هشتمین همایش صنایع دریایی
۹ لغایت ۱۱ آبانماه ۱۳۸۵
استان بوشهر

پلی استر های تقویت شده بعنوان یک ماده سازه ای درساخت شناور

سعید جامعی ، حسن آبین

دانشگاه خلیج فارس بوشهر - دانشکده مهندسی

Email: JameiSa@pgu.ac.ir

چکیده

در این مطالعه فایبرگلاس بعنوان یک ماده سازه ای که می توان درجهت ساخت شناور بکار گرفت، بحث شده است. خصوصیات فیزیکی فایبرگلاس از قبیل دانسیته ، مقاومت کششی ، مقاومت دربرابر حرارت و درصد نفوذ پذیری آب در آن مورد ارزیابی قرار گرفته است. انواع سازه ها ازقبیل ساندویچی و کامپوزیت شرح داده شده است. طراحی و ساخت گوشه ها و زوایا درسازه های فایبرگلاس مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین یکی از مسائلی که مورد توجه سازندگان شناور می باشد، هزینه مواد اولیه برای ساخت یک شناور می باشد، که در این مطالعه به آن پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: فایبرگلاس(GRP) - سازه ساندویچی – کامپوزیت – رزین پلی استر

۱- مقدمه

صنعت دریایی یک بازار جهانی است که تولیدات آن دارای تفاوت هایی ازقبیل نوآوری درطراحی ، جذابیت تولید و اجراء برتر جهت رقابتی شدن می باشند. فایبرگلاس از جمله مواد سازه ای است که

دست طراح را درطراحی و اجراء ، درصنایع دریایی باز میگذارد. بعنوان مثال درقایقهای مسابقه ای قابلیت توزیع وزن در سازه قایق کاملا در اختیار طراح میباشد. این امر باعث می شود که مرکز ثقل قایق زیر خط آبخور قرار گرفته و قایق بتواند در سرعتهای بالا گردش کند بدون آنکه نیروی گریز ازمرکز باعث واژگونی آن گردد.

موادی که اغلب فایبرگلاس نامیده می شوند درحقیقت (پلاستیکهای تقویت شده با الیاف شیشه) و یا (پلی استر های تقویت شده) هستند که به اختصار RP ، FRP یا GRP می نامند. GRP ماده ای سازه ای سبک ، با دوام و از همه مهمتر چقرمه ای است که می توان توسط کلیه روشها آنرا ساخت. اساساً هیچگونه محدودیتی از نظر اندازه ، نوع ، شکل ، ضخامت محصول وجود نداشته و محصول نهایی بصورت شفاف ، مات و یا رنگی قابل تولید است. درمیان مواد سازه ای ، فایبرگلاس حالت منحصر بفردی را دارا است، زیرا که خود سازنده عملا این ماده سازه ای را درکارگاه خود می سازد و درکیفیت آن بسیار تاثیر گذار است.

رزین بخش اصلی فایبرگلاس است که معمولا از جنس رزین پلی استر میباشد. این رزین به شکل مایع ویسکوز است ، اگر خوب عمل آوری شود به ماده ای سخت تغییرحالت می دهد، چنین رزین های پلی استر را می توان با الیاف شیشه تقویت کرد تا سازه ازجنس فایبرگلاس ایجاد گردد، درست شبیه به تقویت بتون با میلگردهای فولادی شده اند.

۲- مفاهیم عمومی

قبل از پرداختن به بحث GRP بعنوان یک مادۀ مهندسی، ابتدا بهتر است که مشخصات اصلی رزین پلی‌استر تقویت نشده و قالب‌گیری شده Crystic 196LV را با الیاف شیشه نوع E مقایسه کنیم. (جدول ۱).

جدول ۱: مقایسه خواص رزین پلی استر تقویت نشده وفایبرگلاس

		Polyster		Glass fibre
Specific gravity			1.28	2.55
Tensile strength	Mpa	70		3500
Tensile modulus	Gpa			76
Thermal expansion coefficient	10-0/0C	100		5
Elongation at break	%	3		3

جدول ۲ : مقایسه خواص حرارتی

	Thermal conducivity W/mK	Thermal expansion coefficient $10-{}^{o}/{}^{o}C$	Maximum working temperature ^{o}C
Random GRP	0.2	30	175*
Unidirectional GRP	0.3	10^{+}	250*
Mild Steel	50	12	400
Light Alloy	200	23	200

فولاد و آلیاژهای سبک بدین خاطر انتخاب شده‌اند که بطور گسترده‌ای در ساخت بدنه شناورها، کابین کامیونها، بدنه اتوبوسها و اتومبیلها و صنایع راه‌آهن مصرف می‌شوند. فولاد ضدزنگ نیز در جدول(۲) گنجانده شده است. زیرا برای ساخت مخازن و لوله‌های مورد استفاده در کارخانجات شیمیایی فراوان استفاده می‌شود. در تمامی این کاربردها از GRP هم بطور گسترده‌ای استفاده می‌شود. باید توجه داشت که دو اختلاف عمده میان GRP و فلزات در مدول و چگالی آنهاست. از نقطه‌نظر طراحی مهندسی بارزترین مشخصه GRP پایین بودن صلبیت آن است. اختلاف عمده دیگر GRP با فلزات قابلیت چکش‌خواری ضعیف آن است.

تغییر طول در نقطه شکست برای GRP ۱ تا۲ درصد است درحالیکه برای فولاد حدود ۴۰ درصد می‌باشد. از طرف دیگر تغییر شکل سازه‌های GRP متشکل از الیاف شیشه ای تک جهت بافته "Unidirectional" تقریباً بصورت پلاستیک تا نقطهٔ شکست بوده درحالیکه حد الاستیکی برای فولاد

حدود ۰/۲ درصد است. رفتار یک لایه GRP دربرابر خستگی Fatigue در شکل (۱)آمده است. از این جهت لایه‌های GRP بطور مناسبی با اکثر فلزات برابری می‌کنند. معهذا بسته به نوع کاربرد لازم است ضریب ایمنی طراحی را حدود ۶ درنظر گرفت.

هنگام ایجاد تنش در اثر اعمال یک بار پیوسته ممکن است GRP دچار خزش Creep شود. از شکل (۲) می‌توان نتیجه گرفت که از این حیث لایه‌های ساخت شده از الیاف شیشه سوزنی نسبت به لایه‌های ساخته شده از الیاف شیشه بافته شده در ردهٔ پایین‌تری قرار می‌گیرند.

GRP خواص عایقکاری و الکتریکی خوبی دارا است. از طرف دیگر بواسطه نزدیک بودن ضریب انبساط حرارتی GRP و فولاد می‌توان مثلاً مخازن فولادی را بدون ایجاد مشکل با GRP روکش کرد. بعلاوه مقاومت شیمیایی و مقاومت دربرابر شرایط جوی GRP نسبت به اکثر فلزات عالیتر است.

۳- صلبیت (Stiffness)

نسبت مقاومت کششی به وزن GRP بسیار زیاد است، اما از طرف دیگر صلبیت آن کم است. بنابراین بجای افزایش مقاومت کششی،بهتر است صلبیت لایه GRP افزایش داده شود. طرق مختلفی برای انجام این امر وجود دارد که آسانترین روش همانا افزایش ضخامت لایه قالبگیری شده است. مدول یک لایه معمولی از الیاف سوزنی با استفاده از رزین Crystic 189LV یا Crystic 196 حدود ۷ گیگا پاسکال (Gpa) است، اما مدول فولاد ساختمانی حدود ۲۰۰ گیگا پاسکال است. بدلیل آنکه مدول یک سطح مقطع مربع مستطیل شکل با جذر سوم ضخامت آن افزایش می یابد، برای افزایش صلبیت، ضخامت یک لایه ساخته شده از الیاف سوزنی را میتوان در فاکتور۳ ضرب کرده و افزایش داد. اگر ضخامت لایه کمی بیشتر از ۳ برابر شود میزان صلبیت آن به میزان صلبیت فولاد خواهد رسید. اما انجام این کار بخاطر وزن بیشتر مواد مصرف شده، هزینه‌ها را افزایش می‌دهد. اگرچه وزن سازه بیشتر شده اما هنوز هم از فولاد کمتر است. بنابراین ارائه این راه‌حل در قدم اول ممکن است یکی از دلایل اصلی برای چشم‌پوشی از انتخاب GRP برای کاربرد موردنظر باشد. اما درعمل با استفاده از یک یا ترکیبی از روشهای زیر، صلبیت لایه GRP را افزایش می‌دهند.

۱- تغییر دادن موضعی ضخامت : افزایش تدریجی ضخامت لایه به سمت لبه‌های کار یا ساخت فلنج در امتداد لبه‌های یک صفحه به مقدار زیادی صلبیت لایه را افزایش می‌دهد. ضخیم کردن لایه هم به توسط افزایش تعداد لایه‌ها و هم با بکار بردن رزین اضافی امکان‌پذیر است.

۲- استفاده از انحنای ترکیبی در طراحی و یا خطوط راه‌راه و چین‌دار در صفحات نسبتاً سخت. غالباً اجرای این روش بهترین راه‌حل است. خطوط راه‌راه نباید نمای بدی داشته باشند. از این خطوط بعنوان بخشی از شکل دادن به کار مورد قالبگیری باید استفاده کرد. البته این روش در پرسکاری فلزات به دلایل مشابه بسیار متداول است.

۳- استفاده از تسمه‌های تقویت کننده در پشت لایه.

۴- استفاده از سازه‌های ساندویچی

روش توضیح داده شده در بند ۲ بالا را می‌توان با ساخت ورقهای خمیده بنحو استادانه‌تری و بررسی سازه‌هایی که شکل هندسی آن‌ها اجازه دهد بکار بست. برای ساخت سازه‌های بسیار بزرگ این روش اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. با طراحی مناسب یک مجموعه از ورقهای خمیده، می‌توان سازه‌های بسیار صلب را از ورقهای بسیار نازک ساخت. تنها مسئله موجود مقاومت کم صفحات در مقابل سوراخ شدن است. اما می‌توان ضخامت صفحات را تا حد بیشتر از مقدار لازم برای صلبیت افزایش داده و کمبود فوق را جبران نمود.

همچنین با بزرگتر شدن اندازهٔ سازه باید ضخامت ورقها را نیز افزایش داد. بدین روش مقاومت در برابر نفوذ و سوراخ شدن در صفحات بهبود یافته و جاذبهٔ کلی این نوع طراحی برای سازه‌های بزرگ بسیار مطلوب واقع خواهد شد.

۴ - سازه‌های ساندویچی

چون صلبیت تابعی از ضخامت است می‌توان دو لایه نازک GRP را از طرفین برروی یک مغزی با چگالی کم چسبانده و یک لایه ساندویچی با وزن کم، اما با صلبیت قابل ملاحظه‌ای تولید کرد. جنس ماده مغزی سبک و معمولاً از چوب بالسا، فومهای پلاستیکی نرم یا سفت یا شبکه لانه زنبوری از کاغذ،

الیاف شیشه یا فلزات سبک است. اما حتماً می‌بایست دو لایه خارجی GRP بطور محکمی به ماده مغزی چسبیده و رزین لایه GRP به شکل اصلی ماده مغزی آسیبی وارد نیاورد. بدلیل آنکه برخی فومهای پلاستیکی نظیر فوم پلی‌استایرن توسط استایرن موجود در رزین پلی‌استر آسیب می‌بینند، لازم است که سطح اینگونه فومها قبل از عملیات لایه‌گذاری بنحوی پوشیده و محافظت گردد. برای این منظور استفاده از امولسیون پلی‌وینیل‌استات "Polyvinyl acetate" حاوی ذرات جامد نسبتاً زیاد یا رنگهای اپوکسی پیشنهاد می‌گردند. استفاده از یک لایه از الیاف شل بافته شده یا یک پارچه نخی نازک در ایجاد یک قشر محافظت کننده از فوم و همچنین کمک به چسبندگی بهتر مثمر ثمر خواهد بود. فومهایی که تنها به مقدار جزئی توسط استایرن آسیب می‌بینند را می‌توان با یک رزین پلی‌استر که سریعاً خود را بگیرد (ترجیحاً رزین تیکسوتروپیک) پوشاند بنحوی که رزین فرصت نداشته باشد جذب فوم گردد.

درمکانیزم سازه های ساندویچی فایبرگلاس از تئوری تیر استفاده می شود. بطورکلی تنش نهایی درتست خمش ، از تنش کششی سطح پایین ، تنش فشاری سطح بالا وتنش برشی سازه نتیجه گیری میشود. استحکام درپانل به مود شکست وابسته می باشد. برای شکست، ۷ مود وجود دارد که عبارتند از تنش تسلیم رویه ، چروک خوردن رویه (فشرده شدن)، تنش برشی هسته ، تنش تسلیم کششی هسته، تنش تسلیم فشاری هسته ، دندانه گذاری هسته یا عدم قید بین رویه و هسته. با استفاده از تئوری تیر می توان معادلاتی برای پیش بینی بارهای شکست در هرمود پانل ساندویچی محاسبه نمود. وزن پانل های ساندویچی را میتوان براساس ابعاد و دانسیته دراین معادلات جای داد. حداقل وزن طراحی درپانل ساندویچی بدین صورت می باشد که پوسته و هسته در بارگذاری یکسان تخریب شوند. Gibson برای پانل ساندویچی FRP , یک طراحی بهینه برای ماکزیمم استحکام و مینیمم وزن محاسبه نموده است . دراین طرح نسبت وزن پوسته به وزن هسته ، یک به چهار می باشد.

۵ - فومهای پلی‌یورتان (Polyurethane foam)

فومهای پلی‌یورتان پرمصرفت‌ترین فومها هستند که به صورت ساختارهای سخت و نرم تهیه می‌شوند. چگالی آنها از ۱۴5 تا ۶۴۰ کیلوگرم در مترمکعب متغیر است. این فومها به صورت ورقه‌های با ضخامت

مختلف و مکعب شکل و از قبل قالبگیری شده در دسترس هستند و می‌توان آنها را در محل کار به کمک پیستوله مخصوص تزریق کرد. این فومها به کمک لوازم تزریق و پاشش به هر سطحی می‌چسبند. برای چسباندن ورقه یا بلوک‌های فوم پلی یورتان به لایه‌های GRP، استفاده از چسبهایی با پایه اپوکسی توصیه می‌گردد.

در سازه ساندویچی، پوسته GRP در برابر تنشهای خمشی و خیز مقاومت کرده و عنصر مغزی تنشهای برشی و خیز را تحمل می‌کند. ضمن آنکه مقاومت در برابر بارهای ضربه‌ای داشته و از کمانش "Buckling" پوسته‌های GRP تحت بارهای فشاری ممانعت بعمل می‌آورد. جدول (۳) صلبیت نسبی لایه‌های ساندویچی تحت بارهای خمشی را نشان می‌دهد. چنانکه ملاحظه می‌شود صلبیت یک لایه GRP به ضخامت ۲۵ میلیمتر با صلبیت یک لایه ساندویچی به ضخامت ۴۴ میلیمتر شامل ۲ لایه GRP هر یک به ضخامت ۱/۵ میلیمتر و یک لایه مغزی به ضخامت ۳۲ میلیمتر شامل ۲ لایه GRP هر یک به ضخامت ۳ میلیمتر، تقریباً برابر است.

جدول ۳ : صلبیت نسبی لایه های ساندویچی تحت بارهای خمشی

Total thickness (mm)	Single GRP skin	o GRP skins each mm thick with centre core	1.5	Two GRP skins each 3 mm thick with centre core
1.5	0.018			
3	0.2	0.2		
6	1.6	1.3		1.6
10	5.3	3.7		5
13	12.5	7.3		10
19	42	18		29
25	100	34		58
32	195	52		94
38	337	77		143
44	536	104		197
50	800	145		266

۶- الیاف تقویت کننده

انواع متعددی از الیاف شیشه تقویت‌کننده وجود دارد که هر یک از آنها خواص ویژه خود را داراست. نخ‌های تابیده پیوسته "Roving" ارزانترین شکل الیاف شیشه بوده و در روش پاشش رزین و الیاف و روش رشته پیچی "Filament Winding" مصرف می‌شوند. الیاف سوزنی برای روش لایه‌گذاری دستی معمولترین نوع تقویت‌کننده بشمار می‌روند. اما از پارچه‌های بافته شده از الیاف شیشه، هرچند که گرانتر هستند، بطور منفرد و یا در ترکیب با الیاف سوزنی استفاده می‌گردد. چسبندگی میان لایه‌های ساخته شده از الیاف حصیری بخوبی لایه‌های سوزنی نیست و بدین سبب این‌گونه الیاف به تنهایی مصرف می‌شوند.

الیاف حصیری "Woven Roving" یا به اختصار "WR" مقاومت کششی بسیار بالاتری نسبت به الیاف سوزنی "MAT" دارند، اما برعکس مقاومت فشاری آنها کمتر است. اگر ترکیبی از الیاف حصیری و سوزنی مورد استفاده قرار گیرد، باید ترتیب قرارگیری الیاف در لایه GRP به‌گونه‌ای باشد که کار قالب‌گیری شده دچار پیچیدگی و اعوجاج نشود. در بسیاری از قالب‌گیریهای عالی شامل برخی از انواع بدنه شناورهای بزرگ، تنها از الیاف سوزنی و رزین استفاده شده است. لذا اگر تردیدی وجود دارد تنها استفاده از الیاف سوزنی توصیه می‌گردد.

از کولار "Kevlar" و الیاف کربن نیز می‌توان به همراه الیاف شیشه استفاده کرد تا صلبیت و خواص مکانیکی لایه سازه‌ای باز هم افزایش یابند.

۷- سازه‌های کامپوزیت (Composite Construction)

رزین پلی‌استر کاملاً پخت یافته مقاومت شیمیایی خوبی دارد. اما چندین نوع ماده پلاستیکی دیگری وجود دارند که از این لحاظ عملکرد بهتری داشته و آنها را در سازه‌های کامپوزیت می‌توان استفاده کرد. در این سازه‌ها مقاومت مکانیکی توسط لایه GRP و مقاومت شیمیایی توسط رزین یا پلاستیک دیگری تأمین می‌شود. رزینهای اپوکسی ، رزینهای "Furane" و PVC و دیگر ترموپلاستیک‌ها را برای پوشش

لایه‌های GRP می‌توان بکار برد. سطح پشت لایه ها به روشهای مکانیکی خراش داده می شوند تا اتصال مؤثری میان لایه GRP و PVC فراهم گردد.

مخازن و لوله‌های شیمیایی را غالباً به این روش می‌سازند. یک مثال مهم از سازه‌های کامپوزیت روش رشته پیچی "Filament Winding" یا پوشش دادن لوله‌های PVC با الیاف شیشه و رزین است. جهت این کاربرد رزینهای "Crystic 392" و "Crystic 397 PA" توسعه داده شده‌اند که چسبندگی خوبی با انواعی از PVC ایجاد کرده و مقاومت برشی حدود ۱۵ مگا پاسکال دارا می باشند.

۸- طراحی گوشه‌ها و زوایا

از ایجاد زوایای تیز در خم‌ها با شعاعهای زیر ۶ میلیمتر باید اجتناب کرد؛ زیرا ممکن است مقدار الیاف در گوشه‌ها رو به کاهش گذارده و حبابهای هوا در این گوشه‌ها تجمع یابند.

در بسیاری از کاربردها لازم است به کار قالب‌گیری شده GRP و فلزِکار گذاشته در آن نیرویی اعمال کنیم. طبیعتاً عرض قطعه فلزی کار گذاشته شده در لایه‌گذاری مهمتر از عمق کارگذاری آن است. بعبارت دیگر هر اندازه عرض قطعه فلزی بیشتر باشد میزان تنش در نقطه اثر نیرو کمتر خواهد بود. اگر ضخامت لایه در جایی که قطعه فلزی قرار دارد رفته‌رفته افزایش یابد، می‌توان نیرو را تا حدی که تغییر طول هر دو ماده یکی شود ادامه داده و این نیرو را در ناحیه وسیعی پخش کرد. انتقال نیرو از طریق چسبندگی بسیار بهتر از روشهای اتصال مکانیکی صورت می‌گیرد. با این وجود برای نیروهای کم می‌توان از روشهای اتصال مکانیکی بهره جست.

قبل از آنکه یک قطعه فلزی در لایه GRP قرار گیرد باید ابتدا آنرا چربزدایی و با روشهای مکانیکی نظیر سمباده یا شاتبلاست سطح کار را تمیز و خش انداخت. انجام این کار به چسبیدن سطوح کمک قابل توجهی می‌کند. همچنین می توان روی قطعه فلزی سوراخهایی ایجاد کرد تا اتصال آن با لایه مؤثرتر انجام گیرد.

اگر در نظر است که یک قطعه فلزی را به یک لایه GRP کاملاً پخته نصب گردد، استفاده از چسبهای اپوکسی پیشنهاد می‌گردند. این کاررا می توان با اتصالات مکانیکی نظیر پیچ و مهره یا پرچ توأم کرد،

بشرطی که محل سوراخها خیلی نزدیک به لبه لایه نباشند. همچنین می توان از واشر یا صفحاتی برای توزیع نیرو برروی یک سطح گسترده‌تر استفاده کرد. قطعات قالب‌گیری شده از GRP را می‌توان توسط چسبها، روش‌های مکانیکی و یا ترکیبی از هر دو به طریقه مؤثری به همدیگر متصل نمود. در طراحی اتصالات همواره باید سعی نمود که نواحی مورد اتصال تا حد ممکن بزرگ باشند.

اجرای اتصالات لب به لب نیز امکان‌پذیر است، اما این نوع اتصالات باید با زدن لایه‌های اضافی درهر دو طرف تحکیم یابد. عموماً استفاده از اتصالات اورلپ ارجح‌تر است. هر روشی که انتخاب می‌گردد ابتدا باید سطح مورد نظر بقدری خشن کاری گرددکه الیاف از سطح کار بیرون بزنند تا از نظر چسبندگی اطمینان حاصل شود. برای اتصال لایه‌های پخته استفاده از چسبهای اپوکسی معمول‌تر از چسبهای پلی‌استرها است. به هنگام استفاده از رزین پلی‌استر ضخامت قشر رزین باید به قدر کافی باشد تا پخت ناقص روی ندهد. استفاده از یک ورق نازک از الیاف شیشه یا الیاف سوزنی در محل اتصال برای فایق آمدن براین مشکل کمک خواهد کرد. در مواردیکه به اتصالات مکانیکی نیاز باشد از پیچ و مهره‌ها، پرچها و پیچهای خودکار براحتی می‌توان استفاده کرد. اما در این گونه اتصالات باید نیرو از طریق استفاده از واشرهای بزرگ و یا گل‌پیچهای بزرگ پخش گردد. استفاده از بوشهای فاصله‌گذار برای اتصالات پیچ‌مهره‌ای مناسب است زیرا بدینوسیله لایه دچار لهیدگی نمی‌شود.

صفحات فلزی سوراخکاری و قلاویزکاری شده یا مهره‌های مخصوص را می‌توان درون قطعه قالبگیری شده کار گذاشت بشرطی که کلیه تمهیدات ذکر شده را در مورد آنها بکار بندیم.

به عنوان مهمترین نکته در طراحی سازه GRP همواره به یک سازه یکپارچه بیاندیشیم و سعی کنیم بجای قالبگیری قطعات مختلف جدا از هم و اتصال آنها به یکدیگر، آنها را بصورت یک سازه واحد قالب‌گیری کنیم. دراین‌صورت نه تنها تمرکز تنش در برخی نواحی حذف کرده‌ایم بلکه قیمت تمام شده و نهایی محصول هم بطور آشکاری پایین خواهد آمد.

۹- هزینه

هزینه تمام شده یک لایه GRP تکمیل شده نه تنها به قیمت مواد مصرفی بلکه به روش ساخت آن هم بستگی دارد. باید مجموعه فاکتورهای سرعت در تولید، مقدار سرمایه‌گذاری در وسایل کار، میزان ضایعات و هزینه‌های کارگری تواماً درنظر گرفته شوند. مقادیر آنها درهر روش ساخت با یکدیگر اختلاف خواهد داشت. جدول (۴) اطلاعاتی در مورد مواد مورد نیاز و هزینه آنها برای ساخت یک متر مربع لایه‌ای به ضخامت ۳ میلیمتر با روشهای مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۴ : هزینه های ساخت یک متر مربع به ضخامت 3 mm با روشهای مختلف

Reinforcement	No.of layers	Weight glass Kg/m2	Glass Content %weight	Weight of Laminate Kg/m2	Cost per M2 £
Spray moulding: 60-end roving	–	۱،۳	30	۴،۳	۵،۲۵
Hand lay-up: 450g/m2chopped Strand mat Woven roving	۳ ۳	۱،۳۵ ۲،۴۹	۳۱ ۵۰	۴،۳۵ ۵،۰	۵،۶۶ ۸،۸۹
Filament winding: 60-end roving	–	۴،۲	۷۰	۶،۰	۸،۲۸

Based on the following bulk prices :	£
Resin mixture	1.10 per kg
60-end glass roving	1.50 per kg
chopped strand glass mat (450 g/m^2)	1.75 per kg
Woven glass roving (780 g.m^2)	2.50 per kg

۱۰- عملکرد (Performance)

مهمترین ملاحظات در طراحی این است که عملکرد GRP در محیطی که در آن قرار خواهد گرفت چگونه است. به چه کیفیتی GRP در برابر فرآیندهای آب و هوای معمولی مقاومت می‌کند. اثر مواد شیمیایی متفاوت در درجه حرارتهای مختلف برروی لایه GRP چه خواهد بود. میزان افت استحکام لایه GRP بعد از یک زمان غوطه‌وری در آب چه اندازه است.

بنابراین عملکرد لایه GRP به ترکیب واقعی لایه، نوع رزین پلی‌استر مصرفی، پرداخت سطح و بیش از همه درجه پخت وابسته است. چندین نوع آزمایش در این زمنیه وجود دارند که طراح یا سازنده را قادر می‌نماید تا عملکرد لایه GRP را در اکثر کاربردها پیش بینی نماید. استاندارد مشخصات رزین پلی‌استر (B.S.3532 : 1962) حداقل استحکام را مشخص ساخته و هر رزین تایید شده‌ای بایستی شرایط آن را داشته باشد.

مقاومت لایه‌های GRP در برابر شرایطی جوی عمدتاً برعهده لایه ژلکوت است؛ زیرا در اکثر کاربردها سطح ژلکوت در معرض آسیب‌پذیری است. ضخامت ژلکوت نباید بیش از نیم میلیمترباشد چونکه ضخامت زیاد درمواقع ضربه سبب بروز ترکهای ستاره ای (Star Craking) درآن می شود. درصورت نیاز به مقاومت در برابر آب و مواد شیمیایی با اثر ملایم، استفاده از ژلکوت Crystal Gelcoat 69PA توصیه می‌گردد. برای مقاومت شیمیایی بهینه توام با عملکرد سازه‌ای فوق‌العاده ایجاد یک سطح غنی از رزین برروی سطح لایه‌ایکه در معرض محیط خورنده قرار گرفته است، ضروری است. شرکت SCOTT-Bader استفاده از رزین Crystic 600PA را جهت لایه‌های مقاوم به مواد شیمیایی توصیه می‌کند. این رزین مقاوم مکانیکی بالایی داشته و در بسیاری از محیطهای شیمیایی در درجه حرارتهای تا ۹۵ درجه سانتیگراد، مقاومت مکانیکی خود را به نحو شایسته‌ای حفظ می‌کند. جدول (۵) افت مقاومت خمشی یک لایه متشکل از رزین Crystic 196 و الیاف سوزنی بعد از غوطه‌وری در آب مقطر در درجه حرارت ۲۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد (این لایه میان دو ورقه سلوفان ساخته شد بنابراین دارای دو سطح صاف بود و هیچ ژلکوتی نداشت. برای لایه بمدت ۳ ساعت در ۸۰ درجه سانتیگراد عملیات حرارتی Post-Curing اجرا شد).

جدول ۵ : افت مقاومت خمشی یک لایه متشکل از رزین Crystic 196 و الیاف حصیری بعد از غوطه وری در آب مقطر در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد

Unsealed edges			Sealed edges	
Day Immersion	Bend strength Mpa	Retention %	Bend strength Mpa	Retention %
۰	۲۰۴	-	۲۰۴	-
۷	۱۹۲	۹۴	۱۹۹	۹۸
۲۸	۱۸۶	۹۱	۱۹۳	۹۵
۶۳	۱۸۲	۸۹	۱۹۰	۹۳
۱۱۲	۱۸۱	۸۹	۱۹۰	۹۳
۳۰۰	۱۸۱	۸۹	۱۹۰	۹۳

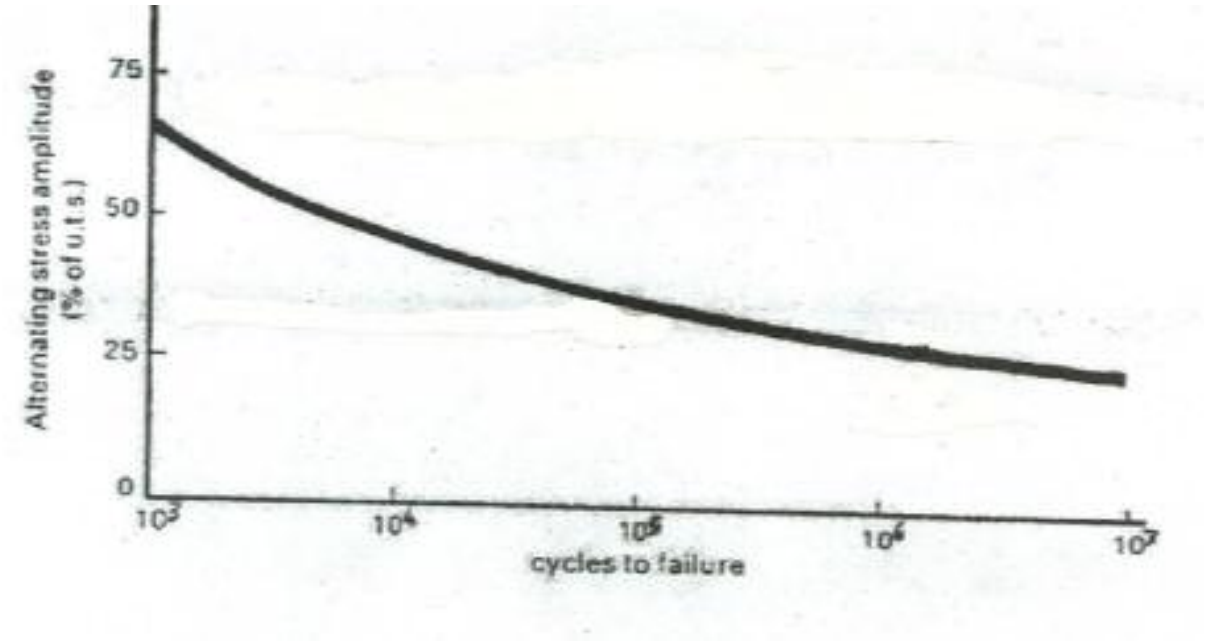
آزمایشات استحکام در زمانهای یکسانی برای لایه‌هایی با لبه‌های محافظت شده و لایه‌هایی با لبه‌های محافظت نشده انجام یافت. شرایط سختی در این آزمایش اعمال شده است،لایه ای که توسط ژلکوت محافظت می گردید در معرض آب قرار داشته است. مضاف بر این که اثر آب مقطر برروی GRP بسیار زیانبارتر از آب‌شور دریا و یا آب شیرین است. ارقام مربوط به حفظ مدول خمشی (صلبیت) برای لایه‌های GRP محافظت نشده و محافظت شده پس از ۳۰۰ روز غوطه‌وری در آب به ترتیب ۸۹٪ و ۹۷٪ هستند.

۱۱- نتیجه گیری

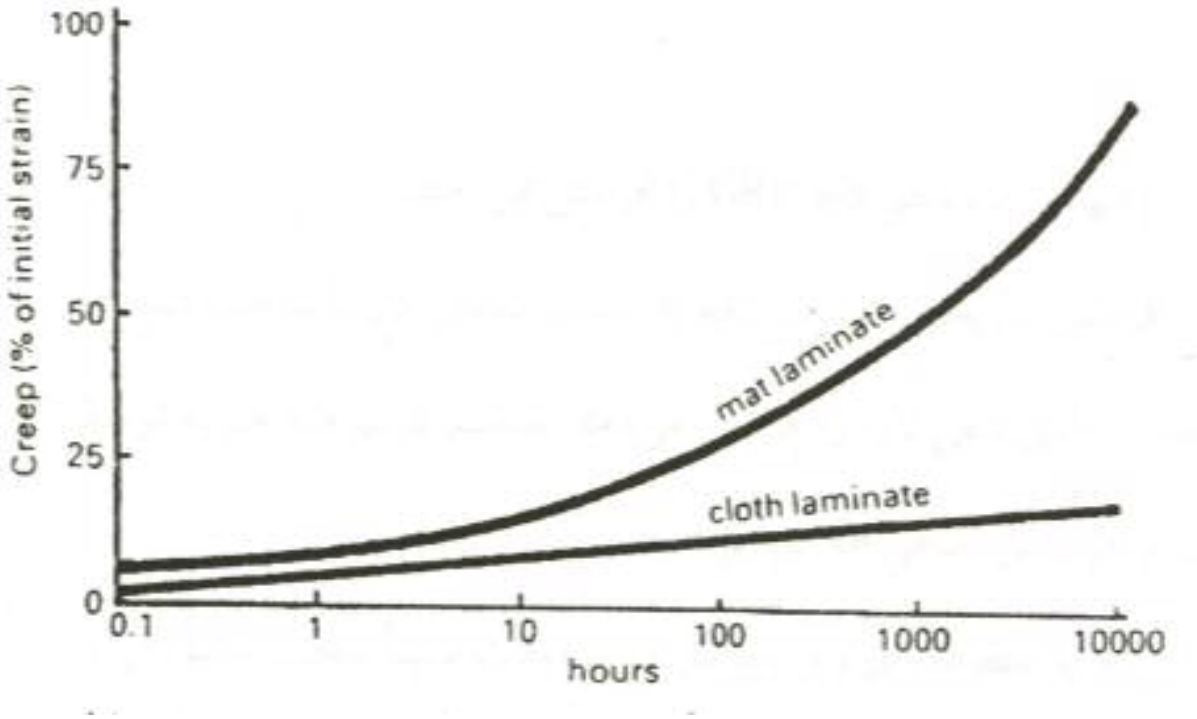
از پلاستیکهای تقویت شده با الیاف شیشه می‌توان به بهترین وجه بهره برد، بشرطی که سازندگان کلیهٔ جوانب طراحی را رعایت نمایند. بعبارتی طراح سازه باید خواص مکانیکی لایه GRP به همراه روشهای ساخت مناسب را به طور کامل زیر نظر بگیرد. بالاترین مزیت GRP نسبت به مواد سازه‌ای متداول، توانایی طراحی و ساخت سازه‌های یکپارچه و بزرگ است. یعنی کاملاً با روش ساخت قطعات کوچک و مونتاژ آنها برای ساخت قطعات بزرگ مغایرت دارد.

مثلاً طراحی و قالبگیری بدنه یک شناور بزرگ به همراه مخازن سوخت آن یا یک سرویس حمام کامل همراه با دستشویی و وان بصورت قالب‌گیری سازه‌های یکپارچه امکان‌پذیر است. با برخورداری از اشکال مناسب هندسی می‌توان سازه‌های بسیار مستحکم و محکمی را ایجاد کرد. درست مانند حالتی که از شکل یافتن موم نرم بصورت لانه زنبوری یک سازه صلب ساخته می‌شود. بنابراین با ساخت سازه‌های فضایی و کم وزن می‌توان به دو مشخصه استحکام و صلبیت رسید. این نوع طرح جهت ساخت پلها و ساختمانها خصوصاً سازه‌های بزرگی که ضخامت پوسته آنها تنها برای مقاومت به نفوذ عوامل خارجی کافی باشد بسیار امیدوار کننده است. مزیت دیگر GRP امکان تغییر دادن ضخامت سازه بصورت موضعی و افزایش مشخصه‌های مقاومتی آن درهرنقطه و درهرجهت است.

اشکال



شکل ۱- رفتار فایبرگلاس در برابر خستگی



شکل ۲- خزش در لایه های فایبرگلاس

مراجع

۱- جامعی ، سعید و فرهومند ، صابر، " بررسی مشکلا ت شناورهای فایبرگلاس و راهکارهایی جهت رفع آن" ، چهارمین همایش ملی صنایع دریایی ایران ، بهمن ۱۳۸۱

2 - Triantafillou,T.C., Gibson,L.J, “Material Science and Engineering”,95, 37,1987.

3 - Triantafillou,T.C., Gibson,L.J, “Material Science and Engineering”,95, 55,1987.

4 - Gibson,L.J, “Material Science and Engineering”,67, 125,1984.

5 – Roberts, John, “Fiber Glass Boats”, 1984

6 – Scot-Bader Co.Ltd, “Polyster Handbook”

7 – David Fecko, “Optimized Racing Boat Design Using Unique High Strength Fiberglass”, 2003