یادداشت فنی:

ارتقای کامپوزیت‌های پلیمری برای کاربردهای دریایی

سید یحیی موسوی[۱]، کاپیتان مالک علیمحمدی[۲]، امیر سهیل پیرایش‌فر[۳]

۱- گروه پلیمر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
۲- شرکت کشتی سازی امواج براق
۳- گروه پلیمر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

چکیده

باتوجه به حجم استفاده بالا از کامپوزیتهای الیاف شیشه و ماتریس پلی استر در کاربردهای دریایی، در این مقاله خواص این کامپوزیتها مورد مطالعه قرار گرفت و نشان داده شد که پلی استر ایزوفتالیک خواص مطلوب تری در مقایسه با پلی استر اورتوفتالیک برای کاربردهای دریایی دارد. در ادامه پایداری رزینهای وینیل استر و فنولیک در آب دریا مورد مطالعه قرار گرفت و نشان داده شد که رزینهای وینیل استر از خواص مکانیکی مطلوب تر و همچنین مقاومت شیمیایی بالاتری در مقایسه با رزینهای پلی استر، برخوردارند. بعلاوه اثبات گردید که استفاده از رزینهای فنولیک در قسمتهایی از کشتی، که احتمال آتش سوزی در آنها بیشتر از قسمتهای دیگر می‌باشد، بدلیل خواص ضد احتراق این رزینها، اجنتاب ناپذیر است. در ادامه الیاف کربن به عنوان جایگزینی مناسب برای الیاف شیشه معرفی گردید و نشان داده شد که با استفاده از الیاف کربن می‌توان مشکلات ذاتی الیاف شیشه از جمله دارا بودن مدول پایین و همچنین چگالی بالا را بر طرف نمود.

کلمات کلیدی: رزین پلی استر، رزین وینیل استر، رزین فنولیک، الیاف شیشه، الیاف کربن، جذب آب

POLYMERIC COMPOSITES IMPROVEMENT FOR MARINE APPLICATIONS

S.Y. Mousavi[1], M. Alimohammadi[2], A.S.Pirayeshfar[3]

1- Islamic Azad University Research and Science Branch, Engineering Department
2- Amvaj-e-boragh Company
3- Islamic Azad University Research and Science Branch, Engineering Department

Abstract

According to the high demand of fiberglass/polyester composites in marine applications, this paper has studied the properties of these composites. It has also been shown that isophthalic polyester has better properties than orthophthalic polyester, in marine applications. This paper has also investigated the vinyl ester and phenolic resin stability especially in the sea water and has shown that vinyl ester resin in comparison with polyester resin has better physical stability and chemical resistance in the sea water. Note that depend on nonflammable properties of phenolic resin, its application in each part of ship which has the highest probability of conflagration is almost inevitable. In addition, we have discussed the use of carbon fiber instead of glass fiber because the intrinsic problems of glass fiber such as heaviness and having low modulus could be solved with using carbon fiber.

Keywords: Polyester resin,Vinyl ester resin, Phenolic resin, Glass fiber, Carbon fiber, Modulus, Water absorption

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-10-25]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1388.5.9.6.4]

۱- مقدمه

امروزه کامپوزیت‌های پلیمری کاربردهای بسیار وسیعی در ساخت کشتی‌ها و دیگر تجهیزات دریایی پیدا کرده‌اند، بطوریکه بررسی این کامپوزیتها تبدیل به جزئی جدا نشدنی از علوم مهندسی دریا شده و تحلیل سازه های دریایی بدون مطالعه بر روی این کامپوزیتها غیرممکن است. در این میان کامپوزیتهای ساخته شده از رزین پلی استر و الیاف شیشه بیشترین حجم مصرف برای ساخت تجهیزات دریایی را به خود اختصاص داده اند. در ایران نیز گسترش صنعت کشتی سازی در سالهای اخیر، کاربرد کامپوزیتهای پلیمری را در صنایع دریایی بسیار گسترش داده و روز به روز نیز بر میزان این مصرف افزوده میگردد. این در حالی است که صنعت کامپوزیت مورد استفاده در صنایع دریایی ایران، کاملا وارداتی و غیر بومی است بطوریکه با وجود استفاده بسیار زیاد از رزین پلی استر به همراه الیاف شیشه، مطالعات بسیار کمی بر روی خواص آنها صورت گرفته است، در این میان عمر طولانی کشتیها و قایق های ساخته شده نیز، لزوم بررسی اثرات طولانی مدت آب شور دریا (که گاها نیز PH آن خنثی نمی‌باشد) بر خواص کامپوزیت ساخته شده و تحلیل و اصلاح نقاط ضعف را الزامی میسازد که متاسفانه در ایران بندرت شاهد چنین آزمایش‌هایی می‌باشیم، این در حالی است که در کشورهای صنعتی تحققات بسیار وسیعی در این زمینه ها انجام گرفته و بر مبنای این تحقیقات نیز اصلاحات زیادی بر روی کامپوزیتهای مورد استفاده در صنایع دریایی انجام شده [۱] و حتی در مواردی خاص، مواد دیگری جایگزین رزین پلی استر و الیاف شیشه گردیده‌اند.

این بررسیها نشان داده اند که رزین وینیل استر دارای پایداری و همچنین خواص مکانیکی مناسب تری نسبت به رزین پلی استر است [۲]. بعلاوه مقاومت بسیار پایین رزین پلی استر در برابر حرارت و همچنین اشتعال‌پذیری بالای آن، کاربرد رزین فنولیک را که دارای خواص حرارتی بسیار ایده آلی می‌باشد، در بسیاری از قسمتهای کشتی مورد توجه قرار داده است [۳].

بررسی‌های بسیاری نیز اصلاح الیاف شیشه که دو نقیصه اصلی آن، پایین بودن مدول و بالا بودن چگالی می‌باشد را مورد توجه قرار داده‌اند [۴].

با توجه به تمامی مسائل بیان گردیده، حتی با وجود عدم انجام‌گیری تحقیقات بومی بر روی کامپوزیتهای پلیمری مورد استفاده در صنایع دریایی، لزوم استفاده و بکارگیری نتایج تحقیقات انجام شده در جوامع صنعتی امری الزامی می‌باشد بهمین دلیل در این مقاله سعی در بررسی کامپوزیت‌های پلیمری مورد استفاده در صنایع دریایی، بهمراه بررسی نقاط ضعف و همچنین اصلاحات انجام شده بر روی آنها گردیده است.

۲- اثر رطوبت بر کامپوزیت‌های پلیمری

میزان جذب آب کامپوزیتهای پلیمری پارامتر بسیار مهمی از تخریب این کامپوزیت‌ها به شمار می‌رود بطوریکه هرچه جذب آب کامپوزیت بیشتر شود امکان تخریب با سه مکانیسم زیر بیشتر می‌گردد:

۱. نفوذ مولکولهای آب به صورت مستقیم در رزین و گاهی از اوقات در داخل الیاف

۲. جریان موئینی مولکولهای آب در سطح مشترک[1] الیاف و رزین که بازترکیب[2] آنها را موجب می‌گردد [۵]

۳. نفوذ آب از طریق ریز ترکها[3]، خلل و فرج[4] و نقاط شکست[5] که در ماده وجود دارد [۶].

توماسون[6] ثابت کرد که از سازوکارهای بالا، تاثیر سومی در بالا بردن میزان جذب آب، بیشتر از دو مکانیسم دیگر است [۷]. حال به منظور به حداقل رساندن میزان حبابهای موجود در کامپوزیت، لزوم بکارگیری تکنسینهای ماهر و همچنین نظارت دقیق

[1] interface
[2] Deboning
[3] Micro crack
[4] Void
[5] Defect point
[6] Thomason

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-10-25]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1388.5.9.6.4]

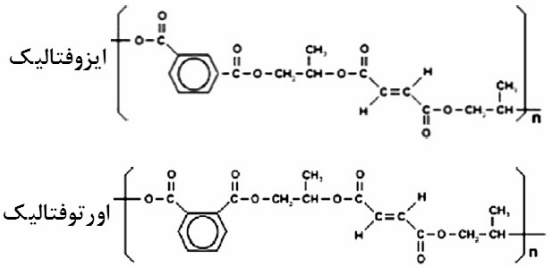
بر کیفیت محصولات ساخته شده، امری اجتناب ناپذیر است.

آزمایش‌های گوناگون نشان داده است که مرحله اول از تخریب کامپوزیت نرم شدن ماتریس و متورم شدن آن می‌باشد [۸] این در حالی است که در مراحل بعد، نفوذ آب سبب لایه لایه شدن[1] کامپوزیت می‌گردد ([۵] و [۹]).

۳- اصلاحات انجام شده بر رزین پلی استر

با توجه به استفاده بسیار بالا از رزین پلی استر در کاربردهای دریایی، لزوم اصلاح آن اجتناب ناپذیر می‌باشد، در این میان پلی استر ایزوفتالیک بعنوان یک رزین اصلاح گشته، در مقایسه با پلی استر اورتوفتالیک خواص بهتری را در برخورد با آب دریا از خود نشان می‌دهد [۱].

تنها تفاوت رزینهای ایزوفتالیک و اورتوفتالیک یک موقعیت حلقه آروماتیک است، در ایزوفتالیک دو گروه متصل به حلقه آروماتیک در موقعیت متا قرار دارند این در حالی است که موقعیت آنها در اورتوفتالیک، اورتو می‌باشد (شکل ۱). همین اختلاف به ظاهر کوچک ممانعت فضایی متفاوت زنجیره های آنها و در نتیجه اختلاف در ضریب نفوذ آب و همچنین خواص فیزیکی و مکانیکی متفاوت آنها را موجب گردیده است [۱۰].



شکل ۱- ساختار مولکولی رزین های ایزوفتالیک و اورتوفتالیک

تحقیقات نشان داده است که منومرهای رزین اورتوفتالیک یا بعبارت دیگر اسید اورتوفتالیک در آب حل می‌شوند[2] این در حالی است که منومرهای رزین ایزوفتالیک یا بعبارت دیگر اسید ایزوفتالیک در آب حل نمی‌گردند. همانطور که می‌دانیم در هر پلیمریزاسیونی با هر تکنیکی که انجام گرفته باشد حتما مولکولهای منومر یا زنجیره‌هایی با جرم مولکولی کم موجود خواهند بود [۱۱]. در رزین اورتوفتالیک تمایل واحدهای منومر برای حل شدن در آب، سبب ترک خوردن و ایجاد حفره و در نتیجه ورود آب به این فضاهای خالی می‌گردد، این در حالی است که در رزین ایزوفتالیک واحدهای منومر در داخل شبکه باقی می‌مانند و همین از ورود آب اضافی به شبکه جلوگیری می‌کند. گرفتن IR[3] از آبی که نمونه‌های اورتوفتالیک در آن غوطه‌ور بوده‌اند نشان داده است که یک مقدار قابل توجه از مواد آلی که قبل از غوطه‌وری در آب موجود نبوده‌اند، هم‌اکنون موجود می‌باشند، این مطالعات نشان می‌دهند که بخش اصلی این مواد استخراجی نمونه‌های پلی استری با وزن مولکولی کم می‌باشند همچنین نوع و میزان نمونه‌های آلی که در آب شناسایی شده‌اند برای کامپوزیت‌های الیاف شیشه و الیاف کربن یکسان است که این نشان دهنده تخریب شدن ماتریس می‌باشد بطوریکه نوع لیف بر این موضوع تاثیر چندانی ندارد. همچنین بررسی‌ها نشان داده است که انواع یکسانی از ترکیبات آلی از کامپوزیت‌های کاملا پخت شده و کاملا پخت نشده وارد آب گردیده‌اند ولی میزان این ترکیبات در آبی که کامپوزیت کاملا پخت شده در آن قرار داشت، کمتر بود [۲]. بهمین دلیل لزوم نظارت دقیق بر میزان پخت رزین پلی استر در کارگاه های کشتی سازی، امری اجتناب ناپذیر است.

بر اساس تحقیقات Visco در سال ۲۰۰۸، که وی ۴ نمونه را مورد بررسی قرار داد که دو تا از این نمونه‌ها رزینهای خالص اورتوفتالیک و ایزوفتالیک و دو نمونه دیگر کامپوزیت این رزینها با الیاف شیشه بودند،

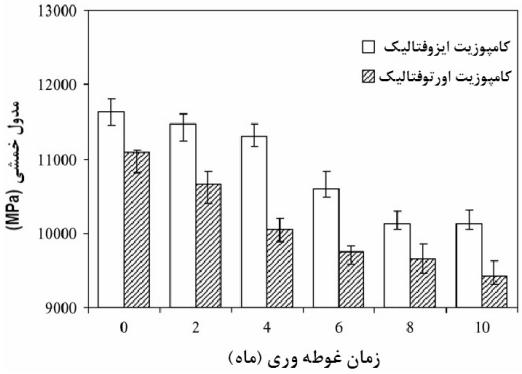
[1] Delamination

[2] میزان حلالیت اسید اورتوفتالیک در آب برابربا "۵,۷۴g/tiL" است

[3] Infra Red Spectroscopy

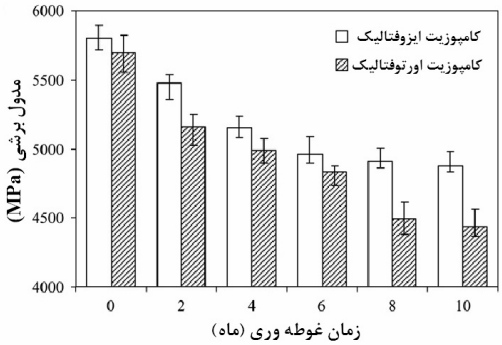
[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-10-25]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1388.5.9.6.4]

کامپوزیت رزین ایزوفتالیک و الیاف شیشه مدول خمشی آن در ماه اول غوطه‌وری در آب دریا نسبتا ثابت و بعد از ۱۰ ماه نهایتا ۱۳٪ کاهش یافت این در حالی است که در کامپوزیت رزین اورتوفتالیک و الیاف شیشه مدول خمشی در ۴ ماه اول غوطه‌وری ۹٪ و بعد از ۱۰ ماه ۱۵٪ افت داشته است(شکل ۲) [۱].



شکل ۲- نمودار تغییرات مدول خمشی در ۱۰ ماه غوطه وری در آب

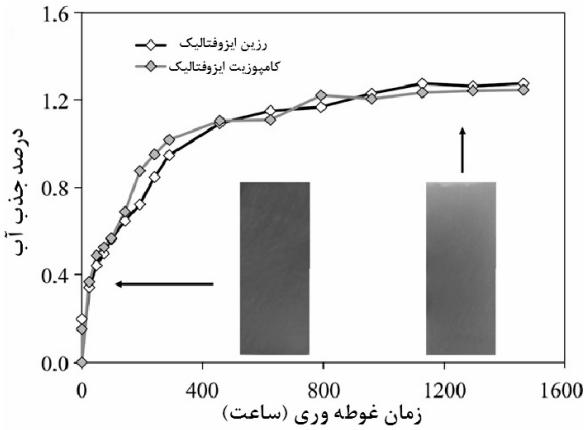
مدول برشی نیز در هر دو کامپوزیت در ۶ ماه اول غوطه وری در آب دریا، به طریق مشابهی ۱۵٪ ولی در ۴ ماه بعد در کامپوزیت رزین ایزوفتالیک ۸٪ و در کامپوزیت رزین اورتوفتالیک ۲۲٪ افت داشته است(شکل ۳) [۱].



شکل ۳- نمودار تغییرات مدول برشی در ۱۰ماه غوطه وری در آب دریا

همانطور که در شکلهای مربوطه میتوان دید میزان تاثیر آب دریا بر روی خواص مختلف کامپوزیت یکسان نیست که این پدیده نشان دهنده میزان تخریب متفاوت در لایه های مختلف کامپوزیت است ([۱] و [۱۲]).

در مورد رزین ایزوفتالیک و همچنین کامپوزیت آن با الیاف شیشه مشاهده شده که هنگام غوطه‌وری در آب دریا، هر دو از قوانین فیکی پیروی می‌کنند یعنی در زمانهای نخستین، میزان جذب آب آنها به شدت افزایش پیدا می‌کند تا اینکه بالاخره به سرحد اشباع برسد (شکل ۵).



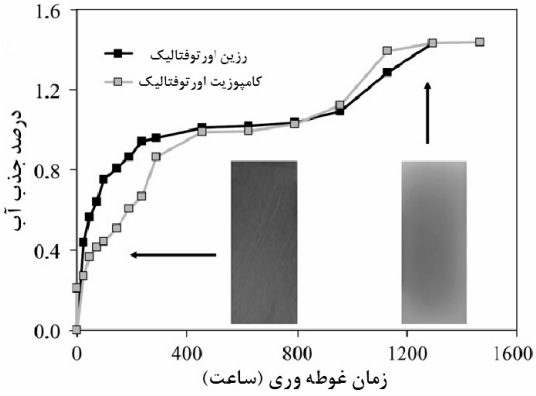
شکل ۵- میزان جذب آب رزین و کامپوزیت ایزوفتالیک در آب دریا

این گرایش یکسان بین رزین ایزوفتالیک و کامپوزیت آن با الیاف شیشه نشان میدهد که الیاف تاثیر محسوسی در نفوذ آب به کامپوزیت ندارد([۱۳]). این در حالی است که نمودار جذب آب رزین اورتوفتالیک و همچنین کامپوزیت آن با الیاف شیشه نموداری دو پله ای که از قوانین فیکی پیروی نمی‌کند، می‌باشد (شکل ۶)، در این میان بررسی‌ها نشان داده است که صعود دوم در نمونه های ساخته شده با رزین اورتوفتالیک، تخریب شگفت آور آنرا بدنبال خواهد داشت([۱] و [۱۳]).

بررسی‌های Visco همچنین نشان داد که قبل از غوطه وری سختی هر دو رزین یکسان است ولی پس از غوطه ور شدن آنها در آب دریا، سختی ایزوفتالیک در کناره ها کاهش و در مرکز افزایش می‌یابد این در حالی است که میزان سختی اورتوفتالیک هم در

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-10-25]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1388.5.9.6.4]

کناره‌ها و هم در مرکز کاهش پیدا می‌کند که این نتایج نیز تاییدکننده تراوایی بیشتر رزین اورتوفتالیک نسبت به آب دریا است [۱].



شکل ۶- میزان جذب آب رزین و کامپوزیت اورتوفتالیک در آب

۴- کاربرد رزین‌های وینیل‌استر در صنایع دریایی

حتی در رزین ایزوفتالیک نیز احتمال تخریب در آب دریا وجود دارد [۱۳] که مشکل فوق را با بکارگیری رزین وینیل استر که پایداری شیمیایی بالاتری دارد می‌توان بر طرف نمود ([۱۳] و [۱۴]). بررسی‌ها نشان داده است که کامپوزیتهای رزین وینیل استر کاملا از قوانین فیکی پیروی می‌کنند. تحلیل IR آبی که کامپوزیت‌های رزین وینیل‌استر در آن غوطه‌ور بوده‌اند نبز نشان می‌دهد که مقدار بسیار کمی از مواد آلی (که بخش اصلی آن مولکولهای وینیل استر با جرم مولکولی کم است) در آن وجود دارد که مقدار این ترکیبات نسبت به مواد آلی آزاد شده توسط رزین پلی استر ناچیز می‌باشد، علت این پدیده نیز پایداری شیمیایی بالاتر رزین وینیل استر در آب دریا است [۲].

۵- کاربرد الیاف کربن در صنایع دریایی

کاربرد الیاف شیشه در صنایع دریایی نیز با مشکلاتی همراه است، بعنوان مثال کامپوزیت‌های الیاف شیشه دارای مدول پایین و چگالی بالایی می‌باشند[1] و دلیل آن نیز خواص نامناسب الیاف شیشه است. مشکلات فوق را با بکارگیری الیاف کربن بعنوان جایگزین الیاف شیشه، میتوان حل نمود. البته قیمت بالای الیاف کربن مانع از فراگیر شدن استفاده از آن شده است ولی استفاده از کامپوزیتهای آن در کاربردهای خاص مثل قایقهای مسابقه‌ای، کشتی‌های گشت‌زنی نیروی دریایی و دیگر کاربردهایی که به استحکام و مدول بالا و وزن کم[2] نیاز است، بسیار رایج می‌باشد [۴].

۶- کاربرد رزین های فنولیک در صنایع دریایی

با توجه به تمام اصلاحات انجام شده بر روی کامپوزیتهای مورد استفاده در صنایع دریایی، با این حال وقوع حوادث آتش سوزی، لزوم رعایت نکات ایمنی را بیشتر مورد توجه قرار داد. در سال ۱۹۹۰ به علت آتش سوزی در کشتی اسکاندیناوی ۱۵۸ نفر جان خود را از دست دادند. در آوریل ۱۹۹۱ نیز آتش گرفتن کشتی‌ای در ایتالیا ۱۴۱ نفر را از بین برد. در این حوادث فقط حرارت آتش کشنده نیست بلکه انتشار گازهای سمی نیز از عوامل اصلی مرگ و میر افراد می‌باشد. در این میان حوادث فوق موجب شد تا کمیته بین المللی ایمنی دریا[3] قوانینی را در مورد ایجاد خواص ضد احتراق در کشتی‌ها ایجاد نماید.

تحقیقات نشان داده که اکثر رزینهای مورد استفاده در کاربردهای دریایی ایجاد آتش و احتراق را تقویت و همچنین حجم زیادی از دودهای سمی را آزاد می‌نمایند.

براساس آزمایشات انجام گرفته، کامپوزیتی میله‌ای شکل به قطر 1Cm از پلی استر ایزوفتالیک و الیاف شیشه E-Glass ، برای مدت چند ثانیه در جلو شعله آتش قرار داده شد. پس از گذشت چند ثانیه کامپوزیت مربوطه، همراه با آزاد کردن مقادیر زیادی

[1] مدول کامپوزیت‌های الیاف شیشه و رزین پلی‌استر معمولا کمتر از ۴۰GPa و چگالی آنها در بین 3gr/cm^(2_2.2) است.

[2] مدول الیاف کربن بسته به گرید انتخابی بسیار متفاوت و در بازهGpa(200-800) می‌باشد، چگالی آن نیز بین $(1.7_1.95)g/cm^3$ است.

[3] Marine safety committee

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-10-25]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1388.5.9.6.4]

از دودهای سمی، به شدت برافروخته گردید (شکل ۸).

شکل ۸- شدت احتراق و حجم زیاد گازهای سمی منتشر شده در هنگام سوختن کامپوزیت الیاف شیشه و رزین پلی استر

در شکل (۹) نیز افت شدید خواص مکانیکی کامپوزیت پس از شعله ور شدن نشان داده شده است.

شکل ۱۰- از بین رفتن خواص مکانیکی کامپوزیت الیاف شیشه و رزین پلی استر در اثر شعله

تلاشها برای رفع این مشکلات منجر به استفاده از مواد افزودنی ضد احتراق در کامپوزیت‌ها گردید ولی این افزودنی‌ها خواص مکانیکی کامپوزیت را کاهش و وزن آنرا افزایش می‌دهند، بعلاوه این مواد سبب آزاد گردیدن مقادیر بیشتری از دودهای سمی می‌گردند[1] [۱۵]. در این میان رزینهای فنولیک که ذاتا خواص ضد احتراق بسیار بالایی دارند برای رفع این مشکل می‌توانند سودمند باشند. این مواد نمی‌سوزند مگر اینکه شرایط احتراق بسیار شدید باشد بطوریکه آنها را مجبور به سوختن کند در این مواقع نیز رزینهای فنولیک هنگام سوختن حجم بسیار کمتری از دودهای سمی را آزاد می‌کنند بطوریکه از سوختن آنها فقط بخار آب و دی اکسیدکربن و مقادیر ناچیزی منواکسیدکربن آزاد می‌گردد.

وقتی که رزین فنولیک می‌سوزد، خیلی سریع زغال کربن تشکیل می‌شود و روی لایه‌های زیرین می‌نشیند و با توجه به عایق بودن زغال کربن از احتراق لایه‌های دیگر جلوگیری می‌شود. از دیگر قابلیت‌هایی رزینهای فنولیک حفظ خواص مکانیکی در دماهای بالا می‌باشد [۱۶].

با این حال رزینهای فنولیک بدلیل خواص مکانیکی ضعیف تر نسبت به پلی استر و وینیل استر به طور عمومی برای ساختارهای اولیه کشتی مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. این در حالی است که این رزینها در کاربردهایی که نیروی کمی به آنها وارد می‌شود و همچنین مناطقی که در آنها احتمال آتش سوزی زیاد است، مانند نواحی اطراف موتور کشتی، بسیار مورد توجه قرار می‌گیرند و دلیل آن نیز ایمنی و خواص ضد احتراق آنها می‌باشد [۱۷].

۷- نتیجه گیری

با توجه به حجم استفاده بالا از کامپوزیت‌های الیاف شیشه و ماتریس پلی‌استر در کاربردهای دریایی، در این مقاله خواص این کامپوزیت‌ها مورد مطالعه قرار گرفت و نشان داده شد که پلی‌استر ایزوفتالیک خواص مطلوب‌تری نسبت به پلی‌استر اورتوفتالیک برای کاربردهای دریایی دارد. حال با توجه به اختلاف زیاد خواص که در بین این دو رزین وجود دارد لزوم استفاده هوشمندانه‌تر از آنها در قسمت‌های مختلف کشتی الزامی می‌باشد.

در ادامه پایداری و خواص رزینهای وینیل استر و فنولیک در آب دریا مورد مطالعه قرار گرفت و نشان داده شد که رزینهای وینیل استر دارای خواص مکانیکی بهتر و همچنین مقاومت شیمیایی بالاتری در آب دریا هستند. همچنین با ذکر دلایلی اثبات

[1] از جمله این مواد ضد احتراق میتوان به ترکیبات کلردار اشاره کرد که اینها در حین آتش سوزی گاز بسیار سمی کلر را آزاد می‌کنند.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-10-25]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1388.5.9.6.4]

گردید که استفاده از رزینهای فنولیک در قسمت‌هایی از کشتی، که امکان آتش سوزی در آنها بیشتر از قسمتهای دیگر می‌باشد مانند محوطه اطراف موتور، اجنتاب ناپذیر است.

در این مقاله همچنین به مشکلات ذاتی الیاف شیشه از جمله سنگین بودن و پایین بودن مدول آن پرداخته شد و الیاف کربن که الیافی سبک و مدول بالا می‌باشد بعنوان راه حل مشکلات فوق معرفی گردید. بطورکلی خصوصیات ویژه الیاف کربن، آنرا به الیافی ویژه برای ساخت قایقهای مسابقه‌ای و کشتی‌های گشت‌زنی نیروی دریایی تبدیل کرده است.

در نهایت شایان ذکر است که متخصصین توانمند داخلی که با همت آنها ایران اسلامی توانسته است در بسیاری از زمینه ها به خودکفایی برسد، می‌توانند در این مورد نیز با بکارگیری هوش و درایت سرشار خود، استفاده از مواد جدید را در صنعت کشتی‌سازی مسیر سازند و بار دیگر نام ایران را بعنوان کشوری قدرتمند مطرح نمایند.

۸- مراجع

1-A.M. Visco, L. Calabrese, P. Cianciafara. Modification of polyester resin based composites induced by seawater absorption. Italy: Elsevier Composites: Part A; 2008, 6-23.

2-A. Kootsookos, A.P. Mouritz. Seawater durability of glass and carbon polymer composites. Australia: Composites Sci and Tech 64 (2004) 1503–1511.

3-U. Sorathia, C. Beck, T. Dapp. Residual strength of composites during and after fire exposure. Fire Sciences 1993; 11:255.

4-A. Apicella, C. Migliaresi, L. Nicolais, S. Roccotelli. The water aging of unsaturated polyester-based composites: influence of resin chemical structure. Composites 1983; 14:387–92.

5-P. Davies, F. Pomies, L.A. Carlsson. Influence of water and accelerated aging on the shear fracture properties of glass/epoxy composites. Apply Compos Mater 1996; 3:71–87.

6-J. Comyn. Polymer permeability. New York: Elsevier Applied Science; 1986.

7-J.L. Thomason. Interface region in glass fiber reinforced epoxy resin composites 2. Water absorption, voids and the interface. Compos 1995; 26(7):477-485.

8-H. Gu, S. Hongxia. Delamination behavior or glass/polyester composites after water absorption. China: materials & design. 29 (2008) 262-264

9-P. Castaing, L. Lemoine. Effects of water absorption and osmotic degradation on long-term behavior of glass fiber reinforced polyester. Polymer Composites 1995; 16(5):349–56.

10-DSM Product data sheets. www.dsm.compositeresins.com.

11-S. Marais, M. Metayer, T.Q. Nguyen, M. Labbe, J.M. Saiter. Diffusion and permeation of water through polyester resins influence of resin curing. Euro Polymer 2000; 36:453-462.

12-E.P. Gellert, D.M. Turley. Seawater immersion ageing of glass-fiber reinforced polymer laminates for marine applications. Composites 1999;30A:1259

13-L. Gautier, B. Mortaigne, V. Bellenger, J. Verdu. Osmotic cracking nucleation in hydrothermal-aged polyester resin. Polymer 2000; 41:2481–90.

14-K. Sumaya, M. Kubota, M. Shirai, H. Yoshida. Degradation of cross linked unsaturated polyester in sub-critical water. Japan: Polymer Degradation and Stability 2007; 92: 317-322

15-E. Boniard, R.A Pethrick, J. Dalzel-Job. Studies of water permeation into fiber reinforced composite structures. Plastics, Rubbers Compos Process Apply 1998; 27:206.

16-G.T Egglestone, D.M. Turley. Flammability of GRP for use in ship superstructures. Fire and Materials 1994; 18(4):255.

17-K. Berkatis, D. Tzetzis, P.J. Hogg. The influence of long term water immersion ageing on impact damage behavior and residual compression strength of glass fiber reinforced polymer (GFRP). Materials and Design 2008; 29: 1300-1310.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-10-25]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1388.5.9.6.4]