

11º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS

16 a 20 de Outubro de 2011
Campos do Jordão - SP



AVALIAÇÃO DE DIFERENTES NÚCLEOS E FACES EM MATERIAIS COMPÓSITOS SANDUÍCHE PARA APLICAÇÕES MARÍTIMAS

André C. Garay ⁽¹⁾, Fernando Sampert ⁽¹⁾, Vitor Moreira ⁽¹⁾, Jeferson A. Souza ⁽²⁾, Sandro C. Amico ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Caixa Postal 15010, 91501-970, Porto Alegre/RS, Brasil.
LACOMP/LAPOL/PPGEM/Escola de Engenharia - UFRGS
fernando.sampert@ufrgs.br

2) Av. Itália, Km/8, S/N, Rio Grande/RS, Brasil
Escola de Engenharia - FURG

Resumo: A indústria marítima utiliza materiais de alta performance, como os compósitos sanduíche, os quais são formados por duas faces externas (geralmente com fibra sintética/resina) e um núcleo. O principal objetivo deste trabalho é estudar as características de diferentes estruturas sanduíches usadas na construção naval. Três tipos de materiais de núcleo foram testados (espuma de PVC e de PET, e madeira balsa) com diferentes combinações de faces constituídas de tecidos ou mantas de fibra de vidro. Os compósitos foram moldados por compressão usando como matriz uma resina éster-vinílica. Os materiais foram submetidos a ensaios de flexão, compressão e dureza Shore-D. Entre os materiais analisados, a melhor combinação de resultados foi alcançada com o uso da madeira balsa e do tecido. Já entre os núcleos sintéticos, os núcleos de PVC com tecidos e para um maior teor de fibra obtiveram um melhor desempenho.

Palavras-chave: Estruturas sanduíche, espuma de PVC, espuma de PET, madeira balsa, propriedades mecânicas

Evaluation of different cores and faces in sandwich composite constructions for marine applications

Abstract The marine industry uses high-performance materials such as sandwich composite structures, which are comprised of two external faces (usually made of synthetic fiber/resin) and a core. The main objective of this work is to study the characteristics of different sandwich structures used in shipbuilding. Three types of core materials were evaluated (PVC and PET foams, and balsa wood) with different combinations of faces made of glass fiber cloths or mats. The composites were compression molded using a vinyl ester resin as matrix. The produced materials were subjected to flexural, compression and Shore-D hardness testing. Among the evaluated materials, the best combination of results was achieved with the balsa wood and the cloth. Among the synthetic cores, the best performance was identified for the PVC nuclei and the cloth with higher fiber content.

Keywords: Sandwich structures, PVC foam, PET foam, Balsa wood, mechanical properties

Introdução

Os compósitos estruturais do tipo sanduíche são normalmente utilizados na indústria naval e aeronáutica, sendo considerados materiais de alta rigidez e resistência, principalmente quando solicitados para momentos fletores, e de baixa densidade [1], por isso sendo muito utilizados como, por exemplo, cascos para barcos [2]. Os materiais mais usados para se produzir estruturas sanduíche são fibras de vidro, carbono ou aramidadas, sejam em forma de manta ou tecido e os

núcleos estruturais, normalmente uma madeira balsa ou espumas sintéticas. Estes componentes são unidos durante a cura da resina ou colados com auxílio de adesivos.

Para projetar elementos estruturais com materiais compósitos sanduíche é necessário conhecer o comportamento mecânico das faces e do núcleo, assim como os mecanismos de falha e os critérios de falha que podem ser usados ao se aplicar carregamentos complexos [3]. Devido a condições de carregamento em serviço ou à fabricação deficiente de uma estrutura sanduíche, pode ocorrer delaminação (descolamento) das faces externas do núcleo. O impacto do carregamento de objetos duros, como ondas batendo e choques em baixo d'água com rochas são as principais causas destas delaminações. Com o aumento da carga, o processo de delaminação desenvolve rachaduras na resina, que levarão à perda da adesão entre as fibras/resina e o núcleo. A propagação destas delaminações ao longo da estrutura pode levar ao colapso estrutural [4]. Também é importante verificar a resistência à flexão dos materiais em três e quatro pontos [5,6].

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é analisar a influência de diferentes núcleos e faces nas propriedades mecânicas de estruturas sanduíche utilizando ensaios de compressão, flexão e dureza.

Experimental

Materiais

Os seguintes materiais foram usados:

- Resina éster-vinílica modelo Derakane Momentum™ 411-350, Ashland.
- Peróxido de metil-etil-cetona (PMEK).
- Catalizador NafCO a 0,6% Co.
- Reforços: (a) Manta de fibra de vidro tipo E, gramatura 300 g/m²; (b) Tecido bidirecional *plain weave* de fibra de vidro tipo E, gramatura 330 g/m² (Owens Corning).
- Núcleos: (a) Madeira balsa modelo Pro Balsa GS, densidade 155 kg/m³; (b) Espuma de PET modelo Nidafoam, densidade 80 kg/m³ (Nidacore); (c) Espuma de PVC modelo Divinycell H, densidade 80 kg/m³ (DIAB).

Moldagem

Utilizou-se o processo de manufatura de compósitos denominado de moldagem por compressão, que garante duas superfícies de qualidade, boa produtividade e elevado controle dimensional. As moldagens foram feitas em um molde aço inox com cavidade interna de 270 × 170 × 22 mm, e a resina foi preparada acrescentado 0,2% em massa de catalizador do tipo NafCo e 1,0% em massa do iniciador tipo PMEK. Esta mistura foi colocada em um banho ultrassônico para eliminar bolhas de ar.

Os reforços foram empilhados no molde manualmente na seguinte ordem, manta (ou tecido), núcleo (balsa, PVC ou PET, espessura nominal: 10 mm), manta (ou tecido). Em seguida o molde foi fechado de modo a permitir uma espessura final de 11 mm e submetido a uma pressão de 5 T em uma Prensa Hidráulica Marconi MA 098/A 3030 15T, para impregnação do reforço das faces do sanduíche. Os núcleos utilizados têm a, os parâmetros alterados foram o tipo de núcleo, o tipo de reforço e a fração volumétrica de fibra nas faces. Foram produzidos dez tipos de estruturas sanduíche, conforme apresentado na Tab. 1.

Tabela 1 - Nomenclatura das amostras produzidas.

Nomenclatura	Núcleo	Face	Nomenclatura	Núcleo	Face
B-1M	Balsa	1 manta	B-1T	Balsa	1 tecido
PET-1M	PET	1 manta	PET-1T	PET	1 tecido
PVC-1M	PVC	1 manta	PVC-1T	PVC	1 tecido
PVC-2M	PVC	2 mantas	PVC-2T	PVC	2 tecidos
PVC-3M	PVC	3 mantas	PVC-3T	PVC	3 tecidos

Caracterização

Foram feitos os seguintes ensaios mecânicos:

- Compressão longitudinal do sanduíche (ASTM C 364/C 364M - 07) no Equipamento EMIC DL 2000, com objetivo de compreender o comportamento do material da face durante a flambagem em 5 amostras.
- Compressão transversal do sanduíche (ASTM C 365/C 365M -05) no mesmo equipamento, para determinar a rigidez na direção do plano do laminado em 5 amostras.
- Flexão em três pontos do sanduíche (ASTM C 393/C 393 -06), para determinar a tensão máxima de cisalhamento do núcleo, a tensão nas faces, e a identificação dos mecanismos de falha. Este ensaio foi realizado no Equipamento EMIC DL 2000 da UCS em 7 amostras.
- O ensaio de dureza do núcleo e do sanduíche foi realizado para avaliar a resistência a choques em baixa velocidade de pequenos objetos, a arranhões de objetos flutuantes e à abrasão de calçados ou ferramentas no piso das embarcações. Foram realizadas 10 medidas em cada tipo de amostra segundo a norma ASTM D2240 no Durômetro Shore D da WOLTEST, modelo SD300.

Resultados e Discussão

Analisando os ensaios de compressão longitudinal podem-se observar os diferentes comportamentos das amostras de acordo com o tipo de núcleo e faces utilizados. O maior responsável pela resistência quando poucas camadas de fibra de vidro são utilizadas na face do compósito é o núcleo. Conforme pode ser visto na Tab. 2 os compósitos sanduíches com núcleo de madeira balsa são os mais resistentes à compressão e, quando se adiciona mais camadas de fibra de vidro às faces (i.e. como para o núcleo de espuma de PVC), a resistência aumenta, notando-se também que o desempenho dos tecidos e das mantas são semelhantes.

Nos ensaios de compressão longitudinal somente para os núcleos os corpos de prova ensaiados com madeira balsa obtiveram uma média de resistência de 10,9 MPa, enquanto os núcleos poliméricos apresentaram uma média de resistência de 1,1 MPa.

Tabela 2- Resultados dos ensaios de compressão.

	Resistência à Compressão Longitudinal (MPa)	Resistência à Compressão Transversal (MPa)
B-1M	125,4 (± 15,26)	13,9(± 0,86)
B-1T	128,1(± 14,46)	8,0(± 2,82)
PET-1M	110,4(± 11,52)	1,0(± 0,13)
PET-1T	103,7(± 8,03)	1,1(± 0,29)
PVC-1M	95,7(± 18,04)	0,6(± 0,21)
PVC-2M	127,4(± 19,15)	1,4(± 0,05)
PVC-3M	101,8(± 15,42)	1,5(± 0,03)
PVC-1T	95,3(± 20,12)	0,9(± 0,29)
PVC-2T	126,1(± 14,06)	0,8(± 0,13)
PVC-3T	152,1(± 11,11)	1,6(± 0,07)

Nos resultados dos ensaios de flexão apresentados na Tab. 3, observou-se que as maiores tensões foram alcançadas pelos compósitos com núcleo de madeira balsa. Para os núcleos sintéticos com faces similares, os sanduíches com núcleo PET obtiveram as maiores resistências.

Com o acréscimo de camadas de fibra às faces, a resistência aumenta, principalmente quando se utiliza as mantas. Já as amostras com faces compostas por tecidos bidirecionais não mostraram um aumento de resistência quando utilizado três camadas de fibra quando comparado com os que utilizaram manta. O mesmo aconteceu para os valores de tensões máximas de cisalhamento nos

núcleos, a madeira balsa alcançou os maiores valores, diminuindo consideravelmente para os núcleos sintéticos.

Levando-se em conta o tipo de fratura para o ensaio de flexão, os compósitos com núcleo de madeira balsa falharam por rompimento das fibras. De acordo com o perfil apresentado na Fig. 1, pode-se notar um decréscimo da rigidez evidenciado pela mudança de inclinação da curva dessas amostras devido ao dano sofrido na madeira. Nas amostras com núcleo de espuma PET, ocorre flambagem das faces e rompimento do núcleo de forma frágil, que pode ser notado nas curvas apresentadas na mesma Fig. 1. Nas amostras com núcleo de espuma de PVC, constatou-se dois tipos de falhas, em um deles as amostras com tecidos sofreram falhas parecidas com a espuma PET, rompimento frágil e caracterizado por flambagem e rompimento das faces, porém sem falha no núcleo.

Tabela 3- Resultados dos ensaios de flexão e dureza.

	Ensaio de Flexão		Dureza Shore D
	Resistência ao Cisalhamento do Núcleo (MPa)	Resistência à Flexão da Face (MPa)	Sanduíche
B-1M	1,09(± 0,05)	68,50(± 0,28)	47(± 2,96)
B-1T	1,22(± 0,45)	79,10(± 16,86)	51(± 2,59)
PET-1M	0,35(± 0,01)	22,10(± 3,45)	58(± 2,52)
PET-1T	0,33(± 0,11)	21,90(± 7,29)	60(± 2,13)
PVC-1M	0,28(± 0,01)	21,04(± 2,81)	44(± 2,48)
PVC-2M	0,34(± 0,03)	22,23(± 3,77)	52(± 4,05)
PVC-3M	0,54(± 0,08)	30,70(± 5,38)	-
PVC-1T	0,25(± 0,06)	16,30(± 4,52)	43(± 3,85)
PVC-2T	0,42(± 0,08)	25,30(± 6,97)	59(± 2,72)
PVC-3T	0,44(± 0,05)	23,60(± 4,06)	-

Nos ensaios de dureza, pode-se constatar uma dureza média para os corpos de prova com núcleo balsa de 49 Shore-D, para núcleos PET 27 Shore-D e para núcleos com espuma PVC 42 Shore-D. Em relação às faces, nota-se um aumento da resistência mecânica com o acréscimo de camadas de fibra, como a diferença entre os corpos de prova é apenas na relação volumétrica da face sobre o volume total, a espessura da face é o principal fator de resistência do compósito.

Nos ensaios de flexão, a maior resistência foi obtida com o uso do núcleo balsa, porém tem-se o dobro da massa dos compósitos de núcleos poliméricos. Para se utilizar tecidos direcionais,

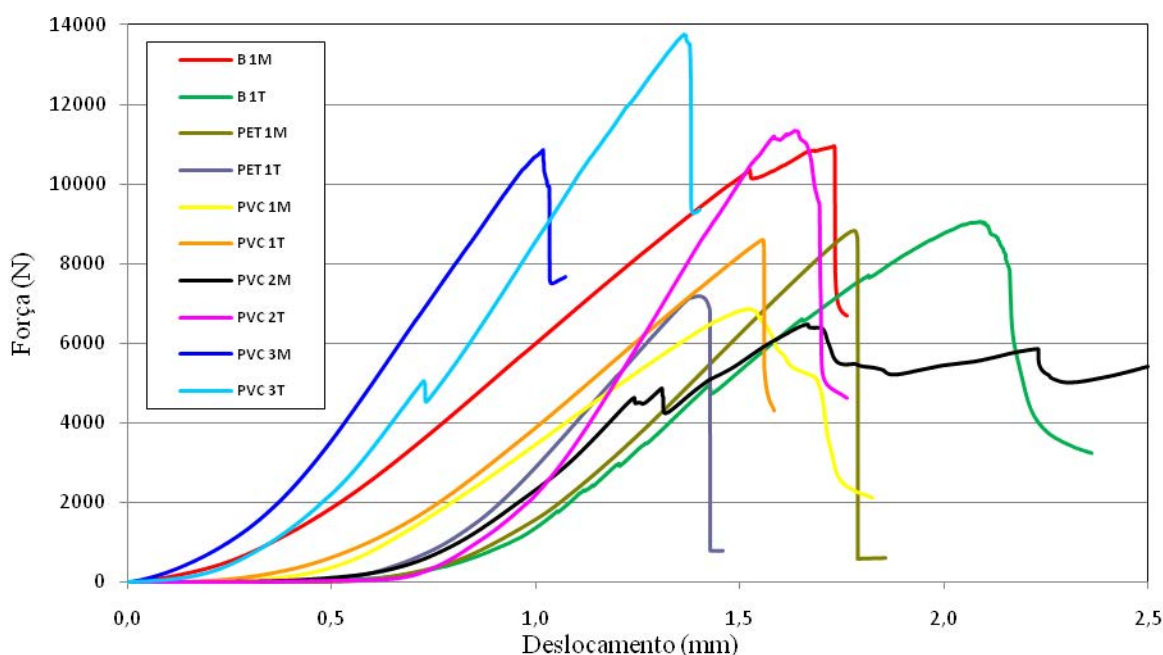


Figura 1 – Gráfico de força vs. deslocamento em flexão para os diferentes sanduíches.

é aconselhável que se faça um estudo das direções principais dos esforços, para que não haja, como nesse caso, fibras utilizadas com direção de 90° graus aos esforços, as quais não auxiliam no aumento da resistência à flexão dos compósitos sanduíche, que obtiveram pior desempenho que os compósitos que utilizaram mantas.

Conclusões

Em relação às faces, nota-se um aumento da resistência mecânica com o acréscimo de camadas de fibra, como a diferença entre os corpos de prova é apenas na relação volumétrica da face sobre o volume total, a espessura da face é o principal fator de resistência do compósito.

Nos ensaios de flexão, a maior resistência foi obtida com o uso do núcleo balsa, porém tem-se o dobro da massa dos compósitos de núcleos poliméricos. Ao se utilizar núcleos poliméricos, a resistência mecânica pode ser aumentada com o acréscimo de camadas de fibra de vidro nas faces, com a preferência da utilização de mantas ao invés de tecidos bidirecionais. Para se utilizar tecidos direcionais, é aconselhável que se faça um estudo das direções principais dos esforços, para que não haja, como nesse caso, fibras utilizadas com direção de 90° graus aos esforços, as quais não auxiliam no aumento da resistência à flexão dos compósitos sanduíche, que obtiveram pior desempenho que os compósitos que utilizaram mantas

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, à CAPES, à FAPERGS pelo apoio financeiro e à UCS e ao LACER pelos ensaios mecânicos.

Referências Bibliográficas

1. A. Corigliano, E. Rizzi e E. Papa. *International Journal of Solids and Structures*, 2000, 37, 5794.
2. Nasseh, J. Barcos – *Metódos Avançados de Construção em Compósitos*, Rio de Janeiro, 2007
3. A. Russo e B. Zuccarello, *Composites Structures*, 2007, 81, 586.
4. S.Q. Yang, Y.Z. Jiang, W.Y. Xu, X.Q. Chen. 2008, 45, 4819.
5. S.M. Soni, R.F. Gibson e E.O. Ayorinde. *Composites Science and Technology*. 2009, 69, 838.
6. J. Tomblin, T. Lacy, B. Smith, S. Hooper, A. Vizzini e S. Lee. *Review o Damage Tolerance for Composite Sandwich Airframe Structures*. 1999.