



UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

***Comportamento de Compósitos de Polipropileno – Fibra de
Vidro em Solicitações de Fretting***

Pedro Alexandre de Almeida do Vale Antunes

Dissertação para a Obtenção de Grau de Mestre
em
Engenharia Mecânica



**Coimbra
2001**

RESUMO

No presente trabalho é estudado o comportamento de compósitos de polipropileno reforçado com fibra de vidro em solicitações de *fretting*. Este compósito foi ensaiado contra uma liga de alumínio da série 2024 com tratamento térmico T6. O trabalho experimental foi realizado no laboratório do Grupo de Construções Mecânicas do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, para o qual foi utilizado um equipamento de *fretting* anteriormente projectado e concebido no referido Grupo. O plano de ensaios foi dirigido por forma a estudar o efeito de quatro parâmetros: a amplitude de deslocamento, a humidade relativa, a temperatura e o tratamento superficial de anodização. Nos testes foram aplicados $1,368 \times 10^6$ ciclos, com uma frequência de 190 Hz, e contacto do tipo esfera-plano. Os ensaios foram realizados com os provetes montados no interior de uma câmara que permitiu variar e controlar o ambiente. Os testes foram realizados de forma paramétrica de modo a permitir estudar isoladamente a influência de cada um dos parâmetros. Assim, o programa experimental envolveu três séries de ensaios:

- Variação do deslocamento com valores nominais entre 5 e 200 μm ;
- Variação da humidade, foram realizados ensaios com valores de humidade relativa de 5, 50 e 90%;
- Variação da temperatura, foram efectuados ensaios com valores de temperatura, no ambiente envolvente, de 20, 50 e 70°C.

Em todas as séries de ensaios foram feitos, paralelamente, estudos com os provetes da liga de alumínio com e sem tratamento superficial de anodização.

No tratamento de resultados utilizou-se uma abordagem energética muito recente mas que tem grandes potencialidades.

No final dos ensaios as superfícies de *fretting* foram observadas por microscopia óptica e por microscopia electrónica de varrimento (MEV) com o objectivo de avaliar as variações nos modos de interacção e de ruína de superfícies. Foram identificados três regimes de *fretting*: o regime de colagem, o regime de grande escorregamento e o regime misto, cuja ocorrência depende fundamentalmente dos valores de amplitude de deslocamento, humidade relativa e temperatura de ensaio e tratamento superficial.

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract	v
Índice geral	vi
Índice de figuras	ix
Índice de tabelas	xiii
Nomenclatura	xx
CAPÍTULO 1 - Introdução	1
CAPÍTULO 2 - Comportamento tribológico de compósitos	4
2.1 - Introdução	5
2.1.1 - Classes de materiais compósitos	6
2.1.2 - Utilização de materiais compósitos em aplicações tribológicas	8
2.2 - Comportamento tribológico de materiais poliméricos	9
2.2.1 - Propriedades relevantes para aplicação tribológica	13
2.2.1.1 - Atrito	14
2.2.1.2 - Desgaste	19
2.3 - Comportamento tribológico de compósitos de matriz polimérica	34
2.3.1 - Comportamento de CMP de fibras curtas contra aço	35
2.3.2 - Compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras longas	43
2.3.3 - Fretting de compósitos de matriz polimérica	47
2.3.4 - Dinâmica de interface em contactos com compósitos poliméricos	48
2.3.5 - Caracterização do comportamento de compósitos em fretting	49

Referências	58
CAPÍTULO 3 - Materiais, técnicas e procedimentos experimentais	65
3.1 - Introdução	66
3.2 - Definição do par tribológico	66
3.2.1 - Ligas de alumínio da série 2xxx	67
3.2.1.1 - Liga 2024	67
3.2.1.2 - Composição química e propriedades da liga 2024-T6	67
3.2.1.3 - Tratamento superficial de anodização dos provetes de alumínio	69
3.2.2 - Compósito de matriz de polipropileno	71
3.3 - Dispositivo experimental	73
3.3.1 - Definição das características do dispositivo experimental	73
3.3.2 - Características do tribómetro	74
3.3.2.1 - Unidade de controlo	75
3.3.2.2 - Unidade de ensaios	76
3.3.2.2.1 - Dispositivo de controlo de humidade	80
3.3.2.3 - Unidade de aquisição e processamento de dados	85
3.4 - Procedimentos experimentais	86
3.4.1 - Ensaio tribológicos	86
3.4.2 - Preparação dos provetes	87
3.4.3 - Definição e regulação dos parâmetros de ensaio	89
3.4.4 - Aquisição de dados dos ensaios	90
3.4.5 - Equipamentos de caracterização e procedimentos	91
CAPÍTULO 4 - Apresentação e discussão dos resultados experimentais	93
4.1 - Introdução	94
4.2 - Definição e caracterização das condições de ensaio	94
4.2.1 - Definição dos parâmetros de ensaio	95
4.2.2 - Caracterização do contacto dos pares tribológicos	96

4.3 - Apresentação e discussão de resultados	97
4.3.1 - Efeito da amplitude de deslocamento	97
4.3.2 - Efeito da humidade	113
4.3.3 - Efeito da temperatura	124
4.3.4 - Morfologia das superfícies de desgaste	135
Referências	147
CAPÍTULO 5 - Conclusões	148
ANEXO	152

Referências

- [4.1] Wu P.Q., Mohrbacher H. Celis J.P, *The Fretting Behaviour of PVD TiN Coatings in Aqueous Solutions*, Wear 201, pgs. 171-177, 1996.
- [4.2] Campbell P. Q., Celis, J. P., Roos J. R. e Van Der Biest O., *Fretting Wear of Selected Ceramics and Cermets*, Wear 174, pgs. 47-56.,1994.
- [4.3] Fouvry S., Kapsa, Ph. e Vincent L., *Quantification of Fretting Damage*, Wear 200, pgs. 186-205, 1996.
- [4.4] Waterhouse R.B., *Fretting Wear*, ASM Handbook, Vol. 18, ASM International, pgs. 242-256, 1992.
- [4.5] Bill R. C., *The Role of Oxidation in the Fretting Wear Process*, NASA, Technical Memorandum, 81570, 1981.
- [4.6] Vingsbo O. e Söderberg S., *On Fretting Maps*, Wear 126, pgs. 131-147, 1988.
- [4.7] Johnson K. L., *Contact Mechanics and the Wear of Materials*, Wear 190, pgs. 162-170, 1995.
- [4.8] Fouvry S., Kapsa, Ph. e Vincent L., *Analysis of Sliding Behaviour for Fretting Loadings: Determination of Transition Criteria*, Wear 185, pgs. 35-46, 1995.
- [4.9] A. Ramalho, *Effect of dynamic response of fretting devices on the fretting results*, Proc. Of 22nd Meeting of the International Research, IRG-OECD, Cambridge Sept. 2000.
- [4.10] Lu Z., Friedrich K. e Pannhorst W., Heinz J., *Wear and friction of a unidirectional carbon fiber-glass matrix composite against various counterparts*, Wear 162-164, pgs. 1103-1113, 1993.
- [4.11] McNicol A., Dowson D. e Davies M., *The effect of humidity and electrical fields upon the wear of high density polyethylene and polytetrafluoroethylene*, Wear 181-183, pgs. 603-612, 1995.