

Estudo do comportamento tribológico do PTFE contra aço AISI4140 em ensaios de deslizamento a seco variando-se a vibração do sistema

Mayara Suély Cândido Ferreira¹, João Telésforo Nóbrega de Medeiros², Ruthilene Catarina Lima da Silva³

¹Aluna de IC voluntária, ²Professor Orientador, ³Professora Co-orientadora do Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Resumo

Investigou-se a correlação entre a variação da velocidade global de vibração e a taxa de desgaste do polímero PTFE em contato com aço AISI 4140 quando submetidos a ensaios de deslizamento a seco na configuração plano-cilindro. Foi aplicada carga normal de 5N, velocidade de deslizamento de 1 m/s e distância de deslizamento aparente de 1 km. Durante os ensaios foram coletados dados de vibração e da temperatura ambiente e próxima ao contato. A taxa de desgaste dos polímeros foi calculada a partir da medida de perda mássica. Os resultados mostraram que a taxa de desgaste do PTFE foi de $9,4 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$ quando submetido a maiores vibrações e de $1,3 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{N}$ em menores vibrações, indicando que maiores vibrações não obrigatoriamente resultam em maior desgaste do material.

Palavras-chave: PTFE, polímero, desgaste, vibração.

Abstract

We investigated the correlation between the variation in overall velocity vibration and wear rate of a PTFE polymer in contact with AISI 4140 steel submitted to dry sliding tests in the flat-cylinder configuration. A normal load of 5N and sliding velocity of 1 m/s were applied for a sliding distance of approximately 1000m. During the tests, vibration and room temperature data were collected as well as near the contact. The polymer wear rate was calculated from the measurement of *mass loss*. Results showed that the wear rate of the PTFE was $9.4 \times 10^{-13} \text{ m}^2 / \text{N}$ when submitted to higher vibration and $1.3 \times 10^{-12} \text{ m}^2 / \text{N}$ at lower vibration, indicating that higher vibration does not necessarily result in more wear.

Keywords: PTFE, polymer, wear, vibration.

Introdução

Os polímeros de engenharia representam atualmente uma classe de materiais altamente capacitados para aplicações extremas. Segundo DA SILVA (2003) estes materiais são muito utilizados na fabricação de peças para dispositivos mecânicos e ultimamente tem ampliado seu escopo de aplicações, muitas vezes substituindo os metais, pela sistemática melhoria de propriedades como a resistência mecânica, a tenacidade e a estabilidade dimensional. Outras propriedades dos polímeros de engenharia são estabilidade térmica a altas temperaturas e resistência a abrasão.

O PTFE é um termoplástico de engenharia com excelentes propriedades tribológicas, possuindo ampla aplicação na indústria. EROL e ZEHRA (2007) *apud* SANTANA *et al.* (2008) dizem que o PTFE é amplamente utilizado na aplicação de gaxetas, rolamentos radiais, isolamento elétrico, na indústria automotiva bem como em revestimentos de equipamentos de cozinha. Dentre suas propriedades destacam-se: excepcional resistência a solventes e reagentes químicos, elevada resistência térmica, baixa aderência, boas propriedades mecânicas e baixo coeficiente de atrito.

Polímeros são utilizados como retentores (gaxetas) em sistemas de vedação de unidades de bombeio de petróleo no intuito de evitar o vazamento do petróleo visando a integridade do meio ambiente e a eficiência do bombeamento do petróleo para a superfície. Geralmente essas unidades de bombeio operam em ambientes abrasivos e a elevadas temperaturas.

O desalinhamento das hastes polidas utilizadas no bombeamento de petróleo pode ocasionar aumento da vibração no contato haste metálica – retentor polimérico durante o movimento de deslizamento alternado (*reciprocating*) nas unidades de bombeio. As conseqüências desta vibração sobre as taxas de desgaste dos materiais poliméricos são ainda desconhecidas. Tal indagação motivou a presente investigação.

Objetivo

O objetivo do trabalho foi analisar a relação existente entre a variação da velocidade de vibração e a taxa de desgaste do polímero PTFE quando em contato com aço AISI 4140 em ensaio de deslizamento a seco.

Metodologia

Materiais

O polímero PTFE utilizado neste trabalho foi comercialmente adquirido na ENGREFLON Plásticos de Engenharia Ltda. (www.engreflon.com.br), e caracterizado através de medidas de dureza Rockwell M, Análise Termogravimétrica (TG) e Análise Dinâmico-Mecânica (DMA).

As medidas de dureza Rockwell M foram realizadas utilizando um indentador de esfera de aço com diâmetro de $\phi 1/4''$, pré-carga de 10 kgf e carga de 100kgf, em um Durômetro de Marca PANTEC. O PTFE apresentou uma dureza média de 40 ± 2 HRM.

A Análise Termogravimétrica foi realizada em um equipamento SHIMADZU modelo TGA - 50H, utilizando ar sintético com uma vazão de 50 ml/minutos, a uma taxa de aquecimento de $10^\circ\text{C}/\text{minutos}$, da temperatura ambiente até 800°C . Através desta análise foi obtida a temperatura de degradação do PTFE, que atingiu valores na faixa de 500°C .

Para a Análise Dinâmico-Mecânica foi utilizado um DMA de Marca TAinstruments, tipo Q800 no modo tração com tensão constante de 10 mN, taxa de aquecimento de $2^\circ\text{C}/\text{minuto}$ da temperatura ambiente (30°C) até 200°C , e com uma frequência de 1Hz. Com isso, o PTFE apresentou uma faixa de transição vítrea principal entre 140°C e 160°C e uma faixa de transição secundária entre 35°C e 60°C . O fator de perda do PTFE à temperatura ambiente foi próximo a 0,11.

O aço AISI 4140 foi caracterizado por medidas de microdureza Vickers realizadas em um microdurômetro fabricado pela PANAMBRA marca PANTEC modelo HVS-1000, com carga de 50g. O aço apresentou uma microdureza de 226 ± 26 HV_{0,5}.

Os corpos de prova de PTFE obtidos inicialmente na forma de tarugos com \varnothing 13 mm foram cortados em pequenos cilindros de dimensões ϕ 13mm x 13mm de comprimento. Antes de cada ensaio os corpos de prova foram lixados em lixa de SiC #100, # 180, # 360 e # 600, e lavados em banho ultrassônico com água destilada durante 10 min. Os corpos de prova também foram pesados antes e após cada ensaio para o cálculo da taxa de desgaste.

A confecção dos contra-corpos consistiu na usinagem de quatro hastes com sete pistas de dimensões \varnothing 12 mm x 18 mm, cada uma. As pistas foram lixadas com lixas de SiC # 100, # 180, #280, adquirindo rugosidade média entre 8 e 32 μ m obedecendo a norma API 11B direcionada às hastes polidas das unidades de bombeio de petróleo. As medidas de rugosidade foram feitas em um Rugosímetro Taylor Hobson Surtronic 25.

Ensaio de Deslizamento

O ensaio tribológico consistiu no deslizamento entre polímero e aço-liga, em configuração plano-cilindro, na condição a seco. A vibração do contracorpo era variada através da posição dos mancais de apoio: livres ou fixos. Foram realizados 14 repetições para cada conjunto polímero-metal utilizados. Os ensaios foram realizados em uma bancada tribológica de deslizamento (Tribômetro) desenvolvida pelo Grupo de Estudos de Tribologia –GET/UFRN (Figura 1).

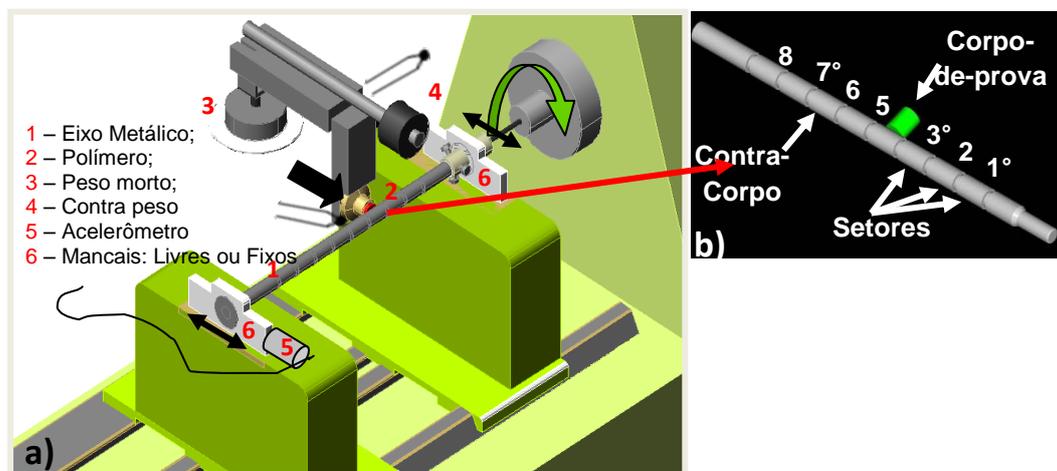


Figura 1. Esquema do sistema tribológico utilizado para ensaios: a) Bancada Tribológica de Deslizamento; b) Contato entre o corpo-de-prova e o setor do contra-corpo metálico.

Neste equipamento, o corpo de prova polimérico, de superfície plana, é fixado em um braço provido de pivô e através de um peso morto é carregado, perpendicularmente, contra o eixo do contracorpo metálico, ocasionando uma pressão de contato pc no par tribológico polímero-metal. Foram aplicadas carga normal de 5N, velocidade de deslizamento de 1 m/s e distância de deslizamento aparente de 1 km. A distância de deslizamento utilizada é mencionada como aparente, pois um relativo alto grau de vibração do sistema resulta em menor contato entre o corpo-de-prova e o contracorpo, variando a real distância de deslizamento entre o par tribológico.

Foram coletadas a temperatura ambiente e a temperatura a $3,0\pm 0,5$ mm do contato, através de termopares conectados a um termômetro portátil marca INSTRUTERM, modelo TH- 60, dois canais, que por sua vez era acoplado ao computador, onde a taxa de aquisição para esse sistema foi de 1 ponto a cada 2 s (0,5Hz).

A vibração do sistema foi caracterizada utilizando um acelerômetro acoplado a um medidor de vibração portátil de marca TEKNIKAO tipo NK300 que permitia coletar a velocidade global de vibração a cada 2 minutos.

A taxa de desgaste do PTFE foi calculada através da variação mássica do polímero, utilizando a equação de Archard que é definida por:

$$Q = K \left(\frac{W}{H} \right) \quad (1)$$

onde, Q é o volume desgastado por distância de deslizamento, K é o coeficiente de desgaste adimensional, W é a carga aplicada e H é a dureza do material mais mole. A razão K/H resulta no valor de taxa de desgaste, k em m^2/N .

Resultados e Discussão

A partir de uma amostragem de 14 repetições para cada conjunto PTFE - metal utilizado, os sistemas escolhidos para as análises foram os relacionados à pista do setor 2 de cada contracorpo ensaiado.

Através dos dados captados nos ensaios, foram confeccionados gráficos de variação de temperatura do sistema, velocidade global de vibração RMS e taxa de desgaste do PTFE (Figura 2).

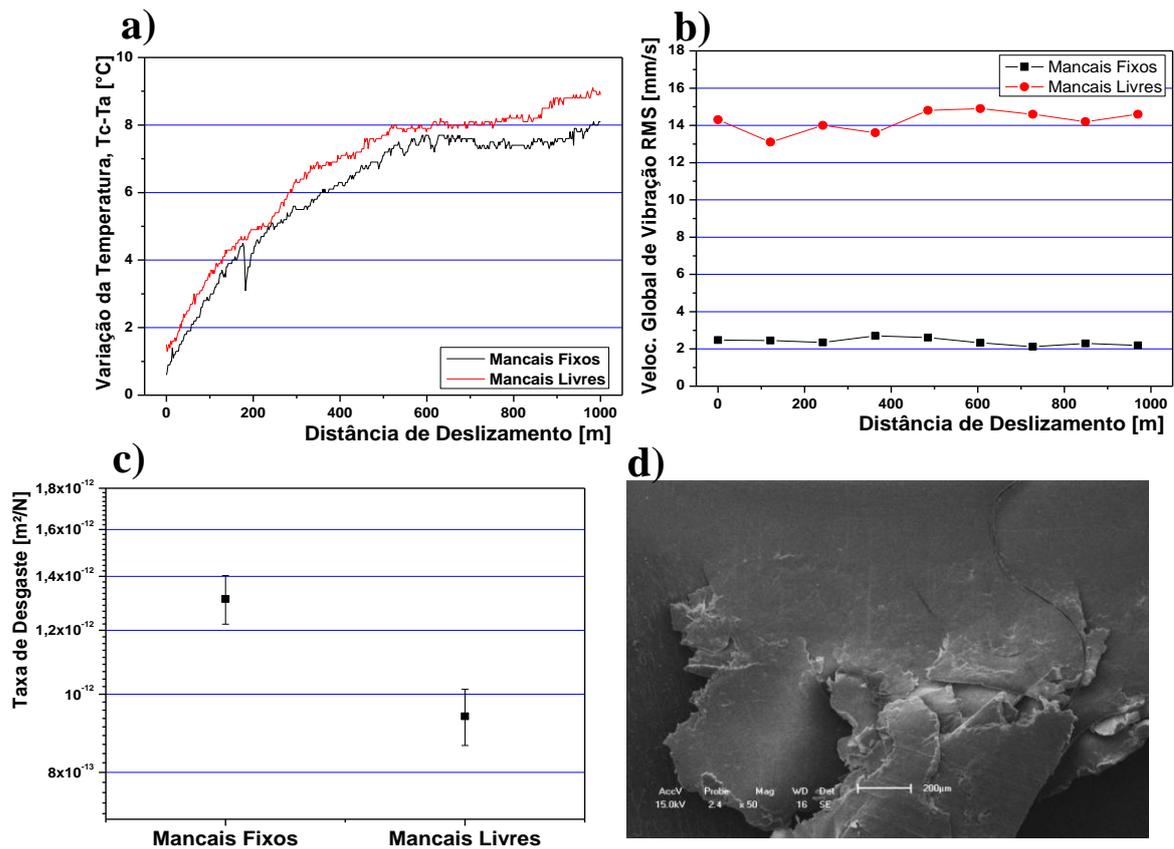


Figura 2. Gráficos obtidos através dos dados coletados nos ensaios: a) Variação da Temperatura do sistema, $T_{contato} - T_{ambiente}$ (°C); b) Velocidade Global de Vibração RMS (mm/s); c) Taxa de Desgaste do PTFE (m²/N); d) Microscopia do PTFE obtida por MEV.

Os gráficos 2a e 2b mostram que o PTFE atingiu maiores valores de variação de temperatura e velocidade global de vibração quando ensaiado em mancais livres. Nesta condição a vibração do mancal é maior, o que justifica os maiores valores de velocidade global de vibração. O comportamento viscoelástico deste polímero faz com que ele amortecia a energia de vibração dissipando-a em forma de calor, o que explica o maior aquecimento do sistema.

O gráfico 2c indica que o PTFE obteve maior taxa de desgaste quando ensaiado em condições de baixa vibração (mancais fixos) assumindo valores de $1,3 \times 10^{-12} \pm 9,1 \times 10^{-14}$ m²/N, enquanto que em mancais livres a taxa de desgaste foi $9,4 \times 10^{-13} \pm 7,5 \times 10^{-14}$. Na condição de baixa vibração o tempo de contato do corpo-de-prova com o contracorpo é maior, acarretando em maior desgaste. SILVA (2008) e LIMA DA SILVA *et. al* (2007) mencionaram que a estrutura do PTFE é caracterizada por fracas interações entre as cadeias poliméricas o que facilita o desgaste em forma de lâminas, induzindo ao mecanismo de desgaste por delaminação como evidenciado na Figura 2d. Estas lâminas ficam aderidas na superfície do contracorpo e agem como lubrificante sólido, reduzindo, assim, o coeficiente de atrito, e, portanto, o aquecimento do sistema.

A máxima temperatura atingida no ensaio foi em torno de 35°C. A esta temperatura está caracterizada uma transição secundária no módulo de armazenamento e no coeficiente de perda do polímero, indicando variação no comportamento viscoelástico deste material. Como a temperatura foi medida a 3 mm do contato e o polímero é conhecido como um mau condutor de temperatura, pode-se supor a possibilidade de a temperatura na zona de contato ter atingido a temperatura de transição vítrea do polímero (140°C -160°C) ou de degradação (500°C).

BERGANTIN *et al*, (2003); CHIOU, KAYABA e KATO (1985) e KATO, IWABUCHI E KAYABA (1982) consideram que a rigidez do sistema é uma das mais importantes influências para o sistema vibracional e conseqüentemente para o atrito e desgaste. Com base nisso, BERGANTIN *et al*. (2003) estudaram a análise dinâmica da força de atrito e da vibração no contato entre pares de Aço Inoxidável Austenítico e Aços Rápidos em ensaios de deslizamento pino-disco a seco. Através de gráficos de Densidade Espectral de Potência (PSD) da força de atrito e da vibração na direção normal e tangencial ao contato eles puderam correlacionar os dados de frequência com o desgaste e atrito sofridos pelo material, sugerindo que picos maiores de aceleração da vibração indicam maior atrito e desgaste sofrido pelo material. No presente trabalho mostrou-se que a medida da velocidade global de vibração associada à taxa de desgaste e ao aquecimento do sistema foi eficaz para caracterizar o comportamento do PTFE quando submetido a ensaios de desgaste em condições de alta e baixa vibração.

Conclusões

A partir dos ensaios de deslizamento realizados pode-se concluir que:

O PTFE obteve menor taxa de desgaste quando ensaiado em mancais livres (maior vibração), resultado da menor distância de deslizamento real sofrida pelo polímero nesta condição;

A resposta à vibração do sistema está diretamente relacionada ao comportamento viscoelástico do polímero (propriedade de amortecimento e dissipação de energia geralmente em forma de calor);

Nas condições de ensaio realizado neste trabalho, os parâmetros de saída, como variação de temperatura no contato, variação da velocidade global de vibração, taxa de desgaste e morfologia do desgaste, obtiveram ampla correlação entre si, confirmando a eficácia da metodologia utilizada.

Referências

SANTANA, J. S. , SOUZA, J. R. de, SILVA, L. V. da; FARIAS, A. C. M. de ; LIMA DA SILVA, R. C.; MEDEIROS, J. T. N. de. Avaliação tribológica de polímeros aplicados em sistemas de vedação. In: **Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**, 2008, Salvador.

EROL F., ZEHRA S.. The Tribological Behaviour of Different Engineering Plastics under Dry Friction Conditions. **Materials and Design**, Article in Press, 2007.

SILVA, L. V.. Deslizamento a seco do PEEK e PTFE contra aço-liga. **Monografia** (Graduação em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

LIMA DA SILVA, R. C.; DA SILVA, J. B.; MEDEIROS, J. T. N. Wear rate fluctuation of a sliding system polymer-steel under the effect of fixed and free journal bearings. **Proceedings of 19th international congress of mechanical engineering**, Cobem 2007.

BERGANTIN, R., MARU, M. M., FARIAS, M. C. M., PADOVESE, L. R.. Dynamic signal analyses in dry sliding wear tests. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. XXV, n. 3, p. 208-292, 2003.

CHIOU, Y.C. KATO, K., KAYABA, T.. Effect of normal stiffness in loading system on wear of carbon steel – part 1: severe-mild wear transition. **Journal of Tribology**, Vol. 107, pp.491-495, 1985.

KATO, K., IWABUCHI, A., KAYABA, T.. The effects of friction induced vibration on friction and wear, **Wear** 80, pp.307-320, 1982.

DA SILVA, C. H., Degradação de UHMWPE e de POM devido à ação Tribológica contra Aço Inoxidável e Alumina. **Tese de Doutorado apresentada a Escola politécnica de São Paulo**, 2003.

Mayara Suélly Cândido Ferreira

Endereço Eletrônico: mayarasuely20@gmail.com

Grupo de Pesquisa: Grupo de Estudos de Tribologia

Endereço Postal: Departamento de Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, 59072970, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN – Brasil.