

EFEITO DA MICROESTRUTURA DE FERROS INDEFINIDOS, MICROLIGADOS E MULTICOMPONENTE SOBRE OS MICROMECHANISMOS DE DESGASTE DE UM ENSAIO PINO SOBRE LIXA*

Mario Vitor Leite¹
Claudia Regina Seranton²
Eduardo Albertin³

Resumo

Os cilindros de ferro fundido de coquilhamento indefinido (CI) vem sendo utilizados nas últimas cadeiras dos laminadores de tiras a quente por décadas e devido ao seu desempenho, especialmente na relação entre custo e benefício, deve continuar sendo utilizado por um longo tempo.

Com o propósito de investigar as causas que explicam o desempenho desses cilindros, o presente trabalho tem como objetivo classificar e avaliar o efeito da microestrutura de diferentes cilindros de CI sobre os micromecanismos de desgaste presentes em condições controladas de um ensaio de abrasão.

Os resultados permitiram concluir que o microsulcamento pode ser observado em todos os materiais testados, mas o microtrincamento foi observado apenas nos cilindros que possuem carbonetos eutéticos do tipo M_3C . Além da identificação dos micromecanismos, foi constatado que a taxa de desgaste diminui em função do aumento da dureza da matriz.

Palavras-chave: Desgaste abrasivo; CI; Microligado; LTQ.

THE EFFECT OF ICDP, EC AND HSS ROLLS GRADE MICROSTRUCTURE ON WEAR MICROMECHANISMS IN A WEAR ABRASIVE TEST

Abstract

Indefinite Chill Double Poured (ICDP) and Enhanced Carbide (EC) are the most common roll material grade that many hot strip mill around world are still using in the last stands.

The present study aims to understand the effect of the microstructure (carbide, graphite and matrix) of those materials rolls grade on wear micromechanisms (microcutting and microploughing) observed on different ICDP, EC and HSS rolls samples submitted to an abrasive wear test. Abrasive wear test using a pin on garnet abrasive paper was used to reproduce in the laboratory the wear process observed in roll worn surface after use in the last stands.

Characterizations of wear micromechanisms reveal that microploughing was observed in all of the tested materials and microcracking was only identified in the indefinite chill and not observed in the HSS grade tested material. Beside that characterization, it was noted that wear rates of tested materials decrease as a function of matrix hardness increase.

Keywords: Abrasive Wear; ICDP; EC; Hot Strip Mill.

¹ Dr. Eng., Pesquisador, Gerdau Summit, Pindamonhangaba, São Paulo, Brasil.

² Dra. Eng., Gerente Industrial e de Tecnologia, Gerdau Summit, Pindamonhangaba, São Paulo, Brasil.

³ Dr. Eng., Pesquisador, Departamento de Metalurgia e Materiais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, São Paulo, São Paulo, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os cilindros de ferro fundido de coquilhamento indefinido (CI) da marca Villares Rolls vem sendo utilizados nas últimas cadeiras dos laminadores de tiras a quente por mais de quatro décadas. Para atender os diferentes laminadores ao redor do mundo a Villares Rolls, assim como os demais fabricantes de cilindros, possui diferentes opções de cilindros CI sem ou com microligantes, esses normalmente conhecidos como cilindros de ferro microligados.

As diferentes opções para cilindros de CI foram desenvolvidas ao longo dos anos para oferecer ao usuário o melhor desempenho. Sabe-se que o desempenho é dependente da resistência do cilindro aos acidentes de laminação e da resistência ao desgaste resultante do contato com a tira laminada.

Uma vez que os acidentes estão associados com o processo de laminação e a redução desses acidentes está sob a responsabilidade do usuário do cilindro, cabe aos fornecedores de cilindros desenvolver novos produtos que possam aumentar a resistência ao desgaste.

Os principais fabricantes de cilindros estão testando opções de materiais com elevada resistência ao desgaste, como é o caso do cilindro Equalizer da marca Villares Rolls, que é capaz de apresentar desempenho duas vezes maior que o desempenho dos cilindros de CI, microligados ou não.

Contudo, devido às instabilidades dos laminadores e aos frequentes acidentes de laminação, a utilização de cilindros com elevada resistência ao desgaste não tem resultado em elevados valores de performance e, por isso, há ainda grande restrição dos laminadores para o uso desses cilindros.

Dessa forma, cabe ainda desenvolvimentos de novos materiais de cilindros de CI e microligados que possam satisfazer as condições operacionais dos laminadores existentes, onde a maioria desses laminadores estão em operação por mais de 4 décadas.

O presente trabalho tem como objetivo classificar e avaliar o efeito da microestrutura de diferentes cilindros de ferro fundido de coquilhamento indefinido sobre os micromecanismos de desgaste presentes em condições controladas de um ensaio de abrasão.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais Testados

Foram testados 4 diferentes tipos de ferros fundidos de coquilhamento indefinido e um ferro fundido branco multicomponente, normalmente descrito como aço rápido, a liga Equalizer.

Conforme pode ser observado na Figura 1, os materiais testados neste trabalho foram obtidos a partir de amostras retiradas da mesa de cilindros de trabalho destinados as cadeiras acabadoras de laminadores de tiras a quente.

A Tabela 1 apresenta duas micrografias de cada um dos materiais testados assim como as quantidades de carbonetos e grafitas e os respectivos valores de dureza.



Figura 1. Dimensões da amostra para ensaio de desgaste e posição no cilindro de onde a amostra foi retirada.

A microestrutura dos 4 diferentes CI testados é caracterizada pela presença de carbonetos eutéticos do tipo M_3C numa fração de área entre 25% e 35%, grafita numa fração de área entre 1,5% e 2,5% e matriz metálica predominantemente martensítica.

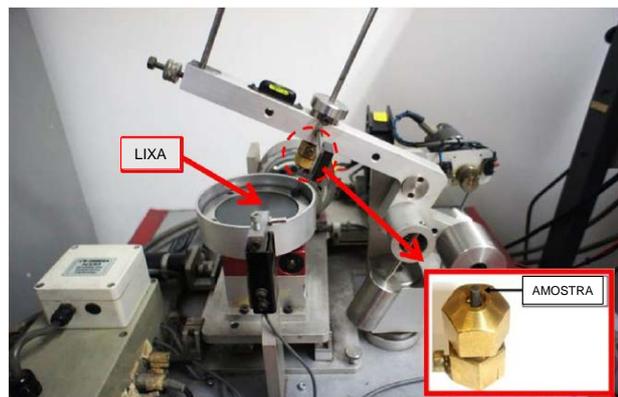
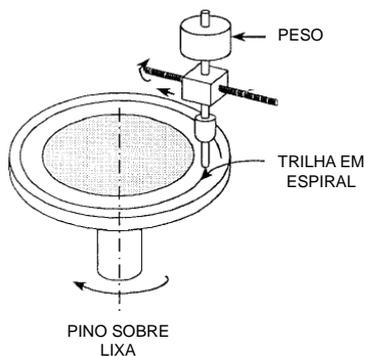
A respeito do material Equalizer, sua microestrutura contém aproximadamente 15% de carbonetos eutéticos do tipo MC e M_7C_3 sobre uma matriz predominantemente martensítica.

Tabela 1. Principais características dos materiais obtidos a partir de amostras de cilindros de laminação de tiras a quente.

Identificação das amostras	Microestrutura típica		Dureza	
	Grafita (%)	Carboneto (%)	HRc	HV _{100gf}
CI80S	 2,2 ± 0,2	 33,3 ± 0,7	58	507± 10
CI75VS	 2,3 ± 0,1	 29 ± 1	55	540± 27
CI77VS	 1,8 ± 0,2	 26 ± 1	60	569± 14
CI82AS	 2,3 ± 0,2	 32,2 ± 0,5	58	548± 14
Equalizer	 14 ± 1		56	624± 10

2.2 Ensaio de desgaste por abrasão

Os diferentes materiais dos cilindros de laminação foram submetidos ao ensaio de abrasão na configuração pino sobre disco (Figura 2a). Neste tribômetro, o material em análise (pino) desliza com uma trajetória em espiral sobre uma lixa de granada #220 com tamanho médio da partícula abrasiva de 65 μm , com carga normal aplicada sobre o pino de 4,6 N e com velocidade de deslizamento linear entre 0,3 m/s e 0,35 m/s.



a) configuração do ensaio de abrasão pino sobre lixa[1].

b) TribômetroPlint&Partners modelo TE-79.

Figura 2. Representação esquemática do ensaio pino sobre lixa (a) e foto ilustrativa do tribômetro utilizado nos ensaios.

No início do movimento o pino está numa posição do disco correspondente a um raio de 50 mm e segue na trajetória em espiral até a posição correspondente ao raio de 5 mm. O comprimento total percorrido pelo pino nesta trajetória em espiral é de 17,2 m.

Cada material foi testado num comprimento total de 430 m e a cada percurso completo na trajetória em espiral de 17,2 m foi utilizada uma lixa. Dessa forma, para 430 m, foram utilizadas 25 lixas.

O desgaste foi medido em função da perda de massa dos pinos, resultante do deslizamento sobre as lixas. O ensaio foi interrompido após deslizamento de 172 m e 344 m para realizar medidas de perda de massa dos pinos. A medição da perda de massa final foi realizada ao término do ensaio, após 430 m de deslizamento.

Para este teste foi utilizado o tribômetro da marca Plint& Partners, modelo TE-79 (Figura 2b) e a perda de massa foi medida numa balança da marca Metler Toledo, modelo XP205DR, com resolução de 0,00000001 kg (ou 0,01 mg).

3 RESULTADOS

3.1 Perda de massa e taxa de desgaste dos materiais testados

O resultado do ensaio de desgaste permitiu classificar os materiais testados em função da perda de massa pelo comprimento de deslizamento conforme apresentado na Figura 3. Observa-se que o material com maior perda de massa foi o CI80S e o Equalizer foi aquele que apresentou a maior resistência ao desgaste por abrasão.

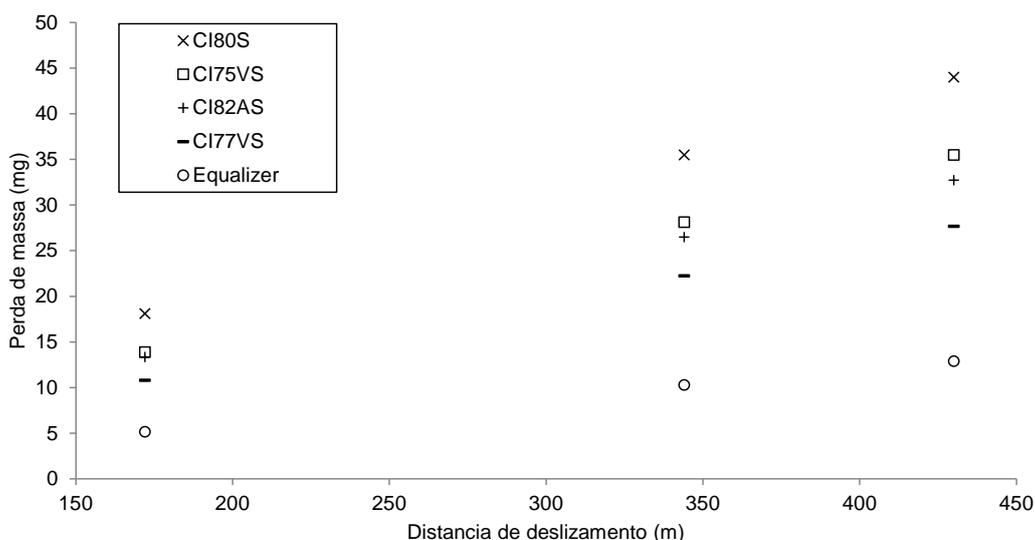


Figura 3. Perda de massa em função da distância de deslizamento.

Ainda na Figura 3, os resultados indicam que a perda de massa aumenta de forma linear com o comprimento de deslizamento, mas com diferentes inclinações. A diferença na inclinação das curvas pode ser analisada pelos valores das taxas de desgaste de cada material testado, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Taxas de desgaste calculadas para cada material testado.

Material Testado	Carbonetos (%)	Grafita (%)	Dureza		Taxa de desgaste* (mg/m)
			HRc	HV _{100gf}	
Equalizer	14	-	56	624	0,03
CI77VS	26	1,8	60	569	0,06 - 0,07
CI82AS	32	2,3	58	548	0,07 - 0,08
CI75VS	29	2,3	55	540	0,08
CI80S	33	2,2	58	507	0,10 - 0,11

**menor e maior valor de 6 medidas.*

Os valores obtidos de taxa de desgaste destacam a maior resistência ao desgaste abrasivo do material Equalizer e a menor resistência do material CI80S. Estes valores, referentes ao maior e menor valor dos resultados obtidos com dois pinos de cada diferente material, não permitiram diferenciar a taxa de desgaste do material CI82AS em relação ao CI75VS e CI77VS. Por outro lado, foi possível identificar que existe diferença de resistência ao desgaste entre os materiais CI75VS e CI77VS, este último com maior resistência ao desgaste.

3.1 Micromecanismos de desgaste dos materiais testados

A Figura 4 apresenta a superfície de desgaste dos pinos de menor (CI80S) e de maior resistência ao desgaste (Equalizer). Observa-se na Figura 4a e Figura 4b que um dos mecanismos identificados e comum a todos os materiais testados é o microsulcamento.

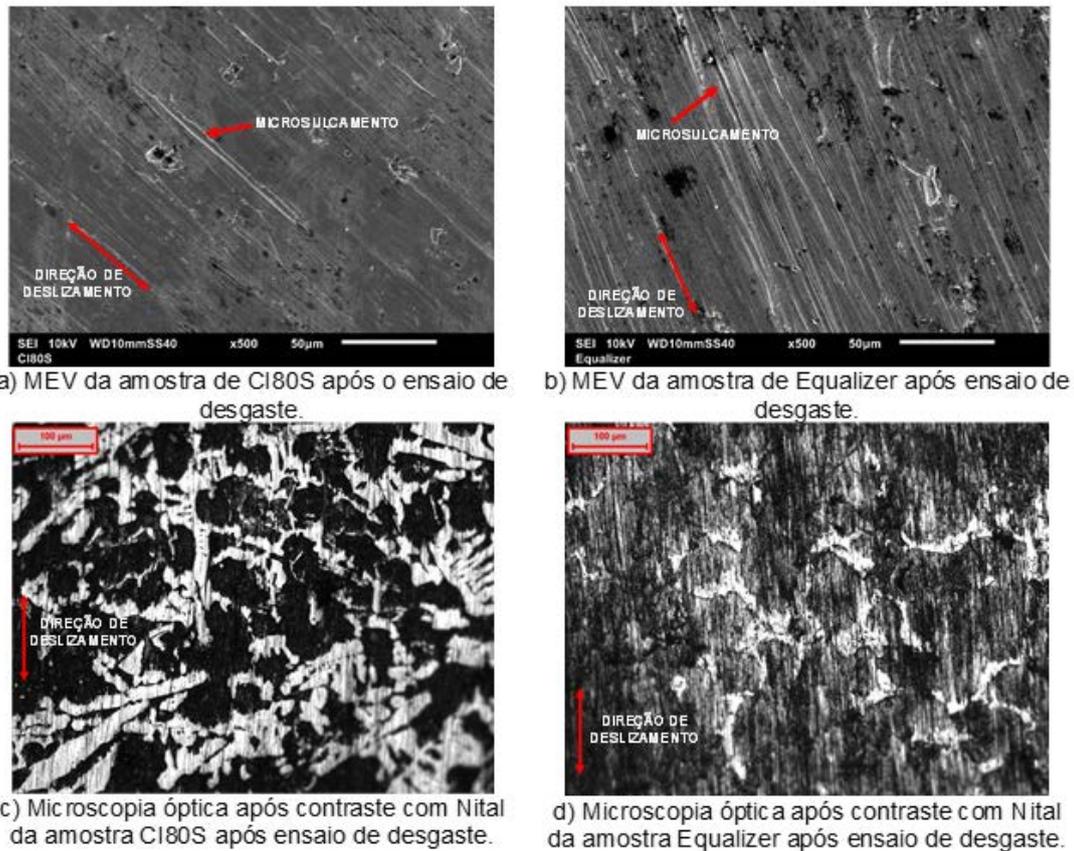


Figura 4. Microscopia eletrônica e óptica do CI80S (a e c) e Equalizer (b e d) após o ensaio de desgaste abrasivo.

As superfícies de desgaste do material de maior e menor resistência (Equalizer e CI80S, respectivamente) observadas por microscopia óptica (Figura 4c e Figura 4d) permitem observar que as marcas do ensaio de abrasão estão presentes tanto na matriz metálica quanto nos carbonetos desses dois materiais.

Com exceção ao material testado Equalizer, um segundo mecanismo de dano por abrasão, o microtrincamento, foi observado nos materiais CI80S, CI75VS, CI77VS como pode ser observado na Figura 5a.

Observa-se, na Figura 5b, que o microtrincamento é um mecanismo de dano que também pode ser observado nos cilindros de trabalho, fabricado em CI e utilizado nas últimas cadeiras de um laminador de tiras a quente.

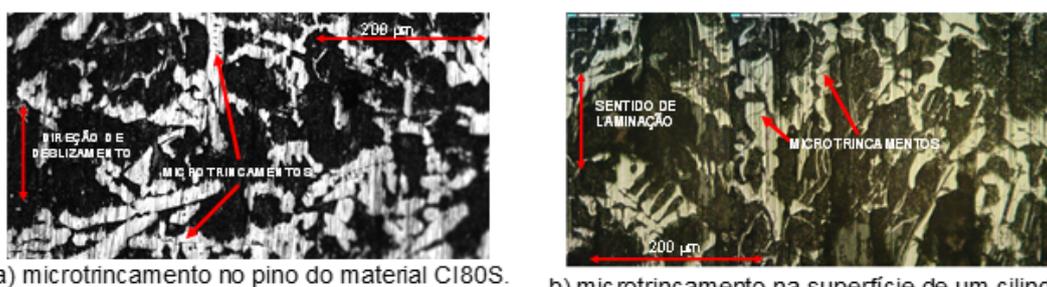


Figura 5. Microtrincamento na superfície de desgaste de um pino (a) e na superfície de desgaste de um cilindro de laminação utilizado nas últimas cadeiras de um laminador de tiras a quente (b).

4DISCUSSÕES

Os microsulcamentos resultantes do processo abrasivo, observados em todos os materiais, indicam que nestas condições de ensaio o regime de desgaste pode ser considerado como moderado [2]. Neste regime de desgaste, a relação de dureza do abrasivo (600 HV e 1000 HV) com a dureza dos materiais testados, levando em consideração a heterogeneidade dos materiais testados, é próxima a 1.

Com base na semelhança da superfície de desgaste de cilindro de trabalho utilizado nas últimas cadeiras de um laminador de tiras a quente (figura 5b) com a superfície de desgaste dos pinos ensaiados é possível inferir que o desgaste nos cilindros de laminação está em regime moderado.

No regime de desgaste moderado, diferente do desgaste no regime severo, a dureza da matriz tem um papel significativo na resistência ao desgaste [3]. O efeito da dureza da matriz foi observado, pois os materiais testados apresentaram relação direta com a resistência ao desgaste; quanto maior a dureza da matriz maior foi a resistência ao desgaste (Figura 6).

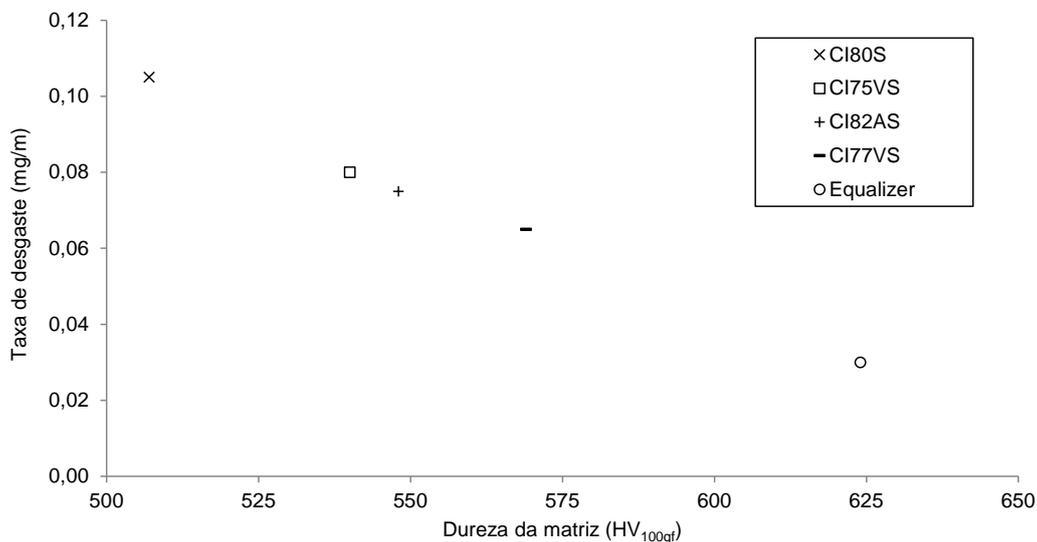


Figura 6. Taxa de desgaste em função da dureza da matriz. Quanto maior a dureza da matriz, menor a taxa de desgaste.

O aumento da dureza da matriz teve maior efeito na resistência ao desgaste comparado ao aumento da dureza promovida pela maior quantidade de carbonetos eutéticos, como no caso do CI75VS, com 29% de carbonetos e 570 HV de dureza da matriz, comparado ao CI80S, com 33% de carbonetos e 500 HV de dureza da matriz.

A resistência dos carbonetos dos materiais testados ao sulcamento do abrasivo é obtida pela maior dureza desses carbonetos em relação a dureza do abrasivo utilizado nos testes, e.g, o M_3C dos materiais CI apresentam dureza de 840 – 1100 HV e os carbonetos M_7C_3 do Equalizer apresentam dureza entre 1200 – 1600 HV. Contudo, foram observadas trincas nos carbonetos dos materiais IC, semelhantes as trincas encontradas nos carbonetos deste mesmo material num cilindro de laminação de tiras a quente após o uso (Figura 5b). As trincas podem resultar na remoção desses carbonetos o que reduz a resistência ao desgaste.

5 CONCLUSÕES

O ensaio de desgaste abrasivo permitiu classificar os materiais estudados em função da resistência ao desgaste. A dureza da matriz é característica do material com maior correlação com a resistência ao desgaste; quanto maior a dureza da matriz maior a resistência ao desgaste abrasivo.

Microsulcamento foi o mecanismo de dano observado em todos os materiais testados, porém o mecanismo de dano por microtrincamentos foi observado apenas nos materiais que tem predominantemente os carbonetos eutéticos M_3C . Em outras palavras, não foi possível identificar o microtrincamento nos pinos testados do material Equalizer. A identificação do mecanismo de dano por microtrincamento indica para a necessidade de estudos aprofundados que tenham como objetivo quantificar o desgaste proveniente deste mecanismo de dano.

REFERÊNCIAS

- 1 American Society for Testing and Materials – ASTM G132-96. Standard Test Method for Pin Abrasion Testing, 1996.
- 2 Hutchings I. M. Tribology – Friction and Wear of Engineering materials. Butterworth-Heinemann. 2001.
- 3 Albertin E., Sinatora A. Effect of carbide fraction and matrix microstructure on the wear of cast iron balls tested in a laboratory ball mill. Wear, Vol. 250, 2001, p. 492 – 501.