

ANÁLISE TRIBOLÓGICA DO DESLIZAMENTO DE UM PINO DE METAL DURO CONTRA UMA LIGA DE ALUMÍNIO EN AW-ALMg1-500

M.L. Silveira^a,

B.C.M. Reis^a,

R.L.M. Pinto^a,

D.V. dos Santos^b,

N.F.S. Pereira^a

^a Universidade Federal de Minas Gerais –
Brazil

^b Centro Universitário Una –
Brazil

Contact Information
michelesilveira1991@gmail.com
babi_mreis@hotmail.com
rafaelucas@gmail.com
deibe.santos@una.prof.br
natsantos23@gmail.com

"Trabalho apresentando no XXI Colóquio de Usinagem realizado em Ouro Preto de 27 a 29 de Setembro de 2017"

RESUMO

A tribologia permite estudar a interação entre superfícies em contato com movimento relativo, de modo que se pode prever o comportamento dos materiais quando submetidos a determinados processos de fabricação, como a usinagem. Nesse sentido, este estudo buscou identificar os mecanismos de desgaste decorridos da interação dos pares tribológicos pino de metal duro microgrão contra uma placa de alumínio por meio do ensaio pino sobre disco. As análises foram realizadas qualitativamente e avaliadas por um microscópio eletrônico de varredura (MEV). Buscou-se submeter pinos de metal duro sem revestimento em um contato de deslizamento contra a placa de alumínio EN AW-ALMg1-5005. Esta liga de alumínio pode ser encontrada em materiais sanduíche, combinadas, por exemplo, com o polietileno, sendo esse material aplicado nas indústrias civil, aeronáutica e automobilística. Os testes foram realizados no tribômetro modelo Microtest SMT-A/0100, utilizando pino de metal duro com as velocidades de 24, 48 e 72 m/min, e carga normal de 3N aplicada sobre a placa de alumínio. A partir das imagens geradas no MEV e na análise de espectroscopia de energia dispersiva (EDS), foi observado que o mecanismo de desgaste predominante para diferentes velocidades de deslizamento foi de adesão. Para maiores valores de velocidade, o desgaste foi mais pronunciado, fato esse observado pela maior largura das pistas desgastadas.

Palavras-chave: tribologia, usinagem, adesão, alumínio, metal duro.

NOMENCLATURA

Lista de símbolos, abreviaturas e siglas

Al	Alumínio
EDS	espectroscopia de energia dispersiva
HV	Hardness Vickers
MEV	microscópio eletrônico de varredura
Mg	Magnésio
N	Newton
Rpm	rotações por minuto

INTRODUÇÃO

O movimento entre superfícies sólidas é de fundamental importância para o funcionamento de diversos mecanismos, por exemplo em engrenagens, motores, deslizamento de materiais uns sobre os outros com ou sem lubrificação, operações de fabricação que envolvem contato entre ferramenta e material de trabalho, dentre outras situações. A

tribologia foi definida pelo estudo de JOST (1966) [1] em um relatório (para o comitê do departamento inglês de educação e ciência) como “ciência e tecnologia das superfícies interagindo em movimento relativo e das práticas de assuntos associados”. O estudo dos fenômenos que ocorrem durante esse contato tribológico é complexo visto que as interações nele são irreversíveis, sistêmicas e evoluem com o tempo.

Durante o contato tribológico, há alteração nas condições iniciais que modificam as características das superfícies de contato e contribuem para uma possível formação de uma tribocamada na superfície, tornando a modelagem complexa [2]. Sendo assim, uma forma de avaliar os fenômenos desse processo é por meio do estudo das principais respostas do sistema tribológico, que são o atrito e o desgaste.

A tribologia desempenha um papel importante na discussão do comportamento de pares tribológicos quando envolve materiais com ou sem revestimento, influenciados pela velocidade de deslizamento, variação de cargas, alteração da camada superficial

de materiais e outros parâmetros. Nesse sentido, sabe-se que o atrito entre o cavaco e a ferramenta apresenta influência no processo de usinagem em relação à força de corte, qualidade da superfície usinada, rebarbas e nos mecanismos de desgaste das ferramentas.

Nesse intuito, o objetivo desse estudo foi avaliar os possíveis mecanismos de desgaste para o par tribológico pino de metal duro sobre a placa de alumínio (EN AW- AlMg1-5005), considerando diferentes velocidades de deslizamento, em um ambiente a seco sob uma constante carga aplicada segundo a norma ASTM G99-05. As análises foram fundamentadas em conceitos técnicos, imagens e caracterização química geradas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS), respectivamente.

MATERIAIS E MÉTODOS

O tribômetro utilizado para o ensaio do pino sobre o disco foi o modelo Microtest SMT-A/0100, sendo que os procedimentos experimentais foram conduzidos conforme a norma ASTM G99-05 (2010) [3]. Aplicou-se uma carga normal constante de 3N e diferentes velocidades de deslizamento sendo de 24, 48 e 72 m/min.

No experimento, foi utilizado um pino de metal duro de 6 mm de diâmetro sem revestimento. O ensaio foi realizado em uma placa de alumínio, classe (EN AW-AlMg1-5005). Esta placa consiste de um material sanduíche, que apresenta uma lâmina superior de 0,5 mm de alumínio, uma camada de polietileno de 2 mm de espessura e uma lâmina inferior de 0,5 mm. A Figura 1(a) detalha a placa de alumínio e a Figura 1(b) ilustra a montagem do ensaio tribológico do pino de metal duro sobre a placa de alumínio.

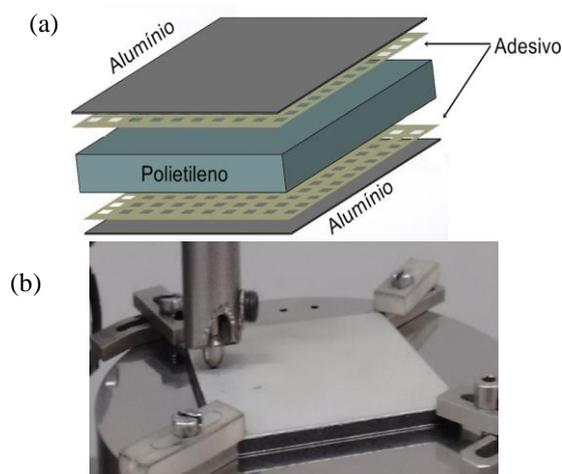


Figura 1. (a) Material sanduíche de alumínio e polietileno e (b) Pino de metal duro em contato com a placa de alumínio.

Para aquisição de imagens foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura (MEV) Quanta 3D. O MEV é um tipo de microscópio eletrônico capaz de produzir imagens de alta resolução da superfície da amostra e as imagens fornecidas possuem um caráter virtual, pois a visualização no monitor do aparelho é a transcodificação da energia emitida pelos elétrons, ao contrário da radiação de luz comum [4]. A espectroscopia de energia dispersiva (EDS) utilizada nessa pesquisa retrata a caracterização microscópica dos materiais por meio da análise dos elementos químicos, presente na amostra estudada. Durante a captura das imagens, foram realizadas as medições nas superfícies de desgaste do topo dos pinos, a fim de identificar a influência da velocidade sobre o tamanho do desgaste.

A Tabela 1 representa os parâmetros aplicados no experimento. As variáveis de entrada utilizadas foram: velocidade periférica (m/min), onde optou-se por utilizar três níveis distintos; velocidade angular (rpm) em um nível constante para todos os ensaios; o diâmetro de rotação (mm), em que foram utilizados três diferentes níveis, e carga normal (N), em apenas um nível.

Tabela 1. Parâmetros utilizados no experimento.

Carga Aplicada (N)	Diâmetro de rotação (mm)	Rotações por minuto	Velocidade periférica (m/min)
3	53	432	72
3	35	432	48
3	17,6	432	24

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 são apresentadas as fotografias obtidas pelo MEV dos pinos de metal duro após ensaio tribológico para diferentes velocidades periféricas. Observa-se no topo dos pinos que para maiores velocidades de deslizamento ocorreu maior desgaste. Por meio da análise do EDS dos pinos representada na Fig. 3, observa-se a presença dos elementos do metal duro como W e Co e também do Al. Nesse sentido, a presença do elemento Al na região de desgaste do pino elucida adesão de material proveniente da placa, na região da superfície do pino de metal duro. Essa situação pode ser justificada pela dureza do metal duro (2100 HV) que, de acordo com Machado *et al.* (2011) [5], apresenta uma dureza superior em relação a dureza do alumínio (160-200 HV) conforme citado por (ASTAKHOV, 2014) [6].

Em relação ao efeito da velocidade de deslizamento sobre o desgaste, Hutchings (1992) [7] correlacionou os mecanismos de remoção de material, que dependem das condições de carga normal, da velocidade e da temperatura. A velocidade de deslizamento determina uma relativa importância para a temperatura. Em baixas velocidades, a

condução de calor para fora da interface é rápida e a temperatura de interface permanece baixa; porém, para altas velocidades, a temperatura na interface é alta, levando a uma interação química das superfícies, causando o crescimento de filmes óxidos e reduzindo assim a resistência mecânica das asperezas próximas à superfície do material.

Baseado nas afirmações de Hutchings (1992) [7], o comportamento do desgaste do par tribológico pino de metal duro deslizando contra a placa de alumínio foi influenciado pelo efeito da temperatura. Na velocidade de deslizamento de 24 m/min, a condução do calor para fora da interface foi rápida e a temperatura de interface permaneceu baixa e não influenciou na resistência mecânica das asperezas da superfície do material, contribuindo para menores desgastes. Porém quando aumentou a velocidade de deslizamento para 48 e 72 m/min, um aumento da temperatura contribuiu para reduzir a resistência mecânica das asperezas da superfície do material, contribuindo assim para maiores desgastes. Nessas velocidades de 48 e 72 m/min, acredita-se que não houve tempo suficiente para a formação dos filmes de óxidos, que contribuiu para maiores desgastes dos pinos.

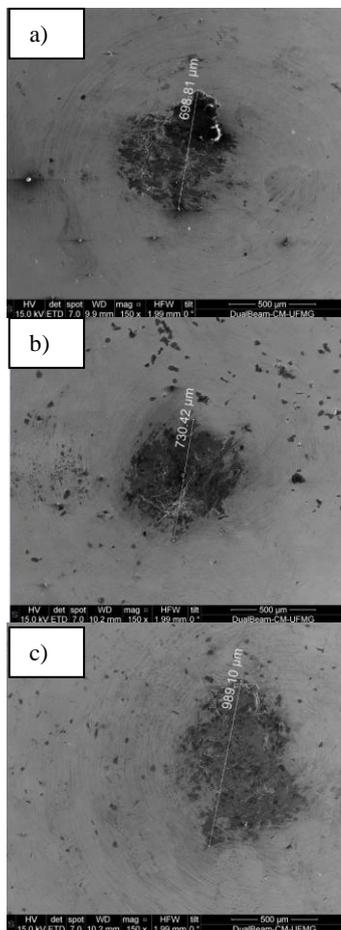


Figura 3. Desgaste no pino de metal duro de acordo com as velocidades de deslizamento sendo: a) $v=24$ m/min b) $v=48$ m/min c) $v=72$ m/min

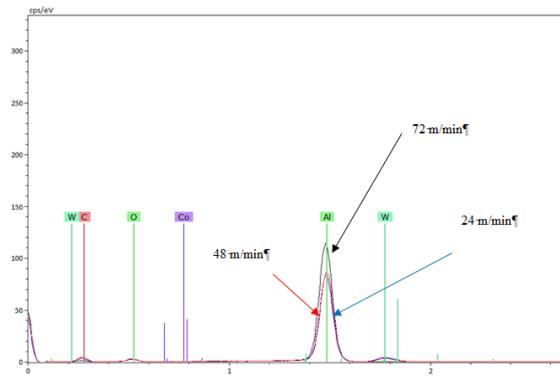


Figura 3. Análise do EDS nos pinos

Na Figura 4 são apresentadas as fotografias obtidas pelo MEV das pistas desgastadas após ensaio tribológico para diferentes velocidades de deslizamento. Observa-se o mesmo comportamento verificado para os pinos. Para maiores velocidades de deslizamento, nota-se que houve maiores larguras, apresentando maiores desgastes. Esta situação foi semelhante à ocorrida com os pinos, ou seja, o aumento de velocidade de deslizamento não propiciou tempo suficiente para formação de óxidos e o contato foi mais severo, ocorrendo maior desgaste nas pistas.

Outra questão observada nas pistas desgastadas seria o fenômeno denominado *pile up* (acúmulo de material ao redor da impressão residual). O *pile up* pode ser visualizado nas bordas das pistas, caracterizando uma deformação plástica, gerada pelo deslocamento do pino. Fato esse justificado pelas características do alumínio que apresenta uma alta ductilidade.

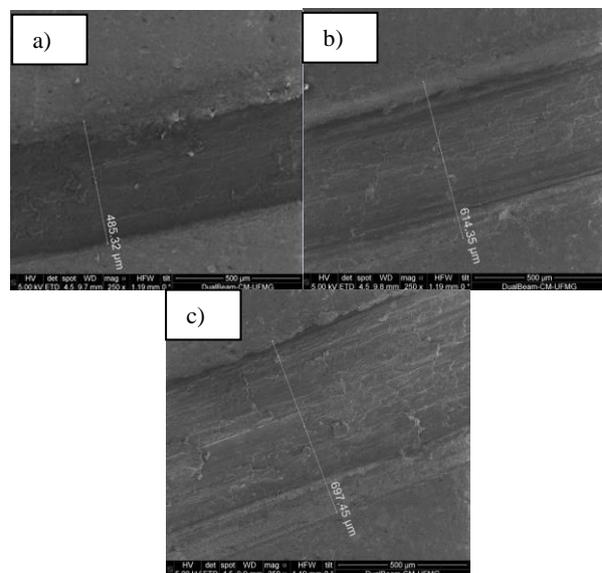


Figura 4. Imagem das pistas desgastadas para as velocidades de deslizamento sendo a) $v=24$ m/min b) $v=48$ m/min c) $v=72$ m/min.

CONCLUSÕES

Os testes tribológicos permitiram uma avaliação do mecanismo de desgaste dos pares metal duro deslizando contra a placa de alumínio EN AW- AlMgl-5005.

A ductilidade do alumínio exerceu grande influência para ocorrência do desgaste de adesão, além do efeito da temperatura sobre a velocidade de deslizamento. Para maiores velocidades, o desgaste foi maior, fato esse verificado pelas maiores larguras das pistas e maiores desgastes do topo dos pinos. O aumento da velocidade causa aumento da temperatura que reduz a resistência das asperezas da superfície do material que contribui para o aumento do desgaste. Por outro lado, as menores velocidades indicaram desgaste mais suave, fato esse verificado pelas menores larguras das pistas desgastadas.

As imagens coletadas no MEV e a análise do EDS dos pinos permitiram avaliar o mecanismo de desgaste presente para esse ensaio tribológico, sendo predominante o desgaste de adesão.

AGRADECIMENTOS

Os autores dessa pesquisa agradecem a assistência dos departamentos de Engenharia Mecânica e Engenharia Metalúrgica da Universidade Federal de Minas Gerais, pela disponibilização dos Laboratórios de Automação e Usinagem, bem como do Laboratório de Revestimentos Tribológicos, para realização dos testes. Agradecem também ao Centro de Microscopia da UFMG, pela disponibilização do Microscópio eletrônico de varredura.

REFERÊNCIAS

1. Jost, H. P. "Lubrication (Tribology) Education and Research - A Report on the Present Position and Industry's Needs". Departamento de Educação e Ciência. Londres, p.79. 1966.
2. Dos Santos, M. B.; Costa, H. L.; De Mello, J. D. B. "Potentiality of triboscopy to monitor friction and wear." *Wear*, v. 332-333, p. 1134-1144, 2015. ISSN 0043-1648.
3. ASTM G99-05, 2010 Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus.
4. Degeo Ufop. "Microscópio Eletrônico de Varredura". Disponível em: <http://www.degeo.ufop.br/laboratorios/microlab/mev>.
5. Machado, A. R.; Abrão, A. M.; Coelho, R.; T.; Silva, M. B. "Teoria da Usinagem dos Materiais". 2 ed. São Paulo: Blucher, 2011.
6. Astakhov, V.P. "Drills: Science and Technology of Advanced Operations", CRC Press: Taylor & Francis Group, NW, 2014.
7. Hutchings, I, M., 1992. "Tribology: friction and wear of engineering materials. CRC Press.