

## 42

# L'UTILISATION DE SANDWICHS A MATERIAUX COMPOSITES\*.

W. REMEN<sup>1</sup>

**Résumé.-** Cet article passe en revue ce qui a été fait dans le domaine des sandwichs FRP dans l'industrie maritime ces 15 dernières années. Les avantages de la construction en sandwich FRP seront discutés par rapport aux méthodes de production passées et aux applications pour d'autres marchés. Depuis la fin des années soixante, le développement et l'utilisation de matériaux de construction légers et résistants, ainsi que des nouvelles méthodes de construction ont augmenté. L'utilisation de sandwich-plastique renforcé par fibres (FRP) a été introduite avec succès dans de nombreux domaines. Barracuda Technologies a essayé de satisfaire la demande des clients en développant des âmes en mousse nouvelles et meilleures et des adhésifs, ainsi qu'en perfectionnant les méthodes de production. Le résultat de tout ceci est Divinycell, une âme en sandwich, et Divilette, un adhésif, utilisés pour un grand nombre de domaines : aviation, chemin de fer, camions, navires, camions des mers, etc. Cet article ne décrit pas en détail l'utilisation du sandwich-FRP, mais a pour objet une vue générale de ce qui s'est passé, et de ce qui se passera dans ce domaine.

Mots clés : sandwich-FRP Divinycell, embarcations commerciales rapides, navires anti-mines.

## UTILISATION CIVILE DE SANDWICH-FRP

### INTRODUCTION

En Norvège aujourd'hui, les ingénieurs et les constructeurs de bateaux sont à la recherche de matériaux de substitution dans le but d'améliorer la construction. Ces quinze dernières années, plusieurs constructeurs de bateaux ont adopté avec succès la méthode du sandwich-FRP (plastique renforcé par fibres). Quelques uns des domaines où le sandwich-FRP Divinycell a été employé sont les ferries de passagers grande vitesse (jusqu'à 350 passagers et 54 nœuds), les bateaux de pêche, les bateaux pilotes, les embarcations de sauvetage, les ponts mobiles sur car-ferries, les hayons de proue sur car-ferries, les bateaux de plaisance, les yachts.

---

\* traduit de l'anglais

<sup>1</sup>Directeur de projet, Dicab Engineering as, PO.BOX 228, 1364 HVALSTAD, Norway

Pour évaluer aujourd'hui un nouveau bâtiment pour passagers, un propriétaire de bateau doit prendre en compte un certain nombre de considérations importantes. Le bateau doit être sûr pour les passagers et l'équipage, économique à construire et à faire fonctionner, fiable, confortable.

Il existe évidemment plusieurs façons de satisfaire à ces exigences et le matériau de construction joue un rôle important. Cet article explique de quelle façon le sandwich-FRP remplit ce rôle.

## UTILISATION ACTUELLE

Les ferries à grande vitesse de Brødrene Aa Marine à Hyen et de Ulstein Eikefjord à Eikefjord, et d'autres compagnies en Norvège sont la meilleure preuve du fonctionnement de la technique du sandwich-FRP. La plupart d'entre eux sont des transbordeurs et depuis 1986 le concept-NES (navire à effet de surface) a été essayé avec succès sur 16 bâtiments de passagers à grande vitesse (1).

La raison la plus commune pour l'utilisation de la technique de sandwich-FRP est le gain de poids pour la coque et les superstructures. Mais il existe d'autres raisons : coût, stabilité, sûreté, résistance au choc, durée de vie des bâtiments, propriétés à la fatigue, dégradation à l'eau, bruit, isolation thermique, plus grande capacité de charge, plus grand rayon opérationnel, maintenance réduite de la coque et facilité de réparation, utilisation maximale du volume intérieur et parois intérieures "propres", fini attractif.

Sur les bâtiments commerciaux à grande vitesse, la raison la plus importante pour le choix de la méthode du sandwich-FRP est le gain de poids en comparaison des autres matériaux de construction. Les armateurs auront donc un coût de fonctionnement moindre. Grâce au gain de poids, la consommation de fuel s'en trouvera réduite pour une vitesse donnée, conduisant ainsi à une économie (2).

Il est aussi possible d'atteindre des vitesses plus élevées grâce au gain de poids, mais c'est au concepteur de considérer s'il préfère un bateau à grande vitesse léger ou un accroissement de la capacité de charge.

Il faut noter que, quand on choisit la méthode sandwich pour la conception d'un bâtiment, on ne peut pas utiliser les mêmes critères de conception que pour un matériau de construction plus lourd. On doit tirer le meilleur parti des avantages et ne pas utiliser les conceptions anciennes et lourdes pour la méthode des sandwiches légers.

La technique du sandwich est également utilisée pour des bateaux où le gain de poids est moins critique, comme les bateaux de pêche, les bateaux-pilotes, etc. La raison principale ici est aussi le gain de poids.

Les bâtiments de pêche veulent aujourd'hui une vitesse opérationnelle élevée entre les différentes pêcheries, mais ont également

besoin d'une grande stabilité pendant la pêche. Ces exigences peuvent être remplies avec l'utilisation de la méthode du sandwich-FRP. Le matériau sandwich donnera une construction légère et rapide, et le réservoir ballast peut être rempli avec de l'eau de mer pendant la pêche, pour qu'ainsi le critère de stabilité soit obtenu.

Sur les bateaux-pilotes et sur les bateaux de plaisance plus petits, le poids peut également être important pour des exigences de vitesse, mais la capacité de charge peut également être la raison.

Sur les bateaux de passagers de grande taille, le gain de poids peut être obtenu en utilisant le sandwich-FRP pour les superstructures. Ceci procurera également une plus grande vitesse et un accroissement de la capacité de chargement, mais cela améliorera aussi la stabilité du bâtiment.

Le prix du matériau par lui-même est un peu plus élevé que l'acier, mais sur certains bâtiments de petite taille, le prix de la construction peut être compétitif avec celui de l'aluminium. On peut également considérer les économies à long terme :

- consommation de fuel (plus petit engin - moins de poids - moins de coût) ;
- moins de maintenance de la coque et des superstructures grâce à un matériau inerte ;
- moins de dommages à la structure en cas d'échouage.

Le concept du sandwich-FRP Divinycell a prouvé qu'il est une protection relativement bonne contre le feu (4). Si on regarde ce qu'une construction sandwich contient habituellement, il y a la résine qui brûle, le verre qui ne brûle qu'à une très haute température et l'âme qui fond doucement. Ces matériaux tous ensemble donneront un effet isolant, c'est-à-dire que la chute de température est relativement importante à travers l'épaisseur et que la chaleur ne sera pas transférée aisément (5).

Dans un bateau de passagers de grande taille, les avantages de l'utilisation du sandwich-FRP pour les superstructures ne sont pas seulement un poids plus léger, mais une stabilité qui peut être grandement améliorée. Plus les superstructures sont lourdes, plus la stabilité sera critique.

Le sandwich-FRP est un matériau qui possède une grande flottabilité. La plupart des bâtiments de cette conception flotteront même si celui-ci est complètement rempli d'eau. C'est bien sûr un gros avantage et ceci augmente la sécurité des passagers.

Le concept du sandwich-FRP Divinycell a démontré sa capacité à absorber et à résister aux impacts importants, à la fois en laboratoire et dans la pratique (6). Quand des dommages se produisent, la zone détruite est relativement limitée en comparaison avec un concept à une seule peau. De plus, la peau interne est restée sans dommages jusqu'à des charges relativement élevées, c'est-à-dire que le bateau demeure opérationnel dans une certaine mesure.

Matériau inerte, le sandwich-FRP a un gros avantage en

comparaison d'autres matériaux de construction légers compétitifs. Le temps de vie type pour un bâtiment de 30 à 40 mètres de long serait d'approximativement de 20 ans, sans réparations majeures ou maintenance. Au-delà, nous pensons que des conceptions nouvelles et plus rapides prendront la relève plutôt que de garder les vieux bateaux en usage.

## UTILISATION FUTURE

L'utilisation maritime du sandwich-FRP Divinycell sera introduite dans un futur proche dans de nombreux marchés, tels que : car ferries, superstructures sur des vaisseaux passagers de grande taille, modules plus grands pour plates-formes offshore à poids critique, structures de protection pour offshores en mer profonde

Mais le matériau de construction subira en lui-même des développements : haute résistance au feu des âmes et des peaux sandwichs, matériaux plus légers, avec les mêmes propriétés physiques.

Il y a de bonnes raisons de penser que dans la prochaine décennie, les ingénieurs et les constructeurs de bateaux voudront construire des car ferries plus grands. En utilisant le concept de navire à effet de surface, il est possible d'obtenir une plate-forme plus grande. Cette plate-forme peut être utilisée comme pont à véhicule, de sorte qu'un bâtiment de 50 mètres puisse transporter environ 50 véhicules sur un pont. Ceci veut dire qu'on peut obtenir en même temps une coque légère et une vitesse élevée.

Pour le moment, nous examinons les possibilités d'utilisation de sandwich-FRP pour des parties des superstructures à bord des grands bâtiments pour passagers et pour des paquebots. Avec la technologie actuelle, il est possible de remplacer des grandes parties des superstructures en acier avec du sandwich-FRP. Ceci permet au bâtiment d'être plus léger, plus stable et nécessite un moteur moins puissant, plus économique grâce à une moindre consommation de fuel, plus rapide.

Les conceptions offshore d'aujourd'hui permettent seulement l'utilisation de béton, d'acier et de quelques alliages d'aluminium pour de petites parties de la structure. Nous pensons que le concept du sandwich-FRP Divinycell peut être introduit comme matériau de substitution pour différents modules de la structure, tels que : chambres de stockage, quartiers d'habitation, structures de pont, isolation hivernale.

Les structures et les dispositifs de protection des installations en mer profonde sont exposés à des contraintes importantes, des charges et des déflexions en choc.

Nous voyons qu'aujourd'hui le sandwich-FRP Divinycell est utilisé pour une large gamme d'utilisation maritime, et de nouveaux marchés sont encore à venir. Au cours des années, il y a eu des projets moins couronnés de succès, mais ceci était principalement dû à des

erreurs de conception, des manques de connaissance de l'usage correct des matériaux, des critères de conception incomplets, des malentendus entre chantier naval et concepteur.

L'âme Divinycell et le mastic Divilette ont amélioré les capacités du sandwich-FRP au fil des années et nous touchons aujourd'hui une large variété de produits. Mais davantage de travail est toujours nécessaire et nous sommes confiants dans l'amélioration de nos produits.

## USAGE MILITAIRE DE SANDWICH-FRP

### USAGE ACTUEL

La marine suédoise a construit en 1974 son dragueur de mine "Viksten" selon la méthode du sandwich Divinycell. C'était le premier grand bâtiment utilisant cette technique, et depuis, ils ont construit 4 nouveaux bâtiments de la classe du "Landsort"(7).

La marine danoise a suivi avec ses dragueurs de mine quelques 10 années plus tard, et la marine australienne (1983) a aussi choisi les sandwich-FRP Divinycell pour les MCMV.

La marine norvégienne a choisi d'utiliser non seulement la méthode sandwich-FRP Divinycell, mais également le concept NES pour ses bâtiments anti-mines. Aujourd'hui, la première coque est en mer à Kvaerner Mandal A/S pour une série de 9 à 10 bateaux (8). Le sandwich-FRP a également été utilisé pour des parties flottantes et de stabilité sur des sous-marins et, dans une plus large mesure pour des capsules de sauvetage. Il y a aussi eu des bâtiments pour le transport de troupes construits pour les marines scandinaves.

Les raisons du choix de la méthode de construction sandwich ne sont pas différentes de celles de la flotte civile. Un faible poids combiné avec une résistance élevée est bien sûr important, en plus de : une bonne absorption d'énergie, une haute résistance et rigidité au cisaillement, d'importantes charges de flambage, une haute résistance aux sollicitations dynamiques et aux chocs lourds associés aux détonations des mines (8).

Les exigences concernant les chocs en mer, selon les standards de l'OTAN, semblent être les plus difficiles à satisfaire à la fois pour la conception du navire et pour le matériau de construction. De ce fait, les tests à échelle réelle sont le plus souvent utilisés, des tests de panneaux ont aussi été effectués.

Dans ces tests, le matériau sandwich-FRP Divinycell s'est avéré une bonne solution, pas seulement parce que ce matériau est capable d'absorber une grande quantité d'énergie de déformation avec un comportement élastique, mais aussi parce que l'âme de Divinycell donne une grande rigidité à la construction de sorte que moins de raidisseurs transverses et longitudinaux sont nécessaires.

Les marines suédoise et danoise ont utilisé le concept de la

monocoque avec succès, tandis que les australiens ont choisi une conception de catamaran. Le nouveau concept-NES soulève le bâtiment au-dessus de la mer, de sorte qu'il y a une plus petite surface mouillée, qui rend possible la réduction de charge de choc associée aux détonations de mines, a été choisi par la marine norvégienne. Tous ces bateaux ont des âmes en Divinycell comme composant structural principal. Le concept MCMV de la marine norvégienne indique qu'un équipement pour amortisseur de choc plus léger peut être utilisé pour différentes parties du bâtiment. Par exemple amortisseur de choc moins cher pour les moteurs principal et auxiliaire. Les amortisseurs de choc sont non nécessaires comparé à d'autres MCMV (8).

Ceci, l'un après l'autre, donne un bateau moins cher comparé à d'autres concepts de bâtiments .

## DOMAINES FUTURS

Jusqu'à ce jour, la méthode de sandwich-FRP n'a été utilisé que sur de petits navires mais, dans le futur, le matériau peut être introduit dans une variété de bateaux plus grands comme des frégates, des destroyers, etc. Cependant, nous voyons de gros avantages à utiliser ce matériau pour des bateaux plus petits et pour les superstructures des bateaux plus grands.

La marine norvégienne étudie en ce moment la possibilité de construire une nouvelle génération de bateaux-torpilleurs en sandwich-FRP. Quelques uns des avantages de cette construction sont : un bâtiment plus léger, une plus grande vitesse opérationnelle (plus de 50 nœuds), une plus grande portée, un moindre coût de fonctionnement.

On ne peut pas ignorer ces avantages, même si le coût initial de la conception peut, pour quelques bâtiments, être quelque peu plus élevé que pour un navire à coque d'acier ou d'aluminium. Puisque le coût de fonctionnement sera bien plus bas pour un bâtiment en sandwich-FRP, les différences avec le coût initial seront rattrapées à long terme. Ceci est bien sûr dû aux économies de fuel, mais aussi au moindre coût de maintenance de la coque et des superstructures (corrosion et peinture).

Moins de navires sont nécessaires à cause de la vitesse plus élevée de sorte que les navires peuvent couvrir de plus grandes zones.

Jusqu'à maintenant, les plus grands bateaux construits utilisant la technique de sandwich-FRP sont des 55 mètres. Mais dans le futur, nous verrons de plus grands navires de guerre construits selon cette méthode, non seulement pour les superstructures, mais aussi pour les coques. Des bateaux de plus de 100 mètres pourraient être possibles et nous n'avons aucune indication technique qui démontre le contraire.

Dans les dix prochaines années, on verra une plus large utilisation du sandwich-FRP Divinycell, comme matériau de coque pour de plus grands navires de guerre ou pour les superstructures.

1. Brødrene Aa & Ulstein Eikefjord A/S, Norway, Reference list.
2. U. KRISTIANSEN, 1989, Conference on sandwich constructions, Experience of FRP-sandwich in Norwegian shipbuilding, The Royal Institute of Technology, Sweden.
3. BÅTSERVICEVERFT A/S, How to choose a concept for high speed marine craft, Norway.
4. THE NORVEGIAN FIRE RESEARCH LABORATORY,
 

DNV	T. n° 250000.30/88.006
Dicab	T. n° 250000.20/88.483
Dicab	T. n° 250000.20/88.105
Dicab	T. n° 250000.30/87.067
5. DET NORSKE VERITAS, S.E. JACOBSEN, Fire safety, Principles and priorities in future rules and regulations, Fast 91, Trondheim, Norway.
6. DET NORSKE VERITAS, Impact testing of typical high speed light craft hull panels, Ref n° 85-0153.
7. J. SJØGREN, K.A. OLSON and others, 1984, Mine warfare vessel and system symposium, Swedish development of MCMV-hull design and production, London.
8. MARITIME DEFENSE, March 1984, A new concept for MCMVs from Kværner Båtservice AS.
9. M. ZVANIC, The development of GRP sandwich in mine countermeasure vessel construction, Barracuda Technologies Inc.

EVALUATION OF MATERIALS FOR A HIGH-SPEED CRAFT:

Parametre	Weight factor	Steel		Aluminum		FRP/single		FRP/sandwich	
		points	score	points	score	points	score	points	score
Weight	2 x 6	1	12	5	60	3	36	6	72
Cost	3	6	18	5	15	3	9	5	15
Production QA/QC	3	5	15	4	12	4	12	4	12
Fire resistance	4	3	12	2	8	3	12	4	16
Impact resistance	2	6	12	4	8	4	8	5	10
Ice perform	2	6	12	4	8	4	8	4	8
Fatigue properties	3	4	12	4	12	6	18	6	18
Water degradation	3	6	18	5	15	6	18	6	18
Noise	3	2	6	2	6	4	12	5	15
Thermal insulation	3	1	3	1	3	4	12	6	18
Damage detection	3	6	18	6	18	4	12	3	9
Maintenance & repair	4	6	24	5	20	4	16	4	16
<b>Total score</b>			<b>162</b>		<b>185</b>		<b>173</b>		<b>227</b>

Weight factor : 6 = important  
 : 1 = negligible  
 Points : 6 = best  
 : 1 = worst  
 : 0 = unacceptable  
 Score : Weight factor x points

Tableau 1. Evaluation de matériaux  
 Table 1. Evaluation of materials

Vessel Name	Builder	MCMVs constructed in GRP sandwich				Yr
		Displacement (Standard)	Length FT	Speed Knots		
<b>Sweden:</b>						
Västern	Karlströmsvarvet	120 tons	78.7	11		74
Landsort	Karlströmsvarvet	270 tons	155.8	15		84
Arholma	"	"	"	"		86
Koster	"	"	"	"		86
Kullen	"	"	"	"		87
Vinga	"	"	"	"		92*
Van	"	"	"	"		91*
Ulvon	"	"	"	"		91*
Smryge	"	140 tons	89.7	40+		91*
<b>AUSTRALIA:</b>						
Rushcutter	Carrington Slipways	170 tons	101.7	10		86
Shoalwater	"	"	"	"		87
<b>DENMARK:</b>						
Flyvelisten	Danyard A/S, Aalborg	300 tons	177.2	30		89
Hajan	"	"	"	"		90
Havkatten	"	"	"	"		90
Luxen	"	"	"	"		91
Makrelen	"	"	"	"		91*
Steren	"	"	"	"		92*
Sværdlisten	"	"	"	"		92*
Gjentan	"	"	"	"		93*
Gribben	"	"	"	"		93*
Lommen	"	"	"	"		94*
Raunen	"	"	"	"		94*
Skuden	"	"	"	"		95*
Vibben	"	"	"	"		95*
<b>Norway:</b>						
Olispy	Kvaerner Båtservice	367 tons	181.4			92*
Kaimry	"	"	"	"		94*
Masley	"	"	"	"		94*
Hinnøy	"	"	"	"		95*
Alta	Kvaerner Båtservice	330 tons	181.4			93*
Otta	"	"	"	"		94*
Reums	"	"	"	"		95*
Oskla	"	"	"	"		95*
Glomma	"	"	"	"		96*
<b>Far East:</b>						
Unnamed	SSE/Kockums AC					94*
Unnamed	"					94*
Unnamed	"					95*
Unnamed	"					95*

Tableau 2. Navires anti-mines en composite sandwich Divinycell  
 Table 1. Mine countermeasure vessels in Divinycell FRP sandwich.



Photo 1. NRD transbordeur. Brødrene Aa Marine AS, vitesse 54 nœuds.  
*SES Passenger vessel from Brødrene Marine AS, speed 54 knots.*



Photo 2. La nouvelle conception de navire anti-mines de Kvaerner Mandal.  
*The new MCMV concept from Kvaerner Mandal AS.*