

METODOLOGIA DE FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS ESTRUTURAIS DE POLITETRAFLUORETILENO (PTFE) COM FIBRAS CONTÍNUAS

Cassius Riul, riul@sc.usp.br¹

Rodrigo Bresciani Canto, canto@sc.usp.br²

Volnei Tita, voltita@sc.usp.br²

Jonas de Carvalho, prjonas@sc.usp.br¹

¹Departamento de Engenharia Mecânica, EESC/USP, Av. Trabalhador São-carlense, 400, CEP: 13566-590, São Carlos - SP, Brasil

²Departamento de Engenharia de Materiais, Automotivística e Aeronáutica, EESC/USP, Av. Trabalhador São-carlense, 400, CEP: 13566-590, São Carlos - SP, Brasil

Resumo: Este trabalho apresenta um estudo da fabricação de compósitos de politetrafluoretileno (PTFE) com fibras contínuas, que tem por fim a obtenção de um compósito com propriedades mecânicas equivalentes ou superiores a de polímeros de engenharia, mas que mantenham as características inerentes do PTFE sem reforços, tais como: baixo coeficiente de atrito, baixa interação química e elevada temperatura de trabalho. O PTFE é um polímero termoplástico, mas sua elevada viscosidade no estado fundido impede a utilização de moldagem por injeção, sendo seus componentes obtidos por compactação a frio do material granulado seguida de sinterização. Neste estudo foi proposta e desenvolvida uma metodologia de fabricação de um laminado de PTFE e fibras contínuas, a partir de um tecido comercial de fibra de vidro impregnado com PTFE. No estudo foram especificados os parâmetros de processo que influenciam nas propriedades mecânicas finais do material. O processo foi desenvolvido a partir da fabricação de corpos-de-prova (CDPs), que foram obtidos pela prensagem a frio de lâminas dos tecidos impregnados em um molde metálico e em seguida sinterizados. Foi também estudada a adição de uma quantidade complementar de PTFE ao laminado, com o intuito de se averiguar a possibilidade de se obter compósitos com revestimentos contínuos de PTFE. Para o estudo referente ao revestimento, os CDPs foram compactados a frio após a deposição de camadas de PTFE granulada intercaladas a lâminas dos tecidos impregnados, e em seguida sinterizados. O laminado foi analisado por meio de ensaios de flexão 3-pontos para verificação dos ganhos na rigidez e resistência mecânica frente ao PTFE puro, assim como o laminado com adição complementar de PTFE no qual foi analisada a adesão dessas camadas adicionais de PTFE e as deformações residuais após sinterização que podem se tornar bastante significativas em função da fração volumétrica global da matriz e interferir no desempenho estrutural do material.

Palavras-chave: PTFE, compósitos, fibras contínuas, processo de fabricação, compactação, sinterização

1. INTRODUÇÃO

A bem conhecida característica antiaderente do politetrafluoretileno (PTFE) – devido à sua baixa interação química com outros materiais – e à necessidade de manufatura por meio do processamento do pó deste polímero, torna a fabricação de compósitos com fibras contínuas que usam o PTFE como matriz, um processo relativamente complexo quando comparado ao processamento dos tradicionais compósitos de matrizes termofixas. No entanto, tecidos comerciais impregnados por meio de uma dispersão aquosa composta de finas partículas de PTFE (da ordem de $10^{-1} \mu m$), embora fabricados para outros fins, podem ser usados para facilitar o processo de fabricação de laminados.

O PTFE possui um alto peso molecular, em uma faixa de $10^6 - 10^7$ g/mol e, conseqüentemente, alta viscosidade dinâmica no estado fundido, $10^{10} - 10^{11}$ Pa.s a 380 °C (Gangal, 2001; Ebnesajja, 2000; Tervoort et al., 2002), fato que torna praticamente inviável sua moldagem por injeção. Assim, o processo de fabricação de produtos à base de PTFE é realizado por compactação a frio do seu pó, seguida de sinterização. Nesse processo, o PTFE granulado ou em forma de pó é geralmente compactado em moldes metálicos submetidos a ação de uma prensa uniaxial, ou em matrizes flexíveis (elastoméricas) no caso da prensagem isostática.

Devido a dificuldades no processo de fabricação e ao complexo mecanismo de deformação desenvolvido durante a sinterização do PTFE (Canto, 2007) é comum a aplicação de reforços geralmente com dimensões de mesma ordem de grandeza dos grãos do polímero, como por exemplo, pós metálicos e minerais e fibras curtas (Bonnet, 2004), sendo poucos os estudos em compósitos de PTFE que utilizam fibras contínuas como reforço (Oshima et al., 2001a; Oshima et

al., 2001b; Oshima et al., 2001c; Gu e Liang, 2006; Riul et al., 2008) para a aplicação em componentes estruturais.

Neste trabalho foi elaborada uma metodologia de fabricação para compósitos de PTFE e fibras contínuas a partir de tecidos impregnados com PTFE – tecido de uso comercial, Chemfab® 013 STD. Este processo foi desenvolvido a partir da fabricação de corpos-de-prova (CDPs) obtidos pelo empilhamento de lâminas dos tecidos impregnados em um molde metálico para a prensagem e que após prensados foram sinterizados – Riul et al. (2008) avaliaram algumas das propriedades mecânicas deste laminado em ensaios de flexão 3-pontos, para diferentes parâmetros dos processos de prensagem e sinterização. Foram também elaborados CDPs pela deposição de camadas de PTFE granulado intercaladas com lâminas dos tecidos impregnados, com o objetivo de se estudar a viabilidade da fabricação de compósitos com camadas superficiais mais espessas de PTFE, levando-se em conta a necessidade de se construir um compósito com um revestimento externo contínuo de PTFE, como exemplificado na Fig. (1), para que características como a resistência a corrosão sejam melhor aproveitadas em, por exemplo, um produto sujeito à um ambiente corrosivo. Este outro tipo de material, com a adição interlaminar e externa de PTFE, foi também avaliado por meio de ensaios de flexão 3-pontos, sendo analisada a adesão dessas camadas adicionais de PTFE ao PTFE impregnado nos tecidos, além das deformações residuais após sinterização.

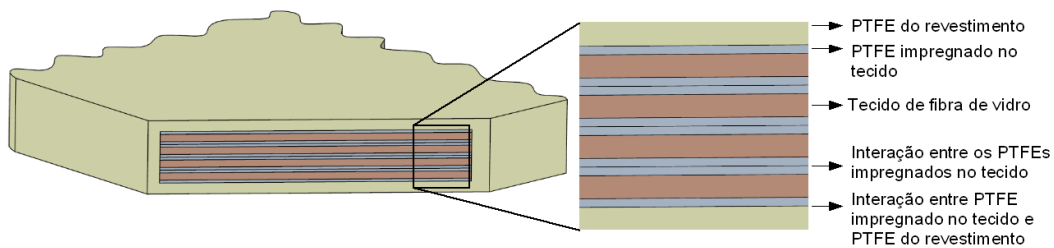


Figura 1 - Revestimento contínuo de PTFE em laminados de PTFE e fibras

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram elaborados dois diferentes tipos de compósitos; o primeiro feito somente pelo empilhamento de tecidos de fibra de vidro impregnados com PTFE (Tipo 1) e outro feito com o mesmo tipo de tecido adicionado de uma quantidade complementar de PTFE puro (Tipo 2).

Para o desenvolvimento do processo de fabricação e para a caracterização destes materiais foram confeccionados corpos-de-prova (CDPs) que foram então submetidos a ensaios mecânicos. Os materiais usados como matéria-prima são: tecido plano de fibra de vidro impregnado com PTFE e PTFE puro granulado (ou em forma de *pellets*). O tecido bidirecional de fibra de vidro impregnado com PTFE é o Chemfab® 013 STD – com espessura média de 0,13 mm – de fabricação da Saint-Gobain e cedido pela unidade Saint-Gobain Cerâmicas & Plásticos Ltda de Vinhedo-SP. O processo de impregnação é executado como mostrado na Fig. (2), em que o tecido de fibra de vidro é imerso em PTFE disperso em água, passando em seguida por um tratamento térmico; este processo é geralmente repetido algumas vezes. O PTFE granulado é o Teflon® 6407 com densidade aparente do pó de aproximadamente 0,86 g/cm³, de fabricação da DuPont e fornecido pela Tecnofluor Indústria e Comércio Ltda de Cotia-SP.

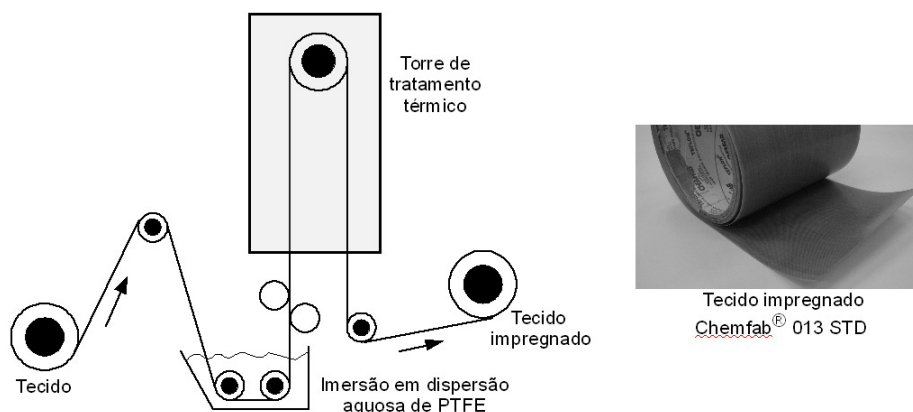


Figura 2 - Processo usado pela Saint-Gobain para impregnação do Chemfab® 013 STD

A Figura (3) apresenta análises termogravimétricas (TGA) para os dois materiais usados como matéria-prima. As TGAs mostram curvas similares da degradação do PTFE granulado e do PTFE que recobre o tecido de fibra de vidro. Nota-se que com a elevação da temperatura o PTFE granulado é totalmente pirolizado (material puro), diferentemente do tecido impregnado, em que permanece aproximadamente 38% da massa, porcentagem esta atribuída a fração de fibra de vidro que compõe o material e que é condizente com os dados fornecidos pelo fabricante. As TGAs foram realizadas em um equipamento TGA Q500 da TA instruments, gentilmente cedido pelo Instituto de Macromoléculas (IMA) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). As análises foram realizadas em atmosfera inerte de N₂.

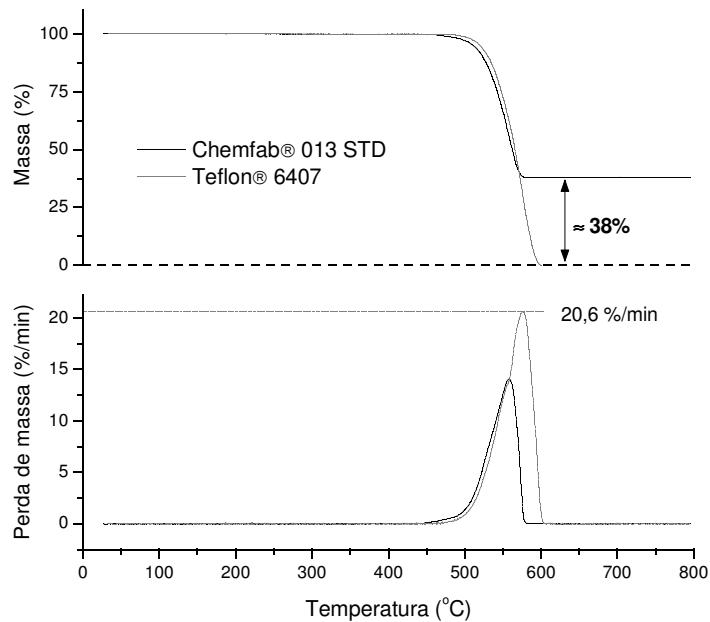


Figura 3 - TGA das matérias-primas utilizadas no estudo

Nas Figuras (4a) e (4b) são apresentadas análises de calorimetria exploratória diferencial (DSC) para o Teflon® 6407 e para o tecido impregnado Chemfab® 013 STD, respectivamente. Estas análises foram realizadas em um equipamento DSC Q1000 da TA Instruments, gentilmente cedido pelo Instituto de Macromoléculas (IMA) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). As análises foram realizadas em atmosfera inerte de N₂.

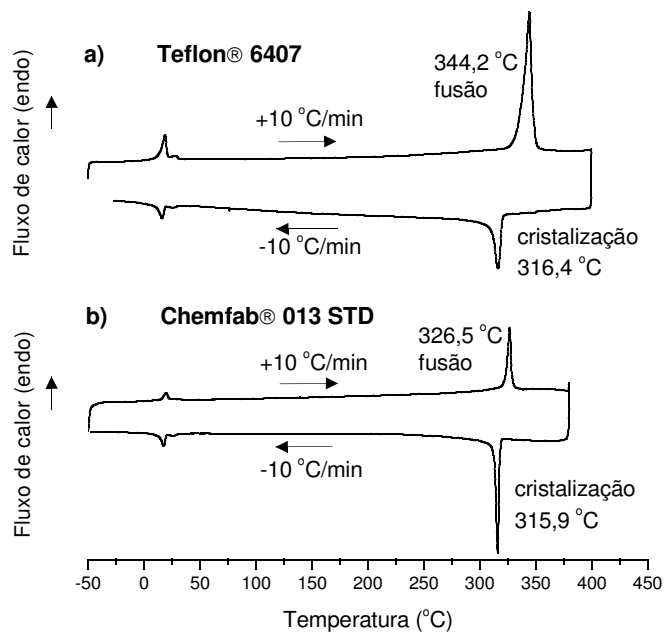


Figura 4 - DSCs: a) PTFE - Teflon® 6407;
b) tecido de fibra de vidro impregnado com PTFE - Chemfab® 013 STD

Para a avaliação do comportamento mecânico dos compósitos foram fabricados CDPs paralelepípedicos e, para a confecção dos CDPs, foi construído um molde em aço inox 420, com superfícies retificadas, o qual foi temperado (com dureza resultante de 52 HRC) e cuja cavidade paralelepípedica possui 120 mm de comprimento, 15 mm de largura e 60 mm de altura. Para a prensagem e ensaios de flexão 3-pontos foi usada uma máquina universal de ensaios EMIC, modelo DL-10000, com capacidade máxima de 100 kN, sendo que os ensaios de flexão foram realizados com uma célula de carga com capacidade máxima de 0,5 kN, devidamente calibrada. O processo de sinterização foi realizado em forno com monitoramento de temperatura computadorizado, com variação máxima no controle de ± 1 °C e circulação interna de ar para convecção forçada garantindo uma variação menor que ± 2 °C na região onde são dispostos os CDPs que são sinterizados individualmente.

2.1. Metodologia de Fabricação

2.1.1. Fabricação dos compósitos de Tipo 1

Os CDPs para os ensaios de flexão 3-pontos para os compósitos do Tipo 1 foram obtidos conforme esquematizado na Fig. (5), que compreende a etapa de prensagem seguida de um tratamento térmico (sinterização). A etapa de prensagem foi realizada pela deposição, na cavidade da matriz de moldagem, de 16 lâminas do tecido impregnado cortados em dimensões apropriadas para se ajustar à cavidade. Após montadas as lâminas, os CDPs foram prensados a uma pressão máxima P_c .

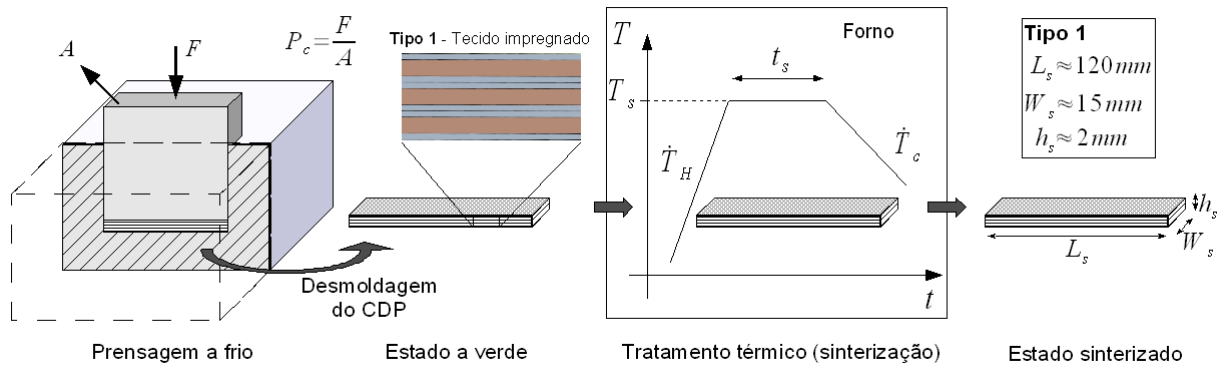


Figura 5 - Processo de fabricação dos corpos-de-prova do compósito fabricado a partir do tecido comercial Chemfab® 013 STD

O processo de sinterização consiste em submeter os CDPs a um tratamento térmico conforme apresentado na Fig. (5). Este tratamento térmico é composto principalmente por três etapas: elevação da temperatura sob uma taxa de aquecimento constante \dot{T}_H até um patamar de temperatura T_s , superior a temperatura de fusão e denominada de temperatura de sinterização, durante um determinado tempo de sinterização (tempo de permanência no patamar de sinterização) t_s . Um estudo sobre a influência e adequação destes parâmetros foi apresentado por Riul et al. (2008) para este tipo de laminado, cujos valores são apresentados na Tab. (1). Para estes parâmetros de processo o material apresentou os valores de módulo de Young à flexão e resistência máxima, respectivamente, de 12,3 GPa e 81 MPa, que representaram um ganho significativo quando comparados aos do PTFE sem reforços, que segundo Jahier (1992) são, respectivamente, de 0,67 GPa e 18 MPa.

Tabela 1 - Parâmetros de processo utilizados para o laminado fabricado a partir dos tecidos impregnados (Riul et al., 2008)

P_c	\dot{T}_H	T_s	t_s	\dot{T}_c
54 MPa	2 °C/min	380 °C	5 min	0,6 °C/min

2.1.2. Fabricação dos compósitos do Tipo 2

Os CDPs para os ensaios de flexão 3-pontos para os compósitos do Tipo 2 foram obtidos conforme esquematizado na Fig. (6), que compreende a etapa de compactação seguida da etapa de sinterização assim como o compósito do Tipo 1. Porém, para este compósito, os CDPs são montados pela deposição, na cavidade da matriz de moldagem, de lâminas do tecido impregnado cortados em dimensões apropriadas intercaladas por camadas de mesma espessura de PTFE granulado.

Para estes CDPs foi realizada uma pré-compactação com uma tensão de aproximadamente 5 MPa e posteriormente compactados pela máquina universal de ensaios, com velocidade de compactação controlada de 0,5 mm/min, a uma força máxima de 72 kN, que equivale a uma pressão na face superior de 40 MPa. O tipo de compactação diferenciada para os CDPs compostos de PTFE granulado e tecidos em relação aos CDPs apenas com tecido se deve ao fato da maior complexidade na prensagem do pó e foi adotado para se garantir uma maior homogeneidade na acomodação dos grãos e na eliminação do ar presente no material em pó.

Devido ao complexo mecanismo de deformação do PTFE durante o processo de sinterização (Canto, 2007), o corpo-de-prova apresenta deformações residuais anisotrópicas, sendo que o material se expande na direção de compactação e se contrai nas direções perpendiculares a esta, conforme ilustrado na Fig. (6). Assim, L_g , W_g e h_g são respectivamente: comprimento, largura e altura do CDP no estado a verde e, L_s , W_s e h_s são respectivamente, comprimento, largura e altura do CDP no estado sinterizado.

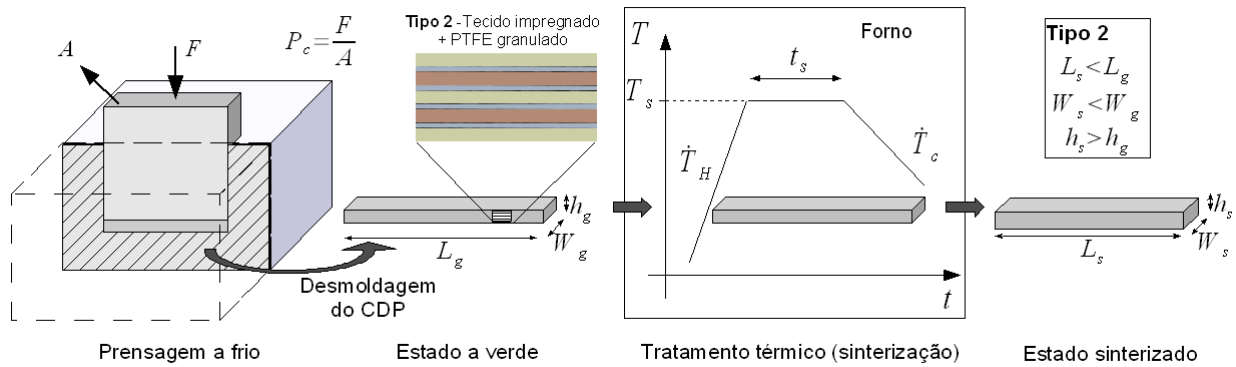


Figura 6 - Processo de fabricação dos corpos-de-prova fabricados a partir do tecido comercial Chemfab® 013 STD e PTFE granulado Teflon® 6407

Com base nos resultados obtidos por Canto (2007) pode-se considerar que amostras de PTFE, compactadas e sinterizadas nas condições descritas neste trabalho, possuem porosidade desprezível após sinterização. Desprezando-se o eventual aparecimento de novos vazios na sinterização dos CDPs reforçados, pode-se considerar que a fração volumétrica de fibras para os CDPs compostos por tecidos impregnados e PTFE granulado é definida pela Eq. (1):

$$v_f = \frac{V_f}{V} = \frac{V_f}{V_f + V_m} \quad (1)$$

em que v_f representa a fração volumétrica de fibras, V_f o volume de fibras, V o volume total do CDP, V_m o volume de PTFE contido no tecido somado ao volume de PTFE adicionado para formar a matriz. A densidade (ρ_s) dos CDPs após a sinterização pode ser calculada pela Eq. (2), sendo que m é a massa do CDP. A densidade da fibra foi adotada da literatura como sendo de 2,5 g/cm³ (Brian, 2004).

$$\rho_s = \frac{m}{V_f + V_m} \quad (2)$$

Para os CDPs de compósitos do Tipo 2 granulado foi aplicada uma curva de sinterização normalmente usada na indústria de produtos de PTFE puro, cujos valores são expostos na Tab. (2) e em que o tempo de permanência no patamar de sinterização t_s de 100 min é utilizado visando uma melhor coalescência dos grãos na formação do produto, e a temperatura de sinterização T_s de 365 °C é superior à temperatura de fusão, que é de aproximadamente 344 °C para o material a verde, porém, inferior à temperatura de início da degradação do material, que se dá a 390 °C (Ebnesajjad, 2000; Canto, 2007).

Tabela 2 - Parâmetros de sinterização usados na indústria para o PTFE puro

\dot{T}_H	T_s	t_s	\dot{T}_c
2 °C/min	365 °C	100 min	0,6 °C/min

Vale ressaltar que para a confecção dos CDPs deste trabalho foram tomados os cuidados necessários para que durante a prensagem a temperatura não chegasse próximo dos limites inferior de 19 °C e superior de 30 °C devido às transições de fase pela qual passa o PTFE a estas temperaturas (Ebnesajjad, 2000).

2.2. Avaliação de propriedades mecânicas

A avaliação das propriedades mecânicas dos materiais foram realizadas por ensaios de flexão 3-pontos. As dimensões dos CDPs foram baseadas na norma ASTM D790-96a (ASTM, 1996). Os CDPs foram então submetidos ao ensaio de flexão 3-pontos, usando uma distância entre os apoios inferiores – *span* (S) – de 80 mm. O ensaio foi controlado pelo deslocamento do atuador da máquina de ensaios, sendo adotada a velocidade constante de 0,25 mm/min – correspondente à taxa de deformação máxima de magnitude da ordem de $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ na superfícies inferior e superior do CDP sendo verificado ser suficientemente baixa para se desprezar efeitos de viscosidade. Os ensaios foram realizados em ciclos de carregamento-descarregamento e as tensões e deformações são calculadas pelas equações (Eq. (3)):

$$\sigma^f = \frac{3FS}{2W_s h_s^2} \quad \text{e} \quad \varepsilon^f = \frac{6y h_s}{S^2} \quad (3)$$

sendo σ^f a tensão de flexão calculada, F a força de reação no atuador, ε^f a deformação calculada e y o deslocamento aplicado. É importante ressaltar que estas expressões são baseadas nas hipóteses de Kirchhoff – o carregamento no plano transversal que permanece plano e perpendicular ao eixo de simetria longitudinal do CDP com $h \ll S$ – e ainda, são válidas para pequenas deformações e material no regime elástico-linear. Entretanto, essas relações foram utilizadas para descrever as tensões e deformações durante o ensaio, no qual o material é submetido a grandes deformações, apresentando comportamento não-linear e plasticidade. Tais aproximações são aceitáveis para fins comparativos entre os CDPs com diferentes frações volumétricas de fibras.

A resistência à flexão máxima ($\sigma^{f(max)}$) é obtida da Eq. (3) para o maior valor de F aplicado durante um ensaio e o módulo de Young à flexão (E^f), é dado pela Eq. (4) calculada no início do carregamento.

$$E^f = \frac{\sigma^f}{\varepsilon^f} \quad (4)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi verificada a viabilidade de fabricação do compósito do Tipo 1 a partir da fabricação de CDPs pela prensagem e sinterização dos tecidos de fibra de vidro impregnados com PTFE. Houve a adesão entre os PTFEs dos tecidos, dando origem a um laminado sólido como pretendido e com valores referentes ao módulo de Young à flexão e resistência à flexão máxima como os especificados no item 2.1.1.

Para a fabricação dos CDPs do compósito de Tipo 2 há uma maior complexidade no processo de prensagem, em que se faz a compactação conjunta das lâminas de tecido impregnados e das camadas de PTFE granulado, porém este processo de compactação foi executado sem a ocorrência de problemas. No entanto, após o processo de sinterização não ocorreu a aderência do PTFE adicionado ao PTFE impregnado no tecido, o que impossibilitaria sua fabricação. Para buscar entender o motivo desta falta de interação recorreu-se as análises de DSC apresentadas nas Fig. (4a) e Fig. (4b). A diferença essencial entre os dois materiais evidenciada pelas análises de DSC está nos graus de cristalinidade. O grau de cristalinidade do PTFE puro (Teflon® 6407) é de 89 % segundo Canto (2007) e a análise de DSC indica uma grande diferença entre as áreas do pico de fusão e de cristalização do material, ou seja, um menor grau de cristalinidade para o material após esta primeira fusão – de aproximadamente 33 % (Canto, 2007). Analisando o DSC realizado no tecido impregnado pode-se observar que o grau de cristalinidade aumentou após a fusão e recristalização sob a taxa de 10 °C/min. Considerando este aumento pode-se inferir que o material – em seu processo de impregnação – foi resfriado a uma taxa muito maior que 10 °C/min, considerando que o grau de cristalinidade varia inversamente com a taxa de resfriamento. Com isso, pode-se verificar que o PTFE do tecido tem um grau de cristalinidade consideravelmente menor em relação ao do material puro. Segundo Canto (2007) o coeficiente de dilatação térmica do PTFE varia inversamente com o grau de cristalinidade. A partir deste fato foi levantada a hipótese em que se considera que as dilatações térmicas com diferentes graus de intensidade para cada material durante o processo de sinterização estaria influenciando negativamente na adesão entre os dois materiais.

Dessa forma, optou-se por aplicar ao tecido impregnado um tratamento térmico conhecido (nas mesmas condições apresentadas na Tab. 2), antes da compactação, haja vista que as condições das sucessivas sinterizações a que os tecidos são submetidos na impregnação com PTFE são desconhecidas. Este processo influenciou de maneira determinante no resultado da confecção dos CDPs, pois possibilitou a aderência entre o PTFE do tecido e o PTFE adicionado, tornando possível a fabricação e análise deste compósito. Dentro da hipótese proposta, a explicação para a aderência é dada em relação ao aumento do grau de cristalinidade pela aplicação da taxa de resfriamento menor, de 0,6 °C/min. Isto faz com que a diferença entre os coeficientes de dilatação dos dois PTFEs diminua, o que facilitaria a aderência entre estes dois materiais.

Os CDPs do Tipo 2 com os tecidos impregnados já tratados termicamente foram fabricados com diferentes frações volumétricas de fibras. Como exposto em Canto (2007), quando submetido à temperatura de sinterização, o material se expande devido à dilatação térmica e a fusão cristalina. Após o resfriamento, o material se contrai devido à recristalização parcial e à contração térmica, apresentando deformação residual negativa na direção perpendicular à compactação e positiva na direção de compactação. No entanto, a presença dos tecidos de fibra de vidro limitam estas deformações e as dimensões finais dos CDPs dependem fortemente da fração volumétrica de fibras, conforme mostrado nos gráficos da Fig. (7a) e Fig. (7b) – a máxima fração de fibra no compósito seria limitada em 34 %, que é a fração volumétrica do tecido utilizado.

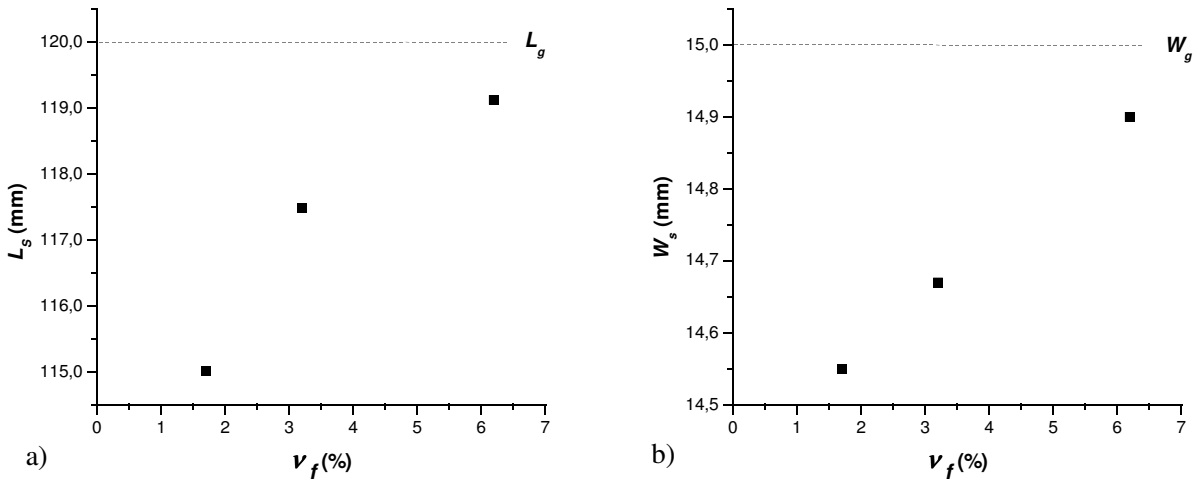


Figura 7 - Dimensões finais dos corpos-de-prova após sinterização comparados com a dimensão no estado a verde para as diferentes frações volumétricas de fibras.

A Figura (8a) mostra a evolução do módulo de Young à flexão em função da fração volumétrica de fibra. Apesar da restrita quantidade de ensaios, foi possível concluir que há uma clara tendência do aumento do módulo de Young com o aumento da fração volumétrica de fibras. O mesmo acontece para o gráfico de tensão máxima na superfície inferior do CDP ($L_s/2$) mostrado na Fig. (8b), onde nota-se uma tendência do aumento dessa propriedade em função da fração volumétrica de fibras, porém seguindo uma evolução diferente.

Vale ressaltar que o aumento das propriedades mecânicas estudadas está relacionado ao efeito da maior rigidez do reforço incorporado, mas também pode estar associado à diminuição da eventual micro-flambagem das fibras na direção longitudinal devido à menor contração induzida no processo de sinterização na medida em que a fração de fibras aumenta, conforme mostrado na Fig. (7a).

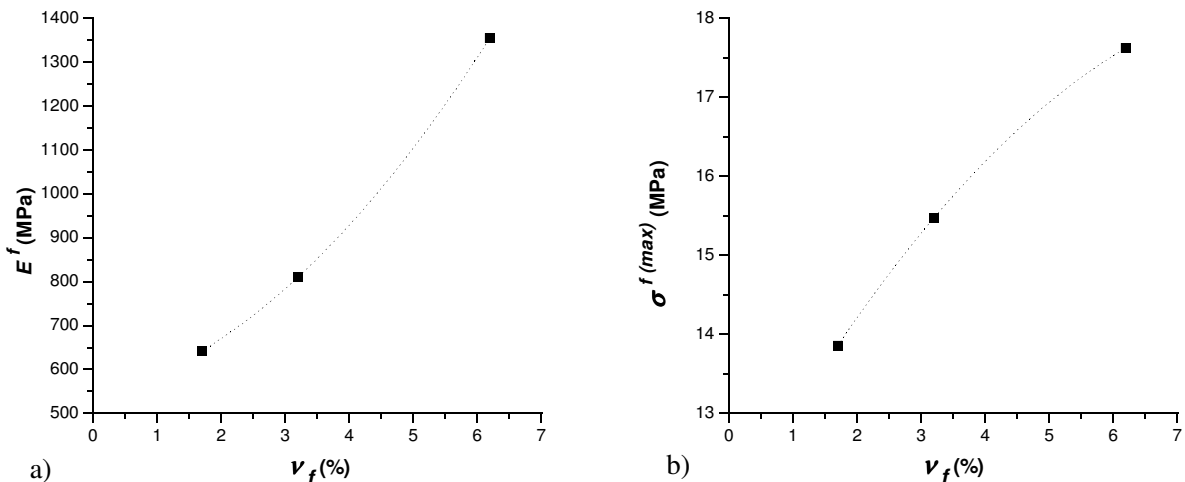


Figura 8 - a) Curva de tendência da evolução do módulo de Young à flexão em função da fração volumétrica; b) Curva de tendência da evolução da tensão máxima em função fração volumétrica.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo mostrou a viabilidade de fabricação de compósitos laminados para uso estrutural de PTFE e fibras de vidro contínuas, usando-se o tecido comercial Chemfab® 013 STD. Foi também verificada a possibilidade de se aderir PTFE puro ao PTFE do tecido por meio de um tratamento térmico no tecido impregnado anteriormente a fabricação do compósito, mostrando ser possível fazer revestimentos mais espessos e contínuos em componentes que usem este tipo de compósito conforme exemplificado na Fig. (1). As deformações sofridas pelo PTFE durante o processo de sinterização diminuem para frações volumétricas maiores de fibras, mostrando que revestimentos delgados podem proporcionar melhor desempenho estrutural.

Foi alcançado um ganho alto de rigidez e de resistência mecânica, com relação ao PTFE puro. Levando-se em conta que a fabricação dos compósitos foi feita utilizando-se um material comercial que não tem como função final a fabricação de laminados, acredita-se que a fabricação de um tecido impregnado voltado unicamente a fabricação de laminados possa reverter em resultados ainda melhores que os encontrados.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Tecnofluor Indústria e Comércio Ltda e a Saint-Gobain Cerâmicas & Plásticos Ltda pelos materiais e informações fornecidas, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), ao Departamento de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística da EESC/USP pela disponibilidade da máquina universal de ensaios e ao Instituto de Macromoléculas (IMA) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) pela disponibilidade dos equipamentos para as análises térmicas.

6. REFERÊNCIAS

- ASTM D790-96a, 1996, “Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials”. Annual Book of ASTM Standards.
- Bonnet, J., 2004, “Polymères fluorés. Techniques de l'Ingénieur” – AM3390.
- Brian S. M., 2004, “An Introduction to Materials Engineering and Science for Chemical and Materials Engineers”, A John Wiley & Sons, inc., PP. 107.
- Canto, R. B., 2007, “Estudo teórico e experimental dos processos de compactação e sinterização do politetrafluoretileno (PTFE)”, tese de doutorado, Universidade de São Paulo – Brasil/École Normale Supérieure de Cachan – França.
- Ebnesajjad, S., 2000, “Fluoroplastics, Volume 1 - Non-Melt Processible Fluoroplastics”, William Andrew Publishing/Plastics Design Library, pp. 90-148.
- Gangal S. V., 2001 “Encyclopedia of Polymer Science and Technology: Perfluorinated Polymers, Polytetrafluoroethylene”. John Wiley & Sons, Inc.
- Gu, A., Liang G., 2006, “New Approach to Fabricate Densificated Continuous Fiber Reinforced Polytetrafluoroethylene Composites with Significantly Improved Interfacial Bonding and Mechanical Properties”, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 104, 3588-3591.
- Jahier, D. Le PTFE, 1992 “(polytétrafluoroéthylène): présentation et applications”. Publications CETIM.
- Oshima, A.; Udagawa, A.; Morita, Y. “Radiation processing for carbon fiber-reinforced polytetrafluoroethylene composite materials”. Radiation Physics and Chemistry, v.60, p. 95–100, 2001.
- Oshima, A.; Udagawa, A.; Morita, Y. “Application of radiation-crosslinked polytetrafluoroethylene to fiber-reinforced composite materials”. Radiation Physics and Chemistry, v.60, p. 467–471, 2001.
- Oshima, A.; Udagawa, A.; Tanaka, S. “Fabrication of polytetrafluoroethylene/ carbon fiber composites using radiation crosslinking”. Radiation Physics and Chemistry, v.62, p. 77–81, 2001.
- Riul, C.; Canto, R. B.; Tita, V.; Carvalho, J. “Estudo da Influência de Parâmetros de Fabricação nas Propriedades Mecânicas de Compósitos Estruturais de Politetrafluoretileno com Fibras Contínuas”. A ser publicado no 18º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – CBECiMat, 2008.
- Tervoort, T. A., Visjager, J. F. and Smith, P., 2002, “Melt-processable poly(tetrafluoroethylene) – compounding, fillers and dyes”, Journal of Fluorine Chemistry, Vol. 114, pp. 133-137.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

METHODOLOGY FOR MANUFACTURING PROCESS OF STRUCTURAL COMPOSITE OF POLYTETRAFLUORETHYLENE (PTFE) WITH LONG FIBRES

Cassius Riul, riul@sc.usp.br¹

Rodrigo Bresciani Canto, canto@sc.usp.br²

Volnei Tita, voltita@sc.usp.br²

Jonas de Carvalho, prjonas@sc.usp.br¹

¹Departamento de Engenharia Mecânica, EESC/USP, Av. Trabalhador São-carlense, 400, CEP: 13566-590, São Carlos - SP, Brasil

²Departamento de Engenharia de Materiais, Automotilística e Aeronáutica, Av. Trabalhador São-carlense, 400, CEP: 13566-590, São Carlos - SP, Brasil

Abstract: *This work presents a study of the manufacturing of Polytetrafluorethylene (PTFE) composite with continuous fibres, which has the purpose of obtaining a composite with mechanical properties equivalent or better than that of engineering polymers, but that preserve the characteristics of PTFE products with no reinforcement (as low friction coefficient, low chemical interaction and high work temperature amplitude). The PTFE is a thermoplastic material, however its high molten viscosity prevents the use of melt injection techniques, and its components are obtained through cold compaction process followed by sintering. In this study it is proposed a methodology of PTFE laminate with continuous fibre manufacturing, made of commercial PTFE-coated glass-fibre fabric. The process parameters which influence the final mechanical properties of the product were specified. It was also studied the possibility of addition of a larger quantity of PTFE to the laminate in order to verify the possibility of making continuous laminate coating. The manufacturing process was developed through the production of test specimen, which were obtained by the pilling of PTFE-coated glass-fibre fabric in a metallic mold for the pressing and that were sinterised afterwards. For the coating study, the test specimen were assembled through the deposition of granular PTFE layers interpolate with PTFE-coated glass-fibre fabric layers. The material was analysed through three-point three-point bend test applied to the manufactured test specimen to verify the gains of mechanical stiffness and strength in comparison to the pure PTFE.*

Keywords: *PTFE, composites, continuous fibre, manufacturing process, compaction, sintering*