



CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

CARACTERIZAÇÃO DO MECANISMO DE DESGASTE PREDOMINANTE DURANTE O DESLIZAMENTO DE AÇO RÁPIDO AISI M2 CONTRA LIGA DE ALUMÍNIO EN AW- AlkoMg1-5005

Michele Lisboa Silveira, michelesilveira1991@gmail.com¹

Deibe Valgas dos Santos, deibe.santos@una.prof.br¹

Marcelo Araújo Câmara, marcelocamara@demec.ufmg.br¹

Alexandre Mendes Abrão, brao@demec.ufmg.br¹

Paulo Eustáquio de Faria, paulofaria@ufmg.br¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte MG, CEP 31270-901

Resumo: A Tribologia estuda o atrito, desgaste e lubrificação entre superfícies em contato com movimento relativo. Sua importância é identificada em áreas distintas, como biologia, geologia, engenharia, entre outras. O movimento entre superfícies é de fundamental importância para o funcionamento de muitos mecanismos, e oferece aplicações na área da engenharia mecânica, já que pode prever o comportamento de materiais em processos de fabricação, como a usinagem. O presente trabalho busca identificar o mecanismo de desgaste predominante entre aço rápido AISI M2 (63 HRC) e liga de alumínio EN AW-ALMg1-5005 quando submetidos a condições de atrito em ensaio de pino sobre disco. Foi realizado o contato entre um pino de aço rápido AISI M2 sem revestimento contra uma placa de liga alumínio EN AW-ALMg1-5005 presente em um compósito de alumínio e polietileno, aplicado em revestimentos de fachadas, túneis e revitalização de edifícios. A avaliação dos mecanismos de desgaste em diferentes materiais permite prever o comportamento dos mesmos quando submetidos a processos de fabricação por usinagem, tal como condições de furação envolvendo brocas de aço rápido e placas de materiais compósitos. Os testes foram realizados no Tribômetro modelo Microtest, SMT-A/0100, utilizando pinos de aço rápido AISI M2 com velocidades periféricas de 24, 48 e 72 m/min, e carga normal de 3N. Utilizou-se o software Nanovea Tribometers, que permitiu a identificação de dados passíveis de interpretações e para aquisição de imagens utilizou-se uma Lupa Microscópica de Fotografia Digital. Após 100 metros percorridos para cada velocidade 24, 48 e 72 m/min identificou-se os valores para o coeficiente de atrito, 1,05, 0,81 e 0,67 respectivamente para cada velocidade. Portanto para menores valores de velocidade de deslizamento, o coeficiente de atrito mostrou maiores valores. A partir das imagens geradas foi observado o mecanismo de desgaste predominante, a adesão.

Palavras-chave: Tribologia, desgaste, adesão, atrito

1. INTRODUÇÃO

O movimento de uma superfície sólida sobre outra é de fundamental importância para o funcionamento de diversos mecanismos. Faz-se necessário diante de aspectos inovadores e tecnológicos, que os materiais ofereçam durabilidade, resistência e leveza.

A tribologia engloba o estudo do atrito, desgaste e lubrificação e é definida como a ciência e tecnologia da interação entre superfícies em movimento relativo e as respectivas práticas que envolvem o processo (GAHR, 1987). De acordo com Hutchings (1992), o atrito é entendido como a resistência encontrada por um corpo ao se movimentar contra outro corpo. Sob determinadas condições de deslizamento, o coeficiente de atrito μ dado para um par de materiais sob condições fixas, com ou sem lubrificação é constante.

O atrito está intimamente relacionado à adesão e desgaste, requerendo um entendimento de processos altamente fora do equilíbrio a nível molecular (KRIM; WIDOM, 1988). Superfícies podem ser lisas ou rugosas, duras ou macias, elásticas, viscoelásticas ou plásticas, quebradiças ou dúcteis e de diferentes tipos de elementos.

A avaliação dos mecanismos de desgaste permite prever o comportamento de materiais quando submetidos a processos de fabricação por usinagem, tal como a operação de furação envolvendo brocas de aço rápido em placas de materiais compósitos.

O atrito entre duas superfícies pode sofrer influência de diversos fatores, tais como interações ambientais, condições do experimento, tipos de materiais que são colocados em atrito uns contra os outros, propriedades físicas e químicas, entre outras características que possam afetar um experimento. Esta pesquisa tem como objetivo realizar um ensaio de atrito utilizando uma ferramenta de aço rápido AISI M2 (63 HRC) em condições de deslizamento sobre uma placa de alumínio (EN AW-1050A), encontrada em um compósito de alumínio e polietileno.

2. CONSIDERAÇÕES SOBRE ATRITO E TRIBOLOGIA

De acordo com as leis do atrito, estabeleceu-se que a força atrito é proporcional a uma carga normal, conforme Eq. (1), e que a força de atrito independe da área de contato aparente. A terceira lei do atrito por sua vez, define que a força de atrito independe da velocidade de deslizamento (HUTCHINGS, 1992):

$$F_{at} = \mu * w \quad (1)$$

Sendo que:

F_{at} = força de atrito (N),

μ = coeficiente de atrito,

w = carga normal (N).

É amplamente aceito que o fenômeno atrito é resultado de interações complexas de contato entre corpos que incluem os efeitos das asperezas da superfície, deformação plástica de um material mais mole por asperezas de outra superfície dura ou partículas de desgaste e interações moleculares levando a uma adesão nos pontos de contato íntimo.

Fatores como as propriedades mecânicas e físico-químicas dos materiais em contato, topografia da superfície e ambiente, determinam a importância relativa de cada um dos componentes no processo de atrito (STOLARSKI, 2000).

O modelo proposto por Bowden e Tabor (1964) para atrito e deslizamento assume que a força de atrito surge a partir de duas fontes: uma força de adesão desenvolvida nas áreas de contato real entre as superfícies (contato na junção das asperezas) e uma força de deformação necessária para retirar as asperezas da superfície mais dura para a mais macia.

A força de atrito deve levar em consideração tanto a força de adesão quanto a força de deformação (Hutchings, 1992). De acordo com Machado et al. (2015), a adesão ocorre, geralmente, a baixas velocidades de corte, nas quais o fluxo de material sobre a superfície de saída da ferramenta torna-se irregular. A aresta postiça de corte pode aparecer, e na sua presença o processo tem natureza menos contínua, principalmente se ela for instável. Sob tais condições, fragmentos microscópicos são arrancados da superfície da ferramenta e arrastados junto ao fluxo de material adjacente à interface.

De acordo com Bayer (1994), o desgaste é um fenômeno de superfície, e existem inúmeras propriedades ou características das superfícies que podem afetar tanto o comportamento como as transições devidas ao desgaste. Entre tais, tem-se as características geométricas (forma geral dos corpos e forma e distribuição das asperezas), propriedades mecânicas (módulo elástico, dureza e parâmetros de fadiga), características físicas (encruamento, difusão e parâmetros de rede) e características químicas (composição e polaridade da superfície). O desgaste é influenciado por esses fatores e também pode influenciar os mesmos, ou seja, eles são dependentes entre si. Uma situação de desgaste estável seria aquela em que os parâmetros de superfície não mudariam em função do desgaste.

A falha de um componente ou estrutura, segundo Gahr (1987), pode ocorrer por meio de 4 mecanismos básicos, ou em alguns casos pela interação de dois ou mais desses mecanismos em conjunto, sendo que os demais têm efeitos secundários. São eles a deformação plástica, formação e propagação de trincas, corrosão e desgaste.

3. INTERAÇÃO ENTRE COMPÓSITOS SANDUÍCHE E AÇO RÁPIDO (HSS)

O compósito que será utilizado é conhecido na literatura como compósito sanduíche. De acordo com Callister (2008), os painéis sanduíche são considerados uma classe de compósitos estruturais projetados para serem vigas ou painéis de baixo peso, com rigidez e resistência elevadas.

Um painel sanduíche consiste em duas lâminas externas, ou faces, que são separadas e unidas por adesivo a um núcleo mais espesso. O material compósito da pesquisa, uma placa de alumínio e polietileno, é utilizado em diversas aplicações como revestimentos de fachadas, revitalização de edifícios, coberturas e marquises, varandas, revestimentos de túneis, entre outros.

A ferramenta utilizada para estudar o atrito na placa de alumínio e polietileno, é uma barra de aço rápido. O aço rápido, do inglês “high-speed steel” (HSS) é um dos diversos materiais de que se pode fazer uso para a obtenção de ferramentas de usinagem. Tem sua origem nos trabalhos pioneiros de Fred W. Taylor e White, no fim do século XIX,

com o desenvolvimento do que seria um protótipo dos modernos aços rápidos existentes. (LEATHAM; LAWLAY, 1993)

Os materiais de aço rápido são compostos de elementos básicos de liga como tungstênio, cromo, vanádio, molibdênio e cobalto. Suas principais características são a tenacidade, ou seja, resistência a impactos, alta resistência a abrasão em relação ao aço ferramenta, e elevada dureza a quente. Trabalham sob temperaturas limites de 520 a 600°C, mantendo a resistência mecânica. (MACHADO et al., 2015)

Zhang et al. (2001), em seu trabalho de furação de ligas de alumínio utilizando brocas de aço rápido, previu que aconteceria um desgaste de flanco na ferramenta HSS, esquematicamente representado pela Figura 3.1.

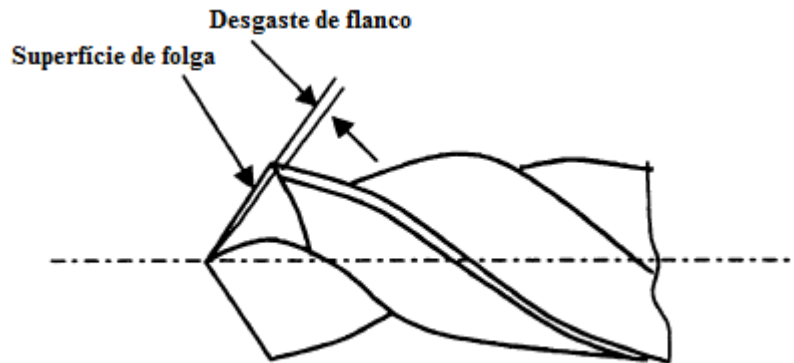


Figura 3.1. Medição de desgaste de flanco em brocas de aço rápido segundo ZHANG et al. (2001).

O autor identificou a presença de alguns tipos de desgaste da ferramenta de aço rápido tais como: adesão, deformação plástica, sulcamento, delaminação, transferência de material e reação de difusão. Mecanismos de desgaste também foram observados, tais como desgaste adesivo, desgaste adesivo e abrasivo, desgaste abrasivo, fluxo plástico severo e desgaste térmico. A Figura 3.2 mostra os mecanismos de desgaste de flanco para uma broca de aço rápido na furação de liga de alumínio. As regiões A, B, C, D e E indicam diferentes tipos de desgaste.

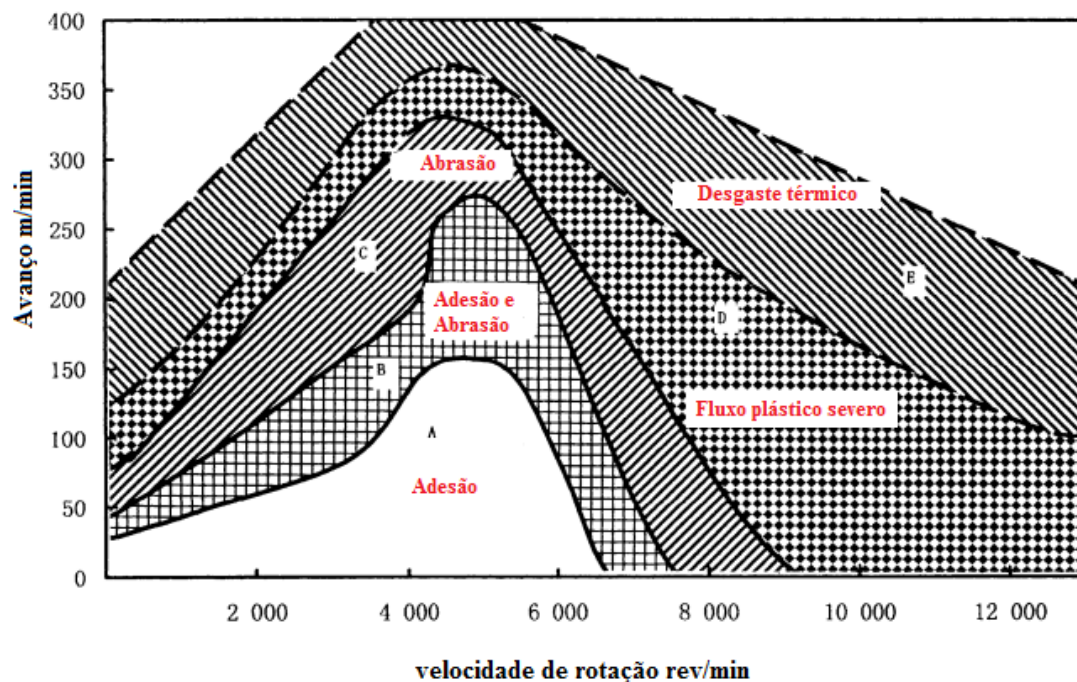


Figura 3.2. Mapas de mecanismos de desgaste de flanco de ferramentas de corte HSS, segundo ZHANG et al. (2001).

Um exame mais detalhado dos mecanismos de desgaste sugerem que eles podem ser agrupados em duas classes: deformação plástica controlada (sulcamento, adesão e deformação plástica) e da temperatura controlada (transferência de material, difusão, fluxo plástico severo, erosão) (PETERSON, 1980).

A deformação plástica controlada inclui as regiões A, B, e C, com diferentes taxas de desgaste, predominando desgaste de adesão, adesão e abrasão, e desgaste abrasivo. Os regimes de temperatura controlada incluem as regiões D e

E. Predominam nestes casos o fluxo plástico severo e desgaste térmico. O mapa de desgaste permite obter uma referência para a escolha de parâmetros de furação adequadas para ferramentas de HSS usinando ligas de alumínio.

De acordo com Kalin e Jerine (2015), a adesão, e particularmente a transferência de ligas de alumínio para a superfície de apoio de uma matriz, são as duas principais razões para a falha da ferramenta e a má qualidade da superfície de alguns produtos, principalmente sob altas temperaturas.

Observa-se uma forte adesão e a transferência de ligas de alumínio, principalmente em processos de extrusão, quando os materiais estão em contato deslizante por um longo período de tempo (BAUSER, et al., 2006).

4. MATERIAIS E METODOLOGIA

O Tribômetro utilizado para o ensaio de pino pressionado de encontro à superfície de um disco plano foi o modelo Microtest, SMT-A/0100 conforme Fig 4.1. Os procedimentos experimentais realizados no Tribômetro seguiram a norma ASTM G99-05 (2010). Para aquisição dos gráficos sobre a relação entre coeficiente de atrito e número de revoluções, utilizou-se o software Nanovea Tribometers.

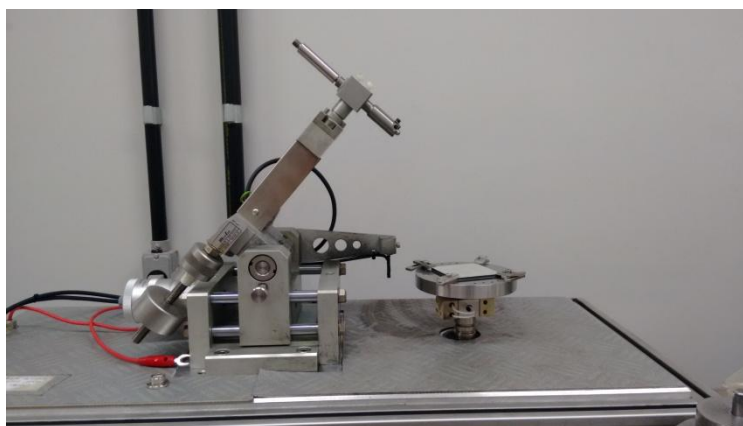


Figura 4.1. Tribômetro modelo Microtest, SMT-A/0100.

No experimento foi utilizado um pino cilíndrico de topo esférico de aço rápido AISI M2 (63 HRC) de 6 mm de diâmetro e uma placa de alumínio da classe (EN AW-ALMg1-5005). Esta placa consiste em 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 4.2 ilustra o contato do pino de HSS sobre a placa de alumínio.

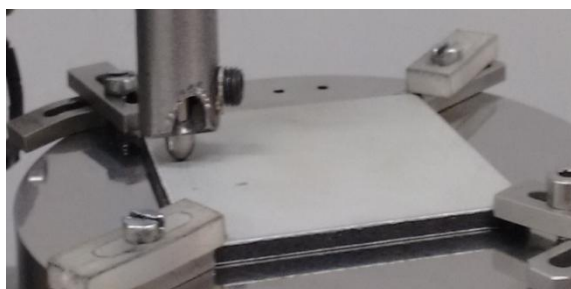


Figura 4.2. Pino de HSS em contato com a placa de alumínio.

As Tabelas 4.1 e 4.2 apresentam a composição química da placa de alumínio e do aço rápido AISI M2 que foi utilizado no experimento de acordo com a norma DIN EN 573-3.

Tabela 4.1. Composição química da placa de alumínio utilizado nos ensaios.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
0,30	0,70	0,20	0,20	0,50-1,10	0,10	-	0,25

Tabela 4.2. Composição química do aço rápido AISI M2

C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V
0,90	0,30	0,30	4,2	6,20	5,00	1,9

Para aquisição de imagens foi utilizada uma Lupa Microscópica Fotografia Digital USB 25~500X 5W c/ 8 LED Luz Branca, modelo S02, conforme a Fig. 4.3.



Figura 4.3. Lupa Microscópica Fotografia Digital.

A Tabela 4.3 apresenta os parâmetros experimentais que foram três níveis de velocidades, rotação constante e um nível de carga normal utilizada no tribômetro.

Tabela 4.3. 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

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a carga e velocidades previamente definidas, a Tab. 5.1 descreve o tempo e distância em que foi realizado o contato pino sobre disco, bem como os valores médios para força de atrito (F_{at}) e coeficiente de atrito (μ) identificados.

Tabela 5.1. Parâmetros e resultados obtidos nos ensaios.

Carga Aplicada (N)	Velocidade (m/min)	Tempo (min)	Distancia Percorrida (m)	F_{at} média	μ médio
3	72	2,35	146,35	2,01	0,67
3	48	2,63	125,19	2,45	0,81
3	24	4,96	118,55	3,15	1,05

De acordo com a Tabela 5.1, observou-se que para menores velocidades, o coeficiente de atrito foi maior. Entretanto, comparando a) e b) no Gráfico 5.1, tem-se que o coeficiente de atrito se estabiliza com valores maiores em a), o que possivelmente está relacionado ao aumento de temperatura para maiores velocidades, possibilitando a quebra de óxidos e uma interação metal-metal. Por outro lado, no Gráfico 5.1 b), a estabilização do coeficiente de atrito com menor valor pode ser explicada devido ao tempo maior para formação de óxidos em uma velocidade menor, evitando o contato metal-metal.

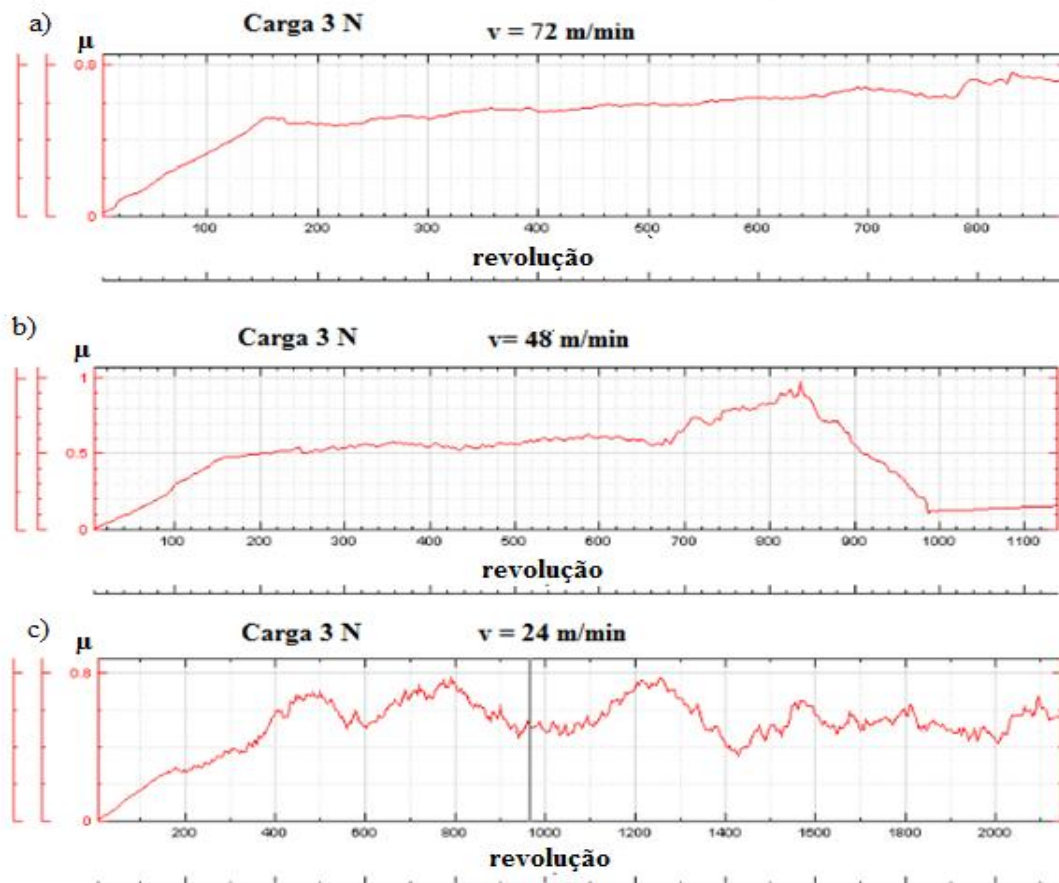


Gráfico 5.1. Comportamento do coeficiente de atrito para os níveis de velocidades.

A Figura 5.1 evidencia adesão entre a placa de alumínio e a barra de aço rápido, o que pode ser explicado pela ductilidade do alumínio. A maior adesão observada na Fig. 5.1 c) pode estar relacionada ao maior tempo de contato entre o pino e placa, já que o deslizamento foi feito com uma velocidade menor. O fato da peça ser submetida a um tempo maior em um processo de atrito, induziu maior desgaste por adesão.

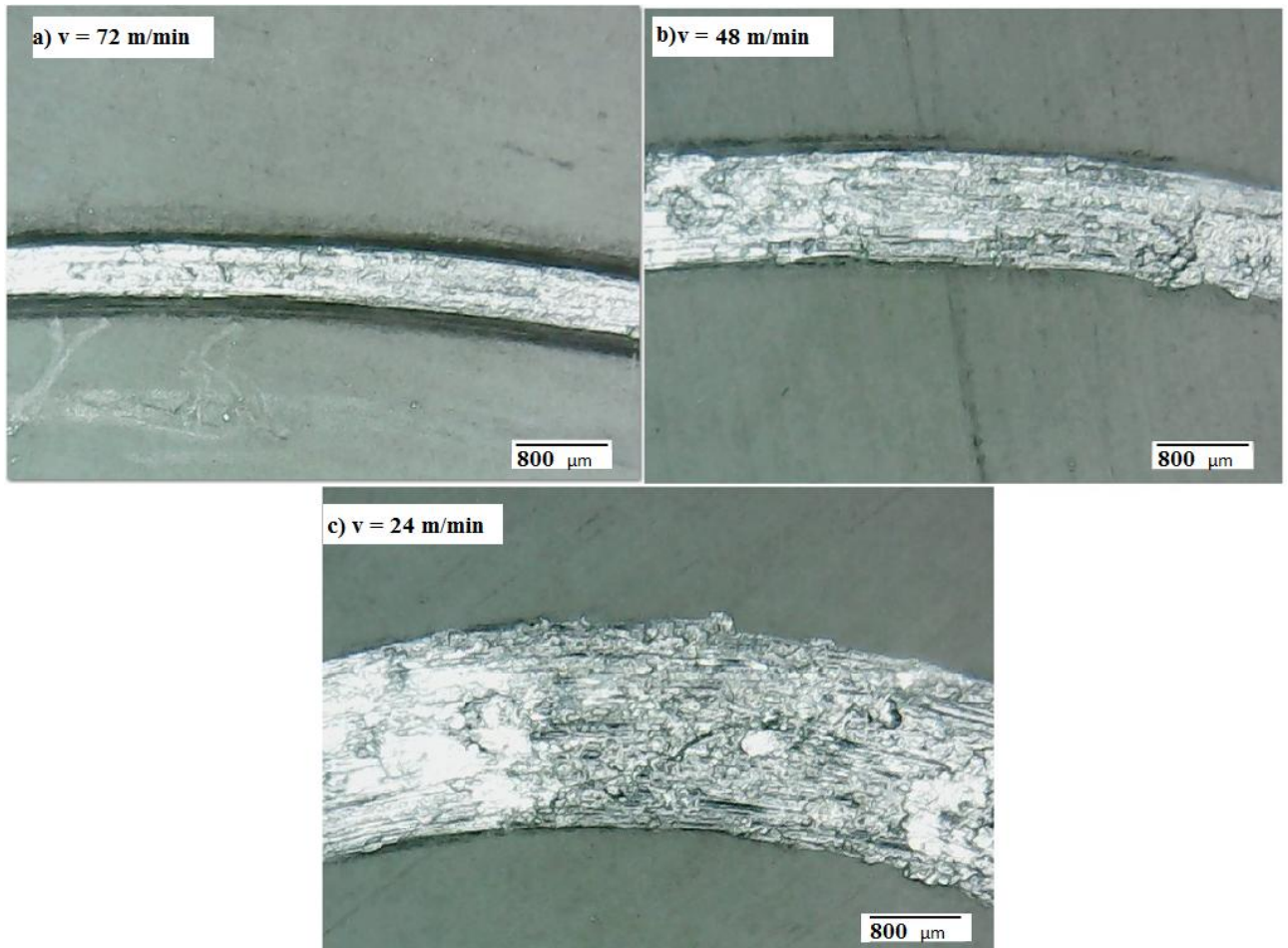


Figura 5.1. Desgaste no alumínio para as velocidades de deslizamento a) 72 m/min b) 48 m/min e c) 24 m/min

Com relação ao pino de HSS, na Fig. 5.2 observou-se desgastes acentuados sob velocidades baixas. Esse processo também pode ser explicado por um desgaste de adesão, já que o alumínio, devido a sua ductilidade aderiu-se facilmente ao pino de HSS. Possivelmente podemos associar maior adesão sob menores velocidades à Aresta Postiça de Corte, que também ocorre sob baixas velocidades de corte, no caso da usinagem. De acordo com Machado et al. (2015), na interface, a primeira camada do material que se une à ferramenta por meio de ligações atômicas é endurecida a frio, aumentando assim, seu limite de escoamento e, por conseguinte, a tensão de cisalhamento torna-se insuficiente para romper essas ligações. As deformações, então, continuam nas camadas superiores adjacentes, mais afastadas da interface, até que estejam encruadas o suficiente.

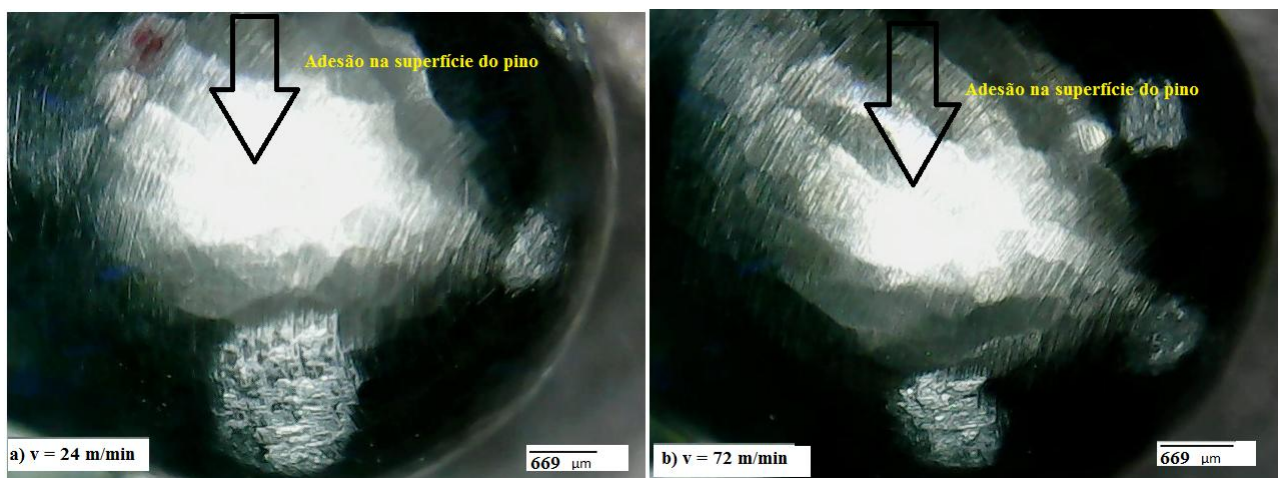


Figura 5.2. Desgaste do pino de HSS para a) $v = 24\text{m/min}$ b) $v = 72\text{ m/min}$

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização de testes no tribômetro permitiu avaliação do contato dos pares metálicos de liga de alumínio EN AW-ALMgl-5005 e aço rápido M2. Observou-se que a ductilidade do alumínio exerce grande influência sobre o principal mecanismo de desgaste identificado, a adesão.

Identificou-se no ensaio que para o nível de velocidade menor ocorreu uma adesão maior do alumínio no pino de HSS, uma consequência foi o aumento do coeficiente de atrito. Este fenômeno pode ser explicado, quando alumínio aderiu-se a superfície do pino HSS, nesse momento o deslizamento passou a ser caracterizado pelo contato de alumínio contra alumínio, aumentando o coeficiente de atrito.

Observou-se que para maiores velocidades o coeficiente de atrito foi menor, já que a aresta postiça de corte foi cisalhada devido ao aumento da temperatura. Por outro lado, o coeficiente de atrito é diretamente proporcional à tensão de cisalhamento e inversamente proporcional à dureza. O aumento da temperatura para maiores velocidades reduz a dureza, o que poderia estar relacionado a um maior coeficiente de atrito. Entretanto observou-se o contrário, possivelmente a tensão de cisalhamento também aumentou com a temperatura, impactando mais uma vez no μ e levando ao resultado de menores valores de μ para velocidades maiores.

Em uma abordagem mais aprofundada, pode ser feita uma comparação para parâmetros de usinagem de alumínio e aço. A usinagem de aços em velocidade de 200 m/min por exemplo, pode ser consideradas alta, entretanto para a liga de alumínio essa velocidade pode ser considerada baixa, devido sua alta taxa de encruamento. Dessa forma, recomenda-se que o alumínio seja usinado sob velocidades mais altas, para que se reduza o coeficiente de atrito e elimine o fenômeno de formação de Aresta Postiça de Corte, ou seja, o mecanismo de desgaste por adesão.

7. 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 e fotografias. Agradecem também ao Centro Universitário UNA pelo apoio financeiro neste projeto.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society for Testing and Materials, ASTM, C99-05. Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus, 5, ed. 2010. 5p. Disponível em: <[http://compass.astm.org/EDIT/html_annot.cgi?G99+05\(2010\)\](http://compass.astm.org/EDIT/html_annot.cgi?G99+05(2010)\)>. Acesso em: 10 nov. 2015
- Bauser, M., Sauer, G., Siegert, K., "Extrusion", second ed., ASM International, Materials Park, Ohio, 2006.
- Bayer, R.G., "Mechanical wear prediction and prevention", Marcel Dekker, First edition, p. 1-4, 1994.
- Bowden F.P.; Tabor, D., "The friction and lubrication of solids, Part II", 1964, Clarendon Press, Oxford.
- Callister, W.D., "Ciência e Engenharia de Materiais uma introdução", Rio de Janeiro: Editora Gen, 2008.
- DIN EN 573-3 (2009), "Aluminium und Aluminiumlegierungen – Chemische Zusammensetzung und Form von Halbzeug", Associação Alemã de Normas Técnicas, 2009.
- Gahr, K. H. Z., "Microstructure and wear of materials", Tribology series 10, Elsevier, p. 1-7, 1987.
- Hutchings, I. M., "Tribology: friction and wear of engineering materials", Ed. Edward Arnold, London, 1992.
- Krim, J.; Widom, A., "Damping of a crystal oscillator by an adsorbed monolayer and its relation to interfacial viscosity", Phys. Rev. B, 38:12184, 1988.
- Leatham, A.G.; Lawlay, A., "The osprey process: principles and applications", The international journal of powder metallurgy, American Powder Metallurgy Institute, vol 29, nº4, p. 321- 29, 1933
- Machado, A.R., Abrão A.M, coelho, R.T, da silva, M.B, "Teoria da usinagem dos materiais", São Paulo: Editora blucher, 2015. 3ª edição
- Peterson, M.B., Winer W.V., "Wear control handbook", New York: The American Society of Mechanical Engineers, 1980.
- Stolarski, T.A., Batchelor, A. W., "Tribology in Machine Design", Butterworth-Heinemann, 2000.
- Zhang, M.Z.; Liu, Y.B., Zhou, H., "Wear mechanism maps of uncoated HSS tools drilling die-cast aluminum alloy", Tribology International 34 (2001) 727–731.

9. RESPONSABILIDADE AUTORAL

"Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho".

CHARACTERIZATION OF WEAR MECHANISM PREVAILING DURING SLIDING OF HIGH SPEED STEEL AISI M2 AGAINST ALLOY ALUMINUM EN AW-ALMg1-5005

Michele Lisboa Silveira, michelesilveira1991@gmail.com¹

Deibe Valgas dos Santos, deibe.santos@una.prof.br¹

Marcelo Araújo Câmara, marcelocamara@demec.ufmg.br¹

Alexandre Mendes Abrão, brao@demec.ufmg.br¹

Paulo Eustáquio de Faria, paulofaria@ufmg.br¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte MG, CEP 31270-901

Abstract: *The Tribology studies the friction, wear and lubrication between surfaces in contact with relative motion. Its importance is identified in different areas, such as biology, geology, engineering, among others. The movement between surfaces is of fundamental importance for the functioning of many mechanisms, and offers applications in mechanical engineering, as it can predict the behavior of materials in manufacturing processes, such as machining. This study seeks to identify the predominant wear mechanism of high speed steel AISI M2 (63 HRC) and aluminum alloy EN AW-ALMg1-5005 when subjected to friction conditions, in a test of pin on disco. It was held the contact between a high speed steel AISI M2 pin uncoated against an aluminum alloy plate EN AW-ALMg1-5005 present in an composite of aluminium and polyethylene, used in facade coatings, tunnels and revitalization of buildings. The evaluation of the wear mechanisms of different materials can predict their behavior when subjected to a machining manufacturing processes, such as drilling conditions involving high speed steel drills plates and composite materials. The tests were performed in Microtest tribometer model SMT-A / 0100, using high-speed steel AISI M2 pins with tip speeds of 24, 48 and 72 m / min, and normal load of 3N. The software Nanovea Tribometers was used, which allowed the identification data subject to interpretations and to image acquisition was used a Digital Photography. After 100 meters walked for each speed 24, 48 and 72 m / min identified the values for the friction coefficient , 1,05, 0,81 and 0,67 respectively for each speed. Therefore, for smaller sliding velocity values, the friction coefficient showed values higher. From the images generated was observed the predominant wear mechanism, the adhesion.*

Keywords: Tribology, wear, adhesion, friction