



بررسی استحکام کششی و پایداری حرارتی نانوکامپوزیت‌های پایه پلیمری به منظور استفاده در کانتینرهای حمل سوخت مصرف شده

محمدامین کیانی^{(۱)*}، سید جواد احمدی^(۲)، رضا چم کلانی^(۳)

سازمان انرژی اتمی، شرکت مهندسی مشاور افق هسته ای

سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای

سازمان انرژی اتمی، شرکت پیشرو

چکیده:

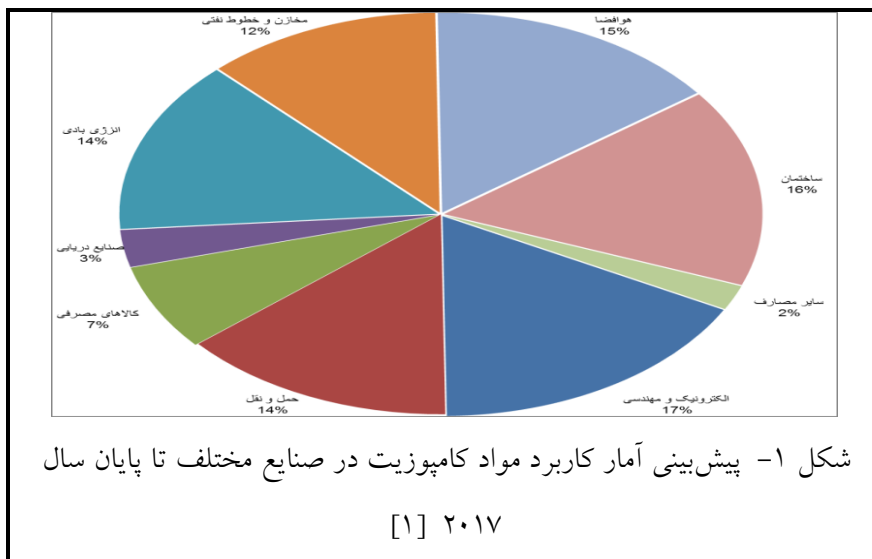
امروزه استفاده از کامپوزیت‌ها و نانوکامپوزیت‌ها برای حفاظ سازی پرتوها استفاده‌ی گسترده‌ای پیدا کرده است، و اغلب شرکت‌ها و دانشگاه‌ها در سراسر جهان تحقیقات گسترده‌ای را بر روی این مواد متمرکز کرده‌اند. از این جمله می‌توان به کامپوزیت‌های پلیمر - بور اشاره کرد. عنصر بور به دلیل خصوصیتی مانند سطح مقطع جذب بالای نوترون، در دسترس بودن ترکیبات آن به یک عنصر منحصربه‌فرد تبدیل شده است. در بین پلیمرها نیز اپوکسی به خاطر حضور عنصر سبک هیدروژن در ساختار آن می‌تواند باعث کند شدن نوترون‌های سریع شود. در این تحقیق به بررسی استحکام کششی و پایداری حرارتی نانوکامپوزیت اپوکسی - کاربید بور - سیلیکات لایه ای به عنوان حفاظ نوترونی کانتینرهای حمل سوخت مصرف شده پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهند که با افزودن ۳ درصد نانوذرات سیلیکات لایه ای، استحکام کششی به بیشترین مقدار خود رسیده و در ادامه با افزایش این مقادیر روند کاهش استحکام کششی آغاز می‌گردد. همچنین افزودن ذرات کاربید بور به ترتیب سبب کاهش در استحکام کششی نانوکامپوزیت می‌گردد. نتایج آنالیز TGA در دمای 40% T نیز افزایش ۱۰ درصدی پایداری حرارتی در نانوکامپوزیت‌های حاوی کاربید بور نسبت به نمونه‌ی بدون کاربید بور را بدست می‌دهد.

کلمات کلیدی: پلیمر، پایداری حرارتی، سوخت مصرف شده، استحکام مکانیکی

مقدمه

امروزه نیاز صنعت به داشتن موادی با خواص ترکیبی امری غیرقابل انکار و مشهود است. متأسفانه اغلب مواد مصنوعی یا طبیعی در فرم خالص خود دارای چنین ترکیبی از خواص نیستند و بنابراین مخلوط سازی چند ماده به منظور دستیابی به خواص مورد نظر اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. کامپوزیت‌ها موادی سبک، مقاوم در برابر خوردگی و ضربه، دارای مقاومت خستگی عالی، مستحکم و بادوام‌اند و به روش‌های مختلفی قابل تبدیل به یک محصول یا یک قطعه می‌باشند. این مواد امکان ساخت مواد با خواص مکانیکی بالا را در عین حالی که وزن پائینی دارند فراهم می‌کنند، مقاومت طولانی مدتی را هنگام کار در محیط‌های شیمیایی ارائه می‌دهند، از انعطاف‌پذیری مناسبی در طراحی برخوردارند و به سرمایه‌گذاری نسبتاً کم جهت تولید این مواد نیاز است. انتظار می‌رود که تا پایان سال ۲۰۱۷ با نرخ افزایش مصرف سالانه 7 درصد، ارزش بازار مواد اولیه‌ی این صنعت به ۲۹/۹ میلیارد دلار برسد که محصولات نهایی مورد استفاده از این مواد اولیه ارزشی معادل ۸۵ میلیارد دلار خواهند داشت [۱] که ترکیب بازار

جهانی استفاده آن در صنایع مختلف به صورت نشان داده شده در شکل ۱ می باشد. از این جمله می توان به کامپوزیت های پلیمر - بور اشاره کرد. عنصر بور به دلیل خصوصیتی مانند سطح مقطع جذب بالای نوترون ، در دسترس بودن ترکیبات آن به یک عنصر منحصر به فرد تبدیل شده است. در بین پلیمرها نیز اپوکسی به خاطر حضور عنصر سبک هیدروژن در ساختار آن می تواند باعث کند شدن نوترون های سریع شود. در این تحقیق به بررسی استحکام مکانیکی و پایداری حرارتی نانوکامپوزیت اپوکسی /کاربید بور /سیلیکات لایه ای که به اختصار "ESLCB" نامیده می شود، به عنوان یک حفاظ هسته‌ای پرداخته شده است که در مواردی همچون حفظ سلامت کارکنان ، استفاده جهت جذب نوترون در راکتور های هسته‌ای ، استفاده در ساخت کانتینرهای حمل و نگهداری سوخت های مصرف شده ، حفاظ سازی چشمه های نوترونی ، استفاده در سفینه های فضایی جهت مقابله با اشعه های کیهانی به کار می رود .

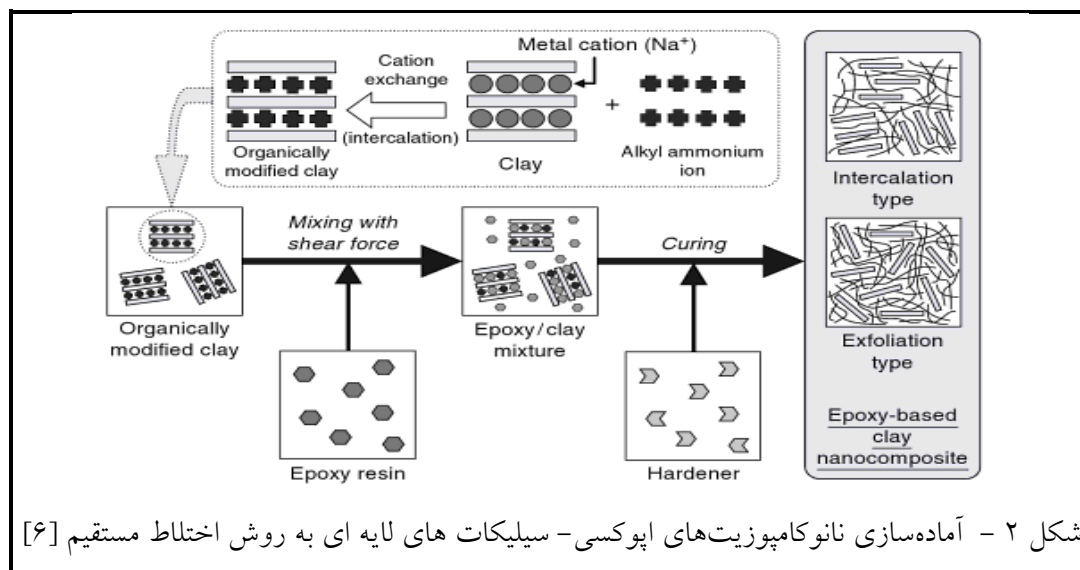


معمولاً برای سنتز نانوکامپوزیت های پلیمر / سیلیکات های لایه ای "ESL"، از سیلیکات های لایه ای، "SL"، استفاده می شود که از خانواده های کلی سیلیکات های لایه ای ۲:۱ یا فیلو سیلیکات ها هستند. ساختار بلوری آن ها شامل دو لایه تتراهدرال از اتم های سیلیکون است که در وسط آن یک لایه اکتاهدرال متشکل از هیدروکسید های آلومینیم یا منیزیم قرار گرفته است. ضخامت لایه ها حدود یک نانومتر بوده و عرض آنها بسته به نوع لایه سیلیکات حدود ۳۰ نانومتر تا چند میکرومتر یا بیشتر است. در بین پرکننده های معدنی پلیمرها، "SL" به دلیل پخش به صورت لایه های مجزا و قابلیت تعویض یون با کاتیون های آلی و غیر آلی تأثیر بیشتری در بهبود خواص پلیمر ایجاد می نمایند . بنابراین مهم ترین دلیل بهبود خواص از برهم کنش قوی تر و بیشتر بین پلیمر و "SL" ناشی می شود و انتظار می رود نانوکامپوزیت "ESL" خواص مکانیکی، شیمیایی، حرارتی و مقاومت به پرتو مناسب تری نسبت به کامپوزیت معمولی و رزین خالص داشته باشند.

روش کار:

پلیمر مورد استفاده در این تحقیق رزین اپوکسی می باشد که یک رزین ترموست است. این رزین و عامل پخت مورد استفاده، از تولیدات شرکت سیکومین فرانسه می باشند. برای تهیه نانوکامپوزیت، از نانو ذرات سیلیکات لایه ای با نام مونت موریلونیت اصلاح شده با آلکیل آمونیم استفاده شده است.

روش فراوری نانوکامپوزیت بر مورفولوژی سیلیکات های لایه ای که به اختصار "SL" نامیده می شود، در اپوکسی تأثیر مستقیم دارد. در آماده سازی نانوکامپوزیت های "SL" زمانی که زمینه پلیمری در آنها از نوع اپوکسی است از دو روش استفاده می کنند: اول استفاده از نیروی مکانیکی جهت توزیع "SL" در زمینه که می تواند از نوع برشی یا فشاری [۲-۴] باشد که در شکل ۲ نشان داده شده و در این تحقیق نیز مورد استفاده قرار گرفته است و دوم اختلاط نانوذرات "SL" و اپوکسی در یک حلال مانند استن در فشار بالا و در نهایت تبخیر حلال در محیط خلأ، به دلیل اینکه فاصله بین لایه های "SL" قبل از اختلاط با زمینه پلیمری افزایش می یابد، سبب توزیع و پراکندگی بهتر این لایه ها در زمینه اپوکسی شده، نهایتاً خواص نانوکامپوزیت حاصل نسبت به روش اول، بیشتر بهبود می یابد [۵].



شکل ۲ - آماده سازی نانوکامپوزیت های اپوکسی - سیلیکات های لایه ای به روش اختلاط مستقیم [۶]

پایداری حرارتی:

در این تحقیق به منظور تعیین پایداری حرارتی نانوکامپوزیت تولیدی و مقدار خاکستر در آنها از آزمون گرمایزن سنجی (TGA) استفاده شد. دستگاه مورد استفاده برای این منظور DTG-50 طبق استاندارد ASTM D3895-95 می باشد. همچنین اتمسفر به کار رفته در این تحقیق به منظور آنالیز TGA آرگون می باشد که دمای محفظه از ۲۵ تا ۷۰۰ درجه ی سانتی گراد با نرخ ۱۰ درجه ی سانتی گراد به ازای هر دقیقه افزایش می یابد و رفتار حرارتی نمونه ی نانو کامپوزیتی از نتایج اندازه گیری این دستگاه، قابل تحلیل خواهد بود.

استحکام کششی:

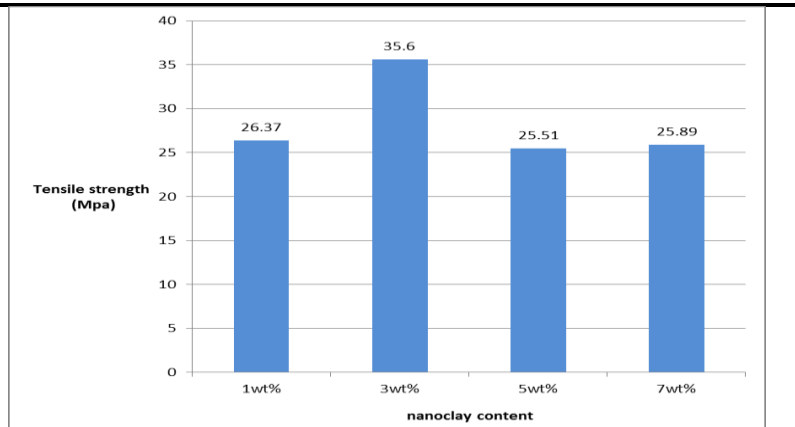


آزمون استحکام کششی نیز روشی برای تعیین رفتار مواد به هنگام اعمال نیروی کششی محوری می‌باشد. از نتایج حاصل از آزمون برای تعیین محدوده‌ی الاستیک و پلاستیک، ازدیاد طول، مدول الاستیک (یانگ)، استحکام کششی، نقطه تسلیم، استحکام در نقطه تسلیم و دیگر ویژگی‌های کششی استفاده می‌شود. روش آزمون استحکام کششی نانوکامپوزیت مذکور در این تحقیق بر اساس استاندارد های ASTM D638 و ISO 527 انجام شده است. سرعت کشش نیز پنج میلی‌متر بر دقیقه (بر اساس استاندارد ASTM D638) انتخاب شده است. با اعمال کشش بر روی مواد، به سرعت می‌توان دریافت که ماده چگونه در مقابل نیروهای اعمالی رفتار می‌کند. همچنان که ماده تحت کشش قرار می‌گیرد، می‌توان استحکام و ازدیاد طول آن را اندازه‌گیری کرد. در اغلب آزمون‌های کششی مواد، ملاحظه می‌شود که در بخش ابتدایی آزمون، رابطه بین نیروی اعمالی و ازدیاد طول در منحنی تنش- کرنش به صورت خطی است و از قانون هوک تبعیت می‌کند. در این ناحیه، نسبت تنش به کرنش ثابت است.^۱

نتایج :

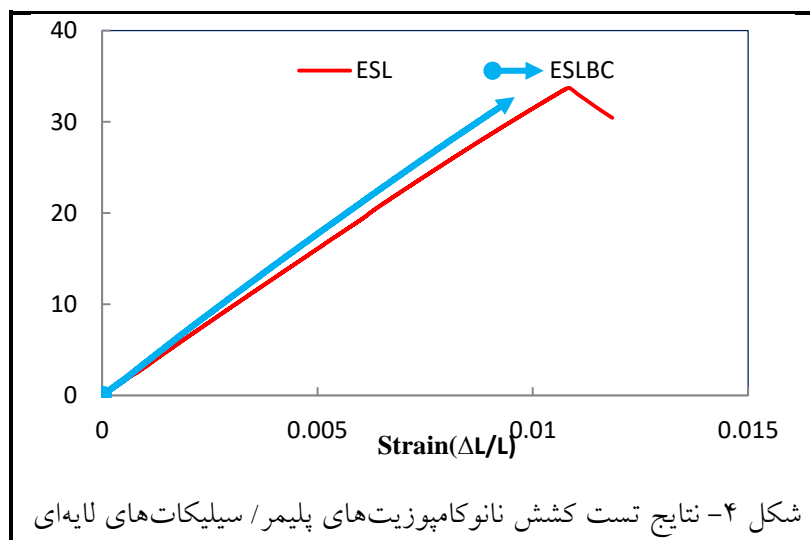
شکل ۳ خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌های "ESL" که حاوی درصد های مختلف از نانوذرات "SL" می‌باشند، را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در ۳ درصد وزنی از این ذرات شاهد بالاترین استحکام کششی هستیم که افزایش حداقل ۳۵ درصدی را نسبت به نمونه‌های ۱، ۵ و ۷ درصد وزنی نانوذرات را نشان می‌دهد. در توجیه روند تغییر استحکام کششی با افزودن نانوذرات اصلاح شده به زمینه‌ی اپوکسی می‌توان گفت در نمونه‌ی ESL3 چون حالت ورقه‌ای رخ داده است، به علت برهم‌کنش قوی که بین زمینه‌ی پلیمری و نانوذرات سیلیکات لایه ای به وجود می‌آید، شاهد بهبود استحکام کششی هستیم. روند کاهش استحکام کششی در نمونه‌ی ESL5 و ESL7 می‌تواند به علت توزیع غیریکنواخت نانوذرات در زمینه‌ی پلیمر باشد، در عین حالی که فاصله‌ی بین "SL" افزایش یافته است؛ کاهش در استحکام می‌تواند علاوه بر وجود تجمعات "SL" در قسمت‌هایی از زمینه پلیمری، ناشی از تفاوت در سرعت واکنش پخت در بین لایه‌ها و بیرون لایه‌های سیلیکات نیز باشد. به عبارت دیگر تنها با رسیدن به حالت ورقه‌ای است که نانوکامپوزیت می‌تواند نسبت به سایر نمونه‌ها افزایش قابل توجهی در خواص مکانیکی ایجاد نماید. بنابراین ۳ درصد وزنی از نانوذرات به عنوان درصد بهینه موجود در نانوکامپوزیت انتخاب می‌شود.

^۱ در این تحقیق خصوصیات مکانیکی و حرارتی نانوکامپوزیت‌ها بدست آمده اما فرایند بررسی و مطالعات مورفولوژی و میزان بهره‌وری این نانوکامپوزیت‌ها با توجه به محدودیت موجود در تعداد صفحات، در این مقاله ذکر نشده‌اند.



شکل ۳- نتایج تست کشش نانوکامپوزیت‌های پلیمر/ سیلیکات‌های لایه‌ای با درصدهای مختلف سیلیکات‌های لایه‌ای

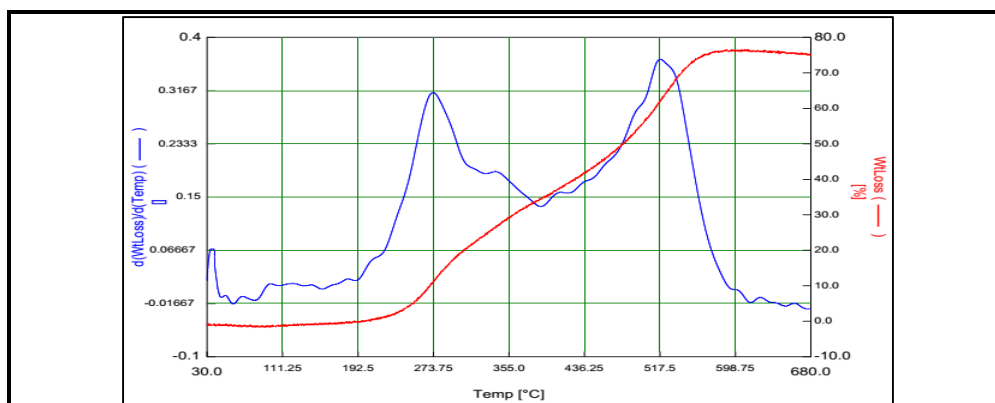
در این تحقیق از کاربرد بور ۵ درصد وزنی به منظور جذب نوترون‌های حرارتی استفاده شد. نتایج آزمون استحکام کششی نمونه‌ها نشان می‌دهد (شکل ۴) که استفاده از ذرات کاربرد بور باعث کاهش در استحکام کششی نانوکامپوزیت می‌شود به طوری که در نمونه‌ی ۵ درصد وزنی از کاربرد بور شاهد کاهش ۸ درصدی استحکام می‌باشیم. کاهش استحکام می‌تواند به چند دلیل باشد؛ اول اینکه استفاده از ذرات کاربرد بور با اندازه‌ی حدود ۵ میکرومتر که بسیار بزرگ‌تر از اندازه‌ی ذرات "ESL" می‌باشد، سطح تماس ذرات پرکننده با زمینه‌ی پلیمر را کاهش می‌دهد. دوم اینکه با افزایش درصد کاربرد بور در نانوکامپوزیت علاوه با کاهش بیشتر سطح تماس با پلیمر، ممکن است باعث تجمع و به هم چسبیدگی ذرات در قسمت‌هایی از زمینه شود که از جمله عوامل افت استحکام مکانیکی محسوب می‌گردد.



شکل ۴- نتایج تست کشش نانوکامپوزیت‌های پلیمر/ سیلیکات‌های لایه‌ای

اندازه گیری میزان پایداری حرارتی:

با توجه به اینکه تعیین پارامترهای مورد نیاز برای تعیین پایداری حرارتی به وسیله‌ی نمودارهای TGA قدری دشوار است، به منظور سهولت دستیابی به این پارامترها، از اعداد به دست آمده در آزمون TGA مشتق‌گیری عددی شده و پارامترهای مورد نیاز برای تعیین پایداری حرارتی با استفاده از منحنی DTG به دست آمده و گردآوری و رسم شده‌اند. با توجه به منحنی‌های DTG تخریب دو مرحله‌ای نانوکامپوزیت‌ها در اثر حرارت را، می‌توان به وجود حلقه‌های بنزنی در ساختار رزین و عامل پخت نسبت داد؛ بدین صورت که در دمای بیشینه‌ی تخریب اول زنجیره‌ها و شبکه‌های متصل به هم موجود در زمینه‌ی نانوکامپوزیت از هم گسیخته شده و در دمای بیشینه‌ی تخریب دوم زنجیرهای کوچکی که در ساختارشان حلقه‌ی بنزنی وجود دارد تخریب می‌شوند.



شکل ۵- منحنی‌های TGA-DTG نانوکامپوزیت‌های اپوکسی/کاربید بور/ سیلیکات لایه ای

اگر بخواهیم تأثیر افزودن ذرات کاربید بور را بر پایداری حرارتی نانوکامپوزیت‌ها بررسی کنیم باید با توجه به نمودارهای TGA (شکل ۵) به بررسی درصد کاهش جرم نانوکامپوزیت‌ها در دماهای مختلف پردازیم. با توجه به جدول ۱ پایداری حرارتی در نانوکامپوزیت‌های "ESLCB" نسبت به نمونه‌های "ESL" در دمای $T_{40\%}$ ، یعنی دمایی که در آن ۴۰ درصد وزنی نانوکامپوزیت تجزیه می‌شود، حدود ۱۰ درصد افزایش داشته است. همچنین پایداری حرارتی در دمای $T_{70\%}$ ، یعنی دمایی که در آن ۷۰ درصد وزنی نانوکامپوزیت تجزیه می‌شود، حدود ۳۱ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش یافته است، ضمن اینکه در سایر دماها نیز پایداری حرارتی افزایش پیدا کرده است. نکته‌ی دیگر اینکه درصد وزن باقیمانده در دمای ۷۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد مربوط به نانوکامپوزیت "ESLCB" نسبت به نمونه‌های ESL نیز افزایش یافته است. همانطور که در جدول شماره ۱ نشان داده شده است در دمای ۷۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد وزن باقیمانده نانوکامپوزیت "ESLCB" حدود ۲۵/۴۷ درصد می‌باشد که حدود ۱۵۴ درصد بیشتر از نمونه‌های بدون کاربید بور می‌باشد.

جدول ۱ - نتایج بدست آمده از منحنی‌های TGA-DTG برای نانوکامپوزیت‌های "ESL" و "ESLCB"

کد نمونه	$T_{30\%}$ (°C)	$T_{40\%}$ (°C)	$T_{50\%}$ (°C)	$T_{60\%}$ (°C)	$T_{70\%}$ (°C)	درصد وزن باقیمانده (%) در ۷۰۰°C



ESL	333	384	439	480	509	10
ESLCB	360	424	477	512	540	25/47
درصد افزایش	8	10/4	۸/۶	۶/۶	۶/۱	۱۵۴/۷

بنا بر نتایج بدست آمده افزایش پایداری حرارتی را می توان ناشی از مقاومت ذاتی ذرات کاربرد بور (نقطه‌ی ذوب 2763°C) نسبت به پلیمر در برابر حرارت و نیز پخش یکسان این ذرات در کل شبکه نانوکامپوزیت دانست.

بحث و نتیجه گیری :

آنچه از مجموع بررسی استحکام کششی و پایداری حرارتی نانوکامپوزیت "ESLCB" به عنوان حفاظ نوترونی کانتینرهای حمل سوخت مصرف شده بدست آمد، به صورت خلاصه عبارتند از :

- استفاده از ذرات کاربرد بور سبب افزایش حدود ۱۰ درصدی در در دمای $T_{40\%}$ و ۱۵۴ درصدی در درصد وزن باقیمانده در 700°C گردید.
- نتایج آزمون استحکام کششی نانوکامپوزیت های "ESLCB" نشان می دهد که استفاده از ذرات کاربرد بور باعث کاهش ۸ درصدی استحکام کششی نانوکامپوزیت می شود .
- درصد وزنی بهینه از نانوذرات "ESL" معادل ۳ درصد بدست آمد که بالاترین استحکام کششی و افزایش حداقل ۳۵ درصدی را نسبت به نمونه های ۱ ، ۵ و ۷ درصد وزنی نانوذرات را نشان می دهد.

مراجع :

- [1] C. Kazmierski, Growth Opportunities in Global Composites Industry, 2012 –2017, in: Program Manager, Lucintel, 2012.
- [۲] A. Yasmin, J.L. Abot, I.M. Daniel, Processing of clay/epoxy nanocomposites by shear mixing, Scripta Materialia, 49 (2003) 81-86.
- [۳] R.A. Vaia, K.D. Jandt, E.J. Kramer, E.P. Giannelis, Microstructural evolution of melt intercalated polymer-organically modified layered silicates nanocomposites, Chemistry of Materials, 8 (1996) 2628-2635.
- [۴] D. Ratna, N.R. Manoj, R. Varley, R.K. Singh Raman, G.P. Simon, Clay-reinforced epoxy nanocomposites, Polymer International, 52 (2003) 1403-1407.
- [۵] W. Liu, S.V. Hoa, M. Pugh, Morphology and performance of epoxy nanocomposites modified with organoclay and rubber, Polymer Engineering & Science, 44 (2004) 1178-1186.
- [6] M. Khaksari, S.J. Ahmadi, S.M.A. Moosaviyan, Effect of electron beam irradiation on thermal and mechanical properties of epoxy/clay nanocomposites, Tehran, 2010.

چکیده انگلیسی :

Investigation of tensile strength and thermal stability of polymer based nanocomposites so as to use in spent fuel casks



Abstract: Nowadays, composites and nanocomposites have been widely used in radiation protection fields and most companies and universities around the world have been widespread research on these materials such as polymer-boron nanocomposites. The boron element due to properties such as the high neutron cross section and availability of its compounds has become a unique element. Among polymers, epoxy can attenuate the fast neutrons due to the presence of a hydrogen element in its structure. In this study, the tensile strength and thermal stability of the epoxy -boron carbide- silicate nanocomposites as a neutron protection of spent fuel cask have been investigated. The results show that by adding 3% of the silicate nanoparticles, the tensile strength reaches its maximum value, and then the tensile strength decrease with increasing these values. Also, addition of boron carbide particles decreases the tensile strength of the nanocomposites. TGA analysis results in T_{40%} provide a 10% increase in thermal stability of nanocomposites in comparison to a boron carbide samples.

Keywords: Polymer, Thermal Stability, Mechanical Strength

نحوه اعمال تصحیحات:

ضمن تشکر از نقطه نظرات داور محترم تصحیحات مطابق جدول زیر اعمال گردید.

ردیف	کامنت	پاسخ
۱	شکل ۳ و ۴ حذف شود	اعمال گردید.
۲	نمودار TGA بیشتر توضیح داده شود. نسخه اولیه: " با توجه به اینکه تعیین پارامترهای مورد نیاز برای تعیین پایداری حرارتی به وسیله نمودارهای TGA قدری دشوار است، به منظور سهولت دستیابی به این پارامترها، از اعداد به دست آمده در آزمون TGA مشتق‌گیری عددی شده و پارامترهای مورد نیاز برای تعیین پایداری حرارتی با استفاده از منحنی DTG به دست آمده و گردآوری و رسم شده‌اند. با توجه به منحنی های DTG تخریب دو مرحله‌ای نانوکامپوزیت‌ها در اثر حرارت را، می‌توان به وجود حلقه‌های بنزنی در ساختار رزین و عامل پخت نسبت داد؛ بدین صورت که در دمای بیشینه‌ی تخریب اول زنجیره‌ها و شبکه‌های متصل به هم موجود در زمینه‌ی نانوکامپوزیت از هم گسیخته شده و در دمای بیشینه تخریب دوم زنجیرهای کوچکی که در ساختارشان	توضیحات تکمیلی در خصوص نمودار TGA به متن مقاله اضافه گردید. نسخه تصحیح شده: " با توجه به اینکه تعیین پارامترهای مورد نیاز برای تعیین پایداری حرارتی به وسیله نمودارهای TGA قدری دشوار است، به منظور سهولت دستیابی به این پارامترها، از اعداد به دست آمده در آزمون TGA مشتق‌گیری عددی شده و پارامترهای مورد نیاز برای تعیین پایداری حرارتی با استفاده از منحنی DTG به دست آمده و گردآوری و رسم شده‌اند. با توجه به منحنی های DTG تخریب دو مرحله‌ای نانوکامپوزیت‌ها در اثر حرارت را، می‌توان به وجود حلقه‌های بنزنی در ساختار رزین و عامل پخت نسبت داد؛ بدین صورت که در دمای بیشینه‌ی تخریب اول زنجیره‌ها و شبکه‌های متصل به هم موجود در زمینه‌ی نانوکامپوزیت از هم گسیخته شده و در دمای بیشینه تخریب دوم زنجیرهای کوچکی که در ساختارشان



<p>حلقه‌ی بنزنی وجود دارد تخریب می‌شوند. اگر بخواهیم تأثیر افزودن ذرات کاربید بور را بر پایداری حرارتی نانوکامپوزیت‌ها بررسی کنیم باید با توجه به نمودارهای TGA (شکل ۵) به بررسی درصد کاهش جرم نانوکامپوزیت‌ها در دماهای مختلف پردازیم. با توجه به جدول ۱ پایداری حرارتی در نانوکامپوزیت‌های "ESLCB" نسبت به نمونه‌های "ESL" در دمای 40% T، یعنی دمایی که در آن 40 درصد وزنی نانوکامپوزیت تجزیه می‌شود، حدود 10 درصد افزایش داشته است. همچنین پایداری حرارتی در دمای 70% T، یعنی دمایی که در آن 70 درصد وزنی نانوکامپوزیت تجزیه می‌شود، حدود 31 درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش یافته است، ضمن اینکه در سایر دماها نیز پایداری حرارتی افزایش پیدا کرده است. نکته‌ی دیگر اینکه درصد وزن باقیمانده در دمای 700 درجه‌ی سانتی‌گراد مربوط به نانوکامپوزیت "ESLCB" نسبت به نمونه‌های ESL نیز افزایش یافته است. همانطور که در جدول شماره 1 نشان داده شده است در دمای 700 درجه‌ی سانتی‌گراد وزن باقیمانده نانوکامپوزیت "ESLCB" حدود 25/47 درصد می‌باشد که حدود 154 درصد بیشتر از نمونه‌های بدون کاربید بور می‌باشد. بنا بر نتایج بدست آمده افزایش پایداری حرارتی را می‌توان ناشی از مقاومت ذاتی ذرات کاربید بور (نقطه‌ی ذوب 2763 °C) نسبت به پلیمر در برابر حرارت و نیز پخش یکسان این ذرات در کل شبکه نانوکامپوزیت دانست."</p>	<p>بررسی کنیم باید با توجه به نمودارهای TGA (شکل ۵) به بررسی درصد کاهش جرم نانوکامپوزیت‌ها در دماهای مختلف پردازیم. با توجه به جدول ۱ پایداری حرارتی در نانوکامپوزیت‌های "ESLCB" نسبت به نمونه‌های "ESL" در دمای 40% T، حدود 10 درصد افزایش داشته است. ضمن اینکه در سایر دماها نیز پایداری حرارتی افزایش پیدا کرده است. نکته‌ی دیگر اینکه درصد وزن باقیمانده در دمای 700 درجه‌ی سانتی‌گراد مربوط به نانوکامپوزیت "ESLCB" نسبت به نمونه‌های ESL نیز افزایش یافته است. بنا بر نتایج بدست آمده افزایش پایداری حرارتی را می‌توان ناشی از مقاومت ذاتی ذرات کاربید بور (نقطه‌ی ذوب 2763 °C) نسبت به پلیمر در برابر حرارت و نیز پخش یکسان این ذرات در کل شبکه نانوکامپوزیت دانست."</p>	
<p>اعمال گردید.</p>	<p>در بخش "مواد مصرفی": لزومی به توضیح سلیکات لایه ای نیست این توضیحات به بخش مقدمه منتقل گردد.</p>	<p>۳</p>
<p>اعمال و به ابتدای بخش "روش کار" اضافه گردید.</p>	<p>بخش "مواد مصرفی" با بخش "روش کار" ادغام گردد</p>	<p>۴</p>
<p>تمام اختصارات انگلیسی به کار رفته در caption عکس‌ها به</p>	<p>توضیحات داخل عکس‌ها به فارسی</p>	<p>۵</p>



فارسی تبدیل گردید.	نوشته شود
<p>لزوم بررسی تأثیرات حرارتی و مکانیکی افزودن درصد های مختلف نانوذرات به پلیمر کاملاً صحیح است ، اما به علت اینکه موضوع مذکور دارای ابعاد گسترده ای بوده ، ضمن اینکه نیازمند بحث کاملاً مفصل می باشد و نیز به علت محدودیت در تعداد صفحات هر مقاله (که با همین توضیحات نیز بیشتر از حدود مجاز ۶ صفحه شده است (۷ صفحه)، بنابراین این موضوع در مقاله دیگری مورد بررسی قرار گرفته است.</p>	<p>خواص پلیمر بدون نانو ذره هم باید بررسی می شد.</p> <p>۶</p>