

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE CILINDROS DE FERRO FUNDIDO INDEFINIDO PARA AS ÚLTIMAS CADEIRAS DO LTQ DA CSN¹

Sebastião José Furtado de Azevedo²
Felipe Gustavo Bernardes³
Giordanno Coscelli Rocco⁴
José Américo de Camargo⁵
Gilmar Procópio Ramos⁶

Resumo

A exemplo de todas as organizações modernas competitivas, as Siderúrgicas buscam melhoria contínua de produtividade e qualidade em seus produtos. Neste sentido, o cilindro de laminação é um componente de extrema importância, porque além de influenciar diretamente na produtividade dos laminadores, influencia a qualidade superficial e forma do produto laminado. É, portanto, evidente a necessidade de melhoria contínua do desempenho deste componente. Neste trabalho aborda-se o desenvolvimento dos ferros fundidos indefinidos (IC) que são aplicados nas últimas cadeiras acabadoras de laminadores de tiras a quente (LTQ). Objetiva-se comparar o desempenho de três ligas de ICs desenvolvidos pela Villares e empregadas no LTQ da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). Para tanto, se realizaram medições de perfis de desgaste, caracterizações de microestrutura e de superfície de desgaste. Como resultados observou-se que os novos materiais desenvolvidos apresentam melhores rendimentos, os quais foram atribuídos às otimizações de microestrutura do material. Portanto, fica claro que o trabalho em conjunto realizado por Villares e CSN permitiu melhoria de produtividade e qualidade no produto laminado.

Palavras-chave: Laminação a quente; Cilindros; Desgaste.

DEVELOPMENT OF ROLLS FOR THE LAST STANDS OF THE HOT STRIP MILL AT CSN

Abstract

Competitive Steel Industry keeps searching for continuous improvements on productivity and quality. The rolling mill rolls features on superficial and geometry quality of rolled strip, and also could determine how long the campaign will persist, affecting directly the Hot Strip Mill (HSM) performance. The development of the Indefinite Chill Rolls (IC) manufactured by Aços Villares – Sidenor Group, applied in the last finishing stands of the HSM was mentioned on this paper as a result of comparative studies among three qualities of IC materials, which have been working in last stands of HSM at Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). To perform the study, profile wear measures were taken in addition to wear surface microstructure characterization. As a result, the new generation of indefinite chill rolls shows greater performance during mill process, presenting less wearing damage on work and considering productivity gains for the consumer.

Key words: Hot rolling; Rolls; Wear.

¹ Trabalho a ser apresentado no 43º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados Revestidos, 17 – 20 de outubro, 2006, Curitiba – PR – Brasil.

² Engenheiro Metalurgista, Engenheiro Especialista de Cilindros, CSN – Volta Redonda, RJ

³ MsC Engenharia Mecânica, Engenheiro de Vendas, Aços Villares – Grupo Sidenor, SP

⁴ Graduando em Engenharia de Materiais na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Estagiário de Desenvolvimento e Aplicação, Unidade de Cilindros, Aços Villares – Grupo Sidenor, SP

⁵ Técnico em Mecânica e Metalurgia, Técnico de Laboratório, Aços Villares – Grupo Sidenor, SP

⁶ Técnico Metalurgista, Técnico de Desenvolvimento, CSN – Volta Redonda, RJ

1 INTRODUÇÃO

Vivemos em tempos onde o mercado está globalizado e, portanto, extremamente competitivo em preço e qualidade. Portanto, cada vez mais, o mercado quer pagar menos e exigir mais. Para conseguir sobreviver dentro deste panorama não há outra saída se não a otimização de todos os processos que se fazem necessários dentro das organizações. No caso de uma siderúrgica o processo de transformação de matéria prima em produto é o principal deles. Sendo assim, as organizações que pretendem sobreviver neste ramo devem ter agilidade no desenvolvimento e aplicação de inovações tecnológicas.

No caso do processo de laminação de tiras a quente a crescente necessidade por otimização se traduz em busca por melhorias de propriedades mecânicas, forma e acabamento superficial das tiras. Esta busca passa pelo desenvolvimento dos cilindros de laminação, pois o seu desempenho impacta diretamente na qualidade dimensional e superficial das tiras.

A Villares e a CSN têm trabalhado em parceria visando garantir desenvolvimento e aplicação de inovações tecnológicas. Neste trabalho aborda-se a aplicação de novas ligas de ferro fundido indefinido (IC) nos cilindros de trabalho aplicados nas últimas cadeiras (F4-F7) do trem acabador do LTQ da CSN. Objetiva-se comparar o rendimento de três gerações de cilindros IC fabricados pela Villares.

1.1 LTQ 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 1575 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.

Em 2001 o laminador passou por um Revamp. Este processo permitiu que o laminador operasse com as mais recentes tecnologias para controles. Com isso a CSN está preparada para produzir bobinas com características de dimensão, forma e qualidade superficial que atende as maiores exigências do mercado. Por exemplo, no trem acabador, dispõe-se de recursos como resfriamento entre cadeiras, controle automático de espessura, força de “bending”, “shifting” e cilindros com perfil em curva para um sistema conhecido como CNP, “Combined Numerical Profile”.

A oficina de cilindros da CSN dispõe de instalações e equipamentos compatíveis com o que existe de referência para realização de inspeções e preparações de cilindros. Possui retíficas equipadas com “Eddy Current” para detecção de trincas e marcas nos cilindros de trabalho. Dispõe de tecnologia de ultra-som para detecção de defeitos sub-superficiais e defeitos internos nos cilindros. Possui equipe altamente qualificada que inspeciona os cilindros após o processo de retificação. A equipe de inspeção é de vital importância na garantia da qualidade dos conjuntos de cilindros enviados ao laminador.

3 Cilindros de Ferro Indefinido

Ferro fundido de coquilhamento indefinido tem sido o material convencional para os cilindros 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.⁽¹⁾

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".⁽²⁾ 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.⁽³⁾ 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. A hipótese que um aumento na fração volumétrica de partículas mais duras é desejável para aumentar a resistência à abrasão não é incondicionalmente verdadeira.⁽⁴⁾ 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.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram acompanhados os rendimentos de três tipos de IC: CI80S (ferro indefinido convencional), CI82S (1^o geração de ferro indefinido microligado) e CI77VS (2^o geração de ferro indefinido microligado). As ligas apresentam, principalmente, diferenças com relação às características dos carbonetos eutéticos, quantidade de grafita e carbonetos secundários precipitados na matriz. As microestruturas das ligas foram caracterizadas com relação ao tipo e fração volumétrica de carbonetos. Para tanto se realizou preparação metalográfica seguida de ataque. As fases presentes na microestrutura foram atacadas separadamente. Desta forma, foi possível diferenciar cada uma das fases para que fosse feita a caracterização.

Para restringir o número de variáveis que podem influenciar nos resultados obtidos, o desempenho dos cilindros foram analisados sempre após utilizações na cadeira F4.

O desempenho foi medido com base na diferença do perfil do cilindro antes e depois das campanhas de laminação. Levando em conta que o rendimento do cilindro está ligado com o máximo desgaste encontrado ao longo da mesa, definiu-se o parâmetro de desempenho a ser utilizado. Considerou-se que o desgaste será máxima diferença de diâmetro encontrada ao longo da mesa comparando-se os perfis antes e depois da laminação (Figura 1).

Todas as variáveis medidas durante o trabalho são apresentadas acompanhadas dos respectivos valores de intervalo de confiança calculados com nível de significância $\alpha = 0,05 \%$. Isto significa que, segundo a amostragem coletada e com probabilidade de 95 %, os pontos obtidos estão dentro do intervalo de confiança calculado.

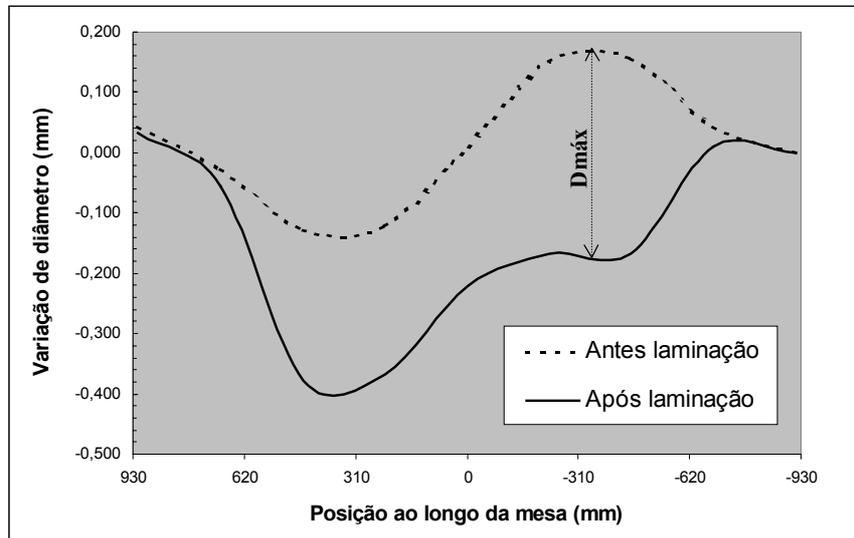


Figura 1. Perfil antes e após a laminação. D_{máx} representa a diferença máxima de diâmetro ao longo da mesa.

Para caracterizar os mecanismos de desgaste atuantes, as superfícies de desgaste dos cilindros foram observadas por meio de realização de réplicas seguida de análise via microscópio óptico em laboratório.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização Microestrutural

Nas Figuras 2 a 4 são apresentadas as microestruturas das ligas estudadas. Nas três ligas nota-se formação de carbonetos eutéticos M_3C (cementita), matriz martensítica / bainítica e presença de grafita livre, conforme indicado na Figura 2. Embora não seja perceptível nas micrografias, as ligas CI82S e CI77VS apresentam carbonetos finos precipitados na matriz e carbonetos eutéticos MC devido a adição de Nb e/ou Vanádio, sendo que a liga CI77VS apresenta uma fração volumétrica maior de carbonetos MC que apresentam alta dureza. Nota-se também nas micrografias que os microligados (CI82S e CI77VS) apresentam uma micrografia mais refinada comparada com a do ferro indefinido convencional (CI80S).

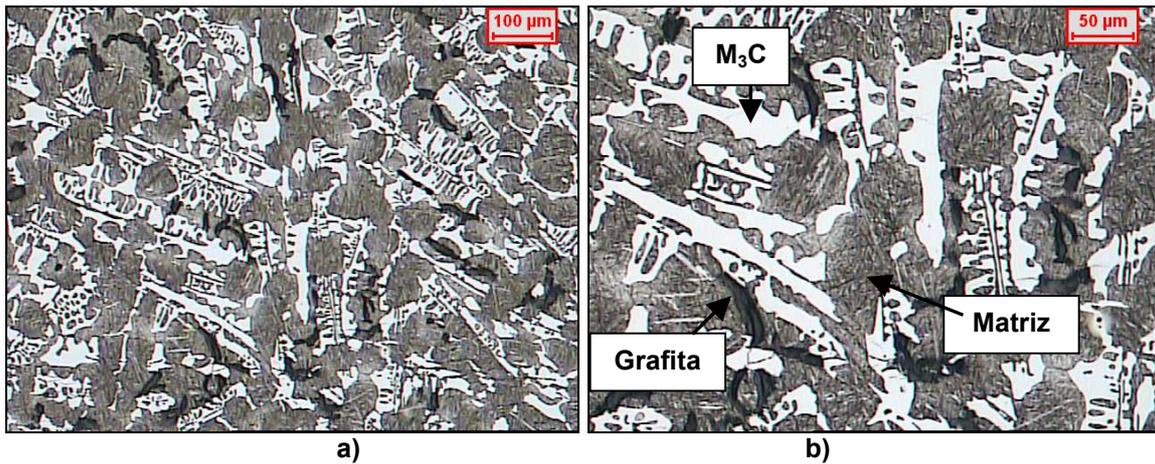


Figura 2. Microestrutura da liga CI80S. a) Aumento 100X; b) Aumento 200X.

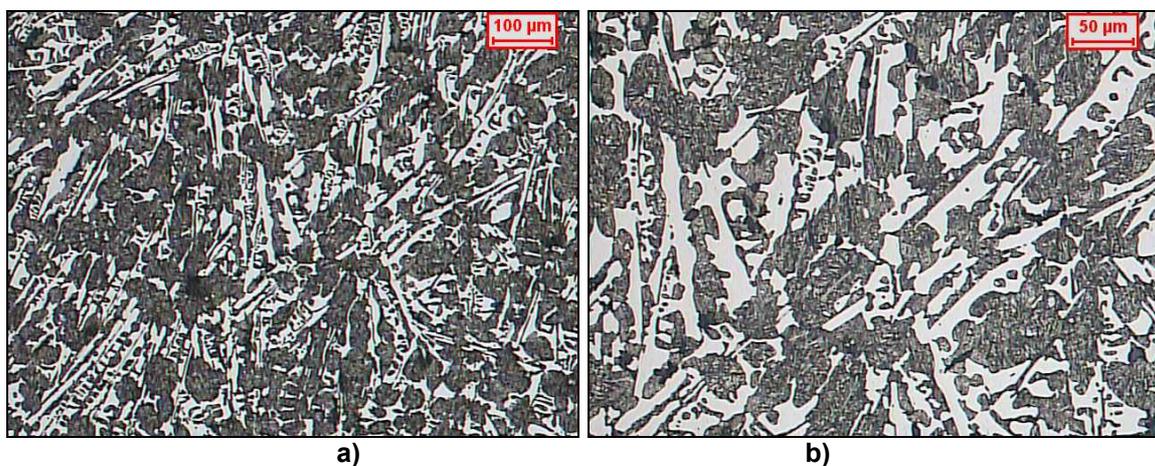


Figura 3. Microestrutura da liga CI82S. a) Aumento 100X; b) Aumento 200X.

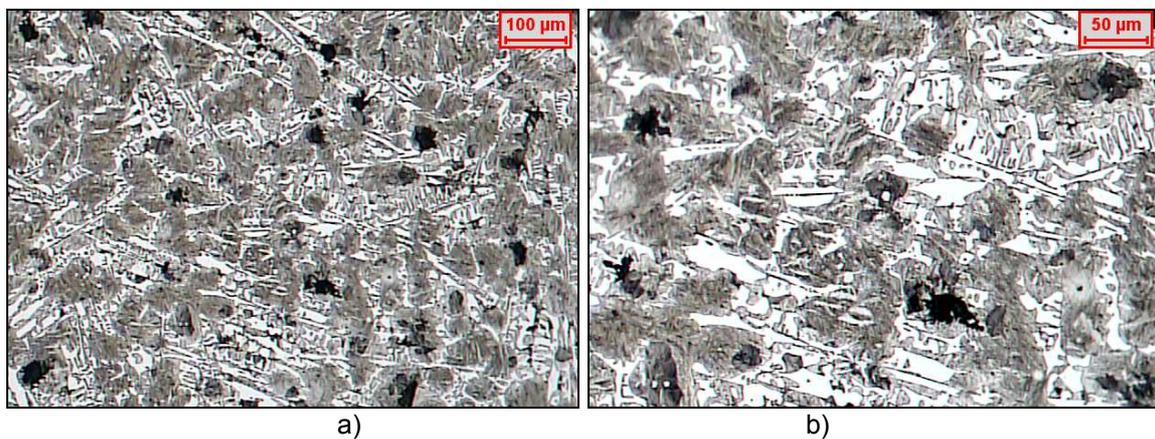


Figura 4. Microestrutura da liga CI77VS. a) Aumento 100X; b) Aumento 200X.

Na Tabela 1 são apresentados os valores de frações volumétricas de carbonetos eutéticos. Observa-se que a liga CI82S apresenta a menor fração volumétrica de cementita (M_3C) enquanto que as liga CI77VS e CI80S apresentam aproximadamente a mesma fração desta fase. Nota-se também que nos microligados há a presença do carboneto MC.

Tabela 1. Fração volumétrica de carbonetos eutéticos. *valores estimados com base na composição química.

	M₃C (%)	MC (%)
CI80S	29,9 ± 0,6	
CI82S	21,9 ± 0,7	3,0*
CI77VS	31,1 ± 0,7	4,0*

3.2 Desempenho

A Figura 5 apresenta a média dos valores de desgaste encontrados e seus respectivos valores de intervalo de confiança.

Nota-se que a liga CI77VS apresentou o menor valor de desgaste seguido das ligas CI82S e CI80S, respectivamente. Em média a liga CI77VS apresenta desempenho 40 % superior ao CI82S e 92 % superior ao CI80S.

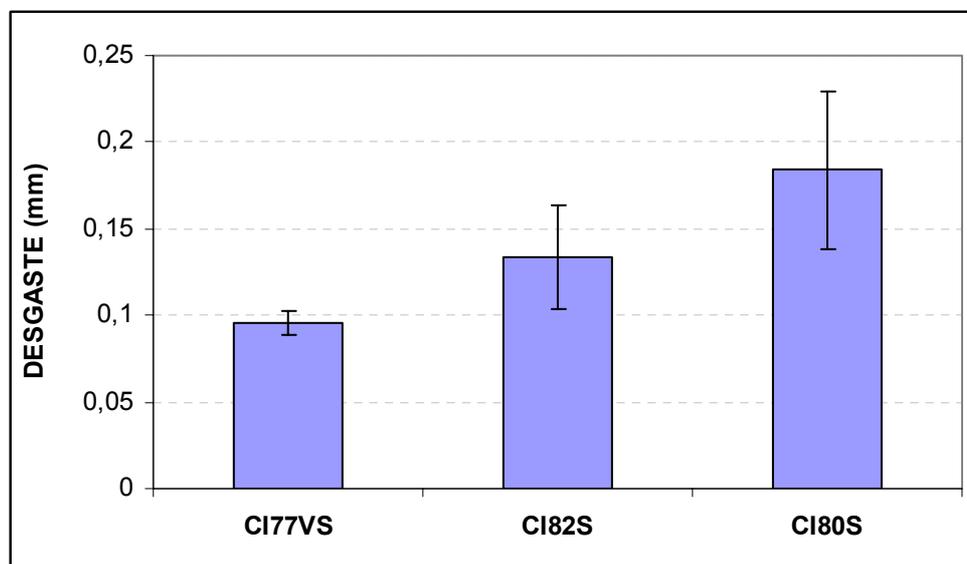


Figura 5. Valores de desgaste dos cilindros de ferro indefinido usados no LTQ da CSN.

Portanto, os resultados apresentados indicam que os cilindros de ferro indefinido microligados apresentam melhor desempenho e que a liga CI77VS (2^o geração de ferro indefinido microligado) realmente apresenta uma evolução em relação ao CI82S (1^o geração de ferro indefinido microligado).

3.3 Mecanismos DE Desgaste

Nas Figuras 6 a 8 são apresentadas imagens de réplicas realizadas nas superfícies dos cilindros após laminação. As réplicas foram realizadas em duas condições de superfície: bruta de laminação e bruta de laminação + polimento com diamante em suspensão de granulometria de 1µm. Notam-se riscos de abrasão, trincas de fadiga térmica e regiões com arrancamentos, conforme indicado na Figura 6.

Os riscos de abrasão observados indicam ocorrência de mecanismos de desgaste abrasivo moderado, pois não se observam características de formação de cavado nas regiões dos riscos.

O mecanismo de fadiga térmica é responsável pela formação das trincas observadas. A propagação destas trincas conduz a ocorrência dos arrancamentos.

Portanto, nas condições estudadas a perda de massa dos cilindros se dá por meio de riscamento e arrancamento. Este resultado reforça a idéia de que os cilindros aplicados a estas cadeiras devem apresentar uma boa combinação de resistência ao desgaste e a fadiga térmica.

Nota-se que os eventos 'arrancamentos' e 'trincas' descritos acima apresentam menor intensidade na liga CI77VS seguida da liga CI82S. Na liga CI77VS nota-se maior intensidade de ocorrência de riscamento. Muito provavelmente isto ocorre devido ao arrancamento dos carbonetos MC. Embora o MC seja fundamental para o aumento da resistência ao desgaste justamente por sua elevada dureza, quando são arrancados riscam facilmente a matriz.

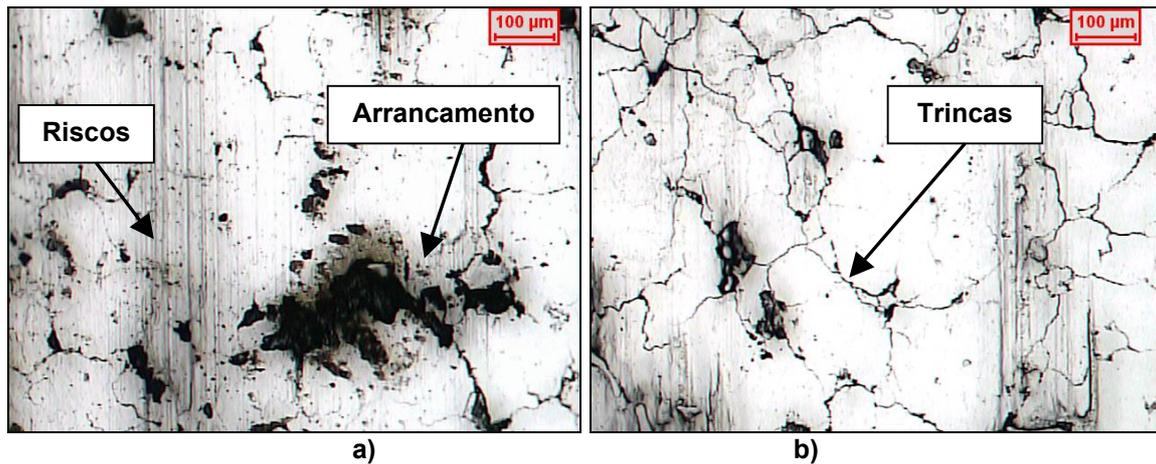


Figura 6. Imagens de réplicas realizadas na superfície do CI82S após laminação. a) Superfície bruta de laminação; b) Superfície após polimento com pano de 1 µm.

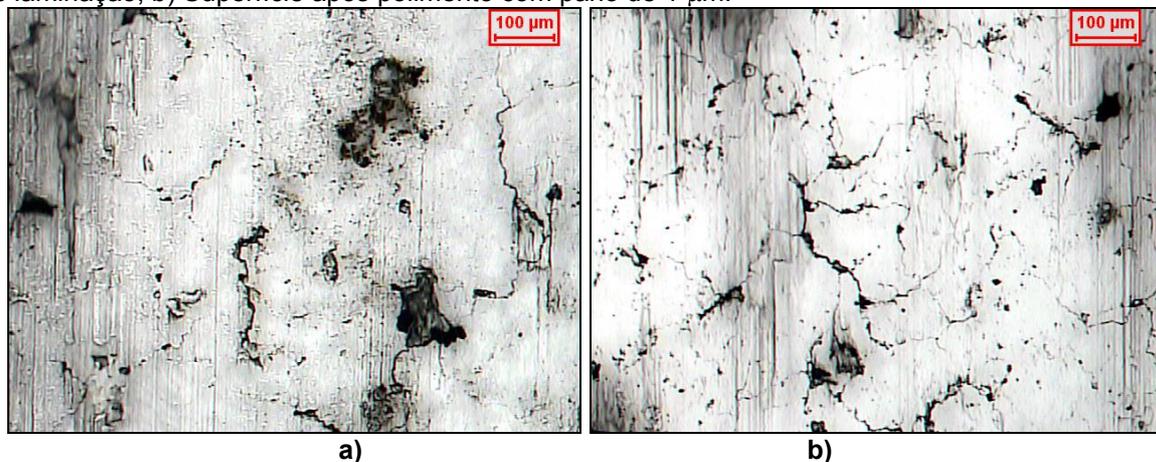


Figura 7. Imagens de réplicas realizadas na superfície do CI80S após laminação. a) Superfície bruta de laminação; b) Superfície após polimento com pano de 1 µm.

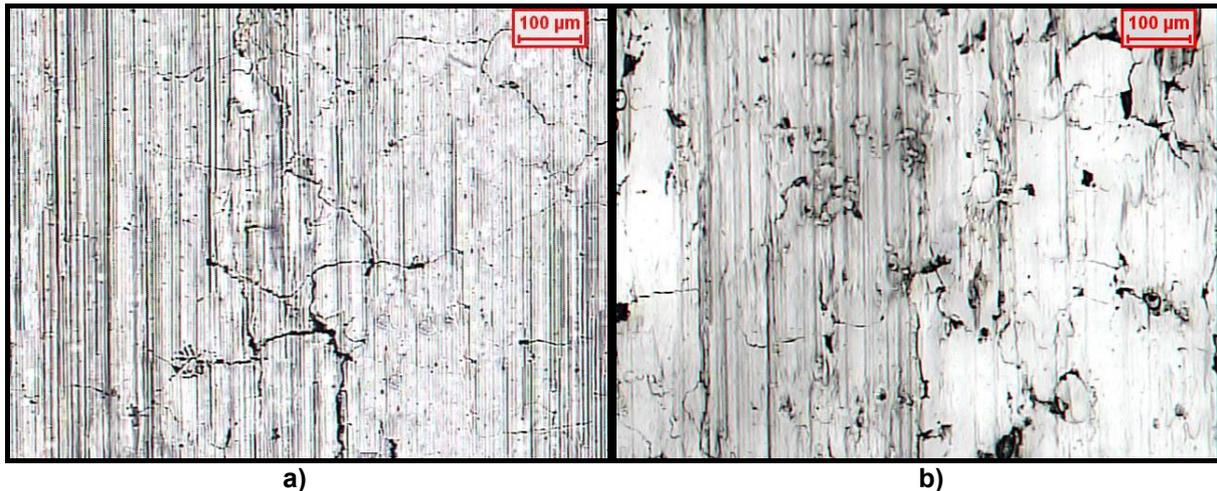


Figura 8. Imagens de réplicas realizadas na superfície do CI77VS após laminação. a) Superfície bruta de laminação; b) Superfície após polimento com pano de 1 μm .

4 CONCLUSÕES

O melhor desempenho obtido pelo ferro fundido microligado CI77VS está ligado ao endurecimento da matriz por meio de precipitação de finos carbonetos, ao do refino da rede de carbonetos M_3C e a presença de carbonetos MC nas ligas microligadas. Estes fatores inibem a ocorrência de abrasão e arrancamentos.

O trabalho em conjunto desenvolvido pela Villares e CSN tem permitido o desenvolvimento e aplicação de inovações tecnológicas capazes de garantir a melhoria de rendimento contínuo do processo de laminação de tiras a quente da CSN.

REFERÊNCIAS

- 1 XAVIER, R. R., CARVALHO, M. A., BOCCALINI JUNIOR, M., SINATORA, A., SOUZA, R. M. Desenvolvimento e caracterização de desgaste de cilindros para laminadores de tiras a quente. In: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO, PROCESSOSE PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIMENTOS, 40.,2003, Vitória. São Paulo: ABM, 2003. P. 215-223.
- 2 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
- 3 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.
- 4 HUTCHINGS, I.M., “Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials”, Edward Arnold pub., U.K., 1992, p. 156-166.