

10

LE COMPORTEMENT EN FLUAGE, EN FATIGUE ET LA TENUE AU FEU DE COMPOSITES SANDWICHS*

J. L. CHEVALIER¹

Résumé - Baltek Corp. est actuellement dans le processus d'introduction de trois nouveaux produits : matériau à densité triée, panneaux AL-600/10 et DecoLite, qui réduisent le poids et le coût. Les résultats de fluage sur des matériaux d'âme typiques ont montré que seuls le balsa debout (EGB) et le nid d'abeille Nomex 9,0 lb (150 kg/m²) sont capables d'utilisation continue à 160 F (71°C). Au cours des études de fatigue en flexion alternée, EGB a une limite de fatigue 2 à 2,4 fois celle de mousses PVC. Tandis que EGB par lui-même est un matériau de classe 2 pour la résistance au feu selon ASTM E-84, avec un système de peaux et de résine convenables, il peut facilement satisfaire les exigences de la classe 1.

mots clés : composite , sandwich , âme balsa, PVC, nid d'abeille, feu.

INTRODUCTION

La construction en sandwich s'est étendue dans l'industrie marine et dans d'autres secteurs, aussi, y-a-t'il eu une demande importante de nouveaux produits et de données d'ingénierie ces 10 à 20 dernières années. Pour satisfaire ces demandes, Baltek a développé de nouveaux produits et des données de base sur les matériaux. Cet article résume les nouveaux produits et les données qui permettront aux consommateurs d'utiliser plus efficacement ces produits.

* traduit de l'américain.

¹Baltek Corporation (Etats-Unis).

NOUVEAUX PRODUITS.

Densité triée

Depuis quelque temps, nombre d'applications ont indiqué que la disponibilité de produits de différentes densité pourrait être intéressante. Pour satisfaire ces besoins, Baltek a établi trois nouvelles qualités de matériau : 57, 100 et 150 (tableau 1). Ceci a été rendu possible par l'adoption de nouvelles procédures de contrôle de qualité (QC) pour nos usines. L'avantage pour le consommateur est que le poids, la résistance et le coût peuvent être optimisés.

DecoLite²

Les panneaux de composite DecoLite² sont légers, ont une résistance élevé pour panneaux et sont offerts avec un choix de peaux suivantes : placage en bois renforcé par fibres, 1208 renforcé par fibres (FRP - avec mat 0°, 90°), placage en bois décoratif (teck, frêne, etc) et stratifié haute pression renforcé par fibres (HPL) (tableau 2). Ainsi, ils peuvent être utilisés pour beaucoup d'applications telles que ameublement, raidisseurs, cloisons, ponts, planchers, applications structurales, etc.

AL-600/10

- Des essais ont montré qu'un matériau recouvert de AL-600/10 :
- nécessite moins de résine ;
 - semble être plus uniforme ;
 - est compatible avec une large gamme de systèmes de résine ;
 - est moins sensible au procédé ;
 - se prête à des systèmes de moulage sous pression.
- Plus important, il est moins coûteux que l'actuel AL-600.

MATERIAUX

FLUAGE : MATERIAU D'AME DE 1/2" (13 mm).

Balsa AA-57	3.1 lb/ft ³ (50 kg/m ³) Al HC ³
Balsa AA-911	6.1 lb/ft ³ (100 kg/m ³) Al HC

²Marque déposée par Baltek Corp.

³HC : nid d'abeille

Divinycell ⁴ H-60	3.0 lb/ft ³ (50 kg/m ³) Nomex HC
Divinycell ⁴ H-80	9.0 lb/ft ³ (150 kg/m ³) Nomex HC
Divinycell ⁴ H-100	Airex ⁵ R62.80
H8PP NIDA-CORE ⁶	

Toutes les éprouvettes de fluage avaient des peaux en aluminium de 0,5 mm d'épaisseur.

FATIGUE : MATERIAUX D'AME 3/4" (19 mm)

Klegecell⁷ R100 & R75/82
 Divinycell H-100 & H-80
 Balsa CK-100 & CK-57
 Termanto⁸ R90 & R75.

Les éprouvettes de fatigue avaient des peaux en composite épais (tissu et mat).

CONDITIONS D'ESSAI

FLUAGE

Les éprouvettes ont été testées en flexion trois points à température ambiante et à 160 F (71°C). Dans tous les cas, la distance entre appuis était de 16 1/4 " (41 cm). Une charge de 75 ± 1 lbs (34 ± 0,03 kg) a été suspendue au centre de l'éprouvette. Ceci a conduit à une contrainte en cisaillement dans l'âme de 24 psi (0,17 MPa). La déflexion au centre de l'éprouvette a été mesurée en continue à l'aide d'un comparateur. La durée de l'essai n'excédait pas huit semaines. Pour chaque matériau et température, 5 éprouvettes ont été testées et les moyennes obtenues sont celles indiquées sur les courbes. Les courbes à 160 F (71°C) ont été obtenues en plaçant l'appareillage dans une étuve pour toute la durée de l'essai. Avant la mise en charge, les éprouvettes ont été maintenues toute une nuit à température.

⁴Marque Déposée par Barracuda Technologies

⁵Marque déposée par Airex AG, Suisse

⁶Marque déposée par NIDA-CORE Corp.

⁷Marque Déposée par Klegecell, Polimex

⁸Marque déposée par Pelf S.p.A., Italie.

FATIGUE

Avant les essais de fatigue, un essai de flexion 3 points statique, de type ASTM C-393 a été réalisé. Ce point a été considéré comme le premier cycle de fatigue. La distance entre appuis était de 18 " (46 cm). Les essais de fatigue ont été réalisés en flexion 3 points à température ambiante. La fréquence était entre 0,5 et 1 Hz afin d'éviter un échauffement de l'éprouvette. Une charge sinusoïdale a été appliquée au centre de l'éprouvette pour obtenir un rapport R de -1 et la déflexion pouvait varier au fur et à mesure que la rigidité diminuait. Puisque la charge était sinusoïdale, les peaux supérieure et inférieure ont subi alternativement des cycles de traction et de compression d'amplitude égale. Des peaux épaisses avec fraction de fibres élevée ont été employées pour assurer une rupture dans l'âme. Après rupture, la machine de fatigue s'arrêtait automatiquement. Pour cet essai 10 millions de cycles a été considéré comme une valeur infinie.

RESULTATS ET DISCUSSION

Des données de fluage à la température ambiante (RT) et à 160 F (71°C) et ont été rapportées précédemment (Chevalier 1992) et sont présentées aux figures 1 et 2. NIDA-CORE et Airex (tableau 3) n'y sont pas mentionnés, ils ont été considérés inacceptables. La figure 1 montre deux groupes de matériaux. Les matériaux de chaque groupe sont considérés comme équivalents. Le premier groupe consiste en des matériaux de faible densité, et le second à haute densité et à résistance plus élevée. Dans le tableau 3, le déplacement théorique initial de ces matériaux a été calculé avec précision grâce au le programme Big Lam⁹ de Baltek.

A 160 F (71°C), Airex, NIDA-CORE, le nid d'abeille aluminium 3.1 lb, Divinycell H-100, Divinycell H-80 et Divinycell H-60 ont tous échoué au test et ont été jugés comme inacceptables pour le fluage à 160 F (71°C) (tableau 3). La figure 2 reproduit les matériaux qui n'ont pas fait défaut. Big Lam a de nouveau prédit avec précision les déplacements initiaux à 160 F (71°C) (tableau 3). D'un point de vue pratique, il n'y a pas de différence de performance entre les deux âmes de balsa et le nid d'abeille Nomex 9.0 lb (figure 2). Le nid d'abeille Nomex 3.0 lb commence à montrer quelques déplacements très élevés, aussi, pour cette étude, il a été considéré comme inacceptable à 160 F (71°C).

Ainsi, seulement les balsas AA-91 et AA-57 et le nid d'abeille Nomex 9,0 lb sont acceptables pour des applications au fluage dans les

⁹Programme d'analyse de stratifié appartenant à Baltek.

conditions examinées dans cette étude. Alors qu'à 160 F (71°C) les données ne sont pas disponibles sur le nid d'abeille aluminium 6,1 lb, on s'attend à ce qu'il soit également acceptable. Big Lam n'a pas seulement prédit avec précision la déflexion attendue à la température ambiante et à 160 F (71°C), mais il a aussi classé le comportement au fluage relatif de ces matériaux d'âme.

FATIGUE

Aucun des matériaux d'âme testés n'a montré une limite de fatigue classique (figure 3). Cependant, on suppose que 10^7 cycles est la limite en fatigue de ces âmes. Toutes les âmes PVC, indifféremment de la résistance ou de la densité initiale, ont semblé converger vers une valeur commune à 10^7 cycles (Chevalier 1992). A la figure 4 (Chevalier, 1992), toutes les données pour le PVC ont été reportées comme un matériau unique en même temps que les balsas CK-100 et CK-57. A 10^7 , les âmes de PVC ont alors une limite de fatigue de 38 psi (0,26 MPa). Les balsas CK-57 et CK-100 ont des limites de fatigue de 75 psi (0,52 MPa) et 92 psi (0,63 MPa) respectivement ou 2 à 2,4 fois celle des âmes de PVC. Ces données sont en bon accord avec d'autres données publiées dans la littérature (Chevalier, 1992 et Olsson, 1990).

RESISTANCE AU FEU

Le balsa debout (EGB) est un matériau de classe 2 selon ASTM E-84. Avec un stratifié sandwich EGB correctement conçu, le stratifié EGB peut satisfaire aux exigences de la classe 1. Les deux éléments clés d'un matériau d'âme sont ses propriétés ablatives et isolantes. La photo 1 montre un réservoir à fuel FRP EGB avant qu'il soit testé à UL 1102. La photo 2 montre le même réservoir consumé par les flammes. Après le test au feu, il n'était pas seulement étanche, mais il a aussi résisté à un essai de pression intégral sans la peau extérieure.

La photo 3 montre un yacht à âme EGB à quai à côté d'un autre yacht incendié. Bien que les températures subies par le yacht EGB ont été assez élevées pour fondre les équipements de pont en aluminium, mais il a pu être récupéré. La photo 4 montre comment la peau extérieure du bateau a flambé. Alors que le EGB a carbonisé, il n'a pas fondu en surface et ses excellentes propriétés d'isolation ont protégé la peau interne des dommages.

CONCLUSION

NOUVEAUX PRODUITS

Les nouveaux matériaux à densité triée (57, 100 et 150), le revêtement AL-600/10 et les panneaux DecoLite offrent des solutions industrielles innovantes à une grande variété de problèmes et pour les préoccupations que sont la légèreté et le coût effectif.

FLUAGE

Seuls les balsas AA-911 et AA-57 et le nid d'abeille Nomex 9,0 lb (150 kg/m²) fournissent des performances acceptables à la fois à température ambiante et à 160 F (71°C). De plus, Big Lam a prédit avec précision le déplacement initial aux deux températures et a classé le comportement au fluage relatif des matériaux testés.

FATIGUE

Toutes les âmes PVC, sans considération de leur résistance et densité initiales, ont convergé vers la même valeur de limite de fatigue (10⁷ cycles) de 38 psi (0,26 MPa). Les balsas CK-100 et CK-57 ont une limite de fatigue prévue (10⁷ cycles) de 92 psi (0,63 MPa) et 75 psi (0,52 MPa) respectivement, ou environ 2 à 2,4 fois celle des âmes PVC.

RESISTANCE AU FEU

EGB est un matériau de classe 2 selon ASTM E-84. Pour un stratifié correctement conçu, on peut satisfaire aux exigences de la classe 1 ASTM E-84. De plus, les propriétés isolantes et ablatives de EGB confèrent une nette supériorité sur les autres matériaux d'âme.

CHEVALIER J. L., 1992, "Creep and Fatigue Properties of End-Grain Balsa and Other Typical Sandwich Cores", Second International Conference on Sandwich Construction, Gainesville, FL, p. B-1.

OLSSON, K.A. and LÖNNÖ, A., 1990, "Shear Fatigue of the Core and Peeling of Skins in GRP-Sandwich", Third International Conference on Marine Applications of Composite Materials.

Tableau 1. Propriétés moyennes. Contourkore et panneaux bois debout rigides.
Table 1. Contourkore and rigid end-grain panel average properties.

<i>Property</i>	<i>Units</i>	<i>57</i>	<i>100</i>	<i>150</i>
Density	Pounds/ft. ³ (kg/m ³)	6½ (100)	9½ (150)	15½ (250)
Thermal Conductivity ASTM C-177 @ 75 °F	Btu-in/hr-ft ² -°F (W/m-°K)	0.353 (0.0509)	0.450 (0.0649)	0.617 (0.0890)
Tensile Strength ASTM C-297	psi (MPa)	1,000 (6.90)	1,900 (13.1)	3,440 (23.7)
Shear Strength ASTM C-273	psi (MPa)	268 (1.85)	432 (2.98)	717 (4.94)
Shear Modulus ASTM C-273	psi (MPa)	15,600 (108)	23,100 (159)	45,300 (312)
Compression Strength ASTM C-365	psi (MPa)	945 (6.52)	1,870 (12.9)	3,850 (26.6)
Compression Modulus ASTM C-365	psi (MPa)	325,000 (2,240)	590,000 (4,070)	1,120,000 (7,720)
Linear Coefficient of Thermal Expansion	(IN/IN/°F)			
	Tangential	10.5 x 10 ⁶	10.5 x 10 ⁶	10.5 x 10 ⁶
	Radial	7.0 x 10 ⁶	7.0 x 10 ⁶	7.0 x 10 ⁶
	Longitudinal	1.7 x 10 ⁶	1.7 x 10 ⁶	1.7 x 10 ⁶

Tableau 2. Propriétés de panneaux composite Decolite avec peaux GRP 1208,
 par rapport à bois laminé, en flexion 4-points (ASTM C-393).

*Table 2. Properties of composite panels with fiber reinforced 1208 skins vs.
 plywood in four-point bending.*

	<i>Panel Weight lb/ft² (kg/m²)</i>	<i>Flexural Stiffness EI per unit (lb/in)</i>	<i>Load @ Failure lbs. (N)</i>
DecoLite FRP 1208			
½" (12.7mm)	.96 (4.7)	8510	537 (2389mm)
¾" (19.0mm)	1.14 (5.6)	21765	930 (4137mm)
1" (25.4mm)	1.35 (6.6)	31924	1071 (4764mm)
Plywood - Aircraft Grade			
½" (12.7mm)	1.5 (7.3)	9147	325 (1446mm)
¾" (19.0mm)	2.25 (11.0)	21330	525 (2335mm)

Tableau 3. Déflexions théoriques et mesurées de panneaux sollicités en flexion trois-points.
 Table 3. Theoretical and actual displacement of cored panels subjected to three point bending load.

Core	Big Lam ¹ Predicted Initial Displacement at Room Temperature (Inches/mm)	Room Temperature		160°F	
		Initial ² Displacement (Inches/mm)	Creep ³ (Inches/mm)	Initial ⁴ Displacement (Inches/mm)	Creep ³ (Inches/mm)
6.1 lb. Aluminum Honeycomb	0.074/1.88	0.0605/1.65	0.0025/.06		
3.1 lb. Aluminum Honeycomb	0.076/1.93			0.0754/1.92	5
Balsa AA-911	0.079/2.01	0.0708/1.80	0.0058/.15	0.0634/1.61	0.0286/.73
Balsa AA-57	0.08/2.03	0.0707/1.79	0.0144/.37	0.0752/1.91	0.0214/.54
9.0 lb. Nomex Honeycomb	0.088/2.24	0.0713/1.81	0.0043/.11	0.0708/1.80	0.0372/.94
3.0 lb. Nomex Honeycomb	0.101/2.57	0.1066/2.71	0.0202/.51	0.0838/2.13	0.0544/1.38
Divinycell H-100	0.11/2.79			0.0918/2.33	5
Divinycell H-80	0.117/2.97	0.1007/2.56	0.0258/.66	0.135/3.43	5
Airex	0.137/3.48	0.1086/2.76	0.0944/2.40	6	6
Divinycell H-60	0.147/3.73			0.171/4.34	5
NIDA-CORE	?	0.16/4.06	0.567/14.10	6	6

¹ Big Lam is a Baltek computer program to predict static stress, strain and deflection in sandwich panels. All values are based on nominal material properties at Room Temperature with a 75 lb. load applied.

² Measured room temperature initial deflection when the load was applied.

³ Final displacement minus initial displacement.

⁴ Measured initial deflection at 160°F when the load was applied.

⁵ Samples failed at the last data point.

⁶ Samples failed as soon as the load was applied.

Figure 1. Fluage, température ambiante.
Room temperature creep.

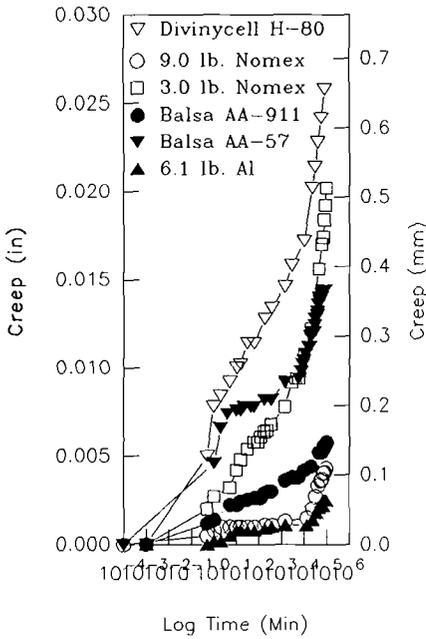


Figure 2. Fluage, 71 °C
Creep at 71 °C (160 °F)

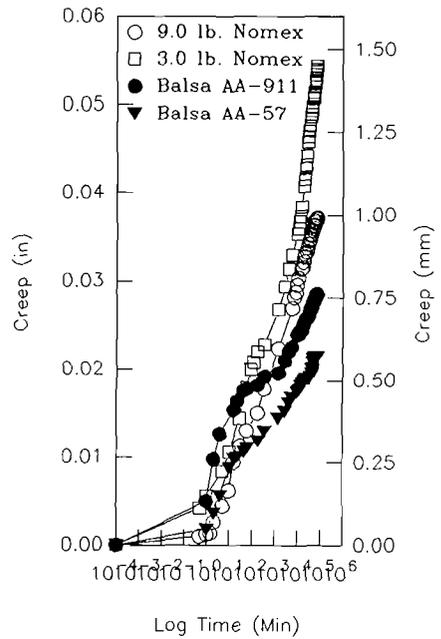


Figure 3. Courbes de fatigue, huit âmes.
Fatigue curves for eight cores.

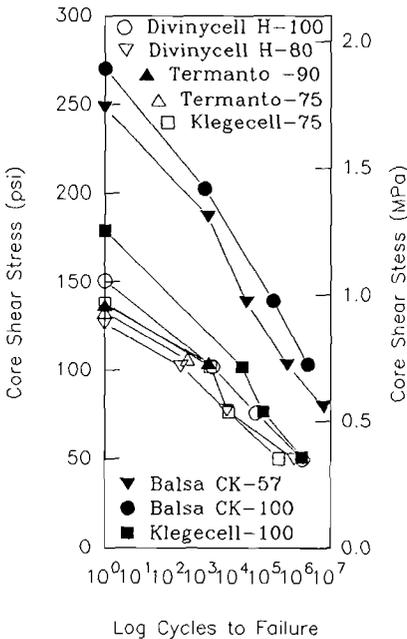
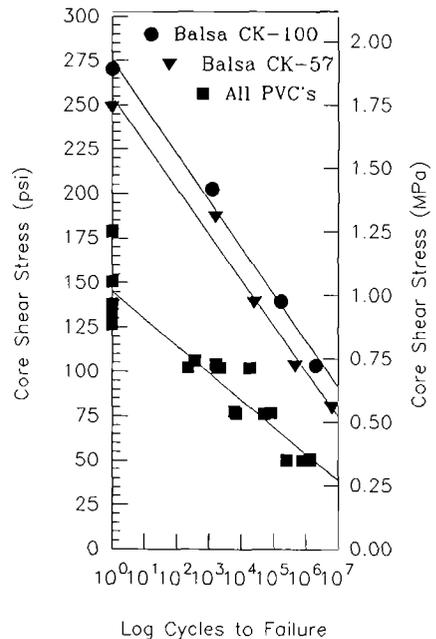


Figure 4. Analyse par régression, mousses PVC
Regression analysis of PVC foams.



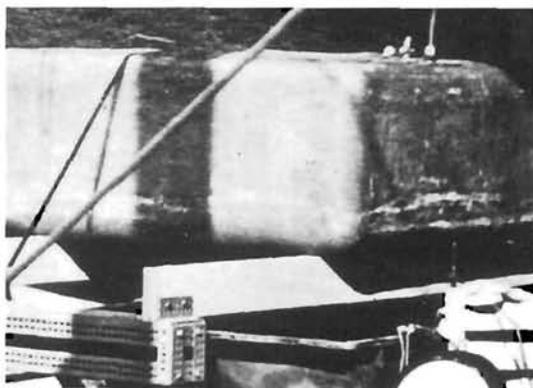


Photo 1. Réservoir de fuel, âme balsa
Balsa cored fuel tank



Photo 2. Réservoir en flammes
Fuel tank engulfed in flames.



Photo 3. Voilier après feu
Yacht after fire.



Photo 4. Ame balsa carbonisée
Charred balsa core.