

Comportamento tribológico de polímeros e compósitos

Tribological behavior of polymers and composites

RESUMO

Thiago Daroz Pinheiro
thiagopinheiro@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

**Caio Augusto Garcia Sampaio
Valente**
caio.t51@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Carlos Henrique da Silva
carloschs@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Considerando o amplo campo de aplicação de compósitos poliméricos, que podem apresentar características mecânicas não encontradas em materiais puros, é necessário o estudo de suas características tribológicas também. Este trabalho pretende discutir o comportamento tribológico de compósitos poliméricos e o efeito do material aditivo (polianilina-PAni e grafite) em sua matriz (fenol-formaldeído; baquelite) com diferentes teores. Durante o decorrer do projeto, foi desenvolvido um moinho de bolas com o objetivo de reduzir o tamanho de partícula dos materiais envolvidos. O comportamento tribológico desses compósitos foi analisado mediante a realização do ensaio de riscamento linear, utilizando penetrador Rockwell C e força normal constante. Os resultados de atritos e profundidade do sulco são estudados em função da variação da força normal aplicada, bem como dos teores de material aditivo. Pode-se afirmar que aumentar tanto a força normal do ensaio de riscamento quanto adicionar cargas com menor dureza que a matriz, implica no aumento do coeficiente de atrito e profundidade do sulco em todos os casos estudados.

PALAVRAS-CHAVE: Polianilina. PAni. Grafite. Baquelite.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

In view of the wide scope of application of polymers composites, which may have mechanical characteristics not found in pure materials, it is necessary study the tribological characteristics as well. This paper aims to discuss the tribological behavior of polymers composites and the effect of additive material (polyaniline-PAni and graphite) in its matrix (phenol-formaldehyde; bakelite) with different contents. During the Project, a ball mill was developed to reduce the particle size of involved materials. The tribological behavior of these composites was analyzed by performing the linear scratch test, using Rockwell C indenter and constant normal force. The results of friction and groove depth was analyzed according to the variation of normal force applied, as well as the additive material contents. It can be stated that increasing the normal force of the scratch test and adding additive material with less hardness than the matrix, implies increasing the friction coefficient and groove depth in all studied cases.

KEYWORDS: Polyaniline. PAni. Graphite. Bakelite.

INTRODUÇÃO

Mano (2004) afirma que polímeros são materiais compostos por macromoléculas, formadas por uma unidade química simples que se repete, o mero. Originalmente, os polímeros encontraram inúmeras aplicações tecnológicas graças as suas propriedades mecânicas e isolantes tanto térmicas quanto elétricas. Mas também existe uma classe de polímeros, denominada polímeros intrinsecamente condutores (PIC), que despertou grande interesse da comunidade acadêmica. Estes polímeros apresentavam elevada condutividade elétrica resultante da elevada mobilidade eletrônica proporcionada por um sistema π conjugado (Alexandrino, 2012). Ao realizar a combinação de polímeros, formando compósitos poliméricos, é possível obter características não encontradas em materiais puros.

É conhecido que reduzir o tamanho de partículas, melhora as propriedades dos materiais. Por este motivo, conhecer o processo de moagem é de grande importância. O moinho de bolas é um equipamento de cilindro horizontal, sua rotação leva ao movimento da carga em seu interior, responsável pelo processo de fragmentação das partículas. Segundo Valadão (2007), a operação de moagem se processa por meio de três mecanismos principais: impacto, compressão e cisalhamento.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver metodologias para o estudo das características tribológicas de compósitos poliméricos condutores.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é apresentado um descritivo dos compósitos estudados, a preparação dos corpos de prova e os ensaios realizados. O compósito possui baquelite como matriz e dois tipos de materiais de adição, a polianilina (PAni) e o grafite, sendo estes dois utilizados separadamente. Foram analisados corpos de prova com teor em massa de material aditivo de 0, 10 e 20% na matriz. Todos os procedimentos foram realizados na UTFPR campus Curitiba.

A Polianilina foi preparada no laboratório de materiais eletrônicos (LAMEL) do Departamento Acadêmico de Química e Biologia (DAQBI) pelo professor Carlos Cruz, como descrito por Acevedo (2005), oxidando a anilina ($0,1 \text{ molL}^{-1}$) em HCl (1 molL^{-1}) com persulfato de amônia (equimolar) a temperaturas abaixo de $5 \text{ }^\circ\text{C}$. A temperatura foi monitorada durante a polimerização. Quando a reação foi completa, depois de alcançada a temperatura máxima, o polímero foi filtrado sob sucção e lavado com solução de 1 molL^{-1} de HCl (0,5 L) e água (1 L). O polímero foi convertido em forma de base, mantido em movimento por 24 horas numa solução de $0,1 \text{ molL}^{-1}$ de NH_4OH .

A baquelite foi moída no laboratório geral do Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACOC) em um moinho de bolas da marca Quimis, modelo Q298-2. Foram utilizadas esferas de alumina de aproximadamente 40 mm de diâmetro e um jarro cerâmico com 230 mm de diâmetro e 310 de comprimento. O processo

de moagem foi contínuo e durou 4 horas a 150 RPM. Após isso, a baquelite passou por peneiras de mesh 40 e 200.

O grafite (Grafite Natural C95/10 μ m) utilizado foi doado pela empresa Micro Service – Tecnologia em Micronização, Produtos e Processos Industriais – SP/Brasil. De acordo com o fornecedor, o grafite fornecido é do tipo grafite natural cristalino, com tamanho médio de partícula de 3 μ m. Verificado esse tamanho de partícula, não foi necessária a moagem do grafite.

Para reduzir o tamanho de partícula do material aditivo foi fabricado um moinho de bolas. Para dimensionar este moinho, alguns parâmetros devem ser selecionados, como o fator de enchimento e o volume de carga, com valor de 30% para o primeiro e o intervalo de 50 – 60% para o segundo. O moinho construído por Caio Valente, possui dimensões internas de 35 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento. As esferas utilizadas são de aço cromo, com 8 mm de diâmetro, o número de esferas foi calculado utilizando a Tabela 1, onde as células vermelhas são os parâmetros de entrada e as azuis são as variáveis calculadas. Para uma boa eficiência, a velocidade de trabalho deve estar entre 60 e 85% da velocidade crítica.

Quadro 1 – Dimensionamento de moinho de bolas

Diâmetro (mm)	35,00	D
Comprimento (mm)	100,00	l
Volume interno (mm ³)	96211,28	$V_i = \frac{\pi D^2}{4} * l$
Diâmetro esferas (mm)	8,00	d
Volume un. esf. (mm ³)	268,08	$V_e = \frac{\pi d^3}{6}$
Fator de empacotamento	0,68	FAE
Fator de enchimento	0,30	f
Número de esferas	73	$N = FAE * f * V_i / V_e$
Velocidade crítica (RPM)	226	$v_c = \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{2g}{D}}$
Densidade Pani (g/mm ³)	0,00133	δ
Volume materia prima min (mm ³) (Volume de carga: 50%)	4618,14	$V_{min} = 0,5 * f * (1 - FAE) * V_i$
Massa materia prima min (g)	6,14	$m_{min} = \delta * V_{min}$

Fonte: Autoria própria (2019).

Foi utilizado o torno da Equipe Imperador UTFPR para realizar a rotação do moinho, com velocidade de 150 RPM, que é aproximadamente 66% da velocidade crítica. A moagem da PANi ocorreu por 4 horas e após esse processo, passou por peneiras de mesh 40 e 200.

A medição do tamanho de partícula foi realizada no laboratório de caracterização de partículas do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) em um granulômetro fabricado pela Microtrac, foi utilizado o analisador S3500 e o acessório e Turbostrac. O tamanho de partícula medido dos materiais utilizados foram 40, 12 e 6 μ m para a baquelite, PANi e grafite, respectivamente.

Os corpos de prova foram preparados no laboratório de metalografia do DAMEC. A nomenclatura utilizada para os corpos de prova foi realizada da seguinte forma, B (baquelite pura), B10P (90% baquelite + 10% PANi), B20P (80% baquelite

+ 20% PAni), B10G (90% baquelite + 10% Grafite), B20G (80% baquelite + 20% Grafite). Em todos os corpos de prova realizou-se a preparação metalográfica tradicional (embutimento e lixamento).

Os ensaios tribológicos ocorreram no laboratório de superfícies e contato (LASC) do DAMEC em um tribômetro da fabricante Bruker, modelo CETR-UMT. Os ensaios tribológicos foram realizados na configuração riscamento, com penetrador Rockwell C (cone de diamante com 120° de conicidade), e em atmosfera não controlada. As condições de ensaio definidas foram: força normal de 5 N e 8 N, velocidade de 1 mm/s e pista de 5 mm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção são apresentados os resultados tribológicos dos compósitos estudados, coletados dos ensaios de riscamento descrito na seção anterior. Nas condições de ensaio utilizadas, o método de medição precisa ser melhorado, pois alguns riscos ficaram imperceptíveis.

Na Tabela 2 é apresentado o valor médio e desvio padrão (SD) do coeficiente de atrito (COF) e da profundidade de sulco dos corpos de prova após o ensaio de riscamento.

Quadro 2 – COF e profundidade de sulco de cada compósito, para força normal de 5 N e 8 N no ensaio de riscamento. (* representa resultados em que é necessário melhorar o método de medição)

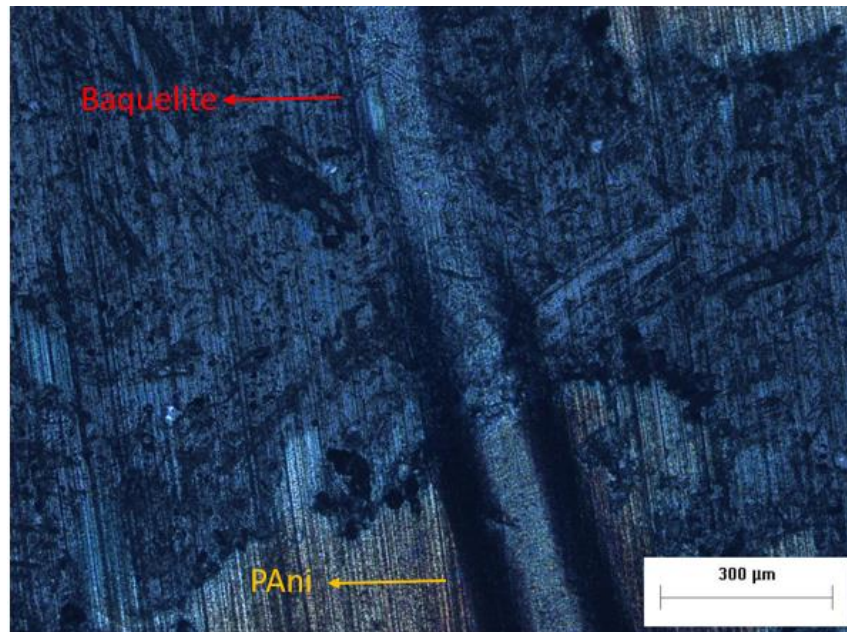
Carregamento	Compósitos	COF	Profundidade [μm]
5N	B	0,15 \pm 0,02	*
	B10G	0,17 \pm 0,02	*
	B10P	0,19 \pm 0,03	1,67 \pm 0,24
	B20G	0,18 \pm 0,02	3,17 \pm 0,76
	B20P	0,21 \pm 0,06	3,32 \pm 0,76
8N	B	0,19 \pm 0,02	*
	B10G	0,23 \pm 0,02	4,36 \pm 1,59
	B10P	0,25 \pm 0,03	6,64 \pm 3,51
	B20G	0,27 \pm 0,03	10,13 \pm 2,45
	B20P	0,23 \pm 0,04	12,67 \pm 7,57

Fonte: Autoria própria (2019).

Pode-se notar que o COF e a profundidade do sulco dos corpos de prova aumentam nas seguintes condições: ao adicionar carga (material aditivo) na matriz do compósito; aumentando a força normal do riscamento. Também é possível verificar que para o carregamento de 8 N, o COF dos compósitos possui valor semelhante, considerando seus respectivos SD, exceto para o corpo de prova de baquelite pura. Os valores elevados de SD para a profundidade do sulco pode ser explicado pelo fato de os compósitos não serem homogêneos, e a matriz ter maior dureza que os materiais aditivos. Durante o ensaio de riscamento, quando o pino se movimenta (com força normal constante) em materiais de diferentes durezas, pode ocasionar diferentes deformações no mesmo risco. Neste caso, ao

movimentar o pino na matriz de baquelite para uma partícula de material aditivo, há uma nítida variação do sulco e do pile-up como mostra a Figura 1.

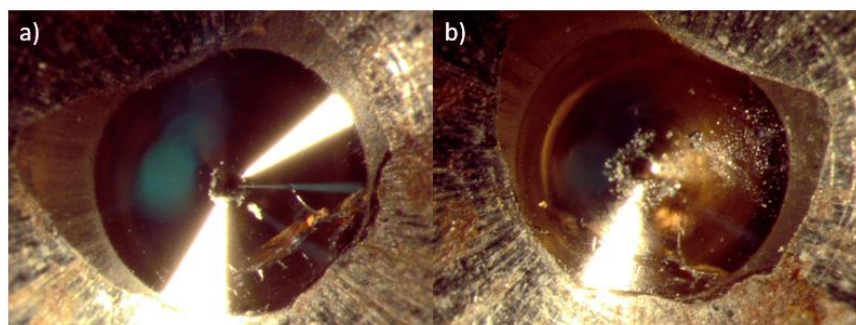
Figura 1 – Micrografia com ampliação de 100x de um corpo de prova B20P após risco (força normal de 8N)



Fonte: Autoria própria (2019).

Outro fator para o SD elevado, é a adesão de material na ponta do penetrador, que ocorreu para os corpos de prova que contém material aditivo, como mostra a Figura 2. Essa adesão foi encontrada em maior escala nos compósitos contendo grafite.

Figura 2 – Ponta do penetrador: a) Limpa b) Após ensaio de riscamento de força normal de 5N no corpo de prova B10G



Fonte: Autoria própria (2019).

CONCLUSÃO

Através dos estudos realizados foi possível conhecer polímeros condutores de eletricidade, seu modo de condução e aplicações. Também foi possível compreender de forma mais detalhada o processo de moagem, fabricar um moinho de bolas e obter boa eficiência de moagem. Posteriormente serão realizadas modificações no processo de moagem, com o objetivo de alcançar nanopartículas.

Os resultados dos ensaios tribológicos, microscopia ótica, MEV e interferometria auxiliaram na compreensão do comportamento mecânico de compósitos poliméricos. Pode-se afirmar que aumentar tanto a força normal do ensaio de riscamento quanto adicionar cargas com menor dureza que a matriz, implica no aumento do coeficiente de atrito e profundidade do sulco em todos os casos estudados.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à UTFPR pela bolsa de fomento, ao Professor Carlos Henrique da Silva, Professor Carlos Marcus Gomes da Silva Cruz e ao Mestrando Caio Augusto Garcia Sampaio Valente, ao DAMEC, DAQBi, DACOC, ao IFPR e à empresa Micro Service.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRINO, EVANDRO MENDES. **Compósitos poliméricos de poli(éter imida)/polianilina: preparação e caracterização**. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual de Campinas 2012.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a Polímeros**. Edgard Blücher, 2004.

VALADÃO, GEORGE EDUARDO SALES e ARAÚJO, ARMANDO CORRÊA de. 2007. **Introdução ao Tratamento de Minérios**. Belo Horizonte : Editora UFMG, 2007.