

DESGASTE ABRASIVO DE FERRAMENTAS DE CORTE UTILIZADAS NA INDÚSTRIA MADEIREIRA

Giuseppe Pintaúde

Maria Cristina Moré Farias

Magno Kohnlein

Deniol K. Tanaka

Amilton Sinatora

Universidade de São Paulo, Laboratório de Fenômenos de Superfície, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da USP, Av. Prof. Mello Moraes, 2231, 05.508-900, São Paulo, SP – Brasil. E-mail: juja@usp.br

Resumo

Este trabalho apresenta resultados de desgaste abrasivo de duas famílias de ligas utilizadas como ferramentas de corte de madeira. Os materiais ensaiados foram: duas ligas fundidas para ferramentas, "Stellite" tipos 01 e 06, e duas ligas de metal duro (WC-Co). Os ensaios foram conduzidos na configuração pino-sobre-lixo, utilizando pinos de 3 mm de diâmetro. Os materiais foram caracterizados por meio de durezas macroscópica e microscópica. As taxas de desgaste determinadas mostraram um desempenho superior das ligas WC-Co, sendo uma ordem de grandeza menores em relação às taxas das ligas fundidas. Os resultados de dureza, microdureza e coeficiente de atrito dos materiais justificaram a diferença observada nas taxas de desgaste entre as duas famílias de materiais e servindo também para classificá-los por desempenho.

Palavras-Chave: ferramentas de corte, desgaste abrasivo, ligas fundidas para ferramentas, metal duro.

1. INTRODUÇÃO

O desgaste em ferramentas utilizadas na indústria madeireira é provocado basicamente por abrasão e corrosão [Bayoumi,1989]. As madeiras da região Amazônica possuem grande quantidade de sílica, o que faz com que as operações de corte e acabamento dos produtos derivados fiquem sujeitos ao desgaste abrasivo. Dois grupos de materiais são bastante utilizados nestes casos, em função do tipo de operação de usinagem: ferramentas de metal duro e ligas de cobalto.

As ferramentas de metal duro são classificadas de acordo com a aplicação e com a composição química. O Metals Handbook [1985] indica para usinagem de madeira as ligas tipo K, ou seja, WC-Co "puros", sem adição de outros elementos formadores de carbonetos (Ta e Ti). A literatura [Bayuomi,1989; Metals Handbook,1985] mostra que os melhores desempenhos quanto ao desgaste abrasivo são obtidos com materiais de maior dureza possível, propriedade esta obtida por meio de menores tamanhos de grão e menores teores de ligantes metálicos, que podem ser além do cobalto, níquel e cromo.

A outra família de materiais amplamente utilizada na usinagem e acabamento de madeira são as ligas fundidas "Stellite". Esta família de materiais é utilizada em componentes com geometria mais complexa do que os "bits", tais como revestimentos para saibros e mancais. Resultados de Kosel e colaboradores [1980] mostram que o desempenho das ligas "Stellite" quanto ao desgaste abrasivo é função da fração volumétrica e da morfologia dos carbonetos.

Este trabalho apresenta resultados de ensaio de desgaste abrasivo de dois materiais das ligas fundidas "Stellite" e outros dois das ligas de metal duro, utilizados na usinagem e no acabamento de madeiras da região Amazônica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais ensaiados foram identificados com a nomenclatura apresentada na Tabela 1, sendo duas ligas fundidas para ferramentas, comumente denominadas por "Stellite", e duas ligas do composto WC-Co, comumente denominados por metal duro.

Tabela 1. Nomenclatura utilizada para os materiais ensaiados.

Material	Nomenclatura
Stellite tipo 01	Co1
Stellite tipo 06	Co6
WC-Co fornecedor 1	WC-Co1
WC-Co fornecedor 2	WC-Co2

As composições químicas das ligas fundidas estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Composição química das ligas fundidas para ferramentas (% massa).

Material	Cr	W	Fe	C	Ni	Si	Mn	Mo	Co
Co1	30,4	12,7	2,40	2,30	2,50	1,00	0,05	0,10	BAL
Co6	29,8	14,5	1,15	0,98	1,06	0,60	0,08	0,20	BAL

BAL: balanço

A dureza dos materiais foi determinada nas escalas Rockwell A (60 kgf) e C (150 kgf) utilizando-se equipamento WOLPERT TESTOR HT1. Os resultados médios apresentados correspondem a três determinações para as ligas fundidas e sete determinações para as ligas metal duro. A microdureza dos materiais foi determinada em escala Vickers, utilizando-se 100 gf de carga, sendo que os resultados médios corresponderam a 10 determinações para todos os materiais.

Os ensaios de desgaste foram realizados em um tribômetro do tipo pino-sobre-disco, fabricação PLINT & PARTNERS LTD, modelo TE-79. Os ensaios foram realizados em corpos-de-prova cilíndricos com 3 mm de diâmetro e comprimento entre 21 e 23 mm.

O dispositivo de ensaio possui um sistema de carregamento no qual a carga é transmitida diretamente ao corpo-de-prova através de peso-morto. O corpo-de-prova é submetido a uma trajetória sobre a lixa em forma de espiral, mantendo-se a velocidade de rotação do disco constante. Em conjunto com a movimentação do disco, a mesa onde todo o sistema é apoiado se desloca linearmente, com velocidade de 20 mm/min.

O método de ensaio utilizado segue as recomendações da norma ASTM G-99/90, cujos principais requisitos são:

- perpendicularidade entre os eixos de centro do disco e do pino de $\pm 1^\circ$;
- paralelismo entre a superfície de contato do pino com o plano do disco;
- limpeza dos corpos-de-prova antes de cada ensaio e;
- realização de ensaios com amostras adicionais.

As condições de ensaio utilizadas neste trabalho foram:

- Rotação do disco: 30 rpm;
- Percurso em espiral com raio inicial de 40 mm e final de 5 mm, com incremento de 0,65 mm por revolução; o que resulta em uma distância total percorrida para cada lixa de aproximadamente 7,5 m;
- Carga: 15 N;
- Abrasivo: lixa abrasiva de óxido de alumínio (Al_2O_3) de grana 80 em costado de pano (código NORTON K246) substituído a cada ensaio.

Foi realizado um assentamento prévio da superfície do pino utilizando-se lixa de grana 80 e carga entre 2 e 5 N.

Adotou-se a seguinte seqüência para os ensaios, repetida 10 vezes, para cada corpo-de-prova:

- Limpeza da amostra em equipamento de ultra-som, utilizando álcool etílico;
- Pesagem inicial;
- Ensaio com lixa de grana 80;
- Nova limpeza da amostra e;
- Pesagem final.

As perdas de massa foram determinadas utilizando-se uma balança analítica, fabricação Mettler Toledo, modelo AB204, com precisão de décimo de milésimos de grama. Para cálculos da perda volumétrica, foram determinadas as densidades dos materiais com base no princípio de Arquimedes.

Durante os ensaios de desgaste foi monitorado o coeficiente de atrito, por meio de uma célula de carga. A frequência de aquisição foi de 1 Hz, o que corresponde para cada lixa abrasiva um total de 105 pontos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. DESGASTE ABRASIVO

Os valores médios de perda volumétrica e as densidades dos materiais são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados de perda volumétrica [mm³].

Material	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Densidade [g/cm ³]
Co1	1,94 ± 0,02	1,88 ± 0,04	1,86 ± 0,05	7,59
Co6	2,32 ± 0,04	2,31 ± 0,05	2,32 ± 0,05	7,49
WC-Co1	0,113 ± 0,007	0,099 ± 0,011	0,102 ± 0,010	14,01
WC-Co2	0,084 ± 0,007	0,080 ± 0,008	0,076 ± 0,009	15,64

Os valores de perda volumétrica determinados para as ligas metal duro foram uma ordem de grandeza menores do que para as ligas fundidas. A comparação entre as ligas de cada família mostra uma perda volumétrica do material Co6 aproximadamente 20% maior do que a do material Co1, e para as ligas metal duro, o material WC-Co1 desgastou aproximadamente 20% mais que o material WC-Co2. Os desvios-padrão determinados foram maiores para as ligas metal duro, em torno de 10%, enquanto que para as ligas fundidas os mesmos ficaram em torno de 2,5%, valores semelhantes aos descritos na literatura [Kosel *et al.*,1980; Moore & King,1980].

3.2. DUREZA

Os valores médios de dureza e microdureza estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados de dureza (Rockwell A e C) e microdureza Vickers.

Material	Dureza HRC	Dureza HRA	Microdureza [HV 0,1]
Co1	59,4 ± 0,6	76,8 ± 0,3	750 ± 42
Co6	43,2 ± 0,8	69,3 ± 1,0	501 ± 38
WC-Co1	70,1 ± 0,6	83,4 ± 0,4	1036 ± 111
WC-Co2	74,5 ± 0,6	85,1 ± 0,4	1047 ± 118

Os resultados apresentados na Tabela 4 mostram que para os materiais com menores durezas (em todas as escalas), maiores perdas volumétricas foram observadas.

A comparação dos resultados das Tabelas 3 e 4 com os resultados obtidos por Bozzi e colaboradores [1998] facilita o entendimento entre a relação taxas de desgaste e dureza. Estes pesquisadores verificaram o desempenho de duas ligas eutéticas de ferro fundido branco e de um revestimento WC-12%Co, em ensaio abrasivo a três corpos, utilizando óxido de alumínio como abrasivo, com a mesma granulometria utilizada neste trabalho. O resumo dos resultados de Bozzi e colaboradores está apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Resultados de Bozzi e colaboradores [1998] em ensaio abrasivo a três corpos.

Material	Microdureza [HV 0,3]	Taxa de Desgaste [mg/h.mm ²]
Recobrimento WC-12%Co	1.190 ± 221	0,99
Ferro fundido branco (liga 1)	844	1,62
Ferro fundido branco (liga 2)	830	1,70

A primeira observação que pode ser feita entre os dados da Tabela 4 e 5 se refere aos valores de microdureza Vickers para as ligas WC-Co, que são similares, inclusive quando considera-se o desvio-padrão associado, que está relacionado com a heterogeneidade destes materiais.

Com relação à severidade do desgaste, utilizando-se como critério a relação H_A/H_M (dureza do abrasivo/dureza do material), e como valor de microdureza do Al_2O_3 2147 ± 80 HV 0,05 [Berns & Franco,1994], obtém-se a indicação de ocorrência de regime severo de desgaste para todos os materiais, ou seja, os valores para a relação H_A/H_M são maiores do que 1,2.

As diferenças nas taxas de desgaste observadas por Bozzi e colaboradores entre as ligas de ferro fundido branco e o revestimento WC-12%Co é pequena, conforme mostra a Tabela 5, sendo razoável que os materiais ensaiados permanecessem sob o mesmo regime de desgaste, neste caso, severo. Por outro lado, os resultados da Tabela 3 mostram uma grande diferença nas taxas de desgaste entre as ligas fundidas e as ligas metal duro, que não justifica estes materiais permanecerem sob mesmo regime de desgaste. Isto leva a crer que no caso das ligas WC-Co1 e WC-Co2 o desgaste foi controlado pelos carbonetos WC, que possuem microdureza 2562 ± 312 HV 0,05 [Berns & Franco,1994]. Considerando apenas a dureza deste microconstituente, a relação entre dureza do abrasivo e dureza do carboneto WC é menor do que 1, indicando a ocorrência de desgaste moderado.

A decisão em se considerar valores de dureza dos microconstituintes ou valores de dureza macroscópicas para avaliar o regime de desgaste abrasivo é uma questão relevante, e de certa forma ainda em discussão na literatura [Pintaúde *et al.*,2000]. Por um lado, métodos em escala microscópica de dureza são sujeitos ao efeito de escala, o que faz com que os valores fiquem sujeitos a carga aplicada para determinação da dureza, enquanto que valores obtidos de forma macroscópica podem não corresponder às características do tribossistema, principalmente no caso de partículas abrasivas de pequeno tamanho.

3.3. COEFICIENTE DE ATRITO

Os valores de coeficiente de atrito estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Coeficiente de atrito médio.

Material	Coeficiente de atrito médio (desvio padrão)
Co1	$0,431 \pm 0,010$
Co6	$0,447 \pm 0,008$
WC-Co1	$0,314 \pm 0,004$
WC-Co2	$0,299 \pm 0,004$

A Figura 1 mostra a variação do coeficiente de atrito durante o ensaio de desgaste.

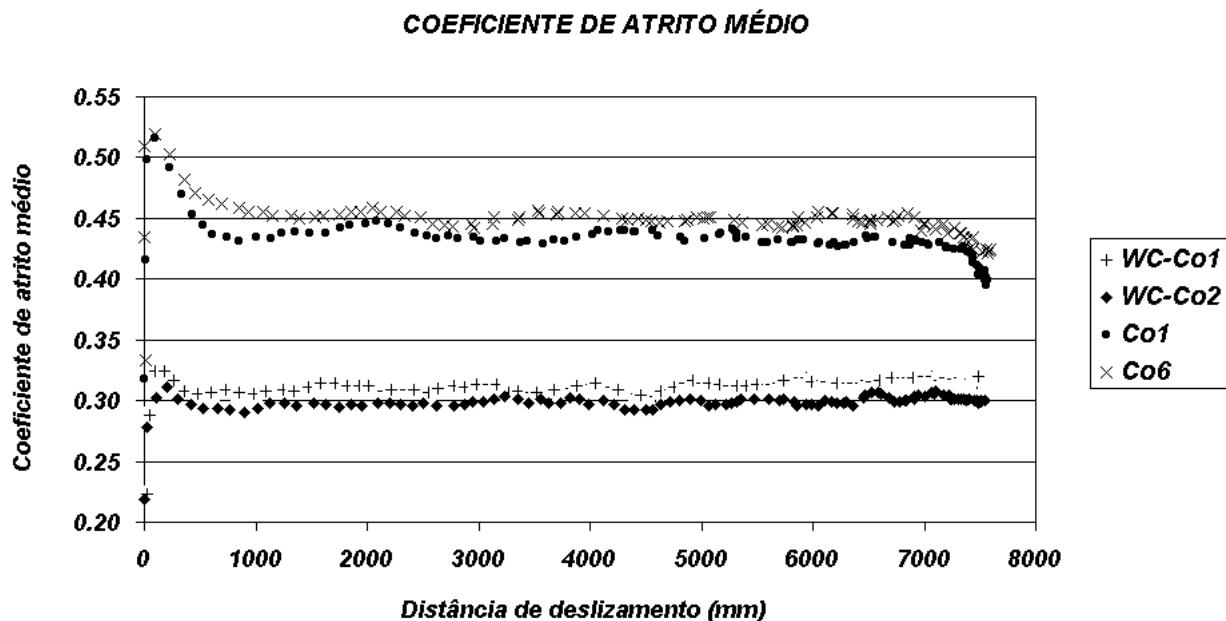


Figura 1. Variação do coeficiente de atrito médio em função da distância percorrida (mm).

Os resultados apresentados na Figura 1 mostram que há uma correlação entre a perda volumétrica observada nos ensaios de desgaste e o coeficiente de atrito dos mesmos, ou seja, maiores coeficientes de atrito corresponderam a maiores perdas volumétricas. Por meio do coeficiente de atrito é possível distinguir famílias de materiais e materiais da mesma família, onde as diferenças são significativas, embora pequenas.

A utilização do coeficiente de atrito como parâmetro de avaliação do desgaste abrasivo não é tão habitual como a utilização de dureza. Sin e colaboradores [1979] atribuíram ao coeficiente de atrito uma das parcelas correspondentes ao coeficiente de desgaste, em específico à geometria das partículas abrasivas. Este conceito é limitado no sentido de que o coeficiente de atrito não depende apenas do material abrasivo, mas é uma propriedade do sistema. Os resultados apresentados na Figura 1 mostram claramente a dependência do coeficiente de atrito com o tipo de material.

O trabalho de Hokkirigawa e Kato [1989] é mais completo que o de Sin e colaboradores no sentido de abranger a resposta do material e ao coeficiente de atrito como parcela do desgaste. Estes pesquisadores mostraram que o desgaste abrasivo é dependente da condição interfacial e desenvolveram uma teoria para materiais monofásicos e de durezas relativamente baixas (13 a 330 HV), na qual relaciona o ângulo de ataque do abrasivo com a condição interfacial.

Segundo Hokkirigawa e Kato, uma das parcelas do coeficiente de desgaste é a fração de partículas abrasivas cortantes, ou seja, a fração na qual os ângulos de ataque das partículas são maiores do que o ângulo de ataque crítico do material, parâmetro que pode ser determinado em um ensaio de esclerometria. O conceito de ângulo crítico de ataque foi introduzido por Mulhearn e Samuels [1962].

Para o sistema utilizado neste trabalho (alumina com grana 80), Hokkirigawa e Kato determinaram a fração cortante de abrasivos entre 0,33 e 0,53. Os valores de coeficiente de atrito determinados neste trabalho situam-se dentro desta faixa. Embora tenham sido determinados para materiais com durezas maiores que os empregados por Hokkirigawa e Kato e bifásicos, corrobora para a hipótese que o coeficiente de atrito é uma medida indireta da fração cortante das partículas abrasivas, e uma das parcelas do coeficiente de desgaste.

4. CONCLUSÕES

Nas condições experimentais utilizadas neste trabalho, pode-se concluir que:

1. Por ordem de desempenho, os materiais apresentaram perdas volumétricas crescentes na seguinte ordem:

$$\text{WC-Co2} < \text{WC-Co1} < \text{Co1} < \text{Co6}$$

2. Maiores valores de dureza e microdureza resultaram em menores perdas volumétricas;
3. As diferenças entre as taxas de desgaste observadas para as ligas “Stellite” e metal duro sugerem que o desgaste das ligas metal duro é controlado pela dureza dos carbonetos WC;
4. Menores valores de coeficiente de atrito resultaram em menores perdas volumétricas e;
5. Os resultados do presente trabalho sugerem que a teoria de Hokkirigawa e Kato podem ser extendidas para materiais com maiores durezas e bifásicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Central Laminações Ltda. pela autorização na divulgação dos resultados. GP e MCMF agradecem a FAPESP pela concessão das bolsas de doutoramento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bayoumi, A. M. et al.; 1983, Comparison of the wear resistance of various grades of cemented carbides that may find application in wood machining, *Wear*, v. 89, pp. 185-200.
- Berns, H.; Franco, S.D.; 1994, Properties of hard particles at room and elevated temperatures, III Seminário Brasileiro de Materiais Resistentes ao Desgaste, Anais, ABM, Fortaleza, pp. 131-146.
- Bozzi, A. C.; Santana, S. A.; de Mello, J.D.B.; 1998, Comparação da performance de recobrimentos de WC-12%Co depositados por “spray” térmico e a de ferros fundidos brancos de alto cromo em ensaios de abrasão a três corpos, IV Seminário de Desgaste (Desgaste e Proteção), Anais, ABM, São Paulo, pp. 01-13.

- Hokkirigawa, K. Kato, K.; 1989, Theoretical estimation of abrasive wear resistance based on microscopic wear mechanism, Wear of Materials Conference, Proceedings, ASME, Ludema, K.C., ed., pp. 1-8.
- Kosel, T.H. et al.; 1980, Microstructure and wear in high alloys, Symposium on Corrosion-Erosion of Materials, Proceedings, Transactions of AIME, pp.190-208.
- Metals Handbook Desk Edition, 1985, Boyer, H.E.; Gall, T.L., eds., ASM, Metals Park Ohio 44073.
- Moore, M. A.; King, F. S.; 1980, Abrasive wear of brittle solids, Wear, v. 60, pp. 123-140.
- Mulhearn, T. O.; Samuels, L.E.; 1962, The abrasion of metals: a model of the process, Wear, v. 5, pp. 478-498.
- Pintaúde, G.; Tanaka, D.K.; Sinatora, A.; 2000, Avaliação da dureza como critério para determinação do regime de desgaste abrasivo, Trabalho a ser apresentado no 55º Congresso Anual da ABM, 24-28 de julho de 2000, Rio de Janeiro – RJ.
- Sin, H.; Saka, N.; Suh, N. P.; 1979, Abrasive wear mechanisms and the grit size effect, Wear, v. 55, pp. 163-190.