



INFLUÊNCIA DA EXPOSIÇÃO PROLONGADA A TEMPERATURAS ELEVADAS NA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO INTERLAMINAR DE COMPÓSITOS DE CARBONO/EPOXI

Geraldo Maurício Cândido

Sérgio Frascino Müller de Almeida

Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Divisão de Engenharia Mecânica Aeronáutica
12228-900 São José dos Campos – SP
frascino@mec.ita.cta.br

Mirabel Cerqueira Rezende

Instituto de Aeronáutica e Espaço
Divisão de Materiais
12228-904 São José dos Campos – SP
mirabel@iae.cta.br

Resumo. *A temperatura é uma condição ambiental severa que age sobre um compósito de matriz polimérica. Quando estruturas laminadas são expostas a um aquecimento de alta intensidade, uma redução pronunciada na capacidade de carregamento do compósito pode ocorrer, devido à uma possível degradação de suas propriedades mecânicas. Além disso, tensões térmicas elevadas podem ser induzidas nas regiões expostas ao aquecimento. O objetivo deste trabalho é caracterizar a resistência ao cisalhamento interlaminar (ILSS), à temperatura ambiente, de laminados unidirecionais de carbono/epoxi fabricados com material pré-impregnado de aplicação aeronáutica. Um lote de doze corpos-de-prova é ensaiado imediatamente após ser submetido à secagem em estufa a $110^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, até estabilizar a massa seca do compósito. O outro lote é ensaiado com teor de umidade absorvido da exposição à condição ambiente desde a fabricação. Os resultados mostram que os efeitos da secagem do laminado reduzem drasticamente a resistência ao cisalhamento interlaminar. A diferença de desempenho a favor dos laminados não condicionados é de 22,8 % . Esta diferença significativa indica que a resistência ao cisalhamento interlaminar depende, principalmente, das propriedades da matriz e da resistência ao cisalhamento interfacial fibra/resina. Isto sugere que a retirada da umidade por secagem influencia na adesão interfacial fibra/resina.*

Palavras-chave. *efeito térmico, compósitos poliméricos, laminados, cisalhamento interlaminar e interface fibra/resina.*

1. INTRODUÇÃO

Estruturas em materiais compósitos fabricadas com matriz epoxi reforçadas com fibras de carbono, utilizadas em aplicações aeroespaciais, muitas vezes em condições de serviço são submetidas a grandes variações de temperatura. Neste caso, um aquecimento de alta intensidade nas regiões mais expostas ao calor, pode causar uma redução pronunciada na capacidade de carregamento do compósito, contribuindo para degradar suas propriedades mecânicas (Dimitrienko, 1997). Devido à diferença que existe entre as propriedades do reforço e da matriz e às mudanças de temperatura que ocorrem durante a fabricação e o carregamento térmico em serviço, a formação de

tensões térmicas elevadas podem ser induzidas no compósito. Essas tensões podem ser grandes o suficiente para causar a fratura nas fibras, falhas na matriz e descolamento interfacial fibra/resina (You, Long, 1998).

Para muitas matrizes, o efeito do aumento de temperatura sobre o compósito é muito similar ao aumento do conteúdo de umidade. Cândido et al. (2000a) demonstram experimentalmente que a umidade absorvida degrada substancialmente as propriedades de cisalhamento interlaminar de laminados unidirecionais. Alterações destrutivas na interface fibra/resina são verificadas devida à degradação das interações físico-químicas existentes entre a resina e a fibra. Collings et al. (1993) também demonstram experimentalmente que um incremento de temperatura de 70 °C produz um efeito equivalente ao da absorção de umidade na resistência à compressão, tração e ao cisalhamento interlaminar, reproduzindo o modo de falha característico de estruturas submetidas ao calor e umidade.

O comportamento de um laminado não é explicado somente pelas propriedades específicas de seus componentes principais, fibra e resina. A interface fibra/resina é também importante, sendo considerada o terceiro componente de um compósito. Uma boa adesão fibra/resina é essencial para que ocorra a transferência de esforços no laminado, principalmente as tensões de cisalhamento e garantir boas propriedades fora do plano do laminado (Kakavas et al., 1995; Connor et al., 1997; Meurs et al., 1998 e Mahiou, Béakou, 1998). A interface por definição apresenta uma espessura infinitamente pequena, pois essa ocorre nos pontos de contato entre os dois componentes. Essa interação tem uma importante influência na rigidez, tenacidade e comportamento de falha do compósito, principalmente se o material for submetido a condições ambientais (Kotaki, Hamada, 1997 e Mai et al., 1998).

O interesse técnico e científico sobre as propriedades da interface fibra/resina do compósito existe há longo tempo. Esse interesse surgiu porque o processo de descolamento da interface afeta as propriedades de falha macroscópica dos compósitos. Vários métodos de investigação estão disponíveis para fornecer informações sobre a interface fibra/resina. O ensaio mecânico de resistência ao cisalhamento interlaminar (ILSS), padronizado pela ASTM D 2344, é um dos métodos mais utilizados para laminados unidirecionais, apoiado pelo uso da técnica de microscopia eletrônica de varredura.

Utilizando-se um corpo-de-prova cuja forma geométrica é a de uma viga curta, o ensaio de resistência ao cisalhamento interlaminar fornece a máxima resistência à adesão interfacial, após ser submetido ao carregamento de flexão em três pontos. Idealmente, a falha ocorre no plano médio paralelo às fibras por modo de cisalhamento, e a carga de fratura é interpretada como a medida de resistência ao cisalhamento interlaminar do compósito (Xie, Adams, 1995 e Rosselli, Santare, 1997).

No presente trabalho, este método de caracterização mecânica é utilizado para medir a resistência ao cisalhamento interfacial em laminados unidirecionais de carbono/epoxi nas condições seco à temperatura ambiente e seco em estufa, para a retirada do teor de umidade ambiente retido no compósito desde a sua fabricação. Para fins de comparação dos resultados, a análise microscópica da interface fibra/resina no plano de falha é realizada para ambas condições dos laminados ensaiados, pela técnica de microscopia eletrônica de varredura.

2. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

2.1. Fabricação dos Laminados

O material pré-impregnado unidirecional selecionado é fornecido pela empresa *Hexcel Composites* na forma de uma bobina de fita unidirecional contínua, com a descrição do produto T 2H 190-12"-F593-12: 38 %. A letra T significa *tape*, 2H indica que a fibra é de carbono de módulo padrão AMOCO T-300/12K com 12000 filamentos por cabo, 190 define a gramatura em g/m², 12" a largura da bobina, F593-12 o sistema de resina epoxi modificada, e 38 % é o conteúdo nominal em massa de resina que tem o pré-impregnado. O sistema de resina F593 permite fácil conformação

em superfícies curvas (Hexcel, 1996). As fitas de fibras de carbono unidirecionais contínuas também oferecem a vantagem de obtenção dos melhores resultados de propriedades de engenharia com economia de peso, devido ao conteúdo de filamentos por cabo de fibras ser arranjado de forma unidirecional, facilitando a melhor consolidação do laminado e, também, devido à distribuição de resina por unidade de área ser cuidadosamente controlada durante o processo de fabricação do pré-impregnado, proporcionando uma boa distribuição do impregnante no produto laminado final (Lee, 1991; Vinogradov et al., 1995).

Quinze camadas medindo (200 × 100) mm são cortadas e laminadas manualmente sobre uma placa molde de alumínio, com as fibras posicionadas no sentido 0°. Para se obter a compactação uniforme das camadas e, simultaneamente, extrair voláteis, solventes e umidade, evitando-se a formação de vazios e removendo-se o excesso de resina do laminado, é necessário confeccionar uma bolsa de filme plástico flexível sobre a placa molde para aplicação de vácuo no compósito (Cândido et al., 2000b). Esse procedimento é realizado em uma sala climatizada e a cura do laminado é consolidada em uma autoclave pelo processo a vácuo, para garantir a porcentagem volumétrica de fibra e a adesão entre as camadas do laminado.

O ciclo completo de cura mostrado esquematicamente na Fig. (1) é programado para operar a 181 °C com 0,69 MPa (6,9 bar) de pressão e vácuo de 0,083 MPa (0,83 bar), com taxa de aquecimento e resfriamento de 2,5 °C/min. A aplicação do vácuo visa a eliminação de vazios. Essa atividade é monitorada e avaliada por termopares, manômetros e vacuômetro. Durante essa etapa do processamento não é registrado nenhum desvio em relação ao esquema do ciclo apresentado. Após a cura, o laminado é desmoldado e inspecionado por ultra-som pela técnica de transmissão por coluna de água com transdutor de 5 MHz e jatos de 3 mm de diâmetro (Cândido et al., 2000b). Não sendo detectada a existência de discontinuidades dos tipos vazios, trincas, delaminações e outras que possam comprometer a estrutura do laminado, é iniciada a preparação dos corpos-de-prova.

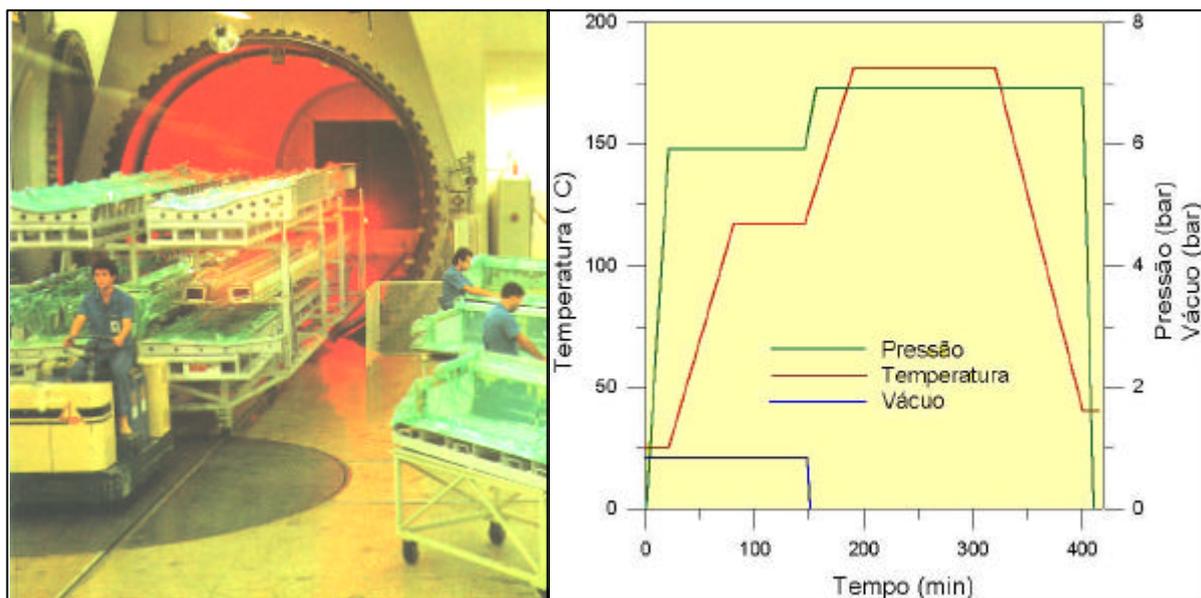


Figura 1. Ciclo de cura realizado em autoclave.

2.2. Corpos-de-prova

Os corpos-de-prova utilizados no ensaio de resistência ao cisalhamento interlaminar, padronizado pela ASTM D 2344, têm forma geométrica de uma viga plana muito curta usinada nas dimensões aproximadas de (21,0 × 6,35 × 3,11) mm com o comprimento paralelo à direção das fibras. Devido à simplicidade do método e à pouca complicação na preparação dos corpos-de-prova, esse ensaio é muitas vezes utilizado como ferramenta de controle da qualidade do material com ampla aceitação para avaliar propriedades de adesão interfacial fibra/resina de compósitos. Neste

trabalho, esse método é utilizado para medir a resistência ao cisalhamento interlaminar de laminados unidirecionais de carbono/epoxi nas condições seco em estufa e seco na temperatura ambiente.

Como os laminados unidirecionais são bastante sensíveis à delaminação nos pontos de entrada e de saída da ferramenta e as fibras de carbono são naturalmente rígidas e frágeis, o corte desse tipo de laminado é realizado com disco diamantado operando em altas rotações. Neste caso, a abrasividade do compósito é superada resultando em um corte com qualidade, minimizando, assim, a possibilidade de causar delaminações de borda livre. A operação de preparação dos vinte e quatro corpos-de-prova é finalizada com o lixamento manual das superfícies cortadas, para garantir o acabamento especular das bordas livres (Cândido et al., 2000a).

2.3. Secagem em Estufa

Um lote de doze corpos-de-prova é submetido à secagem estufa a 110 ± 2 °C por duas horas. Esse procedimento é realizado com base na norma ASTM C 562-85 e a operação repetida várias vezes até que a massa seca dos laminados ficasse constante, com precisão de $\pm 0,002$ g. No intervalo após a secagem antes de iniciar o ensaio mecânico, todos os corpos-de-prova são armazenados em um dessecador para reduzir a absorção de umidade ambiente na estrutura do compósito.

2.4. Ensaio Mecânico

O ensaio de resistência ao cisalhamento interlaminar é realizado em uma máquina *Kratos* modelo K10000, equipada com célula de carga de 500 kgf conforme mostra a Fig. (2).

As extremidades dos corpos-de-prova são apoiadas em dois suportes do dispositivo de ensaio com 3,18 mm de diâmetro, espaçados em um vão que corresponde a quatro vezes a espessura do laminado. A carga é aplicada no ponto médio do corpo-de-prova por uma punção de ponta esférica de 6,35 mm de diâmetro, a uma velocidade de 1,3 mm/min até o laminado falhar.

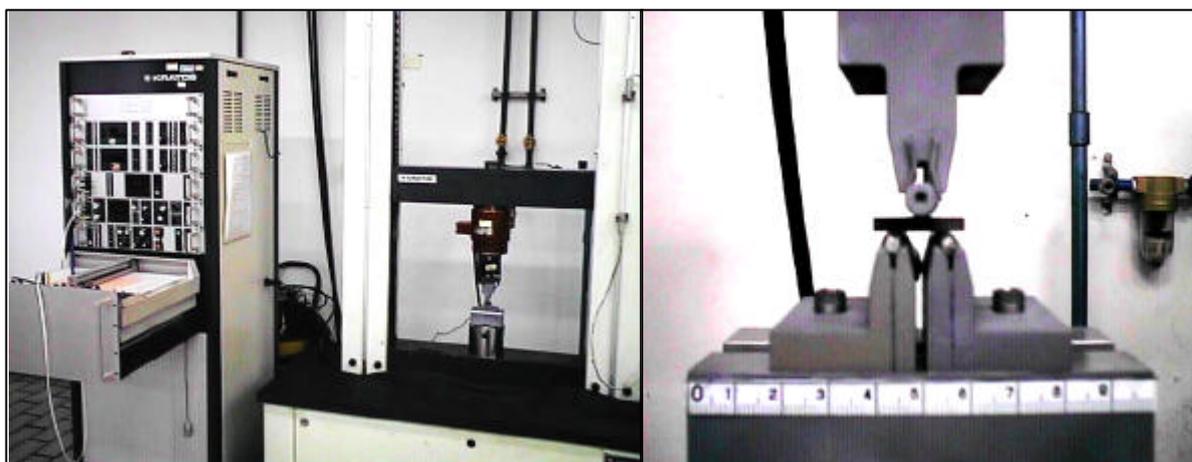


Figura 2. Ensaio de resistência ao cisalhamento interlaminar.

Por ser suficientemente pequena a relação entre o vão dos suportes e a espessura dos corpos-de-prova; a falha idealmente ocorre por cisalhamento interlaminar das camadas ao longo do plano horizontal. A máxima tensão de cisalhamento está relacionada com a carga máxima, largura e espessura do corpo-de-prova. Esse método de ensaio é sensível ao alinhamento das fibras e a qualidade de acabamento da superfície do laminado. Também não é adequado à geração de dados para projeto, pois não é possível separar-se os efeitos combinados de cisalhamento e flexão. Além disso, muitas vezes a falha ocorre fora do plano médio esperado. Quando o modo e local da falha

ocorrem da forma esperada, o método pode ser utilizado como teste comparativo de compósitos poliméricos.

2.5. Análise Microscópica

A análise microestrutural da adesão interfacial fibra/resina no plano de falha dos laminados ensaiados em cisalhamento interlaminar é realizada em um microscópio eletrônico de varredura LEO 435 VPI, sem a necessidade de metalizar as amostras. Com essa técnica obtém-se uma excelente profundidade de foco viabilizando a análise da interface fibra/resina na superfície de fratura dos laminados ensaiados nas condições seco em estufa e em condições ambiente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Qualidade do Compósito

O padrão da qualidade do laminado fabricado é certificado por inspeção com varredura ultrassônica pela técnica de transmissão utilizando coluna de água. Os efeitos combinados da temperatura, pressão e vácuo são fundamentais na obtenção dos laminados com espessura uniforme e isentos de defeitos, onde os espaços são completamente preenchidos pela resina. Essa característica é atribuída à relação do fluxo da resina com a viscosidade e o seu tempo de gelificação. Nenhuma descontinuidade dos tipos vazios, trincas e delaminações é observada na estrutura em análise do compósito. Portanto, os laminados estão em conformidade para o ensaio de caracterização mecânica proposto. Este resultado é atribuído às três condições fundamentais da metodologia de fabricação dos laminados, que foram rigorosamente cumpridas.

A primeira condição corresponde à correta observação dos procedimentos básicos adotados na armazenagem e manuseio das camadas, durante o processamento do material pré-impregnado. No presente trabalho essa etapa foi realizada em um ambiente adequadamente limpo, com faixas de temperatura e umidade relativa controladas. Esse rigor é necessário para impedir a contaminação do material por partículas e impurezas do ar, evitando, assim, a degradação das suas propriedades mecânicas.

A segunda condição é atribuída à programação adequada dos parâmetros de pressão, temperatura e vácuo para a cura em autoclave do sistema de resina epoxi F593. Os efeitos adversos do uso incorreto da pressão de cura no fluxo da resina, durante a compactação das camadas e na extração dos voláteis, refletem na introdução de vazios na estrutura do laminado, afetando diretamente as propriedades mecânicas do compósito.

A terceira condição está na execução cuidadosa das operações de usinagem do compósito durante o ajuste do contorno e acabamento da borda dos corpos-de-prova para evitar a delaminação de borda livre. O corte com disco diamantado, girando em altas rotações e operando com velocidades de entrada e saída adequadas, é mais apropriado para esse tipo de compósito, pois supera a abrasividade das fibras de carbono distribuídas no sentido unidirecional.

4. COMPORTAMENTO EM CISALHAMENTO INTERLAMINAR

Apesar das aplicações dos laminados unidirecionais serem limitadas pelo fato das propriedades mecânicas em outras direções, que não a longitudinal, serem bastante inferiores, o estudo do comportamento desse sistema é muito importante, pois ajuda a prever o desempenho de laminados multidirecionais. Neste caso, a resposta ao cisalhamento interlaminar é utilizada como base de comparação dos mecanismos de adesão interfacial da fibra de carbono/resina epoxi. Parte desses laminados unidirecionais é seca em estufa cujos resultados são comparados com os laminados secos na condição ambiente. Os resultados são determinados a partir da equação da tensão de cisalhamento deduzida da teoria de viga. As medidas da resistência ao cisalhamento interlaminar dos corpos-de-prova, ensaiados nas duas diferentes condições ambientais, estão mostradas na Tab.

(1). Nesta tabela incluem-se, também, o máximo e o mínimo valor medido para caracterizar a dispersão de dados.

Tabela 1. Resultados dos ensaios de resistência ao cisalhamento interlaminar.

Laminados	Resistência ao Cisalhamento (MPa)		
	Máximo	Mínimo	Médio
Seco em Estufa	94	71	88
Condição Ambiente	116	111	114

Embora o padrão da qualidade obtido nos laminados tenha sido o mesmo em todos os corpos-de-prova, esses diferentes ambientes podem estar provocando mudanças nas características físico-químicas da resina e da superfície da fibra, sendo essas determinantes nos resultados de resistência ao cisalhamento interlaminar. A análise da Tab.(1) mostra o efeito significativo da ação da temperatura na matriz polimérica e na interface fibra/resina do laminado.

Sabendo-se que, uma boa adesão entre a fibra e a resina é pré-requisito para uma boa transferência de tensão no laminado, a análise do modo de falha interfacial embasado no conhecimento da qualidade da adesão fibra/resina, é condição essencial para explicar a resistência ao cisalhamento interlaminar.

Analisando-se os resultados, observa-se que a secagem do laminado em estufa, para extrair o conteúdo de umidade absorvido do ambiente de serviço, reduz fortemente a resistência ao cisalhamento interlaminar. A resistência dos laminados na condição ambiente é cerca de 22,8% maior do que a dos laminados secos em estufa. A dispersão de dados (estimada como a diferença entre o valor máximo e o valor mínimo) dos laminados secos em estufa é consideravelmente maior do que a dos laminados na condição ambiente. Conclui-se que, o processo de desumidificação por secagem degrada a interface fibra/resina. Isto sugere que a retirada da umidade absorvida do ambiente de operação pode ter provocado o encolhimento da matriz pela alteração dos volumes livres do polímero, fragilizando a interface fibra/resina e introduzindo tensões. Além disso, a secagem pode também alterar a temperatura de transição vítrea da resina, podendo, conseqüentemente, modificar a temperatura de serviço do compósito.

Um outro fator a ser considerado na retirada da umidade desses laminados, em temperatura inferior à de cura, é a diferença entre os coeficientes de expansão térmica da fibra de carbono e da resina epoxi, combinada com a fragilidade da resina. Esse fator causa o surgimento de tensões residuais durante o resfriamento do compósito, que pode ser a causa do descolamento na interface fibra/resina do laminado, conforme mostra a Fig.(3). Esta imagem é extraída do plano de falha por cisalhamento do laminado, podendo-se observar regiões com alguns fragmentos de resina, que permaneceram aderidos às fibras e outras regiões com as fibras completamente destituídas da proteção da resina. A superfície limpa das fibras indica que ocorre uma falha extensa na interface.

Por outro lado, a Fig.(4) mostra a proximidade da interface fibra/resina do laminado na condição ambiente, onde se observa uma boa ancoragem da resina nas fibras. Neste caso, o compósito apresenta uma região de ancoragem da matriz na fibra mais bem definida, característica essencial para se obter melhores resultados de resistência ao cisalhamento interlaminar no ensaio mecânico. É através dessa interação fibra/resina que as tensões são transferidas da resina para a fibra, quando o laminado é solicitado pelo carregamento em flexão.

Nessa figura as setas indicam a presença de espaços vazios de dimensões micrométricas ao redor das fibras, que podem ser ocupados por moléculas de água, quando os laminados são submetidos ao condicionamento ambiental. A observação da textura do laminado na condição ambiente permite compreender melhor o provável fenômeno de ocupação dos volumes livres existentes na matriz epoxi pela água, nos laminados condicionados.

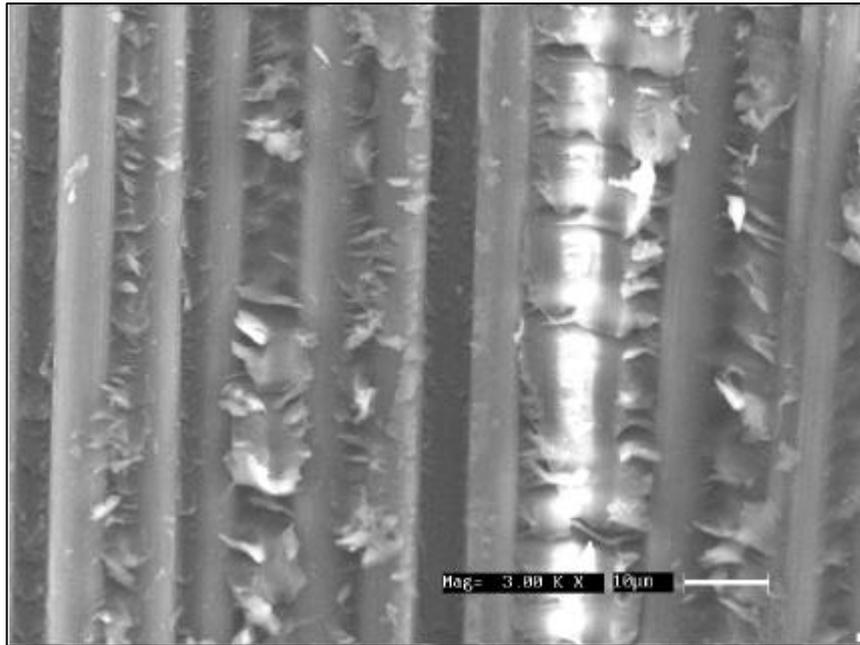


Figura 3. Interface fibra/resina no plano de falha do laminado seco em estufa.

A análise cuidadosa da Fig.(4) revela, também, que as fibras estão recobertas por uma fina camada de resina, sugerindo que o cisalhamento ocorreu na região da matriz polimérica preferencialmente, ao contrário do laminado condicionado, onde a falha ocorreu na interface fibra/resina, evidenciada pelo fato do reforço mostrar-se liso e sem resíduos da matriz polimérica.

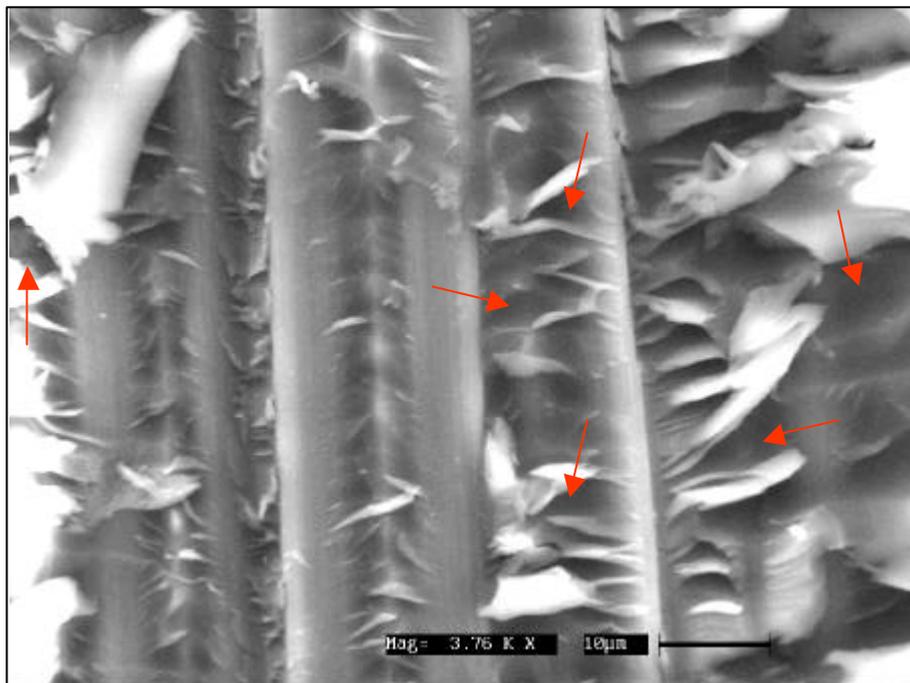


Figura 4. Interface fibra/resina no plano de falha do laminado na condição ambiente.

5. CONCLUSÕES

Analisando-se os resultados obtidos no presente trabalho pode-se concluir que o processo de fabricação utilizado na produção de laminados unidirecionais de material pré-impregnado apresenta boa repetibilidade. Porém, o comportamento e o desempenho de um compósito não pode ser explicado somente pelas propriedades específicas de seus componentes fibra e resina. A interface que existe entre fibra/resina é também um componente fundamental. Uma boa adesão entre as fibras e a resina é uma pré-condição para a transferência de tensão. O ensaio de resistência ao cisalhamento interlaminar e a análise por microscopia eletrônica de varredura são escolhidos para este estudo. A determinação da resistência ao cisalhamento interlaminar permitiu a análise da qualidade de adesão fibra/resina de um mesmo laminado unidirecional, submetido a dois diferentes tipos de condicionamentos: elevada temperatura de secagem em estufa e seco na condição ambiente.

É verificado que, a eliminação do conteúdo de umidade presente na estrutura do compósito também contribuiu para reduzir de forma drástica a resistência ao cisalhamento interlaminar. A temperatura de secagem afeta a adesão interfacial fibra/resina. Os resultados de resistência ao cisalhamento interlaminar demonstram que a eliminação total do conteúdo de umidade do laminado, reduz drasticamente esta propriedade dominada pela resina. O efeito do condicionamento ambiental no laminado, contendo a porcentagem zero de umidade, é complexo e afeta a interface fibra/resina. Portanto, esses aspectos devem ser considerados no projeto de estruturas e na caracterização experimental dos laminados para o levantamento de valores admissíveis em compósitos.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP pelo apoio financeiro (Processo 96/04116-6), ao CNPq (Processo 300599/96), à EMBRAER, INPE e à Divisão de Materiais/IAE/CTA pelo suporte na parte experimental e à empresa HEXCEL Composites pelo fornecimento do material pré-impregnado.

7. REFERÊNCIAS

Cândido, G. M., Almeida, S. F. M. & Rezende, M. C., 2000a, “Efeitos do Condicionamento Higrotérmico na Resistência ao Cisalhamento Interlaminar de Laminados de Carbono/Epoxi”. In: 14^o Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, São Pedro. *Anais ...* São Pedro DEMA – UFSCar. 1 CD.

Cândido, G. M., Almeida, S. F. M. & Rezende, M. C., 2000b, “Processamento de Laminados de Compósitos Poliméricos Avançados com Bordas Moldadas”, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, Vol. 10, n. 1, pp. 31-41.

Collings, T. A., Harvey, R. J. and Dalziel, A. W., 1993, “The Use of Elevated Temperature in the Structural Testing of FRP Components for Simulating the Effects of Hot and Wet Environmental Exposure”, *Composites*, Vol. 24, n. 8, pp. 625-634.

Connor, M., Bidaux, J. E. and Manson, J. A. E., 1997, “A Criterion for Optimum Adhesion Applied to Fibre Reinforced Composites”, *Journal of Materials Science*, Vol. 32, pp. 5059-5067.

Dimitrienko, Yu. I., 1997, “Thermomechanical Behaviour of Composite Materials and Structures Under High Temperatures: 1. Materials”, *Composites Part A*, Vol. 28A, pp. 453-461.

Hexcel Composites, 1996, “Resin Systems for Advanced Composites”, Pleasanton, CA: Hexcel Composites, 6 pp.

Kakavas, P. A. et al., 1995 “The Effect of Interfacial Imperfections on the Micromechanical Stress and Strain Distribution in Fibre Reinforced Composites”, 1995, *Journal of Materials Science*, Vol. 30, pp. 4541-4548.

Kotaki, M. and Hamada, H., 1997, "Effect of Interfacial Properties and Weave Structure on Mode I Interlaminar Fracture Behaviour of Glass Satin Woven Fabric Composites", Composites. Part A, Vol. 28A, pp. 257-266.

Lee, S.M., 1991, "International Encyclopedia of Composites", VCH Publishers, New York, USA, Vol. 3, 4.

Mahiou, H. and Béakou, A., 1998, "Modelling of Interfacial Effects on the Mechanical Properties of Fibre-Reinforced Composites", Composites. Part A, Vol. 29A, pp. 1035-1048.

Mai, K., Mäder, E. and Mühle, M., 1998, "Interphase Characterization in Composites with New Non-Destructive Methods", Composites. Part A, Vol. 29A, pp. 1111- 1119.

Meurs, P. F. M. et al., 1998, "Determination of the Interfacial Normal Strength Using Single Fibre Model Composites", Composites. Part A, Vol. 29A, pp. 1027-1034.

Rosselli, F. and Santare, M. H., 1997, "Comparison of the Short Beam Shear (SBS) and Interlaminar Shear Device (ISD) Tests", Composites. Part A, Vol. 28A, pp. 587-594.

Vinogradov, V. M. et al., 1995, "Technology for Prepreg Production of Semifinished Products of Polymeric Composite Materials". In: Bratukhin, A. G.; Bogolyubov, V. S. (Ed.), Composite Manufacturing Technology, Chapman & Hall, cap. 2, London.

Xie, M.; Adams, D. F., 1995, "Study of Three-and Four-Point Shear Testing of Unidirectional Composite Materials", Composites, Vol. 26, pp. 653-659.

You, L. and Long, S., 1998, "Effects of Material Properties of Interfacial Layer on Stresses in Fibrous Composites Subjected to Thermal Loading", Composites Part A, Vol. 29A, pp. 1185-1192.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

INFLUENCE OF EXTENDED EXPOSITION TO ELEVATED TEMPERATURE ON THE INTERLAMINAR SHEAR STRENGTH OF CARBON/EPOXY COMPOSITES

Geraldo Maurício Cândido

Sérgio Frascino Müller de Almeida

Instituto Tecnológico de Aeronáutica

Divisão de Engenharia Mecânica Aeronáutica

12228-900 São José dos Campos – SP

frascino@mec.ita.cta.br

Mirabel Cerqueira Rezende

Instituto de Aeronáutica e Espaço

Divisão de Materiais

12228-904 São José dos Campos – SP

mirabel@iae.cta.br

Abstract. *Temperature is a severe environmental condition that affects polymeric matrix composites. A significant reduction of the composite load bearing capacity may occur when laminated structures are exposed to high intensity heating due to a possible degradation of the mechanical properties. Moreover, high thermal stresses may be induced in the regions exposed to elevated temperature. The objective of this work is to experimentally characterize the interlaminar shear strength (ILSS) of unidirectional carbon/epoxy laminates at room temperature. A group of twelve specimens is tested immediately after being dried at $110^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ until the laminate mass is stabilized. A second group of twelve specimens is tested with the moisture content absorbed under ambient conditions since the laminate fabrication. The results show that drying the laminates*

significantly reduces the interlaminar shear strength. The strength of the laminates that were not dried is in average, 22.8% higher than that of the first group of specimens. This difference indicates that the interlaminar shear strength depends primarily on the matrix properties and strength of the fiber matrix interface. This suggests that removing the moisture by drying the laminates at high temperature affects the fiber matrix interface.

Keywords. *thermal effects, polymeric composites, laminate, interlaminar shear, interface.*