Archive of SID



ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. 2020;20(3):701-708

Effect of Clay Nanoparticles on Increasing the Lifetime of Glass/Epoxy Composites under Thermal and Humidity Conditions (Hydrothermal)

ARTICLE INFO

Article Type Original Research

Authors

Azimi S.A.¹ *MSc,* Momeni V.¹ *MSc,* Alaei M.H.*¹ *PhD,* Mirzaei A.¹ *MSc,* Rezvani Nasab M.¹ *MSc,* Ramezani Nezhad M.¹ *MSc,* Mohamadian A.H.¹ *MSc*

How to cite this article

Azimi S.A, Momeni V, Alaei M.H, Mirzaei A, Rezvani Nasab M, Ramezani Nezhad M, Mohamadian A.H. Effect of Clay Nanoparticles on Increasing the Lifetime of Glass/Epoxy Composites under Thermal and Humidity Conditions (Hydrothermal). Modares Mechanical Engineering. 2020;20(3):701-708.

¹Composite Materials Department, Materials & Manufacturing Technology Faculty, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

*Correspondence

Address: Shabanlou Street, Babaei Highway, Lavizan, Tehran, Iran Phone: +98 (21) 22970274 Fax: +98 (21) 22936578 mhallaee@mut.ac.ir

Article History

Received: April 28, 2019 Accepted: July 9, 2019 ePublished: March 01, 2020

ABSTRACT

In this research, the effect of adding clay Nanoparticles on increasing the lifetime of glass/ epoxy composites under hydrothermal conditions has been investigated. For this purpose, samples containing 3 Vol.% of clay Nanoparticles and samples without clay Nanoparticles in resin epoxy has been manufactured for the fabrication of specimens of the tensile test using hand lay-up and vacuum bag. The specimens were placed under the hydrothermal condition of 90% humidity and 75 °C temperature for 500 hours in the incubator and were tested for tensile properties. The results show that addition of clay Nanoparticles decreases the strength of the composite by 21.39% in the newly produced samples while in a long time, these particles slow down the process of composite degradation, so that in the same environmental conditions, the strength of specimens containing clay Nanoparticles is 9% higher than the specimens without clay Nanoparticles.

Keywords Glass/Epoxy Composites; Environmental Conditions; Mechanical Properties; Clay Nanoparticles

CITATION LINKS

[1] Influence of physical ageing on the yield response of model DGEBA/poly (propylene oxide) epoxy glasses [2] Analysis of how thermal aging affects the long-term mechanical behavior and strength of polymer-matrix composites [3] Relaxation phenomenon in epoxy glass aged under post-yield strain [4] Physical aging in long term creep of polymeric composite laminates [5] Concurrent physical aging and degradation of crosslinked coating systems in accelerated weathering [6] Thermo-oxidative degradation of graphite/epoxy composite laminates: Modeling and long-term predictions [7] Moisture diffusion and hygrothermal aging in pultruded fibre reinforced polymer composites of bridge decks [8] Effect of hydrothermal ageing on the thermal and delamination fracture behaviour of CFRP composites [9] Effects of hygrothermal aging on glass-fibre reinforced polymer laminates and adhesive of FRP composite bridge: Moisture diffusion characteristics [10] Effect of thermo-oxidative aging on three-dimensional and four-directional braided carbon fiber/ epoxy composite [11] Moisture absorption/desorption effects on flexural property of glassfiber-reinforced polyester laminates: Three-point bending test and coupled hygromechanical finite element analysis [12]Effects of the media and ageing condition on the tensile properties and fracture toughness of epoxy resin [13] Hydrothermal aging of carbon reinforced epoxy laminates with nanofibrous mats as toughening interlayers [14] Hydrothermal ageing mechanisms of unidirectional flax fabric reinforced epoxy composites [15] Correlation of accelerated aging test to natural aging test on graphite-epoxy composite materials [16] Accelerated aging effects on carbon fiber/epoxy composites [17] Mechanical and thermal properties of glass fiber-vinyl ester resin composite for pipeline repair exposed to hot-wet conditioning [18] Accelerated weathering on glass fiber/epoxy/organomontmorillonite nanocomposites [19] Effect of accelerated ageing on hardness and flexural behaviour of woven fabric glass/carbon hybrid epoxy composites [20] Interfacial properties and thermal aging of glass fiber/epoxy composites reinforced with SiC and SiO2 nanoparticles

Copyright© 2019, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommunity 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

۲۰۲ سیدعلی عظیمی و همکاران ــ

تاثیر نانوذرات خاک رس بر افزایش طول عمر کامپوزیت شیشه- اپوکسی در شرایط محیطی دمایی و رطوبتی (هیدروترمال)

سیدعلی عظیمی MSc

گروه کامپوزیت، مجتمع مواد و فناوریهای ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

وحيد مومنى MSc

گروه کامپوزیت، مجتمع مواد و فناوریهای ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

محمدحسين علائى^{*} PhD

گروه کامپوزیت، مجتمع مواد و فناوریهای ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

امین میرزایی MSc

گروه کامپوزیت، مجتمع مواد و فناوریهای ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

مهران رضوانینسب MSc

گروه کامپوزیت، مجتمع مواد و فناوریهای ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

مجید رمضانینژاد MSc

گروه کامپوزیت، مجتمع مواد و فناوریهای ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

امیرحسین محمدیان MSc

گروه کامپوزیت، مجتمع مواد و فناوریهای ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

چکیدہ

در این تحقیق، به بررسی تاثیر نانوذرات خاک رس بر افزایش طول عمر کامپوزیت شیشه- اپوکسی در شرایط محیطی هیدروترمال پرداخته شده است. برای این منظور نمونههای حاوی ۳% و نمونههای فاقد نانوذرات خاک رس در رزین اپوکسی برای ساخت نمونههای آزمون کشش با استفاده از لایه چینی دستی و هیدروترمال ۹۰% رطوبت، ۲۵درجه سانتیگراد به مدت ۵۰۰ ساعت در انکوباتور قرار گرفته و در نهایت تحت آزمون کشش با هم مقایسه شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که اضافهکردن نانوذرات خاک رس گرچه در ابتدا باعث کاهش استحکام کامپوزیت به میزان ۲۱/۳۹% در نمونههای تازهساختهده میشود، ولی استحکام نمونههای حاوی نانوذرات خاک رس پس از قرارگیری تحت شرایط محیطی از نمونههای حاوی نانوذرات خاک رس پس از قرارگیری تحت شرایط محیطی از نمونههای فاقد نانوذرات خاک رس پس از قرارگیری تحت شرایط محیطی از نمونههای فاقد نانوذرات خاک رس تحت شرایط محیطی یکسان (۵۰۰

کلیدواژگان: کامپوزیت شیشه- اپوکسی، شرایط محیطی، خواص مکانیکی، نانوذرات خاک رس

> تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۱۸ ^{*}نویسنده مسئول: mhallaee@mut.ac.ir

۱- مقدمه

با توجه به مزایای کامپوزیتها، استفاده از این مواد در صنایع گوناگون روز به روز در حال افزایش است. این مواد نیز همانند سایر

مواد دارای معایبی هستند که مهمترین آنها پیرشدگی تحت شرایط محیطی چون دما، رطوبت، اشعه فرابنفش و غیره است^[1]. بدین منظور امروزه مطالعات فراوانی بر تاثیر همزمان رطوبت و دما بر خواص کامپوزیتهای ساختهشده انجام گرفته است که اثری بالقوه دارد و در محیطهای گرمسیری و مرطوب رخ میدهد. تمامی نحقیقات، کاهش خواص مکانیکی نمونههای کامپوزیتی را طی فرآیند پیرشدگی شتابزده گزارش کردند^[2-5]. از مهمترین پژوهشها در این زمینه میتوان به مطالعه *ازکلیک* و همکاران^[6] اشاره نمود که در آن تاثیر دماهای ۵۵، ۱۷۵، ۱۰۰ و ۵۰درجه سانتیگراد را بر کامپوزیت گرافیت- اپوکسی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که در دمای ۱۰۰درجهسانتیگراد، نمونهها پایدار بوده و اُفت محسوسی در استحکام و کاهش وزن، مشاهده نشد. اگرچه همین ماده در معرض دماهای ۵۵، ۱۷۵ و ۵۰۰درجه سانتیگراد بهترتیب ماده در معرض دماهای ۵۵، ۱۷۵ و ۵۰۰درجه سانتیگراد بهترتیب ماده در معرض دماهای ۱۵۵، ۱۷۵ و ۵۰۰درجه سانتیگراد بهترتیب

همچنین *جیانگ* و همکاران^[7]، میزان کاهش خواص مکانیکی را برای نمونههای کامیوزیتی شیشه- ایوکسی تحت شرایط غوطهوری در آب انجام دادهاند. طبق بررسیهای انجامشده برای شرایط پیرشدگی آب با دمای ۴۰درجه سانتیگراد، جذب رطوبت سه برابر بیشتر از شرایط با رطوبت بیش از ۳% در سطح اشباع بوده است. در تحقیق دیگر، اثر پیرشدگی تسریعشده رطوبتی- دمایی بر خواص حرارتی و شکست کامیوزیت کربن- ایوکسی مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق رفتار پیرشدگی هیدروترمال (دمایی و رطوبتی) یک ورقه کامپوزیتی الیاف کربن با ماتریس اپوکسی بهصورت حجمی بررسی شده که برای این کار نمونهها در شبیهساز طول عمر، به صورت غوطه ور در آب مقطر، در دمای ۳۰ و۲۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴ و ۸ هفته قرار داده شدهاند. نتایج آنها نشان داد که افزایش دمای پیرشدگی از۳۰ تا ۲۰درجه سانتیگراد موجب افزایش قابل ملاحظهای در میزان جذب آب تمام سیستمها میشود. لازم به ذکر است که جذب آب برای رزین بهتدریج در مرحله اول جذب افزایش مىيابد^[8, 9].

فن و همکاران^[10] اثر پیرشدگی حرارتی را بر خواص خمشی کامپوزیتهای الیاف کربن- اپوکسی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که خواص مکانیکی کامپوزیت در اثر قرارگیری در معرض دماهای ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰۰و ۱۸۰درجه سانتیگراد کاهش چشمگیری داشته است.

اثرات جذب و دفع رطوبت بر خواص مکانیکی و مقاومت شکست ورقههای شیشه- پلیاستر توسط *زیانگ* و همکاران^[11] مورد بررسی قرار گرفته است. اثر جذب و دفع رطوبت بر خواص مقاومت خمشی ورقه از جنس پلیمر تقویتشده با الیاف شیشه (GFRP) بهصورت تجربی تحت پیرشدگی محیطی با شرایط گرم- مرطوب مورد بررسی قرار گرفته و برای مشخصنمودن تخریب مکانیکی، آزمون خمشی سه نقطه با استفاده از استاندارد (ASTM D790-10A) انجام شده است. در نهایت خواص مقاومت خمشی نمونه در سه محیط خشک

(رطوبت نسبی صفر)، رطوبت غیراشباع (۳۰ تا ۵۰% رطوبت نسبی) و رطوبت اشباع (۱۰۰% رطوبت نسبی) در هر دو دمای ۲۰ و ۴۰درجه سانتی گراد با هم مقایسه شده است. نتایج تجربی آنها نشان داد که ترکیبی از اثرات رطوبت و دما بهطور کامل موجب کاهش خواص مکانیکی از قبیل استحکام، سختی و مقاومت خمشی ورقههای GFRP میشود. علاوه بر این، درصد کاهش استحکام خمشی بسیار بزرگتر از مدول الاستیک ماده است. در نهایت کاهش غیرقابل برگشت مدول الاستیک ۵۱% و مقاومت خمشی ۱۶/۴% برای ورقههای GFRP گزارش شده است که یک مرحله از جذب یا عدم جذب رطوبت را در دمای ۴۰درجه سانتی گراد تجربه میکنند.

در پژوهش دیگری، تاثیر شرایط محیطی هیدروترمال بر خواص کششی و چقرمگی شکست رزین اپوکسی در حالات پایدار و ناپایدار مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که جذب آب در نمونهها سبب افزایش چقرمگی شکست و کاهش خواص کششی میشود^[12].

بررسی اثر پیرشدگی هیدروترمال بر ورقههای اپوکسی تقویتشده با الیاف کربن با پارچههایی از جنس نانوالیاف نایلون ۶ بهعنوان پوشش سختتر، توسط *دیفیلیپو* و همکاران^[13] انجام شده است. در آن از پارچههای الکتروریسی (فرآیندی برای تولید انواع نانوالیاف و میکروالیاف از محلولهای مواد پلیمری) بهعنوان پوششهای سخت در کامپوزیت اپوکسی با الیاف کربن در کارآیی بالا استفاده شده است. این کار به بررسی تاثیر اثر ترکیبی از رطوبت و آب با درجه حرارت ۹۰درجه سانتیگراد در ورقه کامپوزیتی با ۶ غشاء الکتروریسی پرداخته است که فقط در صفحه وسط و در هر لایه قرار دارد. نتایج این تحقیق نشان داد اگر پارچههای نانوالیاف در هر یک از سطوح بین لایه قرار داده شوند، مقاومت برشی بین لایهها تا ۳۰%

لی و *ژو*^[41] رفتار پیرشدگی کامپوزیت کتان- اپوکسی را تحت تاثیر رطوبت و دما مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که جذب آب با افزایش دمای محیط رابطهای مستقیم دارد. همچنین در ابتدای زمان پیرشدگی میزان جذب بیشتر از سایر زمانها گزارش شده است.

شین و همکاران^[15] به بررسی تاثیر پدیده پیرشدگی همدما بر خواص مکانیکی کامپوزیتهای اپوکسی با الیاف شیشه و فلز (FMLs) پرداختهاند. در این تحقیق دو نمونه کامپوزیتی به روش دستی تحت فشار خلأ ساخته و سپس به محیط شبیهساز پیرشدگی همدما (۱۳۰۰درجه سانتیگراد، هوا خشک) تا پنج هفته منتقل شده است. در نهایت آزمون خمشی و آزمون ضربه چارپی بر نمونههای قبل از آزمایش و بعد از آن برای بررسی تاثیر شرایط همدما بر خواص مکانیکی نمونهها، انجام شده است و نتایج تجربی از خواص خمشی و مقاومت به ضربه کامپوزیتهای شیشه- اپوکسی و ورقههای الیاف فلزی پس از ۲۰۸ ساعت و تحت دمای ۱۳۰۰درجه سانتیگراد با هم مقایسه شد. پس از انجام شبیهسازی، طول عمر نمونه کامپوزیتی شیشه- اپوکسی، کاهش ۱۶/۱۰% در مقاومت خمشی و

سنباربوسا و همکاران^[16]، اثرات پیرشدگی تسریعشده را بر طول عمر كامپوزيتهاى كربن- اپوكسى بررسى كردند. طبق مشاهدات آنها، این ماده در طول گذر زمان اُفت خواص پیدا میکند. نتایج بهدستآمده نشان داد که خواص ماتریسها بهخاطر قرارگرفتن در معرض اشعه فرابنفش، سیکل دمایی و محیطهای مرطوب دارای روند کاهشی است. آنها نمونههای کامپوزیتی را داخل یک محفظه محیطی در شرایط کنترل شده دمایی و رطوبتی و اشعه فرابنفش مورد آزمایش تسریعشده طول عمر قرار دادند و به کمک الكتروسكوپ مادون قرمز فوريه (FTIR)، آناليز ديناميكي (DMA) و تصوير ميكروسكوپ الكترونى روبشى (SEM) استحكام برشى بین لایهها، استحکام فشاری و تنوع جرم نمونهها را اندازهگیری کردند. طبق نتایج بهدست آمده، تغییرات قابل توجهی در خواص مکانیکی نمونهها مشاهده نشد، اگرچه اثرات آزمایش تسریعشده در نمونهها با کاهش جرم، قرارگرفتن الیاف خارج از ماتریس، واکنش شیمیایی، افزایش چگالی ترک در آزمونهای برشی بین لایهای و کمانش الیاف در نمونههای شکستهشده پس از آزمایش فشردهسازی، قابل مشاهده است

بررسی تاثیر پیرشدگی تسریعشده بر دمای انتقال شیشه و خواص مکانیکی کامپوزیت شیشه- وینیل استر توسط *شمسود/ها* و همکاران^[17] انجام گرفت. در آن، نمونه مورد آزمایش در محفظه تهویه مطبوع گرم، در معرض دمای ۵۰درجه سانتی گراد قرار داده شد. نتایج نشان داد که استحکام کششی و استحکام برشی نمونه در ادمای ۵۰درجه سانتی گراد در همان ابتدا کاهش یافته، اما مدول الاستیک آن بدون تغییر باقی مانده است. همچنین دمای انتقال شیشه نمونه ها قبل از انجام آزمایش ۱۰۰درجه سانتی گراد و بعد از انجام آزمایش به ۹۲درجه سانتی گراد کاهش یافت. در نهایت دمای متوسط انتقال شیشه نمونه ها نیز پس از روند پیرشدگی برابر با

در تحقیقاتی مشابه، تاثیر حضور نانوذرات در رفتار پیرشدگی کامپوزیتها مورد بررسی قرار گرفته که از مهمترین آنها میتوان به تحقیق *چانگ* و *چو*^[18] اشاره کرد. آنها با اضافه کردن نانوذرات خاک رس در کامپوزیتهای ترکیبی شیشه- اپوکسی در شرایط محیطی اشعه فرابنفش میزان کاهش خواص مکانیکی نمونهها را بررسی کردند. نتایج نشان داد که چقرمگی شکست نمونهها در معرض اشعه کاهش مییابد.

تاثیر پیرشدگی تسریعشده بر خواص مکانیکی (سختی و مقاومت خمشی) کامپوزیتهای ترکیبی با رزین اپوکسی و الیاف پارچهای کربن و شیشه، توسط *سانیل کومار* و همکاران^[19] انجام گرفت. در

۷۰۴ سیدعلی عظیمی و همکاران ـــ

آن سعی شده یک جایگزین مناسب برای الیاف کربن در قالب ترکیبی از الیاف کربن و شیشه ارایه شود. کامیوزیتهای تقویتشده با الیاف کربن دامنه متنوعی از کاربردها در زمینههای خودرو، هواپیما، سازههای دریایی و غیره را شامل میشوند. با وجود اینکه الیاف کربن نسبت به شیشه از استحکام بالاتری برخوردار هستند، اما هزینه بالای این الیاف موجب محدودیت در کاربرد آنها است. در روند تحقيق، چهار دسته نمونه كامپوزيت چند لايه با استفاده از پرکننده گرافیت ۵، ۱۰ و ۱۵% توسط روش دستی تهیه شده و سه مجموعه از نمونهها با محتوای مختلف پرکننده در دماهای ۴۰، ۶۰ و ۸۰درجه سانتیگراد به مدت ۳۰۰ ساعت قرار داده شدهاند. نتایج نشان میدهد که نمونههای ۵ و ۱۰% پرکننده گرافیت نسبت به نمونههایی با پرکننده گرافیت ۱۵% دارای استحکام خمشی بیشتری هستند. همچنین میزان افزایش پرکننده از ۱۰ تا ۱۵% بر خواص اتصال رزین و فیبرها اثر گذاشته و منجر به کاهش استحکام نمونهها شده است. حداکثر مقدار استحکام خمشی برای پرکننده ۵% و پرکننده ۱۵% بهترتیب برابر با ۳۷۵/۸۲۵ و ۷۹۸مگاپاسکال گزارش شده است.

کوان و همکاران^[20]، پیرشدگی حرارتی را بر کامپوزیت شیشه-اپوکسی با نانوذرات سیلیکاتی SiC و SiO مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که نمونههای حاوی SiC مقاومت بیشتری در مقابل پیرشدگی حرارتی و همچنین خواص مکانیکی بالاتری در مقایسه با نمونههای حاوی SiO از خود نشان میدهند.

با بررسی مطالعات پیشین، میتوان چنین جمعبندی کرد که طول عمر کامپوزیتها طی فرآیندهای پیرشدگی تحت شرایط مختلف محیطی از قبیل محیطهای مرطوب، محیطهایی با دماهای بالا و یا حتی ترکیب همزمان این اثرات با یکدیگر متغیر و به نوع مواد تشکیلدهنده آن از قبیل رزین (اپوکسی، وینیلاستر و پلیاستر) و تقویتکننده (شیشه، کربن و کولار) و جهت آنها وابسته است. با توجه به نوع کاربرد کامپوزیتها، شرایط محیطی باعث تغییر خواص مکانیکی مانند استحکام کششی، مقاومت خمشی و تغییرات استحکام به ضربه و غیره نیز میشود. با توجه به اهمیت پیرشدگی در کامپوزیتهای شیشه- اپوکسی تحت شرایط هیدروترمال و همچنین استفاده از خاک رس بهمنظور افزایش طول عمر این

۲- شرح مساله

با توجه به اهمیت کامپوزیتها و گسترش کاربرد آنها در صنایع مختلف، امروزه مساله پیرشدگی در این مواد بحثی گلوگاهی بهشمار میرود. در بسیاری از موارد، کامپوزیتها انتخاب مناسبتری نسبت به دیگر مواد هستند، ولی با توجه به حساسبودن آنها در مقابل شرایط محیطی از آنها کمتر استفاده میشود. در این تحقیق، بهمنظور بهبود علمکرد نمونههای کامپوزیت شیشه- اپوکسی تحت شرایط پیرشدگی شتابزده دما و رطوبت، از ذرات نانورُس به میزان ۳% استفاده شده است.

۳- روش تحقیق

مواد اولیه مورد استفاده در این تحقیق عبارتاند از: رزین ایوکسی با نام تجاری Araldite LY556، سختكننده متیلتتراهیدروفتالیکایدرید با نام تجاری HY917 و شتابدهندهای با نام تجاری DY070 از شرکت سیباگایگی؛ ماده زمینه بهترتیب با درصدهای وزنی ۱۰۰گرم رزین، ۹۰گرم سختکننده و ۱۰گرم شتابدهنده تهیه شده است. برای تقویتکننده از پارچه ۲۰۰ گرمی شیشه با بافت پلین از شرکت وتروتکس (Vetrotex) استفاده شده است. همچنین برای بررسی بهبود تاثیر ذرات نانو بر رفتار ماده، از پودر نانورُس مونتموريلونيت (Montmorillonite) نیز استفاده شده است. نمونههای این آزمون، طبق استاندارد ASTM D3039 ساخته و مورد آزمون کشش قرار گرفته است. این استاندارد برای تعیین خواص کششی درون صفحهای کامپوزیتهای پلیمری تقویت شده با الیاف مدول بالا است. طبق این استاندارد، نمونههای آزمون باید بهصورت مستطیلی باشند. این استاندارد برای حرکت به سمت یکسانسازی ابعاد در دنیا، پیشنهاداتی نیز ارایه نموده است. طبق این استاندارد ابعاد نمونهها شامل ضخامت، طول و پهنا به مقدار ۲۵×۲۵۰×۲/۵میلیمتر است. برای ساخت نمونههای آزمون کشش، ابتدا دو لمینیت مجزا با تعداد ۱۶ لایه شیشه، با زاویه الیاف صفر و ۹۰درجه بهصورت دستی لایهچینی شده است. رزینهای بهکاررفته در این لایه چینی به دو صورت آماده شدند: در حالت اول، رزین LY556 و سختکننده HY917 با نسبت وزنی رزین به سختکننده ۳۸/۱۰۰ و بدون پودر نانو با یکدیگر ترکیب شدند. در حالت دوم با توجه به هوا پختبودن رزین مورد استفاده، ابتدا ۳درصد وزنی رزین و سختکننده پودر نانورُس به رزین LY556 اضافه شده و توسط همزن برقی و دستگاه امواج التراسونیک به مدت ۲ ساعت مخلوط شده است. در مرحله بعد سخت کننده HY917 اضافه شده و به مدت ۱۵ دقیقه اختلاط ادامه یافت تا رزین مورد استفاده در نمونههای حاوی نانورُس آماده شود (شکل .()



شکل ۱) ترکیب پودر نانو توسط دستگاه همزن اولتراسونیک

در مرحله بعد، ساخت نمونهها با استفاده از فرآیند لایه چینی و کیسه خلاً انجام شده است. پس از اتمام لایهچینی هر دو لمینیت،

نمونهها توسط کیسه و پمپ خلأ تحت فشار ناشی از خلأ، در دمای محیط پخته شدند (شکل ۲). بهمنظور همانندسازی شرایط و حذف دخالت عوامل ناشی از تغییر فرمولبندی و شرایط ساخت، پخت و برشکاری، تهیه تمام نمونهها در یک مرحله انجام شد و سعی شد تا شرایط ساخت نمونهها در حد امکان مشابه باشد.



شکل ۲) ساخت لمینیت کامپوزیت

پس از پخت کامل لمینیت کامپوزیتی (شکل ۳)، از هر کدام از آنها سه نمونه (در مجموع ۶ عدد) طبق ابعاد پیشنهادی استاندارد توسط دستگاه CNC برش داده شدهاند (شکل ۴). نمونهها پس از چسباندن تب (Tab) در دو انتهای آنها (شکل ۵) آماده آزمون کشش شدند. اضافه کردن تب در ناحیه گیرههای دستگاه کشش، با هدف کاهش تمرکز تنش در آن نواحی انجام گرفته است. آزمون کشش نمونهها انجام گرفت. طی آزمون، یک سنسور کرنش سنج (اکستنسیومتر) انجام گرفت. طی آزمون، یک سنسور کرنش سنج (اکستنسیومتر) ۶). همچنین نمونههای بدون پودر نانو و حاوی پودر نانو مربوط به پیرشدگی شتابزده در دستگاه انکوباتور در معرض شرایط محیطی نسبی ه۰۹ (طبق استادارد دفاعی ایران (ه۱۵۰)؛ به مدت ۵۰۰ تازمون کشش گرفته شده است.



شکل ۳) لمینیت پختشده حاوی پودر نانو (الف) و بدون پودر نانو (ب)



شکل ۴) برشکاری نمونههای کپن تست برای آزمون کشش توسط دستگاه CNC



شکل ۵) نمونههای آزمون کشش حاوی پودر نانو همراه تب (الف) و فاقد پودر نانو همراه تب (ب)



شکل ۶) دستگاه آزمون کشش همراه با اکستنسیومتر

۴- نتایج و بحث

در نمودار ۱، نتایج ارزیابی آزمون کشش شامل نمودار تنش- کرنش نمونههای کامپوزیت فاقد نانوذرات قابل مشاهده است. میزان استحکام نهایی در نمونههای کامپوزیتی فاقد پودر نانو در جدول ۱، نتایج ارزیابی آزمون کشش شامل نمودار تنش-کرنش نمونههای کامپوزیت حاوی ۳% نانوذرات در نمودار ۲ و میزان استحکام نهایی در نمونههای کامپوزیتی حاوی پودر نانو در جدول ۲ قابل مشاهده است. همان گونه که از مشاهده نتایج خواص دیده میشود، اضافهکردن پودر نانورُس باعث کاهش استحکام کامپوزیت به میزان



نمودار ۱) نمودار تنش- کرنش نمونههای کامپوزیت فاقد نانوذرات

Volume 20, Issue 3, March 2020 www.SID.ir

Modares Mechanical Engineering

۷۰۶ سیدعلی عظیمی و همکاران



نمودار ۲) نمودار تنش- کرنش نمونههای کامپوزیت حاوی نانوذرات

جدول ۲) مقادیر استحکام کششی برای کامپوزیت حاوی نانوذرات

استحکام نهایی (MPa)	نمونه
F99/908	1
<i></i> КЛҮ\ЛҮА	۲
ሥለ۵/۲ሥዮ	٣
rf1/97X	ميانگين

نمونههای کامپوزیت شیشه- اپوکسی فاقد پودر رس بعد از قرارگیری تحت شرایط محیطی شتابزده، مورد ارزیابی آزمون کشش قرار گرفتند که نمودار تنش- کرنش این نمونهها در نمودار ۳ و میزان استحکام نهایی در نمونههای کامپوزیتی فاقد پودر نانو بعد از ییرشدگی شتابزده در جدول ۳ قابل مشاهده است. نمونههای کامپوزیت شیشه- اپوکسی حاوی ۳% پودر نانورُس بعد از قرارگیری ۵۰۰ ساعت تحت شرایط محیطی شتابزده، مورد ارزیابی آزمون کشش قرار گرفتند که نمودار تنش- کرنش این نمونهها در نمودار ۴ و میزان استحکام نهایی در نمونههای کامیوزیتی حاوی ۳% یودر نانو بعد از ۵۰۰ ساعت پیرشدگی شتابزده در جدول ۴ قابل مشاهده است.



نمودار ۳) نمودار تنش- کرنش نمونههای کامپوزیت فاقد نانوذرات تحت ۵۰۰ ساعت پیرشدگی شتابزدہ

جدول ۳) مقادیر استحکام کششی برای کامپوزیت فاقد نانوذرات خاک رس تحت ۵۰۰ ساعت پیرشدگی شتابزده

استحکام نهایی (MPa)	نمونه
418/424	1
F1°\A1k	۲
WNF/D9F	٣
۴°4/۷۵۶	میانگین



نمودار ۴) نمودار تنش- کرنش نمونههای کامپوزیت حاوی نانوذرات تحت ۵۰۰ ساعت پیرشدگی شتابزده

جدول ۴) مقادیر استحکام کششی برای کامپوزیت حاوی نانوذرات خاک رس تحت ۵۰۰ ساعت پیرشدگی شتابزده

استحکام نهایی (MPa)	نمونه
K1K/95M	1
<u> </u>	۲
m1d/Akk	٣
WYY/W88	میانگین

در نمودار ۵، مقایسهای بین استحکام کششی نمونههای فاقد و حاوی نانوذرات خاک رس، قبل و بعد از پیرشدگی شتابزده قابل مشاهده است. میزان اُفت استحکام کششی به دلیل وابستهبودن ضخامت نمونهها، سطح تماس با بخار و دمای القاشده در انکوباتور مرتبط با میزان جذب رطوبت است. قرارگیری در این گونه محیطها، در کوتاهمدت باعث عملآوری و پخت نمونهها میشود که این امر علاوهبر کاهش تنشهای باقیمانده در کامپوزیتها، میزان استحکام کششی را نیز افزایش میدهد. میزان اُفت خواص برای کامپوزیتها، صرفنظر از اثر شرایط محیطی، به نوع رزین و تقویتکننده نیز بستگی دارد. همچنین الیاف شیشه به دلیل آبدوستبودن، میزان بیشتری از رطوبت محیط را به خود جذب میکنند که این امر موجب کاهش خواص مکانیکی در نمونههای کامپوزیتی شیشه اپوکسی میشود. همان گونه که از مشاهده نتایج خواص دیده میشود، اضافه کردن پودر نانو باعث کاهش روند کاهش استحکام در کامپوزیت شیشه- اپوکسی در زمان ۵۰۰ ساعت پیرشدگی شتابزده به میزان ۹% می شود. تاثیر نانوذرات خاک رس بر افزایش طول عمر کامیوزیت شیشه- ایوکسی در شرایط محیطی... ۲۰۷

منابع مالی: موردی توسط نویسندگان بیان نشده است.

منابع

1- Sell CG, McKenna GB. Influence of physical ageing on the yield response of model DGEBA/poly (propylene oxide) epoxy glasses. Polymer. 1992;33(10):2103-2113. 2- Leveque D, Schieffer A, Mavel A, Maire JF. Analysis of how thermal aging affects the long-term mechanical behavior and strength of polymer-matrix composites. Composites Science and Technology. 2005;65(3-4):395-401.

3- Kawakami H, Souda K, Nanzai Y. Relaxation phenomenon in epoxy glass aged under post-yield strain. Polymer Engineering & Science. 2006;46(5):630-634.

4- Hu HW. Physical aging in long term creep of polymeric composite laminates. Journal of Mechanics. 2007;23(3):245-252.

5- Shi X, Fernando BMD, Croll SG. Concurrent physical aging and degradation of crosslinked coating systems in accelerated weathering. Journal of Coatings Technology and Research. 2008;5(3):299-309.

6- Ozcelik O, Aktas L, Altan MC. Thermo-oxidative degradation of graphite/epoxy composite laminates: Modeling and long-term predictions. Express Polymer Letters. 2009;3(12):797-803.

7- Jiang X, Kolstein H, Bijlaard FS. Moisture diffusion and hygrothermal aging in pultruded fibre reinforced polymer composites of bridge decks. Materials & Design. 2012;37:304-312.

8- Alessi S, Pitarresi G, Spadaro G. Effect of hydrothermal ageing on the thermal and delamination fracture behaviour of CFRP composites. Composites Part B: Engineering. 2014;67:145-153.

9- Jiang X, Kolstein H, Bijlaard F, Qiang X. Effects of hygrothermal aging on glass-fibre reinforced polymer laminates and adhesive of FRP composite bridge: Moisture diffusion characteristics. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2014;57:49-58.

10- Fan W, Li JL, Guo D. Effect of thermo-oxidative aging on three-dimensional and four-directional braided carbon fiber/epoxy composite. Journal of Composite Materials. 2015;49(25):3189-3202.

11- Jiang X, Song J, Qiang X, Kolstein H, Bijlaard F. Moisture absorption/desorption effects on flexural property of glass-fiber-reinforced polyester laminates: Three-point bending test and coupled hygro-mechanical finite element analysis. Polymers. 2016;8(8):290.

12- Sugiman S, Putra IK, Setyawan PD. Effects of the media and ageing condition on the tensile properties and fracture toughness of epoxy resin. Polymer Degradation and Stability. 2016;134:311-321.

13- Di Filippo M, Alessi S, Pitarresi G, Sabatino MA, Zucchelli A, Dispenza C. Hydrothermal aging of carbon reinforced epoxy laminates with nanofibrous mats as toughening interlayers. Polymer Degradation and Stability. 2016;126:188-195.

14- Li Y, Xue B. Hydrothermal ageing mechanisms of unidirectional flax fabric reinforced epoxy composites. Polymer degradation and stability. 2016;126:144-158.

15- Shin KB, Kim CG, Hong CS. Correlation of accelerated aging test to natural aging test on graphite-epoxy composite materials. Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2003;22(9):849-861.

16- Cysne Barbosa AP, Fulco AP, Guerra ES, Arakaki FK, Tosatto M, Costa MC, et al. Accelerated aging effects on







نمودار ۵) نمودار استحکام کششی نمونههای کامپوزیت حاوی و فاقد نانوذرات خاک رس قبل و بعد از پیرشدگی شتابزده

۵- نتیجهگیری

در این تحقیق بهمنظور افزایش طول عمر کامپوزیتهای شیشه-اپوکسی از ذرات نانورُس با ۳درصد حجمی استفاده شد. نمونههایی حاوی و فاقد یودر نانورُس به مدت ۵۰۰ ساعت تحت پیرشدگی شتابزده قرار گرفتند. نتایج این تحقیق نشان داد که استحکام نمونههای کامپوزیت شیشه- اپوکسی فاقد نانو ذارت رس که در شرایط پیرشدگی قرار نداشتند، نسبت به قطعات تحت شرایط محیطی شتابزده همدما شامل دمای ۶۰درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۹۰% به مدت ۵۰۰ ساعت، حدود ۲۶% کاهش پیدا کرده است. همچنین استحکام نمونههای کامیوزیت شیشه- ایوکسی حاوی نانوذارت رس که در شرایط پیرشدگی قرار نداشتند، نسبت به نمونههای تحت شرایط محیطی شتابزده همدما شامل دمای ۶۰درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۹۰% به مدت ۵۰۰ ساعت، حدود ۱۷% کاهش پیدا کرده است. علت اصلی اُفت خواص کامیوزیت در آزمون کشش، جدایش فاز پیوسته (ماتریس) و ناپیوسته (تقویت کننده) در نمونههای کامیوزیتی است. طبق استاندارد مذکور این شرایط محیطی تاثیرات بالقوهای بر نمونههای کامیوزیتی شیشه- ایوکسی ایجاد کرده است. بنابراین اضافه کردن نانوذرات خاک رس باعث بهبود شرایط طول عمر کامیوزیت شیشه- ایوکسی به میزان ۹% شده است.

تشکر و قدردانی: موردی توسط نویسندگان بیان نشده است. **تاپیدیه اخلاقی:** موردی توسط نویسندگان بیان نشده است. تعارض منافع: موردی توسط نویسندگان بیان نشده است.

سهم نویسندگان: سیدعلی عظیمی (نویسنده اول)، یژوهشگر اصلی (۳۰%)؛ وحید مومنی (نویسنده دوم)، پژوهشگر اصلی (۱۵%)؛ محمدحسین علائی (نویسنده سوم)، پژوهشگر اصلی (۱۵%)؛ امین میرزایی (نویسنده چهارم)، یژوهشگر کمکی (۱۰%)؛ مهران رضوانینسب (نویسنده پنجم)، پژوهشگر کمکی (۱۰%)؛ مجید رمضانینژاد (نویسنده ششم)، نگارنده بحث (۱۰%)؛ امیرحسین محمدیان (نویسنده هفتم)، روششناس (۱۰%)

19- Sunil Kumar S, Londe NV, Saviraj AS, Kannanth V. Effect of accelerated ageing on hardness and flexural behaviour of woven fabric glass/carbon hybrid epoxy composites. Materials Today: Proceedings. 2017;4(10):10751-10756.

20- Kwon DJ, Shin PS, Kim JH, Baek YM, Park HS, Lawrence DeVries K, et al. Interfacial properties and thermal aging of glass fiber/epoxy composites reinforced with SiC and SiO2 nanoparticles. Composites Part B: Engineering. 2017;130:46-53. carbon fiber/epoxy composites. Composites Part B: Engineering. 2017;110:298-306.

17- Shamsuddoha M, Djukic LP, Islam MM, Aravinthan T, Manalo A. Mechanical and thermal properties of glass fiber-vinyl ester resin composite for pipeline repair exposed to hot-wet conditioning. Journal of Composite Materials. 2017;51(11):1605-1617.

18- Chang LN, Chow WS. Accelerated weathering on glass fiber/epoxy/organo-montmorillonite nanocomposites. Journal of Composite Materials. 2010;44(12):1421-1434.