mechanisms found in that mill. It was possible to verify a performance increasing of work rolls on the studied stands, according to the change of specifications in that application.

Key words: Hot strip mill; Rolling mill rolls; Indefinite chill double pouring micro alloyed.

¹ Contribuição técnica ao 50º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 18 a 21 de novembro de 2013, Ouro Preto, MG, Brasil

² Engº de Produção Mecânica, Assistente Técnico, Gerdau Aços Especiais Brasil, Pindamonhangaba, São Paulo, Brasil.

³ Engª Metalurgista, mestre e doutora em engenharia metalúrgica, Gerente de tecnologia, Gerdau Aços Especiais Brasil, Pindamonhangaba, São Paulo, Brasil.

⁴ Engº de Materiais, mestre em engenharia metalúrgica, Assessor técnico de inovação de cilindros, Gerdau Aços Especiais Brasil, Pindamonhangaba, São Paulo, Brasil.

⁵ Engº Químico, mestre em engenharia mecânica, gestor técnico-comercial de cilindros, Gerdau Aços Especiais Brasil, Pindamonhangaba, São Paulo, Brasil.

⁶ Engº Metalurgista, Engenheiro especialista de cilindros, CSN, Usina Presidente Vargas, Volta Redonda, RJ,, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O aumento da produtividade de um laminador de tiras a quente e a qualidade final da tira estão correlacionados com a condição de uso dos cilindros das últimas cadeiras, o que restringe o uso de determinados materiais nessa aplicação. Um dos principais motivos responsáveis pela parada do laminador é a troca dos cilindros de ferro fundido indefinido, normalmente utilizados nestas cadeiras. Para o aumento da disponibilidade do laminador, e, conseqüentemente, de sua produtividade, há uma necessidade de cilindros que possam permanecer por mais tempo no laminador, diminuindo o número de paradas para trocas. Para que isso seja possível, são necessárias características de maior resistência aos mecanismos de degradação superficial atuantes nessas cadeiras.

Dentre os principais mecanismos de degradação observados em cilindros de laminação estão destacados o desgaste abrasivo, a fadiga térmica, o desgaste por deslizamento e o desgaste oxidativo. De acordo com a priorização da ocorrência de cada um desses mecanismos é que são realizadas especificações de qualidades de cilindros que ofereçam uma resposta mais adequada à resistência ao desgaste.

Dessa forma, identificando-se tais características e demanda do laminador, é realizada uma análise prévia do portfólio de cilindros, buscando a adequação de uma especificação. Caso isso não seja possível, o processo de desenvolvimento de um novo produto se inicia, de modo a obter uma especificação otimizada para aquela aplicação. De um modo geral, esse processo passa pelas seguintes etapas:

- estudo dos mecanismos de degradação de superfície;
- identificação dos parâmetros microestruturais requeridos para reduzir o efeito dos mecanismos de degradação identificados;
- fundição de um tubo centrifugado em escala menor para a verificação da aderência aos resultados esperados;
- caracterização microestrutural para verificar a homogeneidade da microestrutura ao longo de toda seção da camada de trabalho;
- fundição de um tubo em escala fabril para confirmação dos resultados do primeiro tubo fundida em escala menor;
- nova caracterização microestrutural para confirmação dos resultados da microestrutura esperada;
- fundição de um cilindro protótipo com acompanhamento de todas as etapas de fabricação, elaboração do metal líquido, centrifugação, desmolde e inspeção, pela equipe de desenvolvimento;
- caracterização microestrutural de um segmento do cilindro protótipo para confirmação dos resultados do tubo;
- acompanhamento das etapas de tratamento térmico e usinagem do cilindro protótipo; e
- acompanhamento do comportamento do cilindro protótipo no cliente, analisando os dados de desempenho.

Com foco nas cadeiras finais do trem acabador do LTQ da CSN, planta de Volta Redonda, foi realizado um trabalho de adequação de especificação de cilindros, associado com o desenvolvimento de uma qualidade otimizada para a aplicação. O presente trabalho detalhará o processo de identificação dos mecanismos de degradação nessas cadeiras e os resultados de desempenho, como parte da metodologia de desenvolvimento de cilindros Villares Rolls.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Análise de Desempenho

A análise de desempenho foi realizada com base nos dados históricos de utilização dos cilindros, analisando-se os cortes por campanha, número de utilizações, volume de produção por campanha e incidência de acidentes. A CSN avalia o desempenho dos cilindros de duas maneiras:

- desempenho normal: considera-se apenas o desgaste; e
- desempenho total: desgaste total após serviço, incluindo remoção por acidentes.

Os desempenhos foram analisados por cadeira, levando-se em consideração o comportamento de cada uma em relação ao corte por desgaste total e normal. O trem acabador é constituído por sete cadeiras do tipo 4Hi, sendo utilizados cilindros de ferro fundido indefinido nas últimas quatro cadeiras.

A análise das fichas de corte/retificação dos cilindros permitiu a determinação dos principais motivos para a troca dos mesmos, direcionando a adequação do produto em função das características das cadeiras acabadoras/finais. Contudo, uma análise detalhada do mecanismo de degradação possui papel conclusivo nessa decisão.

2.2 Caracterização dos Mecanismos de Degradação

O procedimento de caracterização inicia-se com a caracterização da superfície na condição em que o cilindro sai do laminador. Após a caracterização da superfície de laminação, a mesma área foi submetida a polimentos sequenciais, mantendo-se carga e tempo constantes, com respectivos registros, por fotografia, da superfície resultante.

A utilização desta técnica permitiu avaliar qual mecanismo de desgaste se classificava como mais significativo para a superfície do cilindro, ou seja, qual permanecia mais atuante após os polimentos subsequentes. Essa informação é imprescindível para se definir qual mecanismo de degradação deverá ser priorizado na escolha/definição da qualidade do cilindro.

2.3 Desenvolvimento e Seleção do Cilindro

Uma vez identificada a oportunidade de melhoria em função dos dados de desempenho analisados, além dos principais mecanismos de degradação atuantes responsáveis pelo desgaste dos cilindros, verificou-se a necessidade de testar uma qualidade de cilindro contida no portfólio de produtos em desenvolvimento: CI82AS. Trata-se de um ferro fundido de coquilhamento indefinido microligado, com refino microestrutural diferenciado por meio de ajustes de processo de fundição e elaboração química. Esse produto foi concebido de modo a atender demandas como verificada na CSN.

3 RESULTADOS

3.1 Análise de Desempenho

Na Figura 1 é possível observar os cortes médios por utilização do cilindro CI82S separado por cadeiras.

Consumo de cilindros (corte) - CI82S

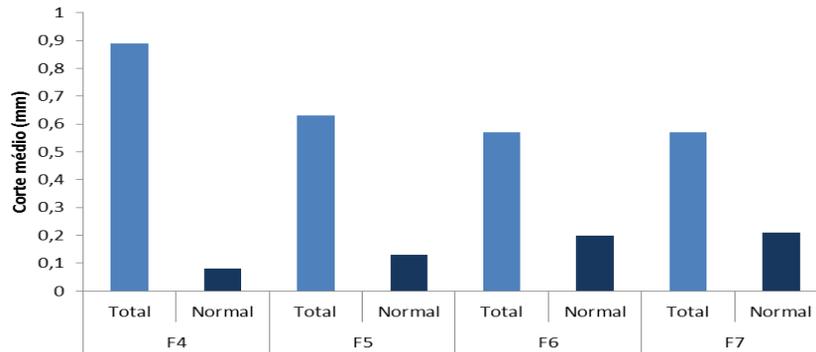


Figura 1. Cortes por utilização (médio) de cilindros CI82S de trabalho nas cadeiras acabadoras.

Baseando-se na Figura 1, pode-se observar que o corte total, na média das cadeiras, é responsável por 75% dos motivos de consumo de cilindros. Na cadeira F4 o corte total representa 91% do consumo do cilindro, na cadeira F5 este valor passa a ser 79%. Nas cadeiras F6 e F7 a contribuição do corte total para o consumo do cilindro é, respectivamente, 65% e 63%. Dessa forma, pode ser observado que o corte total tem grande influência na produtividade deste laminador, ou seja, é fundamental que qualquer cilindro que trabalhe nessas cadeiras mantenha elevada resistência a acidentes mesmo com aumento da resistência ao desgaste.

3.2 Caracterização dos Mecanismos de Desgaste

Na Figura 2 são apresentadas as fotos da microestrutura, por cadeira, com os danos causados aos cilindros pela atuação dos mecanismos de degradação.

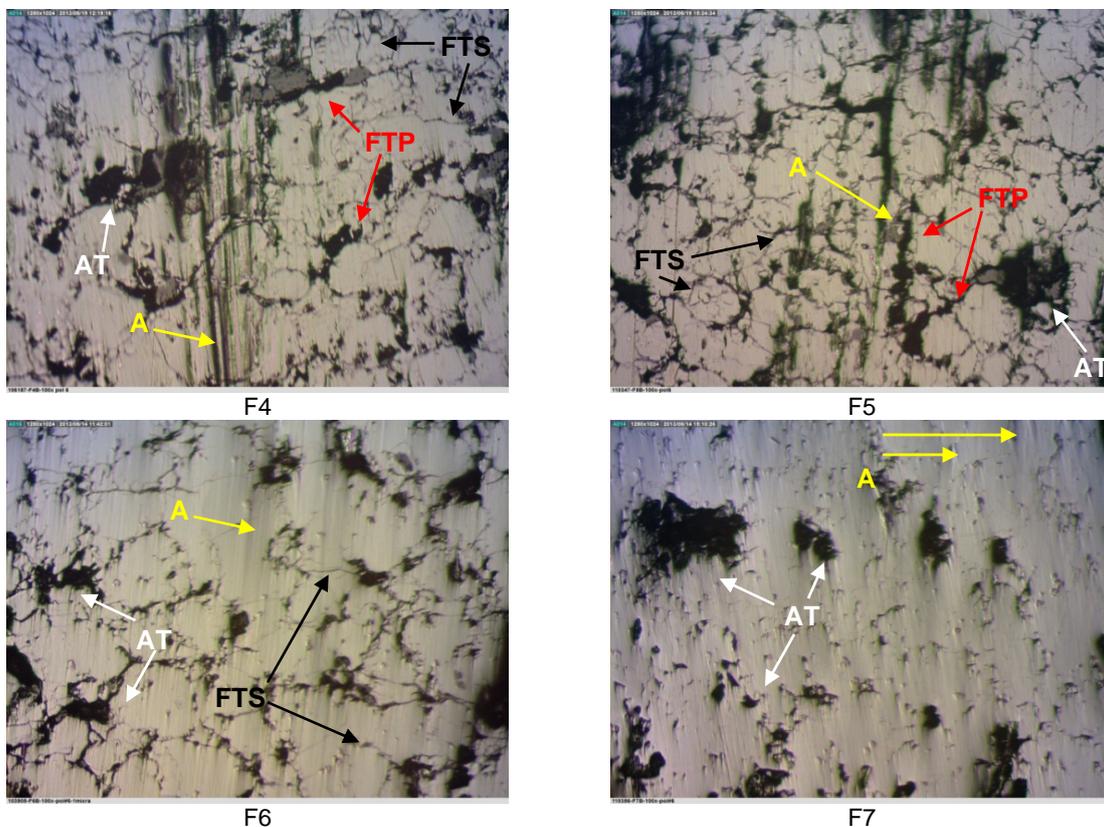


Figura 2. Mecanismos de degradação atuantes por cadeira. FTP: Malhas de trinca primária devido à fadiga térmica; FTS: Malhas de trinca secundária devido à fadiga térmica; AT: arrancamentos; A: Riscos de abrasão. O sentido de laminação é indicado pela seta ao lado da tabela.

Na Figura 2 é possível observar os mecanismos de degradação atuantes nas cadeiras e a relevância de cada um para a degradação do cilindro.

Na cadeira F4 observam-se trincas primárias e secundárias de fadiga térmica e arrancamentos associados às interconexões entre as trincas primárias. Os riscos de abrasão nesta cadeira ficam destacados pela sua profundidade acentuada.

A cadeira F5 também apresenta malhas de trincas térmicas primárias e secundárias, porém com menor intensidade das trincas primárias. Ainda são observados arrancamentos e os riscos de abrasão são menos severos do que na cadeira F4.

As malhas de trincas térmicas primárias não são encontradas na cadeira F6, sendo verificadas apenas as malhas de trincas térmicas secundárias, sendo este mecanismo menos intenso nesta cadeira, arrancamentos nas interconexões das trincas estão presentes e alguns arrancamentos por adesão podem ser verificados, os riscos de abrasão são menos relevantes em relação às cadeiras anteriores.

Na cadeira F7 não são mais observadas malhas de trincas térmicas, os riscos de abrasão tornam-se ainda menos intensos e os arrancamentos observados são devido à adesão.

3.3 Desenvolvimento e Seleção do Cilindro

Normalmente as propriedades necessárias para se obter uma boa resistência a acidentes são opostas àquelas requeridas para uma elevada resistência ao desgaste. Após análise de desempenho e caracterização dos mecanismos de degradação dos cilindros, verificou-se que a resistência a acidentes é o fator de maior influência no consumo de cilindros nas últimas cadeiras e que há coexistência de diversos mecanismos de desgaste como abrasão, fadiga térmica e adesão. Portanto, no desenvolvimento de um cilindro para esta aplicação se fez necessário buscar uma combinação entre estas propriedades.

Para atender esta demanda, desenvolveu-se o material CI82AS desde a definição da composição química até alterações de processo de fabricação.

Na Figura 3 é observada a distribuição e morfologia da grafita na microestrutura sem ataque (Figura 3a), e a distribuição e refino dos carbonetos na microestrutura após ataque metalográfico (Figura 6b).

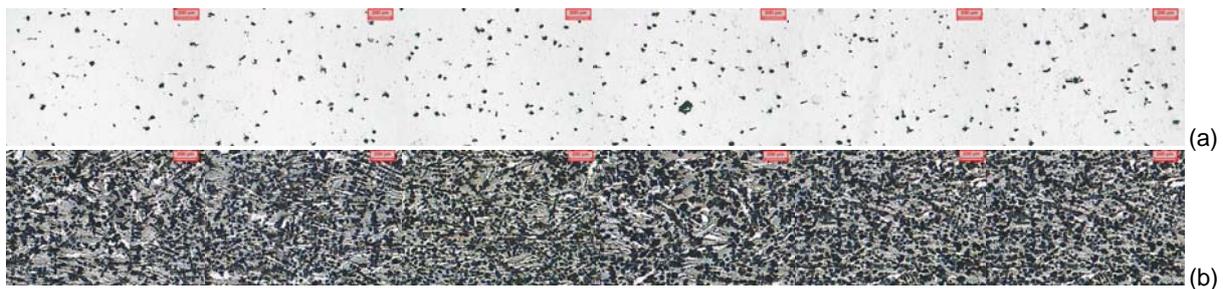


Figura 3. Caracterização da camada de uso do cilindro, mostrando a morfologia e distribuição da grafita (a) e refino microestrutural (b) ao longo seção da camada de uso do cilindro.

Observa-se, na Figura 3, a homogeneidade e morfologia nodular da grafita distribuída ao longo da camada de uso do cliente (Figura 3a); essa característica é a principal responsável pela elevada resistência a acidentes. O refino microestrutural observado (Figura 3b), torna o material mais resistente à propagação de trincas por fadiga térmica e os carbonetos de alta dureza conferem à liga alta resistência ao desgaste.

3.4 Homologação do Desempenho

Na Figura 4 é possível observar a comparação entre os dados de desempenho do cilindro desenvolvido CI82AS em relação ao produto padrão CI82S e a produtos concorrentes.

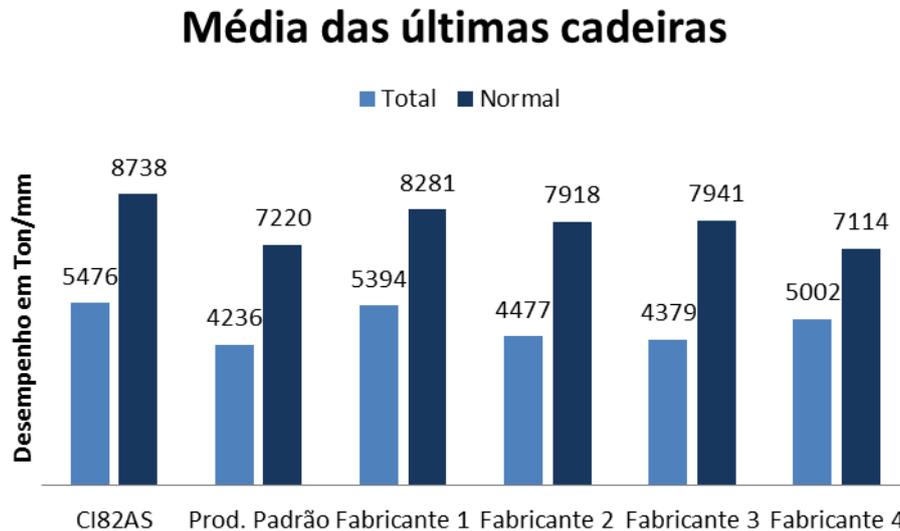


Figura 4. Desempenho normal e total de cilindros ICDP na CSN, mostrando a comparação entre o cilindro padrão, CI82S, o novo produto, CI82AS, e produtos concorrentes. Os valores são expressos pela média de todas as utilizações nas cadeiras F4, F5, F6 e F7.

O CI82AS mostrou resultados de desempenho superiores ao produto padrão para este cliente e superior a produtos concorrentes.

4 CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS ADICIONAIS

Os resultados da análise de desempenho neste cliente mostraram que o corte total tem mais influência na produtividade do laminador que o corte normal, sendo estes cortes os que tem valores de consumo mais altos, especialmente nas cadeiras F4 e F5. A caracterização das superfícies dos cilindros revelou que os principais mecanismos de degradação atuantes em cada cadeira são: fadiga térmica e abrasão nas cadeiras F4 e F5 e adesão e fadiga térmica nas cadeiras F6 e F7.

Os resultados das caracterizações possibilitaram o desenvolvimento de um cilindro que apresentou grafita nodular distribuída em toda camada de uso, conferindo ao cilindro resistência a acidentes, requerida pelas características apresentadas nas últimas cadeiras deste laminador, e um refino microestrutural que dificulta a propagação de trincas por fadiga térmica e arrancamentos. Os carbonetos de alta dureza são responsáveis pela alta resistência ao desgaste abrasivo.

O cilindro na liga CI82AS, desenvolvido para a aplicação nas últimas cadeiras deste laminador, apresentou resultados de desempenho normal 17% superior em relação ao produto padrão, CI82S, e em desempenho total foi 23% superior, tornando-o benchmark nesta aplicação.