

INFLUÊNCIA DA RUGOSIDADE DO CONTRA-CORPO NA MICRO-ABRASÃO

Miguel Angel Narvaez Ardila, Laboratório de Tribologia e Materiais (LTM), UFU, miguelnnpb@hotmail.com
Jose Daniel Biasoli de Mello, Laboratório de Tribologia e Materiais (LTM), UFU, ltm-demello@ufu.br

Resumo. Este trabalho procura avaliar, generalizando, a influência da rugosidade do contra-corpo na taxa de desgaste e dinâmica de partículas abrasivas na abrasão. Fizeram-se testes de micro-abrasão em intervalos de 15min até completar 90 minutos num aço inoxidável 304 para cinco tipos de contra-corpo (três polímeros sendo eles polipropileno, poliamida 6,6 e poliacetal; uma esfera cerâmica de Nitreto de Silício e um aço 52100 para rolamentos), usou-se Sílica em concentração de 10% em peso em água destilada. Para acompanhar a evolução da rugosidade do contra-corpo fez-se interferometria laser, e garantiu-se que em todos os intervalos o contra-corpo seguisse a mesma trilha de arraste de abrasivo e/ou desgaste. Após os ensaios observou-se uma modificação da rugosidade superficial do contra-corpo, esta rugosidade acompanhava as variações da taxa de desgaste do corpo testado. Concluiu-se que existe uma correlação entre a rugosidade superficial do contra-corpo e a taxa de desgaste do corpo de prova.

Palavras chave: micro-abrasão, contra-corpo, rugosidade, taxa de desgaste.

1. INTRODUÇÃO

O desgaste abrasivo promove perda de matéria devido ao movimento relativo entre duas superfícies, decorrente da ação entre elas de “asperidades” duras, ou partículas abrasivas livres, ou partículas abrasivas engastadas em uma das superfícies. Essas partículas duras podem ser provenientes de fragmentos oriundos do processo de desgaste ou contaminação acidental por uma fonte externa ao tribosistema (ZUM GHAR, 1987).

Progressos significativos foram feitos no estudo dos mecanismos de micro-abrasão de materiais. Foram propostos dois comportamentos dinâmicos das partículas abrasivas na micro-abrasão que identificam se o desgaste ocorre por um mecanismo deslizamento de partículas, ou micro indentações (rolamento de partículas). Dependendo do tribosistema pode-se apresentar um regime misto que apresenta as duas situações. Mapas de micro-abrasão foram construídos mostrando a variação do regime de desgaste, como uma função da carga aplicada e a distância de deslizamento (TREZONA et al., 1999; STACK e MATHEW, 2004).

De acordo com isto pode-se pensar que as características da topografia de superfície (em particular a rugosidade) podem influenciar o início e evolução da calota esférica formada no ensaio micro-abrasivo bem na dinâmica das partículas abrasivas (rolamento e deslizamento). Procurando evidenciar alguma influência da rugosidade da esfera Costa et al. (2015) observaram uma influência da qualidade superficial da esfera nos resultados. Estes resultados foram obtidos utilizando-se uma solução de água destilada com 10% de Sílica em peso, uma esfera de zircônia de 25.4mm de diâmetro, 150 RPM, e 1.42 N de força normal aplicada para uma amostra de aço inoxidável 304 por um tempo de 15 minutos, num micro-abrasometro de esfera fixa. Os autores observaram que a mediada que a rugosidade da esfera aumenta a taxa de desgaste da amostra aumenta e comprovaram que a influência da rugosidade da esfera na taxa de desgaste pode-se associar a mudança no mecanismo de rolamento ou deslizamento de partículas ao comparar as amostras dos ensaios de abrasão. O mecanismo de desgaste muda progressivamente de deslizamento, reduzindo a intensidade dos eventos com o aumento da rugosidade da esfera, para rolamento/deslizamento de partículas com a maior rugosidade da esfera.

Estes resultados motivaram seguir explorando para uma maior variedade de materiais e condições de teste (tipo e porcentagem de abrasivo). Por isso o presente trabalho procura avaliar, **generalizando**, a influência da rugosidade da esfera (contra corpo) na taxa de desgaste e dinâmica de partículas abrasivas na abrasão.

2. METODOLOGIA

Realizaram-se os testes utilizando um equipamento de esfera fixa recentemente desenvolvido no LTM (SANTOS et al., 2015). Os parâmetros destes ensaios foram:

- Corpo: Amostra de aço inoxidável 304, $S_a=0,254 \mu m$ (realizada por interferometria laser), com dureza de 91,8 HRB.
- Contra-corpos (esferas): três polímeros sendo eles polipropileno, poliamida 6,6 e poliacetal; uma esfera cerâmica de Nitreto de Silício e um aço 52100 para rolamentos.

- Para a fixação da amostra no porta-mostra, usou-se derivado de cera de abelha, o qual colava a parte posterior da amostra no porta-mostra.
- O peso morto aplicado no braço de alavanca foi de 0.136 kgf, que produziram força normal na faixa de 0.95 N a 1.25 N durante a execução dos ensaios.
- Usou-se Sílica como meio abrasivo na porcentagem 10% do peso diluída em água destilada. O tamanho médio das partículas abrasivas foi medido por granulometria laser, dando um tamanho médio de 2,25 μm .
- Coeficientes de desgaste micro-abrasão (k) também foram calculados em intervalos de 15min até chegar a 90 min de tempo total de teste.
- A velocidade de rotação foi constante: 150 rpm.

Todas as esferas testadas não sofreram nenhum tipo de preparação superficial, ou seja, foram testadas com a rugosidade superficial fornecida pelo fabricante. Usou-se uma esfera por ensaio de micro-abrasão, com repetitividade de três ensaios por tipo de material da esfera.

Para fazer acompanhar a evolução da modificação da rugosidade superficial em cada esfera, foi garantido que, no ensaio, a esfera atuasse sempre pela mesma trilha de movimentação de abrasivo, com o objetivo de criar uma modificação da rugosidade mais rápida (se é que esta modificação existe), como indica a Fig. 1a. Para isto, usaram-se marcas de referência na esfera, para que os eixos que a fixavam sempre a segurassem na mesma posição e, dessa forma, garantisse que o arraste do abrasivo fosse na mesma trilha durante o ensaio, como explica a Fig. 1b. Para caracterizar a modificação na rugosidade superficial das esferas, usou-se interferometria laser em cada intervalo de medição (15 min). Em cada intervalo de medição (15 min), fizeram-se cinco medições de rugosidade linear (R_a) de 5 mm de comprimento sob a trilha de arraste de abrasivo. Além das medições lineares, fez-se uma medição numa área de 1 mm x 1 mm (rugosidade S_q) na trilha de arraste de abrasivo para cada intervalo de medição (15 min). A Figura 2 apresenta o esquema de medição das rugosidades, R_a e S_q , para cada intervalo de medição.

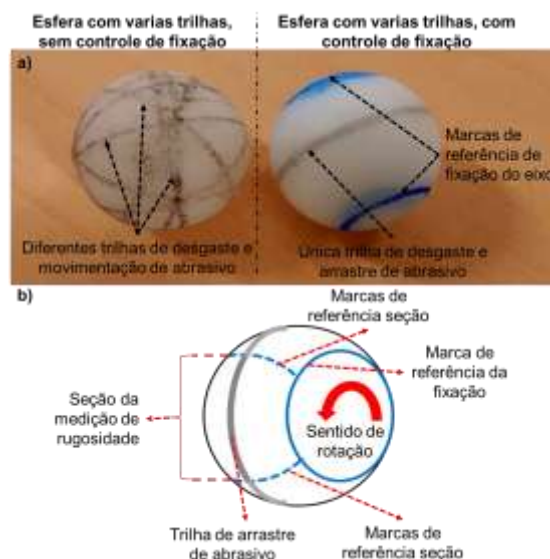


Figura 1. (a) Comparação de ensaio com várias trilhas e ensaio com única trilha; (b) Esquema explicativo de metodologia e seção de medição na trilha.

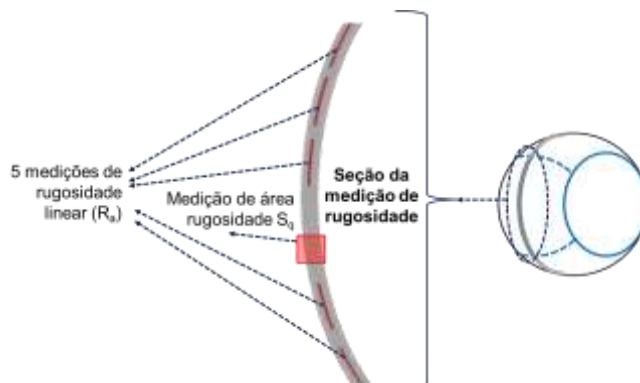


Figura 2. Diagrama de medição das rugosidades (R_a e S_q) para cada intervalo de medição.

3. RESULTADOS

Na Figura 3, observa-se a comparação da rugosidade antes e depois de 90 min de micro-abrasão. Os contra-corpos de poliacetal, nitreto de silício e aço 52100 mostraram uma tendência a diminuir os parâmetros de rugosidade (R_a e S_q) na trilha de desgaste após os 90 minutos de ensaio, enquanto que os contra-corpos de poliamida 6,6 e o polipropileno não mostraram esta tendência para o parâmetro R_a e S_q . Estas variações da rugosidade podem acontecer devido ao fenômeno de desgaste e/ou deformação superficial (micro mecanismos) para cada material do contra-corpo.

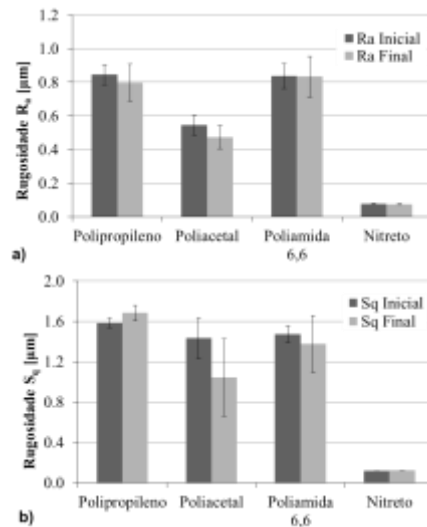


Figura 3. Variação de a) R_a e b) S_q , do contra-corpo na trilha de desgaste antes e após 15min de ensaio de micro-abrasão.

Ao observar as imagens geradas da evolução da rugosidade superficial dos contra-corpos que foram geradas da interferometria laser 3D, Fig. 4, corrobora-se que os contra-corpos sofrem uma visível mudança na rugosidade superficial. Além disto, se observa que o aspecto superficial final dos polímeros é similar entre eles, enquanto que o aspecto superficial do nitreto é similar ao do aço. Aparentemente no aço e no nitreto criam-se trilhas preferenciais de arrastamento de abrasivo.

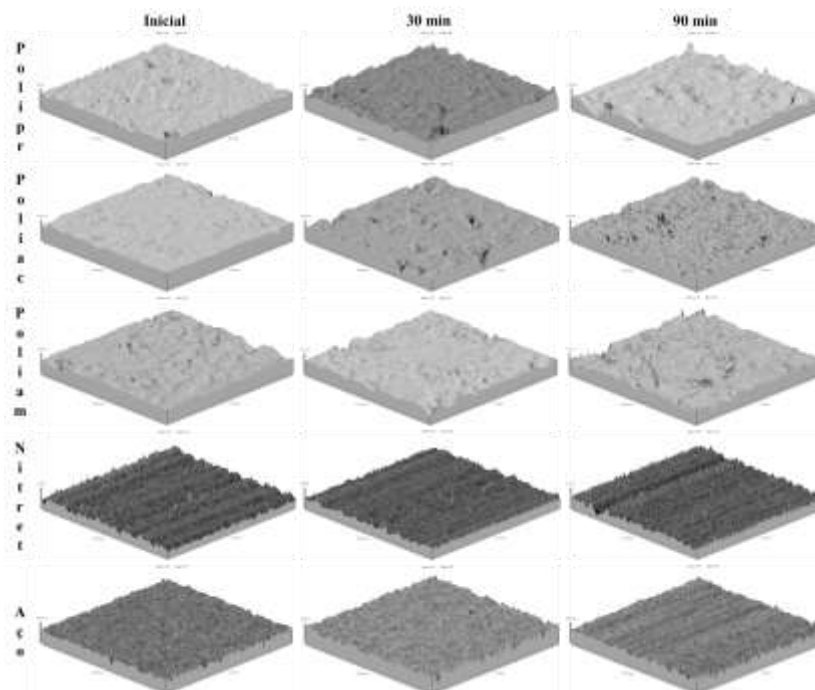


Figura 4. Evolução da rugosidade da trilha criada nos contra-corpos durante o ensaio de micro-abrasão de aço inoxidável 304. Imagens geradas por interferometria laser 3D.

Tendo comprovado que existe uma modificação da rugosidade superficial ao longo do ensaio, passa-se a comparar como esta modificação da rugosidade tem relação com a micro-abrasão. Ao fazer a comparação do coeficiente de desgaste com o parâmetro de rugosidade R_a inicial de cada medição (15 min) ao longo do ensaio micro-abrasivo para os diferentes tipos de contra-corpos. É observado que a rugosidade R_a acompanha o comportamento do coeficiente de desgaste (k) para todos os contra-corpos testados, com exceção do contra-corpo de polipropileno, ou seja, a rugosidade R_a tem uma relação direta com o coeficiente de desgaste (k): quando o coeficiente k diminui, a rugosidade R_a diminui. O polipropileno apresenta um comportamento inverso entre a rugosidade R_a e o coeficiente de desgaste (k): quando a rugosidade R_a aumenta o coeficiente diminui. Estes resultados estão sintetizados ou resumidos na Fig. 5, sendo este um mapeamento da rugosidade e o coeficiente de desgaste para diferentes tipos de materiais. Para os materiais testados, observa-se que todos têm tendência linear de aumentar o coeficiente de desgaste com o aumento da rugosidade, ou seja, a rugosidade R_a do contra-corpo tem uma relação diretamente proporcional com o coeficiente de desgaste (k), com exceção do polipropileno, que apresentou uma relação indireta (o coeficiente k tem a tendência de diminuir com o aumento de R_a). Pelo R_a do contra-corpo apresentar uma relação linear com k , pode-se organizar os materiais do contra-corpo, de quem apresenta uma maior relação diretamente proporcional com o k para quem apresenta uma menor relação ou uma relação inversamente proporcional, sendo esta ordem:

Nitreto de Silício > Aço 52100 > Poliacetal > Poliamida 6,6 > Polipropileno

Esta ordem coincide com uma ordem de maior para menor dureza, do qual se pode pensar que o R_a do contra-corpo tem uma relação direta com coeficiente de desgaste k e que esta relação pode ser influenciada na sua intensidade pela dureza do contra-corpo.

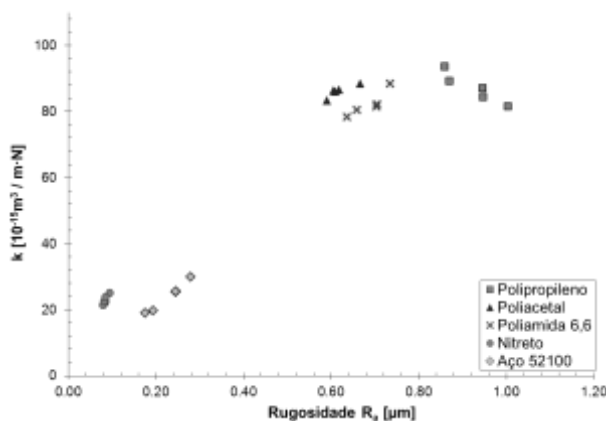


Figura 5. Influência da rugosidade R_a do contra-corpo no coeficiente de desgaste (k) na micro-abrasão de um aço inoxidável 304, para diferentes materiais de contra-corpo.

Tentando observar se existe mudança de mecanismos de desgaste ao testar o aço inoxidável 304 com diferentes tipos de contra-corpo, e se tem alguma relação com a rugosidade superficial deste, fizeram-se microscopias óticas ao longo das calotas (Fig. 6). Observou-se que o deslizamento de partículas é o mecanismo de desgaste predominante nas calotas feitas com diferentes contra-corpos, mas que a calota usando contra-corpo de polipropileno aparenta ter uma diferença de severidade quando é comparada com as calotas feitas com os outros contra-corpos.

Estudos em curso tentam explicar o porquê da relação da rugosidade do contra-corpo e a taxa de desgaste do corpo como foi apresentado neste trabalho. Além de tentar entender como os mecanismos de desgaste influenciam esta relação e se tem que ver com o material do contra-corpo.

4. CONCLUSÃO

Foi evidenciado uma correlação entre a rugosidade superficial do contra-corpo e a taxa de desgaste do corpo de prova. Esta correlação indica que a maiores taxas de desgaste do corpo de prova existe uma maior rugosidade superficial do contra-corpo. A severidade da degradação pode ser influenciada pela dureza do contra-corpo, sendo que, a variação da taxa de desgaste no corpo de prova será maior com menor variação da rugosidade do contra-corpo.

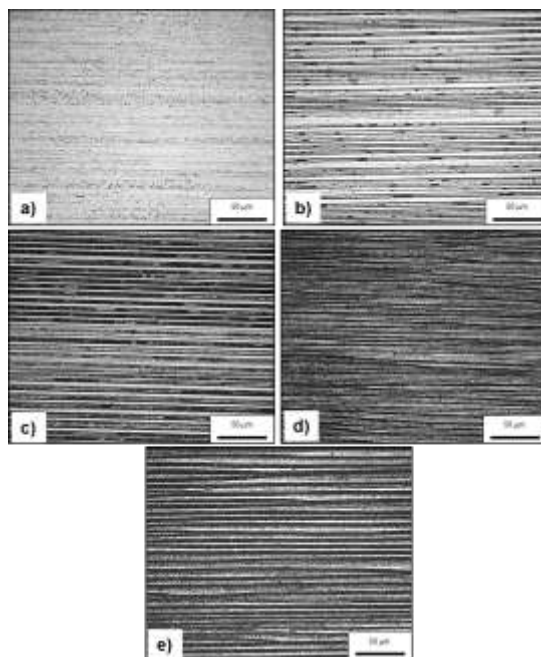


Figura 7. Microscopias óticas do centro das calotas em aço inoxidável 304 feitas por o ensaio de micro-abrasão com solução abrasiva de 10% de Sílica em água destilada e contra-corpos de:
a) polipropileno, b) poliacetal, c) poliamida 6,6, d) nitreto, e) aço.

5. REFERÊNCIAS

- Costa, H.L., Ardila, M.A.N., Labiapari, W.S., Silva, W.M., De Mello, J.D.B.; Effect of surface topography on the dynamics of the abrasive particles during micro-abrasion. *Wear*, 2015, v. 324–325, p. 129–139.
- Santos, M.B., Ardila, M.A.N., Labiapari, W.S., Silva, W.M., De Mello, J.D.B.; Abrasion–corrosion: New insights from force measurements. *Wear*, 2015, v. 332-333, 91206-12014.
- Stack, M.M., Jawan, H., Mathew, M.T.; On the construction of microabrasion maps for a steel/polymer couple in corrosive environments. *Tribology International*, 2005, v. 38, p848-856.
- Trezona, R. I.; Allsopp, D.N.; Hutchings, I. M. Transitions between two-body abrasive wear: influence of test conditions in the microscale abrasive wear test. *Wear*, 1999, v. 225-229, p. 205-214.
- Zum Gahr, K.-H.; *Microstructure and Wear of Material*. Institute of Materials Technology. University of Siegen - Germany, Elsevier. 1987. 560p.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao LTM (Laboratório de Tribologia e Materiais), para a CAPES, FAPEMIG e CNPQ pelo apoio financeiro, e APERAM pelo fornecimento do material das amosras.

7. ABSTRACT

This study evaluates the influence of the roughness of the counter body in the wear rate and dynamic of abrasive particles in abrasion. Microabrasion tests were made at intervals of 15 minutes to complete 90 minutes in a 304 stainless steel for five types of counter-body (three polymers being they polypropylene, polyacetal and polyamide 66, a ceramic ball of silicon nitride and steel 52100 bearing), silica was used in a concentration of 10% by weight in distilled water. To monitor the progress of the roughness of the counter body made up laser interferometry, and was assured that in all intervals the counter body followed the same abrasive handling track and / or wear. After testing a modification of the surface roughness of the counter body was observed, this roughness accompanied the variations of body wear rate tested. It was concluded that there is a correlation between the surface roughness of the counter body and the wear rate of the specimen.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é (são) os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.