

Avaliação do Ciclo Térmico de Conformação por Compressão de Peças em Poli(Sulfeto de Fenileno) Reforçado com Fibras Contínuas de Carbono

Gustavo G. da Costa

Departamento de Engenharia Aeronáutica e Mecânica, ITA

Edson C. Botelho

Departamento de Materiais e Tecnologia, UNESP

Mirabel C. Rezende, Michelle L. Costa

Divisão de Materiais, Instituto de Aeronáutica e Espaço, CTA

Resumo: Peças em compósito termoplástico PPS/Carbono foram conformadas com o processo de moldagem por compressão a quente utilizando três diferentes ciclos térmicos, que foram avaliados pela análise comparativa do material antes e após o processo de conformação. As caracterizações dos laminados, antes e após a conformação, envolveram inspeção visual, análises por microscopia óptica avaliando a presença de vazios ou delaminações, determinação de cristalinidade pela técnica de DSC e avaliação das propriedades mecânicas em flexão. A análise dos resultados obtidos permite verificar que as peças conformadas não apresentam delaminações e vazios. Porém, no caso em que foi utilizado o molde mais frio (100 °C) verifica-se um decréscimo nas propriedades mecânicas de até 25% e uma diferença significativa do grau de cristalinidade medido na face da peça (13%) para o cerne da mesma (21%). Dado este não observado nas outras condições de processamento avaliadas (moldes a 170 e 210 °C), as quais apresentam graus de cristalinidade nas faces e no centro em torno de 20%.

Palavras-chave: *Compósito termoplástico, poli(sulfeto de fenileno), PPS, conformação por moldagem a quente, grau de cristalinidade.*

Thermal Cycles Evaluation during the Compression Forming of Parts Made of Polyphenylsulphide Reinforced with Continuous Carbon Fiber

Abstract: Thermoplastic composite parts were produced by the hot press compression molding process with three different thermal cycles, which were evaluated employing the material comparative analysis, before and after the manufacturing of parts. The properties of laminates and parts were evaluated by visual inspection, presence of voids or delamination by using optical microscopy, degree of crystallinity (DoC) utilizing DSC technique and mechanical properties making use of the flexural test. The results showed no delamination or voids. However, when the coldest mold was used (100 °C), the mechanical properties decreased up to 25% and a significant difference of DoC was observed from the part surfaces in contact with the mold (13%) to its centre (21%). This did not occur with the other processing conditions (molds at 170 and 210 °C), which exhibited DoCs around 20%.

Keywords: *Thermoplastic composite, polyphenylene sulphide, PPS, hot press compression molding, degree of crystallinity.*

Introdução

O desenvolvimento da tecnologia dos compósitos poliméricos avançados tem como uma de suas finalidades, formar um conjunto de materiais que combine elevadas resistência e rigidez específicas, tornando esses materiais atrativos como substituintes das ligas metálicas em aplicações aeroespaciais^[1-3].

Visando aplicações de alto desempenho, na década de 80 foram introduzidas novas matrizes termoplásticas semicristalinas no processamento de compósitos estruturais,

tais como: o poli(sulfeto de fenileno) (PPS) e a poli(éter-éter-cetona) (PEEK), as quais apresentam resistências químicas superiores às convencionais resinas epóxi utilizadas no processamento de compósitos termorrígidos^[2]. A partir desse evento observa-se um crescente interesse na utilização de compósitos termoplásticos, devido, basicamente, a três diferentes razões: primeiramente, o processamento pode ser mais rápido se comparado ao dos termorrígidos, pois não exige ciclos de cura relativamente longos, necessitando apenas de aquecimento, conformação e resfriamento. Segundo, as propriedades são atrativas, principalmente a

Autor para correspondência: Gustavo G. da Costa, Departamento de Engenharia Aeronáutica e Mecânica, ITA, CEP: 12228-900, São José dos Campos, SP, Brasil. E-mail: gustavo.costa@embraer.com.br

elevada resistência à delaminação, a maior tolerância a danos, a baixa absorção de umidade e a boa resistência química dos termoplásticos semicristalinos. Terceiro, considerando-se as preocupações ecológicas, os compósitos termoplásticos apresentam menor toxicidade, pois não liberam produtos químicos, como os que podem ser liberados durante a cura de resinas termorrígidas, além de permitirem fusão e/ou solubilização em solventes apropriados e poderem ser reciclados ou combinados com outros materiais recicláveis^[2].

A competição na indústria aeronáutica e os rígidos requisitos de desenvolvimento, visando maiores valores de resistências mecânica, química e térmica com produtos mais leves, tem impulsionado novos desenvolvimentos. Assim, observa-se a ampliação da utilização de compósitos termoplásticos não somente em peças do interior de aeronaves, mas também em componentes de maior responsabilidade estrutural^[1,3,4].

Atualmente, dentre os termoplásticos disponíveis, os mais utilizados na indústria aeronáutica são o PPS, a poli(éter-imida) (PEI) e o PEEK^[5]. Este último, apesar de excelentes propriedades mecânicas e químicas, ainda apresenta um custo elevado e dificuldades na obtenção de peças com propriedades bem definidas. Estudos vêm sendo conduzidos no sentido de reduzir os elevados custos do PEEK, por meio de obtenção de blendas^[6] e a partir do desenvolvimento de matrizes modificadas, tais como o poli(éter-cetona-cetona) (PEKK)^[7]. O PEI é um polímero amorfo e apresenta baixa resistência química a alguns fluidos utilizados em aeronaves, como o combustível ou o fluido hidráulico^[8]. O PPS vem sendo utilizado em compósitos com fibras contínuas na indústria aeronáutica e apresenta um conjunto de propriedades mecânicas e químicas que, a um preço competitivo, possibilita a substituição de tradicionais estruturas em metal ou em compósitos termorrígidos com ganhos de custo ou peso, como são os casos do bordo de ataque da asa das aeronaves A-340-500/600 e A380 da Airbus ou das nervuras dos estabilizadores dos novos jatos Phenom 100 e Phenom 300 da Embraer^[5,8-10].

Um dos fatores fundamentais para o avanço no desenvolvimento de peças em compósitos termoplásticos consiste no estabelecimento de processos de conformação com custos competitivos e adequados^[3,11]. Desta forma, dentre os processos de conformação disponíveis para a obtenção de compósitos termoplásticos, a moldagem por compressão a quente vem sendo muito utilizada devido, principalmente, ao seu baixo custo e elevada produtividade^[9,10]. No entanto, nesta técnica de processamento, o ciclo térmico e as cargas mecânicas envolvidas podem causar deslocamentos da fibra em relação à matriz e gerar o aparecimento de vazios e, no caso de termoplásticos semicristalinos, esses parâmetros podem afetar a cinética de cristalização do polímero^[1,2,9].

O capítulo que orienta sobre a avaliação de propriedades de compósitos de uso estrutural, do *Handbook* de Materiais Compósitos do Departamento de Defesa Americano, MIL-HDBK-17-1F^[12], recomenda o levantamento de algumas propriedades-chave para o início do desenvolvimento

de novos materiais. Para esta avaliação são recomendados ensaios de tração para examinar as propriedades dominadas pelo reforço; compressão axial para monitorar propriedades dominadas pela matriz e interação fibra-matriz e tração a 45° em relação ao eixo do reforço (fibra), para avaliar as propriedades dependentes da matriz. Atualmente, no setor aeronáutico, os principais ensaios mecânicos que vêm sendo executados na caracterização, qualificação e controle de qualidade são os de tração, compressão, flexão e cisalhamento no plano^[9,12].

Assim, o presente trabalho visa estudar o processo utilizado na fabricação de peças em compósitos termoplásticos para a indústria aeronáutica através da avaliação da influência do ciclo térmico de processamento via moldagem por compressão a quente, nas propriedades mecânicas de resistência e módulo em flexão de compósitos de poli(sulfeto de fenileno) (PPS) reforçado com tecido de fibras de carbono.

Experimental

Neste trabalho, foram utilizados laminados constituídos de 6 camadas de tecido de carbono tipo 5HS impregnados com PPS, empilhados na orientação 0° (sentido da trama) e fornecidos pela empresa holandesa Ten Cate Advanced Composites.

O processo de conformação, representado esquematicamente na Figura 1, foi realizado a partir da utilização de um forno com resistências cerâmicas, onde amostras dos laminados foram aquecidas por radiação infravermelha da temperatura ambiente até 320 °C, em aproximadamente 3 minutos. Após esta primeira etapa, o material foi rapidamente transportado, utilizando-se uma esteira, para o interior de um molde metálico aquecido, com contra-molde em silicone, ambos com formatos desejados para a obtenção da peça final (Figura 2). O molde já se encontrava adaptado a uma prensa, marca Ciola com capacidade de 60 toneladas. O processo de conformação foi realizado utilizando-se uma força de 25 toneladas, por 120 segundos. Durante esta etapa, foram avaliadas 3 condições de conformação variando-se a temperatura do molde, conforme apresentado na Tabela 1.

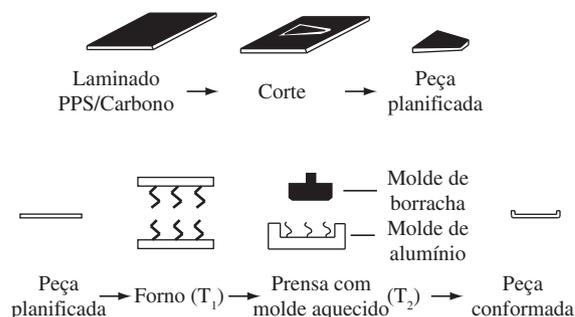


Figura 1. Representação esquemática do processo de conformação. O laminado PPS/Carbono foi recebido já consolidado da empresa Ten Cate e submetido ao processo de conformação por compressão a quente; T_1 representa a temperatura do forno (320 °C); e T_2 a temperatura do molde (100, 170 ou 210 °C).

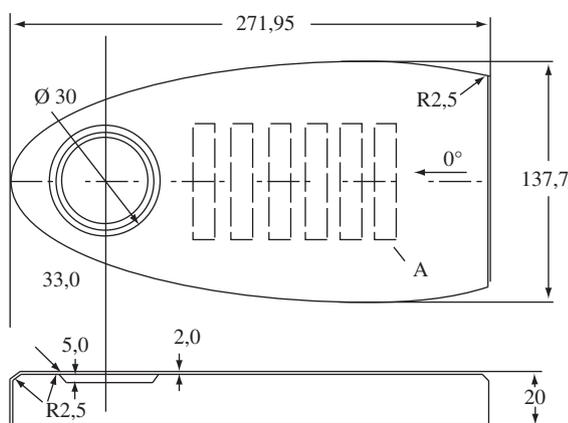


Figura 2. Desenho da peça com medidas em milímetros. A região tracejada (A) indica o local de corte dos corpos-de-prova utilizados no ensaio mecânico de flexão.

Vale ressaltar que o molde utilizado expôs a peça, durante a conformação, a condições distintas, ou seja, a peça tinha uma face em contato direto com a região metálica do molde, a outra face em contato com a parte de borracha do molde e a região interna não exposta diretamente. Em sendo assim, a peça ficou possivelmente exposta a gradientes térmicos distintos. Esta particularidade do processamento é avaliada neste estudo.

Três temperaturas de molde foram avaliadas: 100, 170 e 210 °C. A temperatura de 170 °C é a recomendada pelo fabricante dos laminados do compósito termoplástico para a conformação de peças. Visando diminuir o gasto de energia do processo, mas mantendo a matriz ainda acima da temperatura de transição vítrea (85 °C)^[13], a temperatura de 100 °C foi selecionada. Por outro lado, na tentativa de melhorar as propriedades mecânicas através de modificações no grau de cristalização ou morfologia, também foi avaliado o molde à temperatura mais alta de 210 °C, a qual ainda está abaixo da temperatura de cristalização no resfriamento (cerca de 240 °C)^[7] e, conseqüentemente, da temperatura de fusão cristalina (cerca de 280 °C)^[7].

Cada peça e o respectivo laminado que a originou foram analisados por microscopia óptica, ensaios de resistência à flexão e calorimetria exploratória diferencial (DSC). As peças também foram inspecionadas visualmente após a conformação.

Análise por microscopia óptica

As análises microscópicas foram realizadas em um microscópio óptico Reichert Jung Polyvar, em amostras embutidas a frio. Estas análises foram realizadas objetivando-se verificar a qualidade da compactação antes e após o processamento das peças.

Análise por calorimetria exploratória diferencial

As análises de calorimetria exploratória diferencial foram realizadas em um equipamento Perkin Elmer série Pyris 1. As amostras com 8 a 15 mg de massa, em triplicata, foram

aquecidas a 20 °C/min até 320 °C, para fundir a matriz polimérica. A entalpia de fusão foi então calculada e o grau de cristalinidade foi obtido conforme a Equação (1) apresentada a seguir^[13].

$$\%C = \frac{\Delta H_f + \Delta H_c}{\Delta H_{100\%}(1 - W_f)} \quad (1)$$

onde %C - grau de cristalinidade; ΔH_f - a entalpia de fusão; ΔH_c - a entalpia de cristalização no aquecimento; $\Delta H_{100\%}$ - a entalpia de fusão para o PPS 100% cristalino; e W_f - a porcentagem em massa de fibra no compósito.

Segundo o fornecedor dos laminados de compósito PPS/Carbono utilizados neste estudo, a empresa Ten Cate, o valor de $\Delta H_{100\%}$ é 150,4 J/g e o valor de W_f é 57% para o material fornecido^[11].

Ensaio de resistência à flexão

Este ensaio foi realizado visando obter o módulo elástico e a resistência na ruptura dos materiais em flexão, quando ensaiados segundo a norma européia EN 2562^[14], ensaio tipo B. Os valores obtidos foram normalizados pela Equação (2), conforme recomendado pelo MIL-HDBK-17-1F^[12]:

$$\text{Valor}_{\text{Normalizado}} = \text{Valor}_{\text{Teste}} \times \frac{E_{\text{amostra}}}{E_{\text{média}}} \times \frac{FV_{\text{norm}}}{FV_{\text{média}}} \quad (2)$$

onde E_{amostra} - espessura na amostra; $E_{\text{média}}$ - espessura média para um determinado lote; FV_{norm} - fração volumétrica de fibras especificada; e $FV_{\text{média}}$ - fração volumétrica de fibras medida a partir de uma amostragem.

Resultados e Discussão

Inspeção visual

Após a conformação, as peças inspecionadas visualmente apresentaram boa aparência na área principal de análise (base da peça - Figura 2), não sendo observadas descontinuidades como delaminações, trincas ou poros. Entretanto, nos cantos, algumas peças conformadas exibiram rugas, devido ao dobramento do tecido de reforço do laminado.

Como apresentado no item anterior, as amostras dos compósitos termoplásticos foram conformadas em três diferentes temperaturas: 100, 170 e 210 °C. Comparando-se as peças obtidas nos três diferentes ciclos térmicos observa-se que as conformadas a 100 °C apresentam um menor contraste entre o polímero e a fibra, quando comparadas com as processadas nas temperaturas mais elevadas. Esta observação deve-se ao fato do polímero apresentar-se mais transparente que o observado no laminado antes da conformação e nas peças obtidas a 170 e 210 °C (Figura 3). Por outro lado, as superfícies das peças moldadas a 170 e 210 °C apresentaram uma matriz de coloração mais clara e opaca. Considerando-se que, o crescimento de regiões cristalinas em um polímero pode torná-lo gradativamente mais opaco^[15], o aspecto visual diferenciado

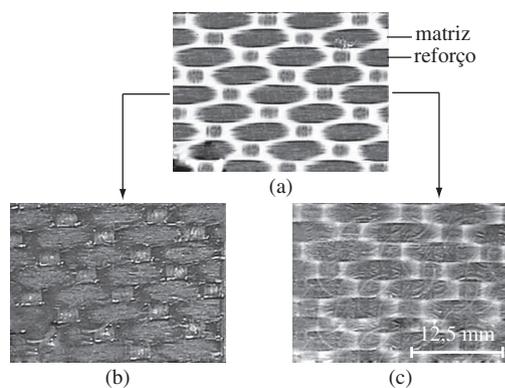


Figura 3. Aspectos da superfície do compósito mostrando; a) a cor branca opaca da matriz antes da conformação; b) a transparência da matriz após a conformação com molde a 100 °C; e c) a cor branca e opaca da matriz após a conformação com molde a 210 °C.

observado nas peças conformadas em temperaturas mais elevadas sugere a obtenção de graus de cristalinidade distintos, induzidos pelos diferentes ciclos térmicos utilizados^[15,16].

Microscopia óptica

A análise por microscopia óptica, realizada em determinadas áreas dos laminados e das peças conformadas, confirma a inspeção visual, pois a análise realizada não mostra defeitos como vazios, delaminações ou contaminações. A Figura 4 apresenta uma micrografia típica obtida dos materiais analisados, indicando as regiões da matriz e do reforço. As observações feitas sugerem que a qualidade observada nas peças conformadas deve-se à qualidade dos laminados utilizados como matéria-prima na obtenção das referidas peças. Pois, de maneira semelhante aos laminados utilizados como matéria-prima, as peças conformadas também não apresentam defeitos internos, tais como inclusões ou delaminações. As observações feitas por microscopia óptica também sugerem que o processo de conformação e os parâmetros utilizados são adequados, pois as fibras de reforço apresentam-se compactadas, alinhadas e impregnadas pela matriz polimérica nas peças conformadas.

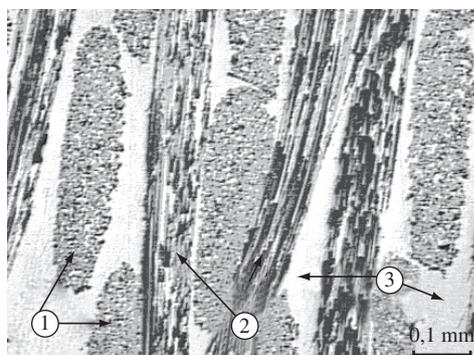


Figura 4. Micrografia de PPS reforçado mostrando: 1) fibras transversais no plano de corte; 2) fibras longitudinais no plano de corte; e 3) matriz.

Análise por calorimetria exploratória diferencial

Os resultados dos graus de cristalinidade obtidos a partir das 3 regiões das peças (regiões B, C e M), conforme ilustrado na Figura 5, para as três temperaturas de molde utilizadas, encontram-se apresentados na Tabela 1. A Figura 6 apresenta, comparativamente, as curvas obtidas por DSC visando mostrar o comportamento observado para todas as regiões analisadas. A partir destes resultados é observado que a amostra representativa da condição de processamento com o molde a 100 °C possui um pico de cristalização no aquecimento em, aproximadamente, 128 °C, indicando a maior quantidade de material amorfo na amostra, nesta condição de processamento.

Os resultados apresentados na Tabela 1 mostram que existe uma diferença significativa no grau de cristalinidade entre as regiões das faces da peça e do centro, sendo que os menores graus de cristalinidade são encontrados para a peça conformada com o molde a 100 °C. Comparando-se esta condição de processamento (C.M.100) com as demais (C.M.170 e C.M.210), observa-se que os graus de cristalinidade nas faces diminuíram cerca de 30%. Esta mesma comparação para a região central da peça apresentou uma diminuição máxima de 14%. Portanto, a condição de conformação com o molde mais frio resultou em menores graus cristalinidade, como também em maiores diferenças entre as regiões das peças (centro e faces).

Considerando-se que o PPS apresenta a temperatura de fusão em, aproximadamente, 280 °C e a temperatura de cristalização em torno de 240 °C, é justamente neste intervalo de temperaturas, durante a conformação, que o material fundido é resfriado da temperatura máxima de processamento, 320 °C, para a temperatura próxima à do molde (100, 170 ou 210 °C). Assim, neste intervalo ocorre a cristalização do polímero, em maior ou menor porcentagem em função da temperatura do molde. Conseqüentemente, a razão de resfriamento é inversamente proporcional à temperatura do molde. Esta razão é maior nas faces da peça que entram em contato com o molde, pois nesta região existirá o maior diferencial de tempe-

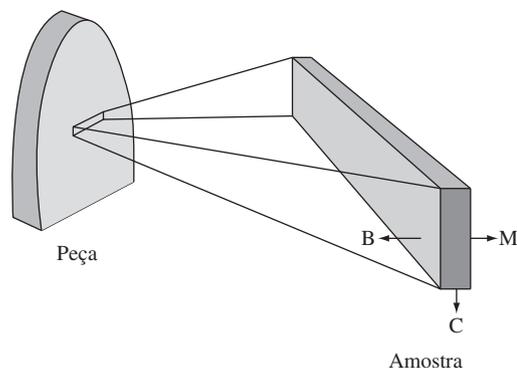
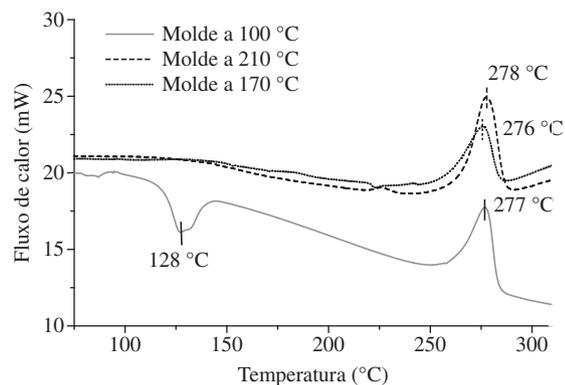


Figura 5. Regiões da peça onde o grau de cristalinidade foi medido por DSC: (B) e (M) faces da peça que foi conformada em contato com o molde de bor-racha e metálico, respectivamente; e (C) região mediana na espessura.

Tabela 1. Graus de cristalinidade nas diferentes regiões das peças conformadas.

Código	Condição de conformação	Grau de cristalinidade (%)		
		Face em contato com a região metálica do molde (M)	Região mediana da peça (C)	Face em contato com a região de borracha do molde (B)
C.M.100	Molde a 100 °C	14,0 ± 0,4	20,9 ± 0,6	13,3 ± 0,4
C.M.170	Molde a 170 °C	18,5 ± 0,4	24,2 ± 0,7	20,2 ± 0,5
C.M.210	Molde a 210 °C	21,2 ± 0,6	23,1 ± 0,7	20,3 ± 0,5

**Figura 6.** Resultado de DSC para as peças conformadas em distintas temperaturas do molde. As amostras analisadas foram retiradas da face da peça que ficou em contato com o molde metálico durante a conformação.

ratura, diminuindo gradativamente à medida que se aproximam do cerne (ponto médio na espessura) da peça. Vários autores^[7,13,15] também já concluíram que maiores razões de resfriamento levam a menores graus de cristalinidade, pois os esferulitos têm menos tempo para crescer. Portanto, os diferentes resultados obtidos por meio das análises de DSC são explicados pelas diferentes razões de resfriamento geradas durante o processo de conformação.

Ensaio resistência à flexão

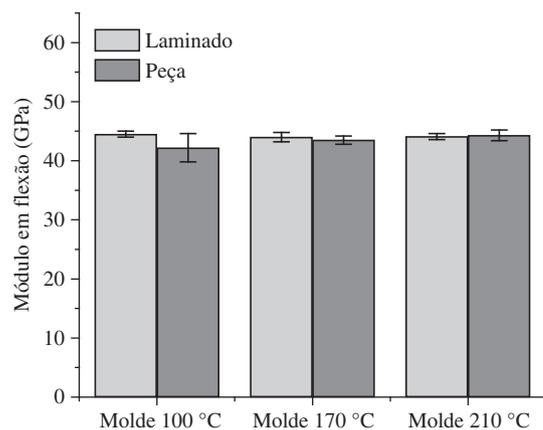
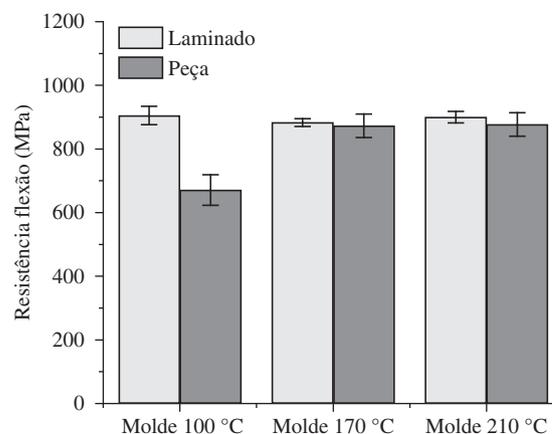
A Tabela 2 e a Figura 7 apresentam os resultados obtidos por meio dos ensaios de resistência à flexão realizados nos laminados como recebidos e nas peças conformadas a partir destes laminados.

A Figura 7 mostra os valores médios e os desvios medidos na caracterização do laminado como recebido (coluna mais clara) e do laminado conformado, tendo como variável as diferentes temperaturas do molde (coluna mais escura). A análise desta figura mostra que os desvios determinados são maiores para os valores obtidos com as peças conformadas, provavelmente devido a ligeiras modificações nas orientações relativas das fibras, induzidas durante a conformação. Mesmo assim, no geral, os desvios foram pouco significativos, sendo o máximo desvio observado 8% da propriedade média medida. Verifica-se também que, as maiores diferenças entre os valores médios são observadas para a condição do molde a 100 °C. Este resultado mostra que esta condição estudada não é adequada, pois acarreta no empobrecimento da propriedade mecânica avaliada.

Os resultados apresentados mostram que peças conformadas com o molde a 100 °C apresentam uma diminuição

Tabela 2. Valores de resistência e módulo obtidos no ensaio de resistência à flexão.

Código	Laminado		Peça	
	Resistência (MPa)	Módulo (GPa)	Resistência (MPa)	Módulo (GPa)
C.M.100	905 ± 29	44,5 ± 0,5	671 ± 46	42,2 ± 2,4
C.M.170	883 ± 12	44,0 ± 0,8	873 ± 36	43,5 ± 0,7
C.M.210	900 ± 18	44,1 ± 0,5	877 ± 34	44,3 ± 0,9

**Figura 7.** Resultados das propriedades mecânicas medidas em flexão.

nos valores de resistência à flexão de, aproximadamente, 25%, quando comparadas ao laminado utilizado como matéria-prima. Os valores obtidos a partir do módulo elástico se mostram menos afetados por esta condição de processamento, com uma redução de apenas 2%.

Nos casos onde o molde se encontrava a temperaturas mais elevadas (170 e 210 °C), não é determinada uma queda significativa nos valores de resistência e de módulo de flexão.

A correlação destes resultados com os obtidos na determinação do grau de cristalinidade permite melhor compreender o comportamento mecânico em análise.

A cristalinidade do material também influencia na contração dimensional do laminado, pois maiores regiões cristalinas encontram-se relacionadas com moléculas melhor organizadas, logo ocupando menos espaço e, portanto, com dimensões menores que massas equivalentes em condições amorfas^[7,15]. Portanto, as maiores diferenças nos graus de cristalinidade no material conformado com o molde a 100 °C podem ter gerado contrações dimensionais distintas na mesma peça. Considerando-se que nas análises microscópicas não são observadas porosidades ou delaminações nas peças, a diminuição na propriedade mecânica determinada na condição C.M.100 pode ser atribuída ao aparecimento de tensões localizadas, devido a uma possível contração diferenciada no material processado, devido aos diferentes graus de cristalinidade em regiões adjacentes.

Conclusão

A utilização do processo de moldagem por compressão a quente na obtenção de peças de PPS/carbono mostra-se viável, com a obtenção de artefatos isentos de vazios, delaminações ou porosidades. As condições de processamento com molde aquecido a 170 e 210 °C, aliadas aos outros parâmetros de temperatura de aquecimento de 320 °C e força de conformação de 25 toneladas, mostram-se satisfatórias na obtenção de peças sem decremento das propriedades mecânicas analisadas.

Os resultados de graus de cristalinidade obtidos por DSC mostram que existe uma diferença destes valores entre as faces externas e o centro da peça, pois possuem razões de resfriamento diferenciadas. Esta observação foi mais relevante no caso onde o molde se encontrava mais frio, a 100 °C, com graus de cristalinidade variando de 13% na face externa para 21% no cerne da peça.

Para os compósitos conformados com molde a 100 °C, foi evidenciado uma queda significativa na propriedade de resistência em flexão, provavelmente atribuída à diferença significativa dos graus de cristalinidade entre as faces externas e o centro da peça conformada, que induzem tensões no material. Neste caso, a maior queda observada foi de cerca de 25% na resistência à flexão, de 905 para 671 MPa. Nas outras condições de processamento, esta mesma propriedade caiu, no máximo, 2%.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Embraer pela realização do ensaio mecânico, à empresa Alltec pela conformação das peças, à empresa holandesa Ten Cate Advanced Composites pela doação do material e à FAPESP e ao CNPq pelo auxílio financeiro.

Referências Bibliográficas

1. Offringa, A. List, J. - "Lightweight thermoplastic beams", in: SAMPE Fall Technical Conference and Exhibition, Dallas - E.U.A, nov (2006).
2. Peters, S. T. - "Handbook of Composites", Chapman & Hall, London (1998).
3. Diaz, J. & Rubio, L. - Journal of Materials Processing Technology, **143**, p.342 (2003).
4. Krebs, J.; Bhattacharyya, D & Friedrich - Composites: Part A, **28A**, p.481 (1997).
5. Leach, D. & Pratte, J. - "Poly (Ether Ketone Ketone) Matrix Composites", in: International SAMPE Technical Conference, **34**, p.949 (2002).
6. Mitschang, P; Blinzler, M & Wöginger, A. - Composite Science and Technology, **63**, p.2099 (2003).
7. Béland, S. - "High performance thermoplastic resins and their composites", William Andrew/Noyes, New Jersey (1991).
8. Embraer Notícias, **37**, S. J. dos Campos (2006).
9. Robroek, L. M. J - "The development of rubber forming as a rapid thermoforming technique for continuous fibre reinforced thermoplastic composites", Tese de Doutorado, Delft University of Technology, Holanda (1994).
10. Hou, M.; Ye, L. & Mai, L. W - Journal of Materials Processing Technology, **63**, p.334 (1997).
11. Costa, G. G. - "Avaliação da Influência dos Ciclos Térmicos nas Propriedades dos Compósitos Termoplásticos de PPS e PEI com Fibras de Carbono e Vidro Conformados por Prensagem a Quente", Tese de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Brasil (2006).
12. DEPARTMENT OF DEFENSE, "Composite Materials Handbook", (MIL-HDBK-17-3F), E.U.A, (2002).
13. Lee, T. H.; Boey, F. Y. C. & Khor, K. A. - Composite Science and Technology, **53**, p.259 (1995).
14. European Committee for Standardization - "Carbon fibre reinforced plastics: unidirectional laminates, flexural test parallel to fibre direction", (EN2562) (1997).
15. Brydson, J. A. - "Plastic Materials", Butterworth-Heinemann (1999).
16. Callister, W. D. - "Material science and engineering", John Wiley & Sons, New York (2007).

Enviado: 21/06/07

Reenviado: 30/08/07

Aceito: 13/11/07