

INFLUÊNCIA DA TEXTURA METALÚRGICA NA ABRASÃO DE AÇOS LAMINADOS A QUENTE UTILIZADOS EM MINERAÇÃO

Arthur Monteiro Barbosa de Carvalho, Universidade Federal de Uberlândia, carvalhoartmb@gmail.com

Gabriela Caixeta Alcarria, Universidade Federal de Uberlândia, gcalcarria@gmail.com

Carlos Alberto Damião, Universidade Federal de Uberlândia, cadamiao@hotmail.com

Vinicius Carvalho Teles, Universidade Federal de Uberlândia, viniciuscteles@hotmail.com

Washington Martins da Silva Junior, Universidade Federal de Uberlândia, washington.martins@gmail.com

Resumo: A indústria de mineração comumente utiliza aços laminados em equipamentos que representam um gasto de aproximadamente 15% do custo da produção da planta na manutenção, troca e/ou recuperação, destes materiais. A microestrutura dos aços apresenta um papel importante da resposta à abrasão dos aços. Sabe-se que o refinamento e a orientação da microestrutura tem influência em várias propriedades mecânicas inclusive na resistência a abrasão. O objetivo desse trabalho é avaliar a influência da microestrutura na resistência à abrasão de aços especiais laminados à quente. Para esta avaliação está sendo utilizado o teste tribológico de abrasão a três corpos tipo roda de borracha (ASTM G65) para avaliação do desgaste. Esses resultados serão confrontados com a energia absorvida em ensaios de impacto Charpy e com a dureza. A análise metalográfica desse material evidenciou a orientação da microestrutura (textura metalúrgica) devido ao processo de laminação a quente. Nesse trabalho são apresentados resultados preliminares que indicam diferenças na resistência à abrasão de aproximadamente 16% devido a microestrutura do material.

Palavras-chave: mineração; ensaio três corpos; microestrutura; laminação a quente.

1. INTRODUÇÃO

A indústria de mineração apresenta vários equipamentos sujeitos à abrasão, sendo que os principais são: revestimentos de moinhos, placas de desgaste, rotores de bombas, chutes, tubulações entre outros. O desgaste abrasivo é caracterizado pela perda gradual de partículas da superfície pela ação de partículas duras em contato direto ou indireto com esta superfície, que pode levar a falhas dos equipamentos (Zum-Ghar, 1998).

Uma vez que os maquinários utilizados na indústria de mineração entram em contato direto com os minérios, material muitas vezes muito duro com diferentes tipos de tamanho e forma, podem ser prematuramente desgastados o que significa um gasto na casa de 10 a 15% do custo de produção e de 30 a 40% do custo total de manutenção da planta, substituição e/ou recuperação de materiais desgastados para a extração e beneficiamento de minério. A escolha correta para uma maior vida e menor custo de produção deve ser feita.

Não tendo ainda sido encontrada nenhuma referência na literatura sobre o efeito da microestrutura de aços especiais laminados a quente utilizados em mineração e a sua resistência à abrasão. Este trabalho tem por princípio esta análise através de ensaios tribológicos a três corpos, mais especificamente o teste roda de borracha, para avaliação de desgaste e para análise de tenacidade e resposta mecânica será utilizado o teste Charpy.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado é um aço ao manganês laminado a quente normalmente empregado na indústria de mineração. As amostras foram retiradas nas seguintes dimensões 60 x 25 x 10 mm observando a direção de laminação para o corte. Esse cuidado foi tomado pois o objetivo desse trabalho é analisar a influência da textura metalúrgica decorrente da modificação da direção de laminação da peça. A Figura (1) apresenta o esquema de como as amostras foram cortadas. A composição química do material é apresentada pela Tab.(1).

Tabela 1: Composição química

Amostra de aço – composição aprox. % p						
C	Cr	Mo	Mn	Si	Ni	Nb
0,452	0,0192	0,005	1,282	0,205	0,0114	0,0041

Para uma avaliação fidedigna do desgaste sofrido pelos aços em campo, foi feita uma análise de imagem através de do microscópio eletrônico de varredura (MEV ZEISS EVO MA10), e também por uma análise de topografia por interferometria laser (UBM microfocus EXPERT 4), sobre uma amostra de campo obtida pelo laboratório. Com estas

informações foram definidos os mecanismos de desgaste e tamanho de abrasivo a ser utilizado para uma boa reprodução nos testes.

A metodologia tribológica utilizada para a avaliação de desgaste, foi definida através de estudos de trabalhos anteriores, Teles et al. (2012), definindo assim que a melhor opção de reprodução do mecanismo visto em campo seria obtido através do ensaio roda de borracha. Os testes, roda de borracha, são descritos pela norma (ASTM G65 2010), onde optou-se por seguir o procedimento D, uma vez que este apresenta as relações de desgaste e severidade de abrasão requerida para o teste. Ensaio este encontrado como mais utilizado para este tipo de avaliação de resistência a abrasão de aços especiais. Os parâmetros utilizados no teste são encontrados abaixo na Tab. (2).

Em trabalhos anteriores, Nahvi et al. (2009) ressalta que o mecanismo de desgaste observado nesse sistema se deve à dinâmica da partícula abrasiva na interface, borracha-abrasivo-amostra. Esta dinâmica é influenciada pelas características do material analisado, (processo de fabricação, tratamento térmico, composição química), da borracha, e da partícula abrasiva (tamanho, dureza, forma (Hutchings, 1992), e fluxo na interface). A maior parte destes parâmetros é fornecida pela norma (ASTM G65, 2010), porém as demais devem ser definidas pelo pesquisador através das análises sobre a amostra de campo.

O mecanismo de abrasão característico deste ensaio é o riscamento paralelo, decorrente do engastamento das partículas no contra corpo de borracha ou do rolamento das partículas entre a borracha e a amostra, Nahvi et al. (2009), similares aos encontrados na amostra de campo.

Tabela 2: Parâmetros dos ensaios

Parâmetros	
Procedimento	D da norma ASTM G 65-04
Fluxo de abrasivo	300-400 [g/min]
Tempo	30 [minutos]
Rotação	200 [RPM]
Carga normal	45 [N]
Revoluções	6000

Os testes estão sendo realizados à temperatura ambiente e interrompidos a cada 5 minutos para verificação da perda de massa, assim sendo totalizando 6 medidas de massa disponíveis para o cálculo do coeficiente de desgaste.

O abrasômetro roda de borracha, contém um motor de corrente contínua, que aciona uma roda revestida em seu perímetro por um anel de borracha, o motor mantém a roda a uma velocidade constante. O material da borracha é o estireno-butadieno com dureza de 60 Shore A. O diâmetro externo total da roda, roda de aço mais anel de borracha, é de 0,12 m. O corpo de prova é fixado em um sistema de alavanca que permite uma aplicação de força normal via peso morto na ponta da alavanca resultando no momento sobre ele (da Silva, de Mello, 2009). Figura (1b) apresenta o esquema de funcionamento do abrasômetro roda de borracha e a Fig. (1a) apresenta como foram retiradas as amostras para os testes.

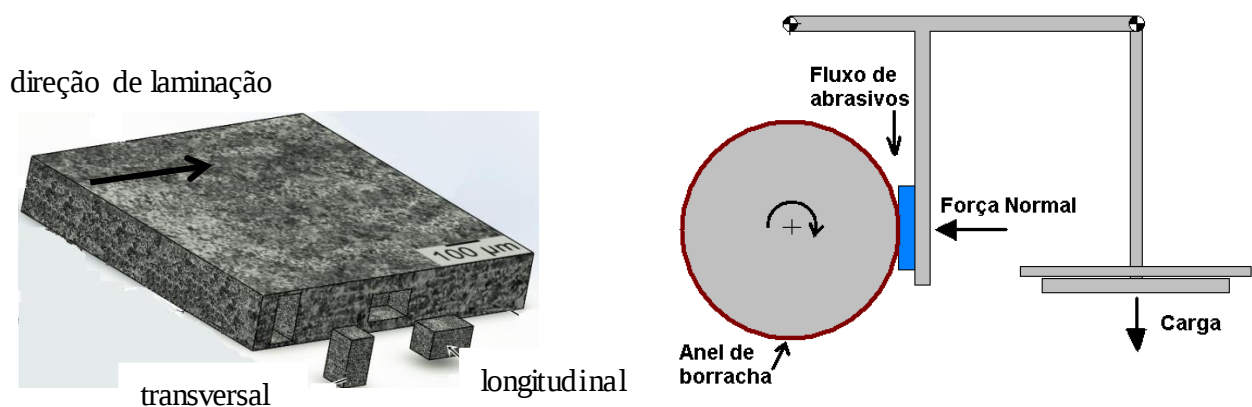


Figura 1: (a) Representa das amostras longitudinal e transversal e (b) representação esquemática do equipamento roda de borracha.

O abrasivo utilizado é a sílica (SiO_2) com variação no tamanho das partículas abrasivas 0,3-0,6 mm. O fluxo de abrasivo aplicado no contato é contínuo e tem uma vazão entre 350 e 400 g/min, seguindo as orientações da norma (ASTM-G65, 2010), e escoar devido à gravidade até a interface de desgaste através de uma tubulação e um bico direcional.

Para a aferição da perda de massa foi utilizada uma balança digital com resolução de 4 casas decimais (modelo OHAUS) com a limpeza prévia das amostras. Para os cálculos do volume perdido utiliza-se a Eq. (1).

$$V = \frac{\Delta M}{\rho} \quad (1)$$

Sendo V o volume desgastado, [mm³]; ΔM variação de massa, [g]; ρ massa específica do material [g/mm³].

O equipamento roda de borracha, possui também um torquímetro adaptado ao eixo do motor, onde são adquiridos os dados da força tangencial durante os ensaios e via programa computacional (LabView®) calcula-se a força de atrito e assim possibilitando o cálculo do coeficiente de atrito.

Além dos cálculos da perda de volume e atrito, esta sendo calculado coeficiente de desgaste k utilizando a Eq. (2) (Rabinowicz, 1965).

$$k = \frac{V}{S \cdot f_n} \quad (2)$$

Sendo S a distância percorrida, [m]; k coeficiente de desgaste, [mm³.(N.m)⁻¹]; f_n força normal, [N];

A taxa de desgaste é definida apenas quando se atinge o regime permanente de desgaste, ou seja, quando a perda de massa se torna praticamente constante no decorrer do tempo de teste.

3. RESULTADOS PARCIAIS

A Figura (2) apresenta as imagens da microestrutura dos corpos de prova, feitos a partir de microscópio ótico (BX51M da OLYMPUS). Pode-se observar o direcionamento, alinhamento da microestrutura, e que há grãos de tamanhos grandes e pequenos, indicando um tempo de resfriamento lento e também a recristalização após o processo de laminação a quente. Esta microestrutura apresentou em uma dureza média de 214±3.57 kg/mm².

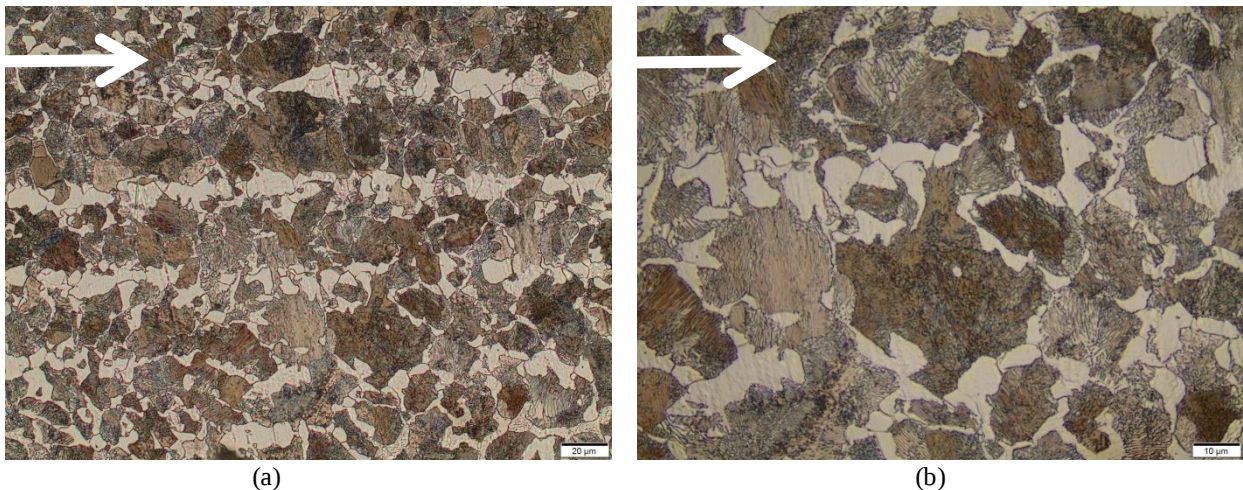


Figura 2: Imagens da microestrutura.

A Figura (3) apresenta o gráfico com a taxa de desgaste em função do tempo, relacionando as amostras preliminares longitudinal em preto e transversal em vermelho, estes valores representam a média de valores de testes de 3 amostras longitudinais e 3 amostras transversais. Pode-se observar que ambas as amostras chegam ao regime permanente aos 15 minutos de teste.

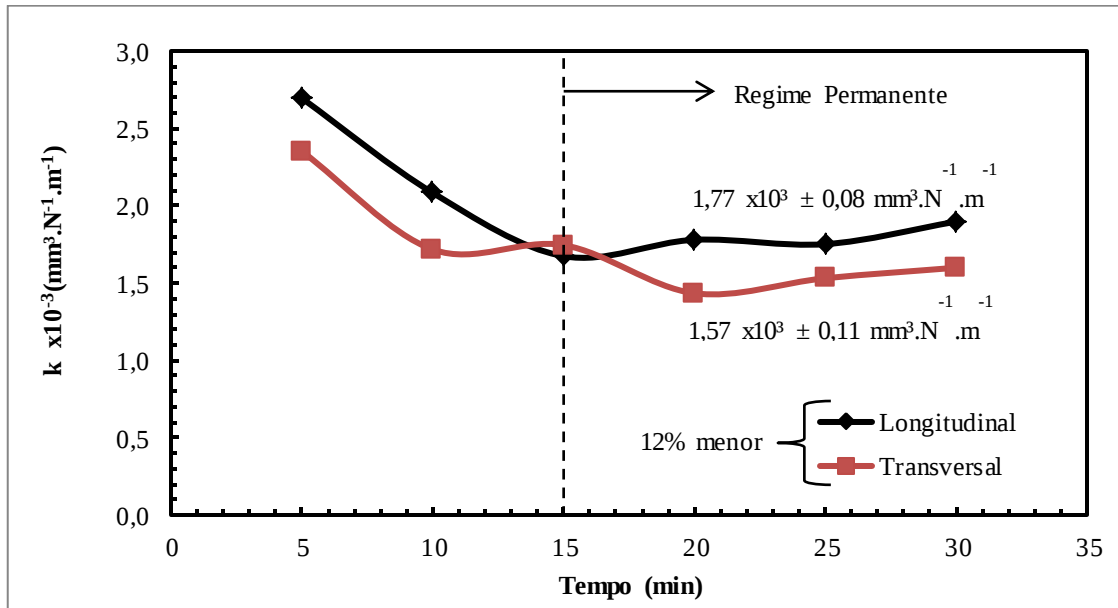


Figura 3: Taxa de desgaste em função do tempo, para ambas as amostras analisadas.

Atingindo o regime permanente é possível então definir o coeficiente de desgaste, como sendo a média das taxas de desgaste do ponto do regime até o ponto final. Após os cálculos, constatou-se que a amostra longitudinal apresentou uma taxa de desgaste igual a $1,77 \times 10^3 \pm 0,08 \text{ mm}^3.\text{N}^{-1}.\text{m}^{-1}$ e a amostra transversal apresentou uma taxa de desgaste igual a $1,57 \times 10^3 \pm 0,11 \text{ mm}^3.\text{N}^{-1}.\text{m}^{-1}$ ou seja a taxa de desgaste da amostra transversal é 12% menor do que a da amostra longitudinal.

Como justificativa para este comportamento, o encontrado na literatura foi a citação de Zum-Gahr (1998), onde relacionou-se a orientação de fibras estruturais com os diferentes desgastes sofridos por peças com fibras verticais e horizontais, sendo esta análise feita sobre compósitos e ligas eutéticas direcionalmente solidificadas, uma questão de anisotropia estrutural. Baseado nisso abre-se o precedente para a possível explicação do resultado obtido até o momento, sendo ainda necessária a complementação dos dados com um maior número de testes e avaliações para a comprovação deste comportamento do material.

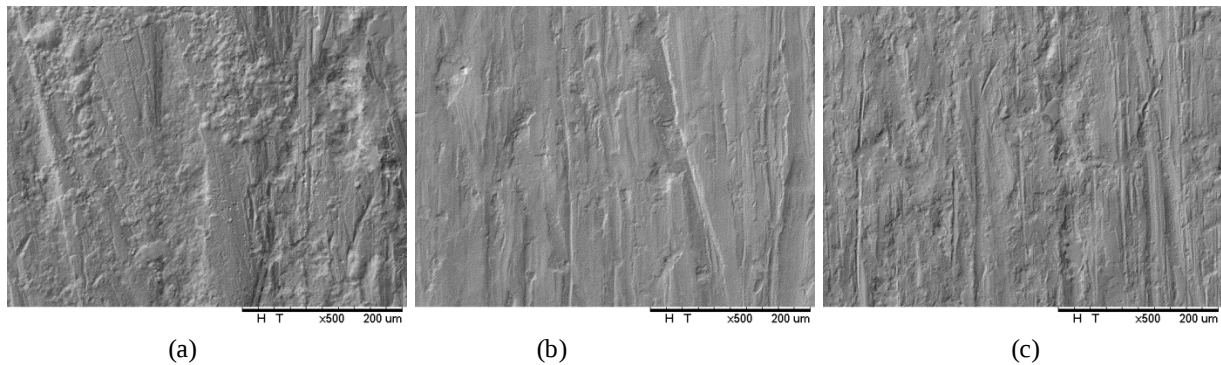


Figura 4: Mecanismos de desgaste (a) amostra obtida em campo, (b) longitudinal e (c) transversal após 30 minutos de ensaio em equipamento roda de borracha.

Ao se observar as imagens da Fig. (4), onde (a) é a imagem da amostra de campo pode-se ver que o mecanismo de desgaste é o microsulcamento/microcorte, resultado este devido ao deslizamento das partículas abrasivas sobre a superfície (Zum-Ghar, 1998). O que também pode ser observado nas Fig. (4) (b) e (c), que são as imagens das superfícies longitudinal e transversal com os 30 minutos totais de teste, são muito semelhantes às encontradas na amostra de campo indicando a correta seleção do método de ensaio e do abrasivo.

Os testes no roda de borracha ainda estão em andamento, sendo ainda também necessária a realização dos testes para análise de resposta mecânica através do ensaio Charpy.

4. CONCLUSÃO

No tribossistema estudado, a direção de laminação influenciou resistência ao desgaste abrasivo dos materiais estudados. Os ensaios em que a direção do movimento das partículas foi transversal à direção de laminação resultaram em uma taxa de desgaste 12% menor que os testes realizados na mesma direção do movimento das partículas e da laminação.

Os resultados encontrados indicam a utilização de uma estratégia para o processo de corte das chapas de aço laminados a quente podem aumentar a resistência ao desgaste abrasivo de equipamentos utilizados em mineração.

5. REFERÊNCIAS

- ASTM G65-04 "Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus".
- da Silva, W. M., Costa, H. L., de Mello, J. D. B., Jun, (2011), "*Transitions in abrasive wear mechanisms: Effect of the superimposition of interactions*", *Wear*, vol. 271, 977-986.
- da Silva, W. M., de Mello, J. D. B., (2009), "*Using parallel scratches to simulate abrasive wear*", *Wear*, vol. 267, 1987-1997.
- Hutchings, I. M., "Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials"; CRC Press, Boca Raton, USA, 1992, 273p.
- Nahvi, S. M., Shipway, P. H., McCartney, D. G., (2009b), "*Particle motion and modes of wear in the dry sand-rubber wheel abrasion test*", *Wear*, vol. 267, 2083-2091.
- Rabinowicz, E., "Friction and Wear of Materials", Shepherdstown, WV, U.S.A, 1965.
- Teles, V. C., Labiapari, W. S., de Mello, J. D. B., da Silva, W. M., "Avaliação de resistência à abrasão de materiais para componentes de maquinário agrícola", XV Encontro de Modelagem computacional e terceiro encontro de ciência e tecnologia de materiais.2012.
- Zum-Gahr, K. H., "Wear by Hard Particles", *Tribology International*. 1998, vol. 31, pg. 587 – 596.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.