

TRANSIÇÃO OBSERVADA ENTRE OS MODOS DE DESGASTE MICRO-ABRASIVO POR “RISCAMENTO” E POR “ROLAMENTO” EM WC-Co P20 E AÇO-FERRAMENTA M2

Ronaldo Câmara Cozza^{a,b}

Av. Humberto de Alencar Castelo Branco, 3972, 09850-901, São Bernardo do Campo – SP
rcamara@fei.edu.br, ronaldo.cozza@fatec.sp.gov.br

^a Centro Universitário da FEI – Fundação Educacional Inaciana “Padre Sabóia de Medeiros”
Departamento de Engenharia Mecânica

^b CEETEPS – Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”
Faculdade de Tecnologia de Mauá – FATEC-Mauá
Departamento de Fabricação Mecânica

RESUMO

O objetivo deste trabalho é estudar a transição entre os modos de desgaste micro-abrasivo por “riscamento” e por “rolamento” em WC-Co P20 e aço-ferramenta M2, em ensaios “ball-cratering”. Foram utilizadas esferas de aço-carbono AISI 1010 (cementado) e uma lama abrasiva preparada com carbeto de silício (SiC) e água destilada. Diferentes valores de força normal e distância de deslizamento foram definidos e, durante os experimentos, a lama abrasiva foi gotejada entre o corpo-de-prova e a esfera de ensaio. Todas as crateras de desgaste geradas foram analisadas por microscopia óptica, com o intuito de verificar os modos de desgaste micro-abrasivos atuantes nas superfícies das mesmas. Nos corpos-de-prova de WC-Co P20 foi relatada a ação solo de desgaste micro-abrasivo por “riscamento” e desgaste micro-abrasivo “misto”, caracterizado pela ação simultânea de desgaste micro-abrasivo por “riscamento” e desgaste micro-abrasivo por “rolamento”. Em relação aos corpos-de-prova de aço-ferramenta M2, reportou-se, somente, a atuação de desgaste micro-abrasivo “misto”.

Palavras-chave: Desgaste micro-abrasivo, desgaste micro-abrasivo por riscamento, desgaste micro-abrasivo por rolamento.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Trezona *et al.*⁽¹⁾, há dois modos de desgaste micro-abrasivo: “*riscamento*” e “*rolamento*”. Considerando duas superfícies em movimento relativo, no desgaste micro-abrasivo por “*riscamento*”, as partículas abrasivas estão fixas em uma das superfícies e, conseqüentemente, possuem somente movimento de translação contra a superfície oposta. No desgaste micro-abrasivo por “*rolamento*”, as partículas abrasivas estão livres para rolar entre as superfícies.

Com o equipamento de ensaio de desgaste micro-abrasivo de configuração mecânica “*ball-cratering*” é possível estudar o comportamento ao desgaste micro-abrasivo de materiais metálicos e não-metálicos, sob condições variadas de ensaios. A Figura 1⁽²⁾ esquematiza o princípio de funcionamento deste tipo de equipamento, em que a força normal (N) é responsável pelo contato entre a esfera de ensaio e o corpo-de-prova; o contato e o movimento relativo entre estes dois elementos geram uma força tangencial (T) e uma cratera de desgaste sobre o corpo-de-prova.

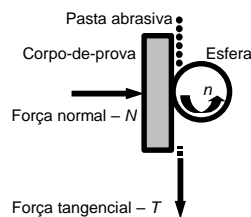


Fig. 1. Princípio de operação do equipamento de ensaio de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa⁽²⁾.

Por meio desse ensaio tribológico, os trabalhos de Trezona *et al.*⁽¹⁾, Adachi e Hutchings⁽³⁾ e Mergler e Huis in 't Veld⁽⁴⁾ comprovaram que alterações nos valores de força normal, concentração de lama abrasiva (C), dureza (H), forma e tamanho de partículas abrasivas, além dos materiais da esfera de ensaio e do corpo-de-prova, podem modificar o modo de desgaste micro-abrasivo atuante. Adicionalmente, durante a transição de desgaste micro-abrasivo por “*riscamento*” para desgaste micro-abrasivo por “*rolamento*” (ou, vice-versa), é possível estabelecer condições experimentais em que ambos os modos de desgaste micro-abrasivo ocorram simultaneamente⁽⁵⁻⁷⁾.

Observando a presença e a importância deste fenômeno tribológico, o objetivo deste trabalho é estudar a transição entre os modos de desgaste micro-abrasivos por “*riscamento*” e “*rolamento*” em WC-Co P20 e aço-ferramenta M2.

2. EQUIPAMENTO DE ENSAIO, MATERIAIS E METODOLOGIA EXPERIMENTAL

2.1. Equipamento de ensaio

Um equipamento para ensaio de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa (tipo “*ball-cratering*”) de configuração mecânica “esfera-fixa” (Figura 2) foi utilizado nos experimentos. Nesta configuração mecânica, esferas de ensaio com um furo central foram fixadas ao eixo de ensaio, por meio de uma porca sextavada e uma arruela de pressão.

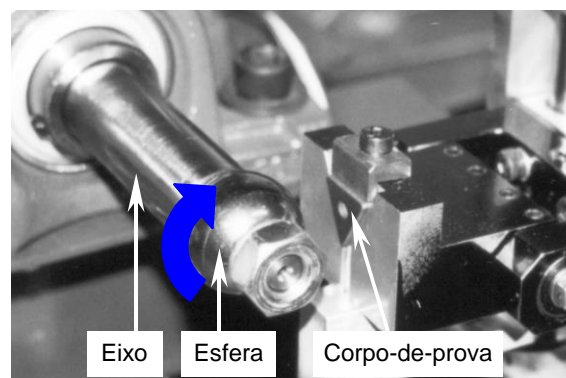


Fig. 2. Equipamento de ensaio de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa fixa utilizado neste trabalho.

2.2. Materiais

Os corpos-de-prova foram de WC-Co P20 e aço-ferramenta M2 (temperado e revenido). Todos possuíam forma de triângulo equilátero, com aresta de 16 mm e espessura de 3 mm.

Para as análises das microestruturas do WC-Co P20 e do aço-ferramenta M2, corpos-de-prova foram embutidos em baquelita, tendo suas superfícies preparadas com lixas *grãos* #220, #320, #400, #600 e pastas diamantadas de granulometrias 6 μm , 3 μm e 0,25 μm . Após, o ataque químico da superfície do WC-Co P20 foi realizado com *MURAKAMI* e, para a superfície do aço-ferramenta M2, foi utilizado *Nital* 3%. A Figura 3a exibe a microestrutura do WC-Co P20 e, a Figura 3b, a microestrutura do aço-ferramenta M2.

Foram utilizadas esferas de ensaio de aço AISI 1010 cementado, de diâmetro $D = 25,4$ mm (1”). Os furos de fixação foram usinados por processos convencionais de fabricação: furação e passagem de alargador realizados em um Torno Mecânico.

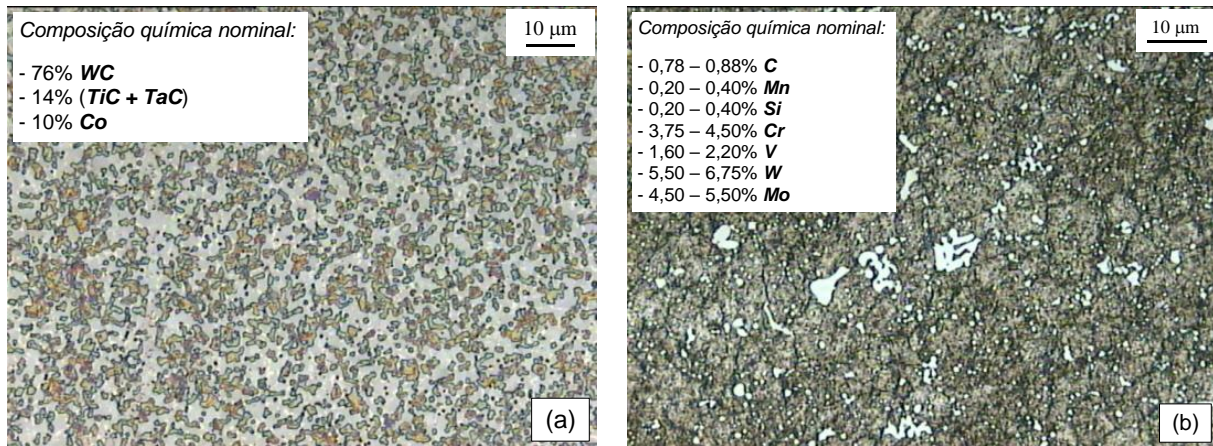


Fig. 3. Microestrutura do (a) WC-Co P20 e do (b) aço-ferramenta M2. Imagens obtidas por Microscopia Óptica.

A pasta abrasiva foi preparada com carbeto de silício preto – SiC (tamanho médio de partícula de 5 µm e formato angular), comercial de grau técnico⁽⁸⁾, e água destilada. A Figura 4⁽⁸⁾ mostra uma Micrografia Eletrônica de Varredura do SiC utilizado.

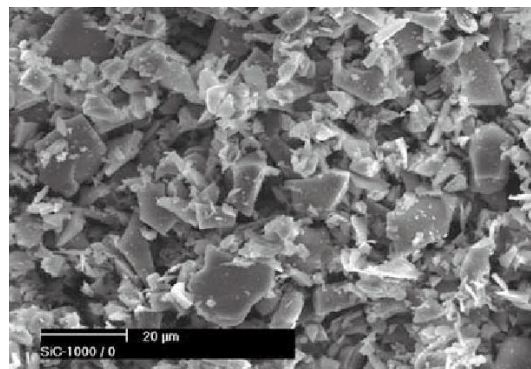


Fig. 4. Imagem obtida por Microscopia Eletrônica de Varredura do SiC⁽⁸⁾ utilizado.

Para o cálculo da dureza do SiC, uma porção do material foi sinterizada e dez indentações *Vickers* foram conduzidas sob uma carga de 50 N e tempo de 15 s⁽⁸⁾. Com estes mesmos valores de força e tempo, foram medidas as durezas *Vickers* dos corpos-de-prova, por meio de treze indentações realizadas na superfície de cada material; em seguida, descartando-se o valor de dureza obtido na primeira endentação, a dureza de cada material foi determinada pela média aritmética dos dez valores mais próximos entre si. A dureza das esferas de aço AISI 1010 cementado foi obtida junto à empresa “SÓ ESFERAS – Comércio de Esferas Ltda.” – empresa fornecedora das mesmas, correspondente à dureza na superfície da mesma. A Tabela 1 reúne os valores das durezas destes materiais.

Tabela 1. Dureza dos materiais utilizados nos ensaios.

	Material	Dureza – [HV]
Corpo-de-prova	WC-Co P20	1193
	Aço-ferramenta M2	652
Esfera de ensaio	Aço AISI 1010 – cementado	856
Partículas abrasivas	SiC – carbetto de silício	1937

2.3. Metodologia Experimental

A Tabela 2 apresenta as condições estabelecidas para os ensaios.

Tab. 2. Valores dos parâmetros de ensaio estabelecidos para os experimentos.

Condição de ensaio	1	2
Força normal – N [N]	1,25	5
Concentração da lama abrasiva – C [em volume]	25% SiC + 75% água destilada	
Rotação da esfera de ensaio – n [rpm]	15	
Tempo de ensaio – t [min]	5	
Distância de deslizamento – S [m]	6	

Dois valores de força normal foram estabelecidos, $N_1 = 1,25$ N e $N_2 = 5$ N, junto à um valor de concentração de lama abrasiva: $C = 25\%$ SiC + 75% de água destilada (em volume). A rotação da esfera de ensaio foi $n = 15$ rpm e o tempo de ensaio ficou definido em $t = 5$ min, resultando em um valor de distância de deslizamento (S) entre a esfera de ensaio e o corpo-de-prova de $S = 6$ m.

Todos os ensaios foram conduzidos sem paradas intermediárias e a lama abrasiva foi, continuamente, gotejada entre a esfera de ensaio e o corpo-de-prova.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os ensaios conduzidos nos corpos-de-prova de aço-ferramenta M2 resultaram em desgaste micro-abrasivo “misto” (atuação conjunta de desgaste micro-abrasivo por “riscamento” com desgaste micro-abrasivo por “rolamento”). Em relação aos corpos-de-prova de WC-Co P20, para a menor força normal, $N_1 = 1,25$ N, foi observada a atuação do “modo misto” de desgaste micro-abrasivo,

enquanto que para a força normal de maior magnitude, $N_2 = 5 \text{ N}$, foi reportada a atuação solo de desgaste micro-abrasivo por “riscamento”. Nos casos de atuação de desgaste micro-abrasivo “misto”, no centro da cratera de desgaste houve a ocorrência de desgaste micro-abrasivo por “riscamento” e, nas bordas, desgaste micro-abrasivo por “rolamento” (Figura 5); Adachi e Hutchings⁽³⁾ observaram o mesmo comportamento em corpos-de-prova de *PMMA*.

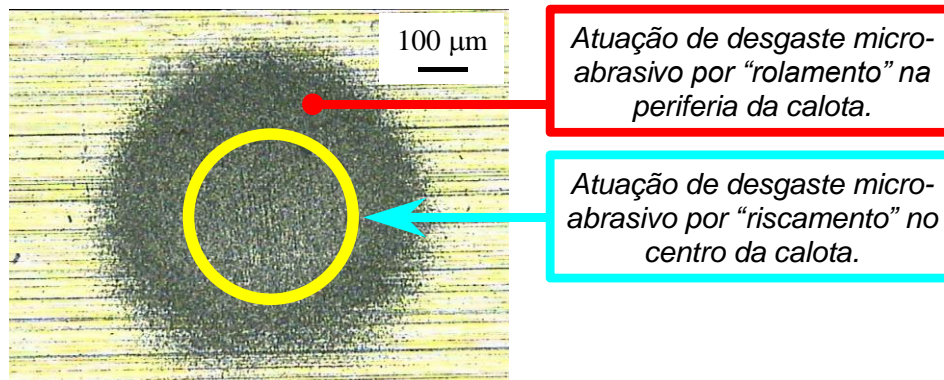


Fig. 5. Ação de desgaste micro-abrasivo por “riscamento” (centro) e desgaste micro-abrasivo por “rolamento” (extremidades) na calota, para a força normal $N_1 = 1,25 \text{ N}$ – WC-Co P20.

Trezona *et al.*⁽¹⁾ mencionam que, para elevadas forças normais ($N \geq 5 \text{ N}$) e baixas concentrações de lama abrasiva, há o domínio de desgaste micro-abrasivo por “riscamento”, enquanto que, para elevadas concentrações de lama abrasiva ($C \geq 25\%$ material abrasivo em volume) e baixas forças normais, há o predomínio de desgaste abrasivo por “rolamento”. Neste trabalho, foi observado um comportamento similar: para a menor força normal ($N_1 = 1,25 \text{ N}$), houve a ocorrência de desgaste micro-abrasivo “misto” em ambos os materiais de corpos-de-prova e para a maior força normal ($N_2 = 5 \text{ N}$) foi observado a atuação de desgaste micro-abrasivo por “riscamento” no corpo-de-prova de WC-Co P20.

Os resultados deste trabalho foram superpostos na Figura 6, que reproduz um ábaco originalmente publicado por Adachi e Hutchings⁽³⁾, e conduz a uma previsibilidade referente às ações dos modos de desgaste micro-abrasivo, considerando os parâmetros utilizados na Equação (A)^(3,9). Em tal equação, a Severidade de Contato (S_c) é função das durezas (H) dos materiais da esfera e do corpo-de-prova, raio da esfera (R), Coeficiente de Poisson (ν) dos materiais da esfera e do corpo-de-prova, Módulo de Young (E) dos materiais da esfera e do corpo-de-prova, tamanho médio das partículas abrasivas (D_P) e fração volumétrica de partículas abrasivas na concentração de lama abrasiva (\mathcal{G}).

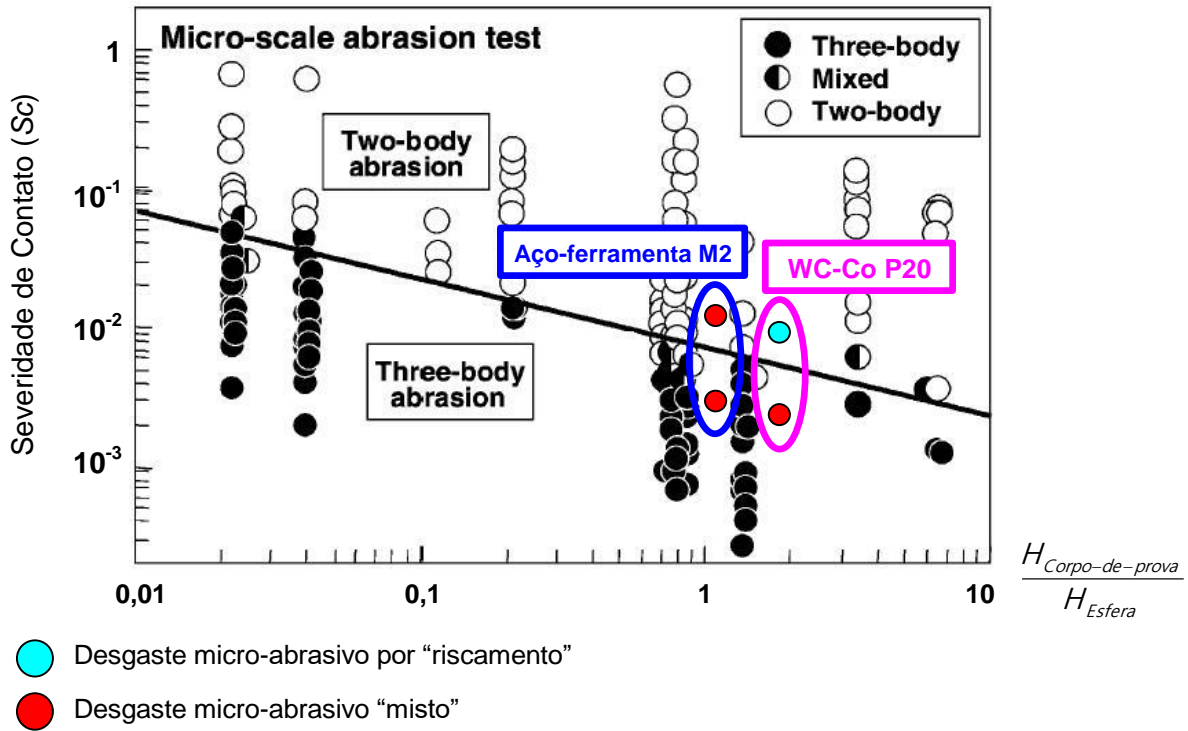


Fig. 6. Gráfico representando as atuações de desgaste micro-abrasivo por "riscamento" e desgaste micro-abrasivo "misto" observados nas calotas geradas nesta pesquisa. Ábaco extraído do trabalho de Adachi e Hutchings⁽³⁾.

$$Sc = \frac{N \left(\frac{1}{H_{Esfera}} + \frac{1}{H_{Corpo-de-prova}} \right)}{\left[\sqrt[3]{0,75 \cdot N \cdot R \left(\frac{1 - \nu_{Esfera}^2}{E_{Esfera}} + \frac{1 - \nu_{Corpo-de-prova}^2}{E_{Corpo-de-prova}} \right)} + 2 \cdot R \cdot D_p \right] \pi \cdot g} \quad (A)$$

Nota-se que os resultados obtidos nesta pesquisa estão em concordância qualitativa com os trabalhos apresentados por Trezona *et al.*⁽¹⁾ e Adachi e Hutchings⁽³⁾, em relação às atuações e transição entre os modos de desgaste micro-abrasivo.

4. CONCLUSÕES

Sob concordância qualitativa com os resultados publicados por Adachi e Hutchings⁽³⁾, a força normal apresentou significativa influência sobre a transição entre os modos de desgaste micro-abrasivo. Sob relativa baixa força normal, foi reportado a ocorrência do "modo-misto" de desgaste micro-abrasivo e, sob a força normal de maior valor, caracterizou-se o desgaste micro-abrasivo por "riscamento".

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) TREZONA, R.I.; ALLSOPP, D.N.; HUTCHINGS, I.M.. Transitions between two-body and three-body abrasive wear: influence of test conditions in the microscale abrasive wear test. *Wear*, vol. 225-229, p. 205-214, 1999.
- (2) COZZA, R.C.. Influence of the normal force, abrasive slurry concentration and abrasive wear modes on the coefficient of friction in ball-cratering wear tests. *Tribology International*, vol. 70, p. 52-62, 2014.
- (3) ADACHI, K.; HUTCHINGS, I.M.. Wear-mode mapping for the micro-scale abrasion test. *Wear*, vol. 255, p. 23-29, 2003.
- (4) MERGLER, Y.J.; HUIS IN 'T VELD, A.J.. Micro-abrasive wear of semi-crystalline polymers. *Tribology and Interface Engineering Series 41*, p. 165-173, 2003. *Tribological Research and Design for Engineering Systems – Proceedings of the 29th Leeds-Lyon Symposium on Tribology*, University of Leeds, UK.
- (5) COZZA, R.C.. Third abrasive wear mode: is it possible? *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 3 (2), p. 191-193, 2014.
- (6) COZZA, R.C.; RODRIGUES, L.C.; SCHÖN, C.G.. Analysis of the micro-abrasive wear behavior of an iron aluminide alloy under ambient and high-temperature conditions. *Wear*, vol. 330-331C, p. 250-260, 2015.
- (7) COZZA, R.C.; SCHÖN, C.G.. Evidence of superposition between grooving abrasion and rolling abrasion. *Tribology Transactions*, vol. 58, p. 875-881, 2015.
- (8) IZHEVSKYI, V.A.; GENOVA, L.A.; BRESSIANI, J.C.; BRESSIANI, A.H.A.. Liquid phase sintered SiC ceramics from starting materials of different grade. *Cerâmica*, vol. 50, p. 261-267, 2004.
- (9) HUTCHINGS, I.M.. *Tribology – Friction and Wear of Engineering Materials*. 7th Edition, Edward Arnold, a division of Hodder Headline PLC, London, UK, 1992.

GROOVING ABRASION AND ROLLING ABRASION MICRO-ABRASIVE WEAR MODES TRANSITION IN SPECIMEN OF WC-Co P20 AND M2 TOOL STEEL

ABSTRACT

The purpose of this research is to study the grooving abrasion and rolling abrasion micro-abrasive wear modes transition in specimen of WC-Co P20 and M2 tool steel under ball-cratering wear testing. Cemented AISI 1010 balls and an abrasive slurry prepared with silicon carbide (SiC) and distilled water were used. Different values of normal force and sliding distance were defined and during the experiments the abrasive slurry was supplied between the specimen and the ball. All wear craters were analyzed under optical microscopy with the aim of to verify the micro-abrasive wear modes. In the specimen of WC-Co P20 was reported the occurrence of “grooving abrasion” and “mixed-mode” micro-abrasive wear, characterized by simultaneous action of “grooving abrasion” and “rolling abrasion”. In relation to M2 tool steel, it was observed only the action of “mixed-mode” micro-abrasive wear.

Key-words: Micro-abrasive wear, grooving abrasion, rolling abrasion.