

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES NÚCLEOS NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ESTRUTURAS SANDUÍCHE UTILIZANDO ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A TENSÃO NAS FACES E AO CISALHAMENTO DO NÚCLEO.

GARAY, A. C.^{1*}, KERCHE, E.¹, SOUZA, J. A.², AMICO, S. C.¹

¹Lapol/PPGEM/Escola de Engenharia – UFRGS - Campus do Vale, Porto Alegre – RS.

²Escola de Engenharia – FURG - Campus Carreiros, Rio Grande – RS.

Resumo: Os compósitos estrutura sanduíche são materiais amplamente utilizados nas mais variadas aplicações, pois são materiais leves, rígidos e com ótimas propriedades mecânicas. Estes materiais são formados por duas faces aderidas a um núcleo de baixo peso, sendo assim uma das principais deficiências deles é a delaminação das faces do núcleo e também o cisalhamento do núcleo. Então este trabalho tem com objetivo avaliar a eficiência da adesão das faces com o núcleo dos compósitos com núcleo de PVC e PET e também analisar qual deles suporta mais a força de cisalhamento antes de falhar. Utilizando os ensaios de resistência à tensão nas faces foi possível notar que o PVC suporta mais a tensão antes de falhar que o PET, demonstrando uma melhor adesão face/núcleo. Já para avaliar a resistência ao cisalhamento no núcleo, o ensaio não foi validado para o núcleo de PVC.

Palavras-chave: Compósito estrutura sanduíche, RTM Light, resistência à tração nas faces e cisalhamento do núcleo.

Introdução

Compósitos estruturais sanduíche são amplamente utilizados em produtos com *designs* diferenciados, não só na indústria aeronáutica, onde eles foram inicialmente desenvolvidos, mas também nas áreas de transportes terrestres e marinhos [1], são materiais de alta rigidez, baixa densidade e alta resistência, principalmente quando solicitados para momentos fletores [2]. O conceito destes materiais consiste na combinação de duas faces (camadas) finas e rígidas (composta de matriz e fibras) e entre elas um núcleo espesso e de baixo peso [3], estes componentes são unidos durante a cura da resina por adesão mecânica ou colados com auxílio de adesivos.

Por estes materiais serem constituídos da união de três componentes, um dos principais problemas enfrentados é a delaminação das faces do núcleo, e um dos principais métodos de verificar a boa adesão entre os componentes é o ensaio de resistência à tensão nas faces [4]. Atualmente utilizam-se como núcleos sintéticos para estes materiais, PVC e PET, pois são de baixo custo, fácil processamento e com boas propriedades mecânicas, uma das propriedades solicitadas para estes núcleos é a resistência ao cisalhamento quando sujeita a momentos fletores [5].

Normalmente estes materiais são processados por infusão, pois existem núcleos das mais variadas espessuras e dependendo da aplicação, as faces precisam ser mais ou menos espessas, sendo assim este processo é o mais adequado para esta variação de espessuras. Neste trabalho será utilizado o processo de RTM *Light*, que é uma variante do RTM (*Resin Transfer Molding*) tradicional. Este possui algumas características distintas como um molde de material mais flexível e um contramolde translúcido, permitindo que seja observada a evolução da frente de fluxo da resina. O RTM *Light* utiliza ainda um vácuo periférico como mecanismo de travamento do molde/contramolde, enquanto uma pressão positiva baixa em conjunto com o vácuo na cavidade do molde faz com que a resina preencha essa cavidade com facilidade, pois o gradiente de pressão no interior do molde é elevado. Este processo é uma boa alternativa para empresas migrarem de processos manuais para moldes fechados e também do processo de infusão, pois este possui um gasto considerável em materiais inerentes do processo e uma das superfícies não fica com boa qualidade.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é analisar a influência de diferentes núcleos e faces nas propriedades mecânicas de estruturas sanduíche utilizando ensaios de resistência a tensão nas faces e ao cisalhamento do núcleo, sendo que o primeiro teste tem como objetivo analisar a qualidade da adesão entre as faces e o núcleo e o segundo medir a resistência ao cisalhamento do núcleo.

Parte Experimental

Os seguintes materiais foram usados, como matriz a resina éster-vinílica Derakane Momentum™ 411-350, Ashland, nela é adicionado o peróxido de metil-etil-cetona (PMEK) 2% em relação ao peso da resina e o catalisador NafCO a 0,6% Co em relação ao peso da resina. O catalisador (NafCO) e o iniciador (PMEK) são misturados manualmente com um bastão de vidro em um recipiente antes de realizar a moldagem. Como reforços foi utilizado tecido bidirecional *plain weave* de fibra de vidro tipo E, gramatura 330 g/m², Owens Corning.

Os Núcleos utilizados foram de espuma de PET modelo Nidafoam, densidade 80 kg/m³ (Nidacore) e espuma de PVC modelo Divinycell H, densidade 80 kg/m³ (DIAB). Os compósitos ensaiados foram os mesmos moldados em trabalhos

passados [6], foram utilizados os compósitos PET 4T e PVC 4T. Com os corpos de provas citados acima foram realizados os ensaios mecânicos descritos abaixo.

Resistência à tração nas faces foi realizada nos compósitos com as dimensões de 50 x 50 x 16 mm segundo a norma (ASTM C297/C297M-04) na máquina de ensaio Instron, com uma velocidade 0,5 mm/mim, célula de carga de 5 kN com o objetivo de avaliar a qualidade da adesão das faces com o núcleo. Conforme pode-se ver na imagem do ensaio na Fig. 1.



Figura 1- Ensaio de resistência à tração nas faces para os compósitos estruturais sanduíche.

Com os dados do ensaio, pode-se calcular a resistência máxima à tração de adesão das faces no núcleo (Eq. 1) [4].

$$F_z^{ult} = \frac{P_{\max}}{A} \quad (1)$$

F_z^{ult} = Resistência à tração de adesão das faces, MPa.

P_{\max} = Força final antes da falha, N.

A = Área da seção, mm².

O ensaio de tensão de cisalhamento no núcleo foi realizado nos compósitos com dimensões de 270 x 50 x 16 mm segundo a norma (ASTM C273/C273M-11) na máquina de ensaio Instron, com uma velocidade 0,5 mm/mim, célula de carga de 5 kN com o objetivo de avaliar a resistência máxima a tensão de cisalhamento no núcleo quando são aplicadas forças paralelas cisalhantes. Conforme pode-se ver na imagem do ensaio na Fig. 2.



Figura 2- Ensaio de tensão de cisalhamento para os compósitos estruturais sanduíche.

Com os dados do ensaio, pode-se calcular a tensão de cisalhamento instantânea do núcleo com a Eq. 2 [5]:

$$\tau = \frac{P}{(L b)} \quad (2)$$

τ = Tensão de cisalhamento instantânea no núcleo, MPa.

P = Carga instantânea na amostra, N.

L = Comprimento da amostra, mm.

b = Largura da amostra, mm.

A tensão de cisalhamento com a Eq. 3 [5]:

$$\gamma = \frac{u}{t} \quad (3)$$

γ = Tensão de cisalhamento no núcleo, MPa.

u = Deslocamento instantâneo entre as placas de carga, mm.

t = Espessura das amostras, mm.

Resultados e Discussão

Sabendo-se que o objetivo do ensaio de resistência à tensão nas faces foi verificar a qualidade da adesão entre as faces e os núcleos e também comparar os dois núcleos, PVC e PET, para ver qual deles suporta mais a tração nas faces antes de falhar. Analisando os resultados dos ensaios, a carga máxima suportada pelo PVC foi de 3743,29 N ($\pm 0,20$) e o PET 2997,94 N ($\pm 0,15$), a carga diminuiu em torno de 20 %. Utilizando a Eq. 1 foi calculado o F_z^{ult} , para o PVC foi achado o valor de 1,50 MPa ($\pm 0,08$) e o PET 1,20 MPa ($\pm 0,06$), também a resistência à tração nas faces em torno de 20 %, o que demonstra uma melhor qualidade de adesão faces/núcleo para o PVC.

Conforme pode ser visto na Fig. 3-a falha aconteceu no núcleo e não na interface núcleo/face, o que mostra uma boa adesão entre as mesmas, sendo que tensão necessária para romper o núcleo é menor que para delaminar às faces. Já para o núcleo de PVC aconteceu uma pequena falha no núcleo, não acontecendo à falha total como para o PET, mas também aconteceu a falha nas faces/núcleo. Os ensaios para as duas amostras mostraram que a adesão das faces com o núcleo resiste mais a tração nas faces que o próprio núcleo antes de falhar.

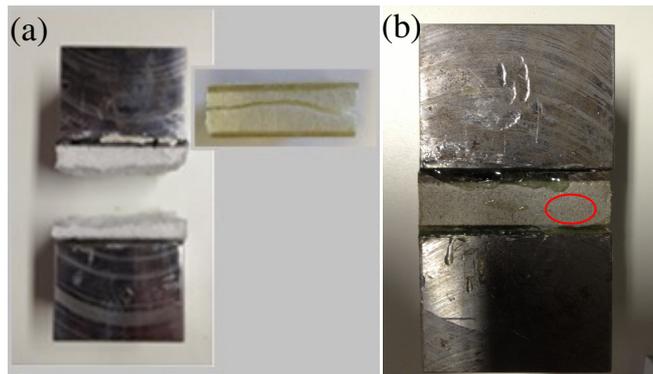


Figura 3- Compósito com núcleo de PET (a) e PVC (b) ensaiados.

Para o ensaio de cisalhamento no núcleo como pode ser visto na Fig. 2 as duas faces devem ser coladas nos dois acessórios e cada face é forçada na mesma direção, intensidade e sentidos opostos, sendo assim forçando o cisalhamento do núcleo. Como o núcleo de PVC possui uma resistência ao cisalhamento elevado, aconteceu o deslocamento das faces do acessório antes de ocorrer à falha do núcleo, conforme a Fig. 4-a. Já para o compósito com núcleo de PET aconteceu à falha no núcleo característica de cisalhamento, com um ângulo de 45 ° conforme pode ser visto na Fig. 4-b.

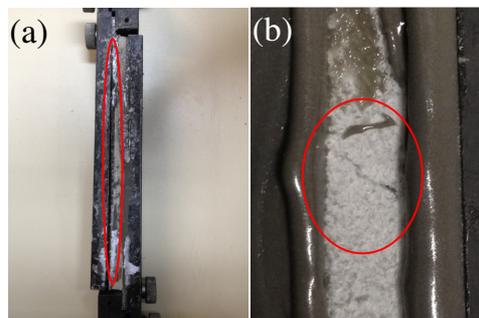


Figura 4- Compósito com núcleo de PVC (a) e PET (b) ensaiados.

Para o núcleo de PET, considerando que $L = 270$ mm, $b = 50$ mm e $P = 10398,78$ N e utilizando a Eq. 2, a resistência ao cisalhamento no núcleo instantânea é de 0,77 MPa ($\pm 0,10$). E considerando $u = 3,84$ mm e $t = 16$ mm a resistência ao

12° Congresso Brasileiro de Polímeros (12°CBPol)

cisalhamento de engenharia é 0, 24 MPa ($\pm 0,13$). Como o ensaio não foi validado para o compósito com núcleo de PVC não é possível calcular os valores de tensão de cisalhamento e a resistência ao cisalhamento no núcleo, mas é possível concluir que o núcleo de PVC possui valores maiores que o de PET.

Conclusão

Como o objetivo do trabalho é fazer uma comparação entre os núcleos de PVC e PET, utilizando os ensaios de resistência à tensão de adesão nas faces e ao cisalhamento do núcleo. Foi possível concluir que o núcleo de PVC suportou mais a tensão nas faces, mostrando que possui uma melhor adesão face/núcleo. Já para o cisalhamento no núcleo, apesar do ensaio com PVC não ter sido validado, o ensaio sugere que o núcleo de PVC possui uma maior resistência ao cisalhamento.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES, CNPQ, UNIFRA e a FAPERGS pelo apoio financeiro.

Referências

- [1] A. Russo, B. Zuccarello. *Composites Structures*, 2007, 81, 575-586.
- [2] A. Corigliano, E. Rizzi e E. Papa. *International Journal of Solids and Structures*, 2000, 37, 5794.
- [3] M. Saha, E. Kabir, S. Jeelani. *Materials Letters*, 2008, 62, 567-570.
- [4] Anon. Standard test method for flatwise tensile strength of sandwich constructions. *Annual book of ASTM 1997*, vol 15.03, space simulation; aerospace and aircraft; high modulus fibers and composites (ASTM C 297-94). New York: ASTM, 1997.
- [5] Standard Test Method for Shear Properties of Sandwich Core Materials, C273/C273M -11.
- [6] A. Garay, em anais do 1° Brazilian conference no composite materials - Natal-RN, July 16-19, 2012.