

COMPORTAMENTO TRIBOLÓGICO DE LIGAS AUTOLUBRIFICANTES NA PRESENÇA DE UM LUBRIFICANTE LÍQUIDO

Mário Martins de Oliveira Júnior, mariomartjr@gmail.com
José Daniel Biasoli de Mello, ltm-demello@ufu.br

Resumo. Na maioria das aplicações tribológicas, lubrificantes líquidos ou graxas são utilizados para combater o atrito e o desgaste. Mas quando as condições tornam-se muito severas, os lubrificantes sólidos podem ser a única opção para este controle. Uma combinação de lubrificantes sólidos e líquidos é viável e pode ter um efeito sinérgico benéfico na redução do atrito e no aumento da resistência ao desgaste das superfícies de deslizamento, em especial nos regimes elasto-hidrodinâmico e limite de lubrificação. Este trabalho visa estudar o efeito conjunto da lubrificação sólida (compósitos sinterizados contendo partículas de lubrificante sólido dispersos em uma matriz metálica por um processo de mistura simples) com a presença de um lubrificante líquido em regime de lubrificação conjunta em uma configuração de desgaste por deslizamento alternado. A utilização simultânea de lubrificantes sólidos e líquidos produz uma diminuição significativa no coeficiente de atrito (25%) quando comparado com a adição do lubrificante líquido apenas, sugerindo a existência de uma sinergia positiva entre os lubrificantes sólidos e líquidos. Esta ação conjunta reduz o coeficiente de atrito (cerca de 4x) e a taxa de desgaste em 50%. A lubrificação líquida utilizada isoladamente exerce uma grande influência no comportamento tribológico e governa o processo deixando um papel coadjuvante para os outros fatores.

Palavras chave: Ligas autolubrificantes, lubrificação fluida, sinergia, triboscopia.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, compósitos autolubrificantes têm sido estudados em diversas aplicações. Sendo assim, a produção de compósitos autolubrificantes contendo partículas de segunda fase incorporadas no volume dos materiais parece ser uma solução promissora para controlar o atrito e o desgaste em sistemas modernos com alta eficiência energética (Binder *et al.*, 2010; De Mello *et al.*, 2011; De Mello *et al.*, 2013; Hammes *et al.*, 2014).

A metalurgia do pó é uma técnica atrativa e competitiva para a produção de tais compostos, devido ao seu baixo custo quando aplicada em larga escala e também por sua grande versatilidade na adequação da técnica para aplicar e adaptar a microestrutura de acordo com as exigências de cada aplicação. Desempenhos mecânicos e tribológicos elevados são resultados da combinação de propriedades mecânicas e parâmetros estruturais da matriz, tais como o grau de continuidade da matriz metálica, a quantidade de lubrificante sólido adicionado ao material, do tamanho e da forma das partículas de lubrificante sólido (Schroeder *et al.*, 2013; Hammes *et al.*, 2014).

Uma combinação de lubrificantes sólidos e líquidos é viável e pode ter um efeito sinérgico benéfico na redução do atrito e no aumento da resistência ao desgaste das superfícies de deslizamento, em especial nos regimes elasto-hidrodinâmico e limite de lubrificação (De Mello *et al.*, 2009).

Este trabalho visa estudar o efeito conjunto da lubrificação sólida (compósitos sinterizados contendo partículas de lubrificante sólido dispersos em uma matriz metálica) com a adição de um lubrificante líquido em regime de lubrificação conjunta em uma configuração de desgaste por deslizamento alternado.

2. METODOLOGIA

A matriz dos compostos utilizados neste trabalho foi baseada em uma liga Fe-1,4%Mo-1,0%Si-0,8%C, com e sem adição de lubrificantes sólidos, chamadas de P e PM respectivamente. Para a liga P foram adicionados como lubrificantes sólidos 2,5% de grafite e 5% de nitreto hexagonal de boro (hBN). A rota de processamento está bem escrita em (Oliveira Jr, 2013).

Os ensaios tribológicos foram efetuados em um Tribômetro Universal Plint[®], modelo TE 67 Plint and Partners LDT no modo alternado, com duração de 2 horas e carga normal de 13,75N. Como contra corpo foram utilizadas esferas de aço AISI 52100 com 5 mm de diâmetro.

Para este sistema em particular, foi incorporado ao tribômetro um sensor LVDT, para a medição da posição do corpo em relação ao contra corpo em cada ciclo do movimento alternado durante o ensaio. A Figura 1-a mostra o modelo esquemático do teste. A aquisição de dados foi feita por uma placa de aquisição ligada a um microcomputador com o software LabVIEW[®], onde foi feito um programa para tratamento dos dados adquiridos. A análise dos dados foi feita utilizando-se de uma técnica denominada triboscopia, que consiste fundamentalmente na produção de imagens numéricas de sinais adquiridos durante o ensaio. Ou seja, uma imagem triboscópica é, na verdade, uma representação

tridimensional da variação dos parâmetros físicos em relação ao tempo durante o ensaio de desgaste. Fez-se uma rotina de programação no software MATLAB[®] para a confecção das imagens triboscópicas.

Na Figura 1-b um dos eixos mostra a posição sobre a amostra, ou seja, sobre a trilha de desgaste em cada ciclo do movimento alternado, onde cada ciclo é representado por duas linhas na imagem triboscópica, onde uma representa a ida e a outra a volta, e em seguida, a próxima linha representa a ida do próximo ciclo e assim sucessivamente, formando a imagem triboscópica. Outro eixo mostra o número de ciclos, e, por fim, o último eixo, na posição vertical, mostra o coeficiente de atrito em função dos dois primeiros. Observando agora a escala de cores, percebe-se que para as cores frias (tons de azul e verde) o coeficiente de atrito apresenta valores mais baixos. Já para as cores mais quentes (tons de amarelo e vermelho) o coeficiente de atrito apresenta valores mais altos.

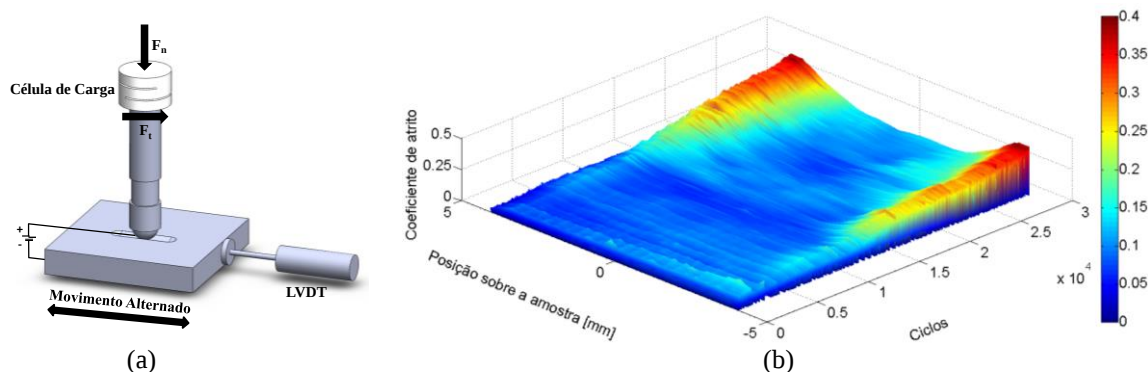


Figura 1: Testes tribológicos. (a) Modelo esquemático do teste. (b) Exemplo de uma imagem triboscópica 3D (De Mello *et al.*, 2014).

Por meio do uso desta técnica, podem-se localizar algumas variações instantâneas, simultaneamente no tempo e na posição, de quaisquer parâmetros triboscópicos monitorados durante um ensaio tribológico. Deste modo, as imagens produzidas pela triboscopia contêm, simultaneamente, os detalhes inerentes às peculiaridades locais, sem perder de vista a evolução global do fenômeno tribológico (Belin, 1993; Belin; Lopez; Martin, 1994; Bozzi e De Mello, 2006).

3. RESULTADOS

A Figura 2 mostra o coeficiente de atrito em função do número de ciclos e da posição sobre a amostra, para as amostras P e PM.

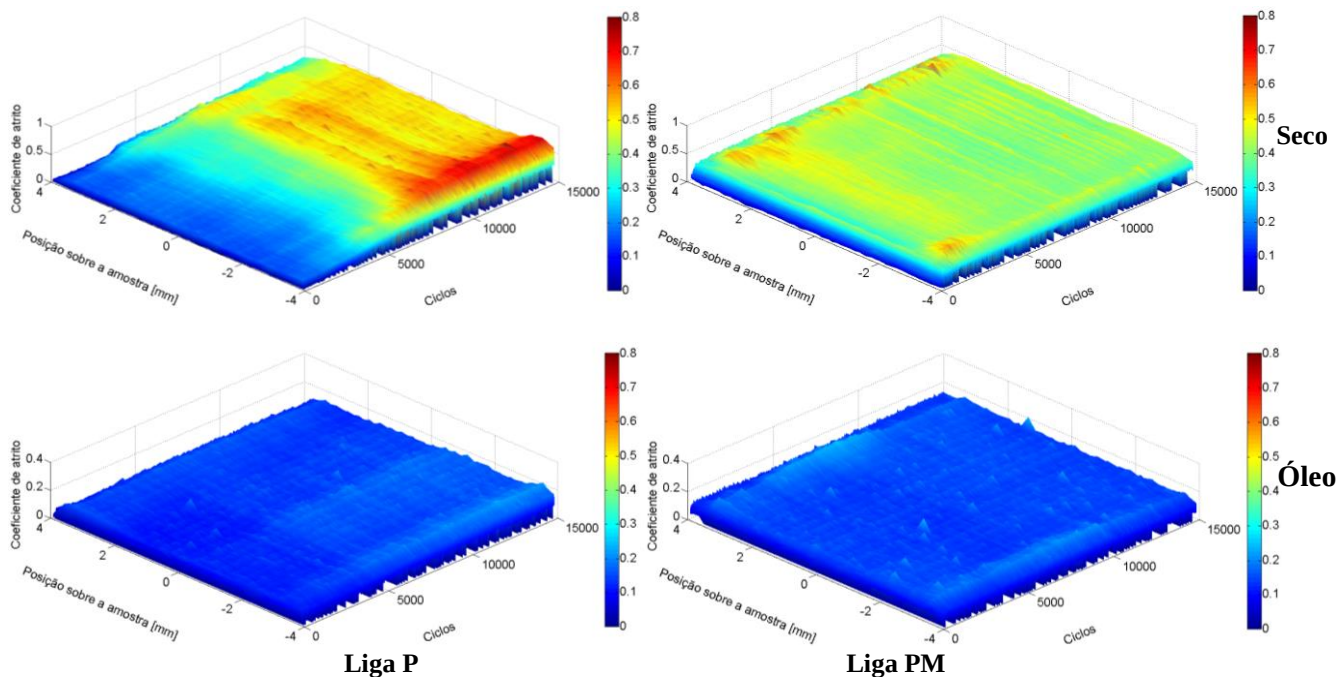


Figura 2: Coeficiente de atrito em função do número de ciclos e da posição sobre a amostra. (a) e (b) Ensaio seco, ao ar; (c) e (d) Ensaio lubrificado com óleo. À esquerda amostra P e à direita amostra PM.

Percebe-se para a amostra P (Figura 2-a), que o coeficiente de atrito começa baixo e segue aumentando ao longo do ensaio, alcançando o seu valor máximo ao fim do ensaio. Identifica-se também um ligeiro aumento no coeficiente de

atrito nas extremidades. Ao adicionar óleo no contato (Figura 2-c), o coeficiente de atrito reduz significativamente, com pouca flutuação em seu valor durante todo o ensaio.

É observado na amostra PM (Figura 2-b), que no início do ensaio, o coeficiente de atrito aparece com um valor maior, e segue decaindo até cerca de 100m deslizados, e logo após permanece praticamente estável durante o restante do ensaio. Verifica-se também um ligeiro aumento nas extremidades. Na Figura 2-d, adiciona-se óleo no contato, onde analogamente ao ocorrido com a amostra P, ocorre uma redução significativa no coeficiente de atrito. Nota-se também um leve aumento no coeficiente de atrito em uma das extremidades.

A Figura 3 ilustra o coeficiente de atrito médio. Há uma diminuição significativa no coeficiente de atrito quando é adicionado o fluido lubrificante no contato. Observa-se também que quando os dois lubrificantes estão presentes no contato, há uma diminuição no coeficiente de atrito quando comparado com o lubrificante líquido apenas. Isso pode ser explicado pela ação do lubrificante sólido nas extremidades da marca de desgaste onde há o regime de lubrificação misto/limite, que reduz o coeficiente de atrito.

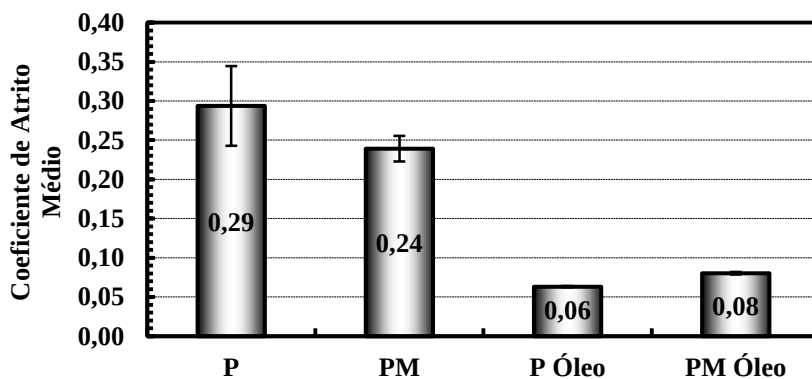


Figura 3: Coeficiente de atrito médio.

A Figura 4 retrata imagens obtidas por MEV por elétrons retroespalhados para as amostras P e PM ensaiadas a seco. percebe a formação de uma tribocamada na marca de desgaste da amostra P simbolizadas pelas setas vermelhas e já para a amostra PM quase não há formação de uma tribocamada, visto que esta é bem menos intensa. Adicionalmente, a presença de reservatórios ativos de lubrificantes sólidos é sinalizada pelas setas brancas. Quando ensaiadas a óleo, percebe-se que, diferentemente do ocorrido no modo seco, não obstante a presença de reservatórios ativos de lubrificantes sólidos, mostrados pela seta branca, parece não haver a formação de uma tribocamada, como mencionado anteriormente para a amostra P. Para a amostra PM, verifica-se que a marca de desgaste da mesma, é aparentemente mais lisa e com poros fechados, diferentemente do ocorrido com a amostra P.

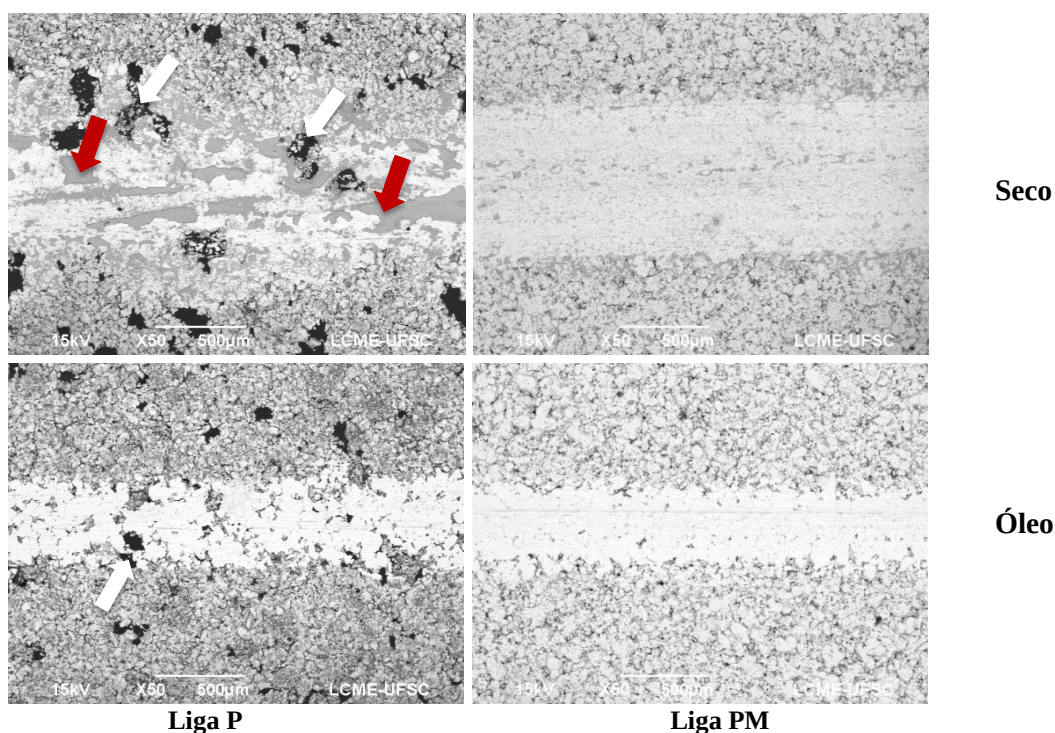


Figura 4: Mecanismos de desgaste. MEV por elétrons retroespalhados.

A Figura 5 apresenta a taxa de desgaste das amostras P e PM. Observa-se na figura que, para cargas mais baixas, a adição do lubrificante sólido promoveu uma queda na taxa de desgaste (aproximadamente 30%). Quando adicionado o lubrificante líquido no contato juntamente com os lubrificantes sólidos, há uma queda de aproximadamente 50% na taxa de desgaste. Quando adicionado apenas o lubrificante líquido, a queda é ainda maior, chegando a aproximadamente 60%.

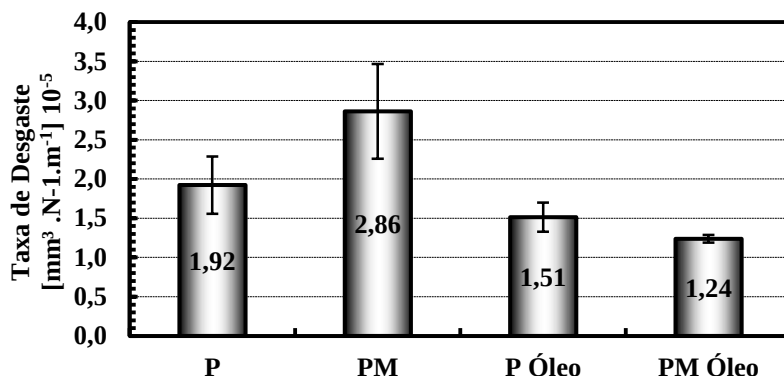


Figura 5: Taxa de desgaste para as amostras P e PM.

4. CONCLUSÕES

A utilização simultânea de lubrificantes sólidos e líquidos produz uma diminuição significativa no coeficiente de atrito (25%) quando comparado com a adição do lubrificante líquido apenas, sugerindo a existência de uma sinergia positiva entre os lubrificantes sólidos e líquidos. Esta ação conjunta reduz o coeficiente de atrito (cerca de 4x) e a taxa de desgaste em 50%.

A lubrificação líquida utilizada isoladamente exerce uma grande influência no comportamento tribológico e governa o processo deixando um papel coadjuvante para os outros fatores. O atrito diminui cerca de 3x e a taxa de desgaste é reduzida em 230 %.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as seguintes agências de financiamento de pesquisa: CNPq, BNDES, Capes e FAPEMIG, bem como Whirlpool / Embraco.

6. REFERÊNCIAS

- Belin, M. 1993. "Triboscopy: A new quantitative tool for microtribology". Wear, v. 168, n. 1–2, p. 7-12, ISSN 0043-1648.
- Belin, M.; Lopez, J.; Martin, J. M. 1994. "Triboscopy, a quantitative tool for the study of the wear of a coated material". Surface and Coatings Technology, v. 70, n. 1, p. 27-31, ISSN 0257-8972.
- Binder, C.; Hammes, G.; Schroeder, R.; Klein, A. N.; De Mello, J. D. B.; Binder, R.; Junior, W. R. 2010. "‘Fine tuned’ steels point the way to a focused future". Metal Powder Report, v. 65, n. 4, p. 29-37, ISSN 0026-0657.
- Bozzi, A. C.; De Mello, J. D. B., 2006, "Triboscopia: Princípios potencialidades da técnica e aplicação em ensaios de desgaste por deslizamento.". 61º Congresso Anual da ABM. Rio de Janeiro - RJ: Anais do 61º Congresso Anual da ABM: 4010-4018 p.
- De Mello, J. D. B.; Binder, C.; Binder, R.; Klein, A. N. 2011. "Effect of precursor content and sintering temperature on the scuffing resistance of sintered self lubricating steel". Wear, v. 271, n. 9–10, p. 1862-1867, ISSN 0043-1648.
- De Mello, J. D. B.; Binder, C.; Hammes, G.; Klein, A. N. 2013. "Effect of the metallic matrix on the sliding wear of plasma assisted debinded and sintered MIM self-lubricating steel". Wear, n. 0, ISSN 0043-1648.
- De Mello, J. D. B.; Binder, R.; Demas, N. G.; Polycarpou, A. A. 2009. "Effect of the actual environment present in hermetic compressors on the tribological behaviour of a Si-rich multifunctional DLC coating". Wear, v. 267, n. 5–8, p. 907-915, ISSN 0043-1648.
- De Mello, J. D. B.; Oliveira Jr, M. M.; Binder, C.; Klein, A. N., 2014, "Solid Lubrication in Fluid Film Lubrication". Asiatrib -2014. Agra, India
- Hammes, G.; Schroeder, R.; Binder, C.; Klein, A. N.; De Mello, J. D. B. 2014. "Effect of double pressing/double sintering on the sliding wear of self-lubricating sintered composites". Tribology International, v. 70, n. 0, p. 119-127, ISSN 0301-679X.
- Oliveira Jr, M. M. 2013. "Lubrificação Sólida em Meio Fluido". 80 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Schroeder, R.; Hammes, G.; Binder, C.; Klein, A. N.; Mello, J. D. B. D. 2013. "Effect of Double Pressing/Double Sintering on the Sliding Wear of Self-lubricating Sintered Composites" In: 3rd International Tribology Symposium of IFTOMM, Luleå, Sweden.