



2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

COMPORTAMENTO DE MATERIAIS COMPÓSITOS USADOS NO REPARO DE DUTOS EM AMBIENTES AGRESSIVOS

Fabiano Luiz dos Santos Barcellos¹, Fernando Luiz Bastian², Roberto Tetsuo Fujiyama²,
Alexandre Nascimento de Sousa²

¹Bolsista Grad. ANP, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, EP, UFRJ, Caixa Postal: 68505, Cep: 21941-972, Ilha do fundão, Rio de Janeiro, RJ, e-mail: flsb@metalmat.ufrj.edu.br
² Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, COPPE, UFRJ, Caixa Postal: 68505, Cep: 21941-972, Ilha do fundão, Rio de Janeiro, RJ

Resumo – Muitos estudos envolvendo o uso de materiais compósitos no reparo de dutos tem se limitado a ambientes secos. Porém, em muitos casos, os dutos estão sujeitos a ambientes agressivos, como por exemplo água salgada, petróleo e seus derivados e excesso de umidade. Assim, é necessário estudar o comportamento desses materiais em vários ambientes agressivos de forma a garantir a segurança do reparo com o tempo. Este trabalho visa estudar o efeito de ambientes agressivos na microestrutura e no comportamento mecânico de dois materiais compósitos de matriz polimérica reforçados por fibras de vidro (o primeiro com o reforço na forma de tecido e o segundo com o reforço na forma de fibras contínuas e alinhadas), utilizados como reparo de dutos contendo defeitos causados por corrosão. O ambiente agressivo a ser estudado simula a exposição do material compósito ao petróleo e à água. Inicialmente, os dois materiais compósitos foram caracterizados, como fabricados, em microscópio ótico. Amostras dos dois materiais compósitos foram produzidas e submetidas a ensaios de envelhecimento acelerado na presença de água e petróleo. Uma avaliação do comportamento mecânico desses materiais antes e depois do envelhecimento na presença de água e petróleo já foi efetuada e os resultados serão apresentados neste trabalho.

Palavras-Chave: materiais compósitos; envelhecimento em petróleo; envelhecimento em água; envelhecimento de materiais compósitos

Abstract – The aim of the present work is to study the influence of aggressive environments (humidity and oil) on the microstructure and mechanical properties of two composite materials used in repairing corrosion damaged pipelines. One of the composite materials is made of woven glass fibers with an epoxy matrix and the other of unidirectional glass fibers with an ester-vinil matrix. These materials were submitted to accelerated aging tests in water and oil. The microstructure and tensile properties were characterized before and after the tests.

Keywords: composites materials, oil aging, humidity aging, composites materials aging

1. Introdução

Um segmento de grande importância no estudo de materiais compósitos está relacionada ao crescente interesse na sua utilização como reparo de dutos contendo defeitos causados por corrosão. Isso devido a sua praticidade, custo relativamente baixo e facilidade de aplicação em ambientes inóspitos. Entretanto, o efeito de ambientes agressivos no comportamento desses materiais ainda não é bem conhecido, colocando assim dúvidas sobre a segurança do reparo com o tempo.

“Várias referências sobre utilização de materiais compósitos (Bergeret et al.,1999; Chawla,1998) indicam que a falha do material compósito é comumente atribuída ao envelhecimento do material pelas condições ambientais em serviço a que o mesmo está submetido. Isso acontece devido a uma combinação de fatores como calor, luz, água e tensão mecânica que influenciam notadamente as propriedades do material.

A figura 1 ilustra um reparo com material compósito aplicado num segmento de duto com 500 mm de diâmetro.



Figura 1 – Foto ilustrativa do material compósito aplicado sobre um segmento de duto.

2. Objetivo

Este trabalho tem como objetivo geral estudar o efeito de ambientes agressivos na microestrutura e no comportamento mecânico de dois materiais compósitos de matriz polimérica reforçados por fibras de vidro (o primeiro com o reforço na forma de tecido, este produzido no Laboratório de Compósitos do PEMM/COPPE/UFRJ e o segundo com o reforço na forma de fibras contínuas e alinhadas) utilizados como reparo de dutos contendo defeitos causados por corrosão. O ambiente agressivo a ser estudado simula a exposição dos materiais compósitos ao petróleo e a água.

3. Materiais e Métodos

3.1. Materiais Compósitos

Dois materiais compósitos foram selecionados para o estudo de envelhecimento em água e petróleo. Um formado por tecido de fibra e resina epóxi, este produzido pelo método de laminação manual (*Hand Lay-Up*); e o outro formado por fibras contínuas e alinhadas e resina éster vinílica, o qual foi produzido por pultrusão.

3.2. Propriedades Mecânicas dos Materiais Compósitos

Corpos de prova utilizados no procedimento de ensaio de tração foram produzidos de acordo com a norma da ASTM D 3039/D 3039M – 2000. A geometria e as dimensões do corpo de prova, de acordo com a norma, estão ilustradas na figura 2 onde, de acordo com as características de alinhamento das fibras 0/90°, foram utilizados corpos de prova nas dimensões 25,4 mm de largura, comprimento útil de 127 mm e 3,0 mm de espessura.

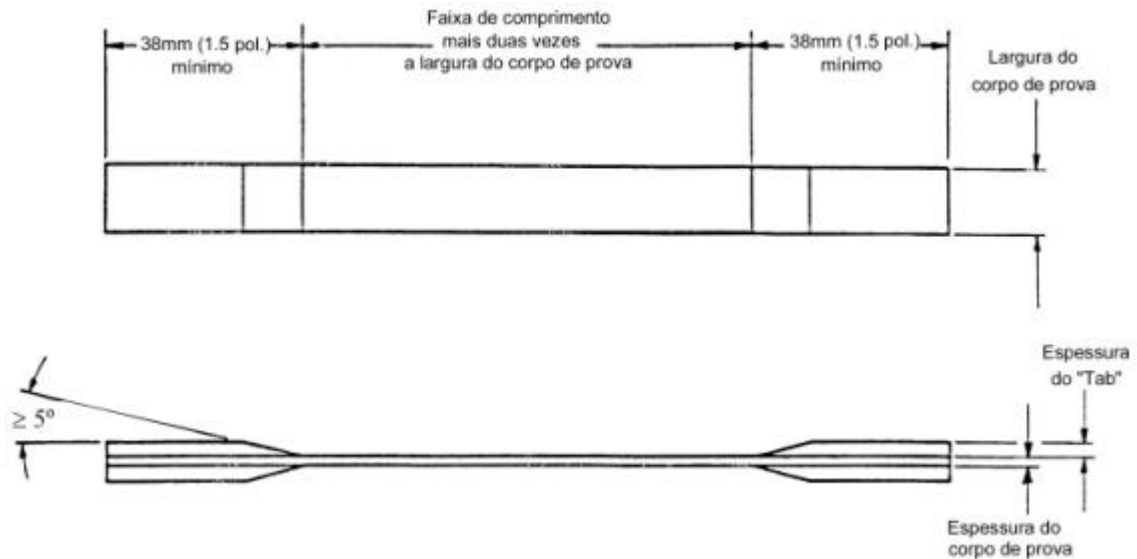


Figura 2 - Geometria do corpo de prova utilizado no ensaio de tração.

Os ensaios mecânicos de tração foram realizados em uma máquina de ensaios universal marca Instron, modelo TTDML-1125, com célula de carga de 2,5kN e velocidade de ponte de 1,0 mm/min. Com os resultados obtidos nos ensaios, determinou-se as propriedades mecânicas dos dois materiais em questão.

3.3. Caracterização Microestrutural dos Materiais Compósitos

Amostras de 20 mm x 10 mm e 3 mm de espessura foram retiradas, na direção transversal e longitudinal de laminação dos dois materiais compósitos em questão, e embutidas em resina epóxi. Posteriormente, foram realizadas operações de lixamento e polimento. No lixamento, foram utilizadas lixas com granulometria de 220, 320, 400 e 600. Após a operação com a lixa de menor granulometria, as amostras foram submetidas ao processo de polimento em um equipamento Prazis APL-4, utilizando-se material de polimento AP - Paste F (alumina 0.25 μ m).

Na obtenção das imagens no microscópio óptico Olympus modelo BX60M utilizaram-se corpos de prova embutidos e posteriormente lixados e polidos como descrito anteriormente. Nessa etapa foram feitas fotografias, no formato JPEG, digitais com o uso de uma máquina fotográfica CCD COMU/Snappy. Cada amostra foi detalhada em toda a sua extensão com aumento de 50 X, sendo fracionada em várias posições (linha x coluna).

3.4. Ensaio de Envelhecimento

Os ensaios de envelhecimento dos materiais compósitos foram realizados no Laboratório de Compatibilidade Química do Centro de Pesquisas da Petrobrás – CENPES. Corpos de prova dos dois materiais, produzidos de acordo com a norma da ASTM D 3039/D 3039M – 2000, foram colocados em reatores que continham água ou petróleo. Os ensaios foram realizados à temperatura de 60° C e pressão de 1 atm., durante um período de 30 dias ininterruptos. Estes parâmetros reproduzem uma condição de campo de aproximadamente 1 ano.

Na figura 3, tem-se fotos dos reatores contendo amostras dos dois materiais compósitos para o ensaio em água e em petróleo, respectivamente.

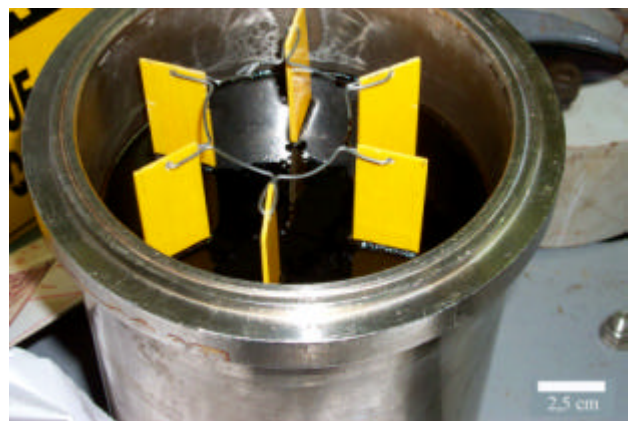
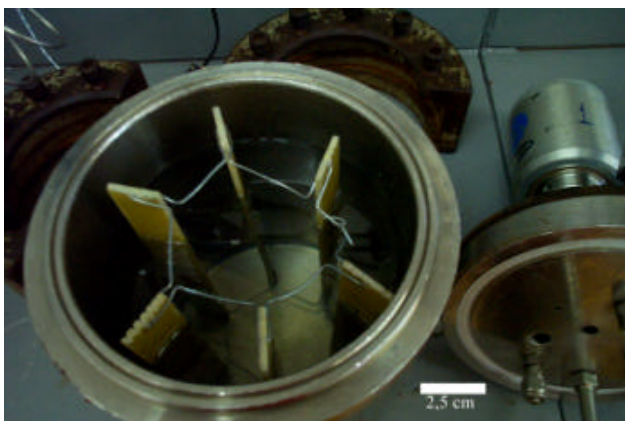


Figura 3 - Reatores abertos após os 30 dias de ensaio em água e petróleo.

4. Resultados e Discussões

4.1. Propriedades Mecânicas de Tração dos Materiais Compósitos Antes e Após o Envelhecimento em Água

“Fujiyama (2002) revisou os resultados de tensão máxima, deformação máxima e módulo de elasticidade obtidos no ensaio de 6 amostras dos dois materiais compósitos, os quais estão listados na tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração dos materiais compósitos antes e após o envelhecimento em água.

Propriedades Mecânicas de Tração						
Material Compósito	Antes do Envelhecimento			Após o Envelhecimento		
	Tensão Máxima [MPa]	Deformação Máxima [%]	Módulo de Elasticidade [GPa]	Tensão Máxima [MPa]	Deformação Máxima [%]	Módulo de Elasticidade [GPa]
Reforçado com tecido	372,80	2,62	13,95	250,78	1,73	14,02
Reforçado com fibras contínuas e alinhadas	379,58	0,25	137,66	236,98	0,90	24,93

A partir dos dados obtidos, observa-se que o efeito higrotérmico, devido a exposição à água e temperatura, deteriorou os dois materiais compósitos, fato este caracterizado pela redução do limite de resistência e da deformação máxima apresentados pelos materiais.

Para o material compósito produzido no Laboratório de Compósitos, o fato do módulo de elasticidade ter se mantido praticamente constante é um indicativo de que a absorção de água levou a uma deterioração do material compósito, isso ocorrendo de forma mais pronunciada na matriz do que as fibras, uma vez que as fibras são as principais responsáveis pela rigidez do material compósito. Este material apresentou reduções da ordem de 33% na tensão máxima de fratura e de 34% na deformação máxima na fratura.

Para o material compósito reforçado por fibras contínuas e alinhadas, a elevada redução do módulo de elasticidade é um indicativo de que o efeito higrotérmico, devido a exposição à água e a temperatura do ensaio de envelhecimento ($T=60\text{ }^{\circ}\text{C}$), modificou a sua estrutura interna. Este material apresentou reduções da ordem de 23% na tensão máxima de fratura e de 82% no seu módulo de elasticidade. Já sua deformação máxima na fratura teve um aumento de 364% após o envelhecimento. Isso caracteriza uma plastificação deste material.

4.2. Propriedades Mecânicas de Tração dos Materiais Compósitos Antes e Após o Envelhecimento em Petróleo

“Fujiyama (2002) revisou os resultados de tensão máxima, deformação máxima e módulo de elasticidade obtidos no ensaio de 6 amostras dos dois materiais compósitos, os quais estão listados na tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração dos materiais compósitos antes e após o envelhecimento em petróleo.

Material Compósito	Propriedades Mecânicas de Tração					
	Antes do Envelhecimento			Após o Envelhecimento		
	Tensão Máxima [MPa]	Deformação Máxima [%]	Módulo de Elasticidade [GPa]	Tensão Máxima [MPa]	Deformação Máxima [%]	Módulo de Elasticidade [GPa]
Reforçado com tecido	372,80	2,62	13,95	258,55	2,04	12,83
Reforçado com fibras contínuas e alinhadas	379,58	0,25	137,66	294,23	1,31	22,30

A partir dos dados obtidos, observa-se que o efeito higrotérmico, devido à exposição ao petróleo e temperatura, acelerou o mecanismo de degradação nas propriedades dos dois materiais compósitos, fato este caracterizado pela redução do limite de resistência e da deformação máxima apresentados pelos materiais.

Para o material compósito produzido no Laboratório de Compósitos, a maior redução do módulo de elasticidade é um indicativo de que a absorção de petróleo tem um efeito mais pronunciado na deterioração da matriz do que a absorção de água. Este material apresentou reduções da ordem de 31% na tensão máxima de fratura, 22% na deformação máxima na fratura e de 8% no seu módulo de elasticidade.

Novamente, o material compósito reforçado por fibras contínuas e alinhadas apresentou uma elevada redução do seu módulo de elasticidade. Isto é um indicativo de que o efeito higrotérmico, devido à exposição ao petróleo e a temperatura do ensaio de envelhecimento ($T=60\text{ }^{\circ}\text{C}$), também modificou a estrutura interna do material. Este material apresentou reduções da ordem de 22% na tensão máxima de fratura e de 84% no seu módulo de elasticidade. Já sua deformação máxima na fratura teve um aumento de 424%, o que também caracteriza uma plastificação deste material.

4.3. Caracterização Microestrutural Antes do Envelhecimento

Nas figuras 4 e 5, tem-se ilustradas as microestruturas obtidas em microscópio óptico, antes do envelhecimento, dos dois materiais compósitos.

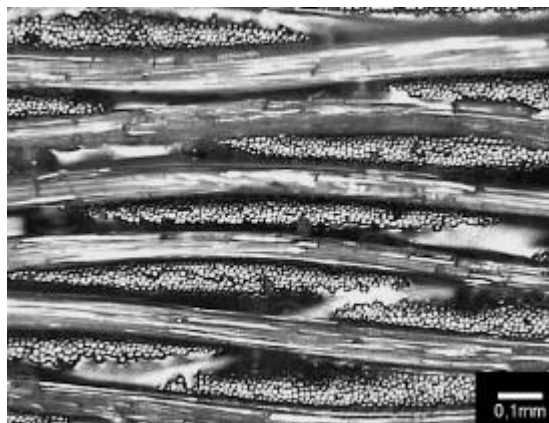


Figura 4 - Microestrutura do material compósito produzido pelo Laboratório de Compósitos, na direção transversal, como fabricado, com um aumento original de 50X.

A figura 4 ilustra o arranjo das fibras de vidro no interior da matriz de epóxi do material compósito produzido no Laboratório de Compósitos na direção transversal. Pode-se observar que o conjunto de fibras, utilizado como reforço da matriz, está disposto na forma de tecido e diâmetro das fibras é da ordem de 0,1 mm. Além disso, há a presença de porosidades originadas pelo aprisionamento de gases liberados durante a reação de cura exotérmica do material.

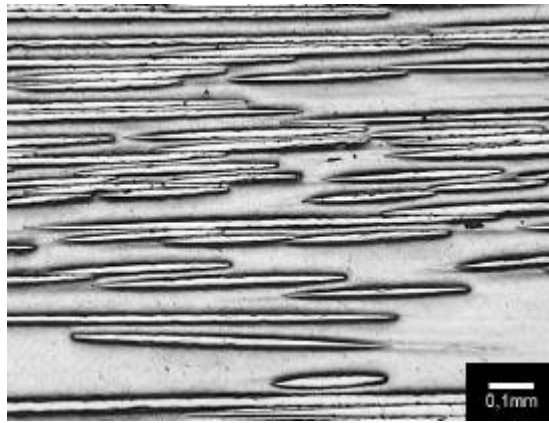


Figura 5 - Microestrutura do material compósito reforçado por fibras contínuas e alinhadas, na direção longitudinal, como fabricado, com um aumento original de 50X.

A figura 5 ilustra o arranjo das fibras de vidro no interior da matriz de éster vinílico do material compósito reforçado por fibras contínuas e alinhadas na direção longitudinal. Pode-se observar a direção do processo de fabricação deste material e além disso, a figura revela regiões de alta (acarreta uma falta de molhabilidade da matriz nas fibras, ocasionando danos superficiais nas mesmas) e baixa concentração de fibras.

5. Conclusões

- Os efeitos higrotérmicos aceleraram o processo de deterioração dos dois materiais compósitos, fato este caracterizado pela redução do limite de resistência e da deformação máxima apresentados pelos materiais.

- **Compósito do Laboratório de Compósitos:** Após o envelhecimento em água, o fato do módulo de elasticidade ter se mantido praticamente constante é um indicativo de que a absorção de água levou a uma deterioração do material compósito, isso ocorrendo de forma mais pronunciada na matriz do que as fibras, uma vez que as fibras são as principais responsáveis pela rigidez do material compósito. Após o envelhecimento em petróleo, a maior redução do módulo de elasticidade é um indicativo de que a absorção de petróleo tem um efeito mais pronunciado na deterioração da matriz do que a absorção de água

- **Compósito reforçado por fibras contínuas e alinhadas:** Após os ensaios de envelhecimento, a elevada redução do módulo de elasticidade é um indicativo de que tanto a absorção de água quanto a de petróleo causaram uma plastificação do material, modificando assim a sua estrutura interna.

6. Agradecimentos

À ANP pelo suporte financeiro e bolsa de estudos.
Ao CNPq, CNPq/CT Petro e FINEP/CT Petro pelo apoio financeiro.
Ao Laboratório de Compatibilidade Química do CENPES.

7. Referências

- ASTM , “Test Method D3039/D3039M-00 Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials”, In: 2001 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 15.03, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 163-168, 2001.
- BERGERET, A., PIRES, I., FOULC, B., ABADIE, L. Ferry and CRESPIY A., “The Hygrothermal Behaviour of Glass Fibre Reinforced Thermoplastic Composite – A Prediction of the Composite Lifetime” , Centre des Matériaux de Grande Diffusion, Ecole des Mines d’Alés.
- CHAWLA, K. K., “Composite Materials: Science and Engineering”, 2nd Ed. New York, Springer-Verlag, 1998.
- FUJIYAMA, R. T. “Materiais Compósitos para Reparos de Dutos em Ambiente Terrestre com Defeitos Internos”, Exame de Qualificação PEMM/COPPE/UFRJ em 11/10/2002.