



کاربرد فناوری نانو در صنایع لاستیک و الاستومر



شناسنامه

ستاد توسعه فناوری های نانو و میکرو

گروه رصد و تولید محتوای بخش ترویج صنعتی

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهریژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قزابلو	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
صندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir
پست الکترونیک:	IND@nano.ir		www.INDnano.ir
سال انتشار:	۱۴۰۳		
تهیه کننده:	شرکت پیشگامان فناوری دریچه	اینستاگرام نانو و صنعت:	@INDnano.ir

محتوای صنعتی و فناوری خود را از طریق پست الکترونیک و پایگاه اینترنتی نانو و صنعت (INDnano.ir) ارسال نمایید.

فهرست مطالب

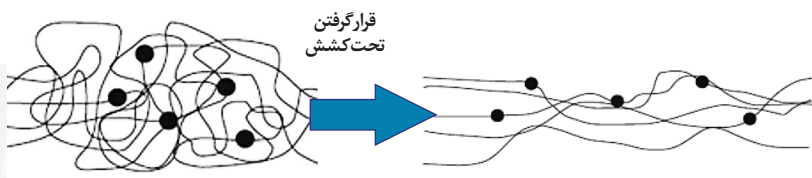
۳	مقدمه
۳	معرفی الاستومرها
۴	پیشرفت الاستومر با کمک نانوذرات
۵	مزایا
۸	کاربردهای فناوری نانو در صنایع لاستیک و الاستومر
۹	شرکت های ایرانی تولیدکننده محصولات نانوکامپوزیت الاستومری
۹	جمع بندی
۱۰	پی نوشت
۱۰	منابع

مقدمه

الاستومرها، موادی دارای خاصیت بازگشت پذیری هستند. به این صورت که پس از اعمال تغییر یا کشیدن، به حالت اولیه خود بازمی گردند. در صنعت، با ترکیب چند الاستومر با کمک نانوذرات می توان خواص آن را افزایش داد (الاستومر نانوکامپوزیت). در این گزارش، پس از معرفی الاستومرها، تأثیر افزودن نانوذرات در افزایش قابلیت های این ماده، شرح داده شده است. سپس به ذکر کاربرد آن در صنایع مختلف و معرفی تولیدکننده های داخل کشور، پرداخته شده است.

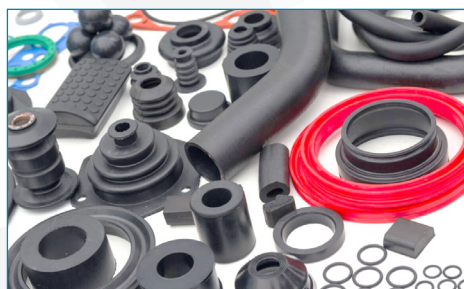
معرفی الاستومرها

الاستومر، ماده ای است که مولکول هایی با زنجیره های بلند دارد که به صورت نامنظم پیچ خورده اند. با اعمال نیرو، مولکول ها در جهتی که در آن کشیده می شوند، صاف می شوند و پس از رها شدن، مولکول ها به طور خود به خود به آرایش طبیعی فشرده و تصادفی خود بازمی گردند (شکل ۱) [۱]. به همین دلیل به آن ها پلیمر الاستیک می گویند. الاستیک یعنی دارای خاصیت الاستیسیته ای که به معنای تغییر شکل بازگشت پذیر است.



شکل ۱- الاستومر پیش و پس از قرار گرفتن تحت کشش (در حالت دوم، زنجیره های پیچ خورده در هم، باز می شوند و پس از قطع کشش، به حالت اولیه بازمی گردند) [۲]

این قابلیت برای الاستومرها باعث شده که به طور گسترده در صنایع مختلف استفاده شوند. از جمله به عنوان عناصر آب بندی (واشر، مهر و موم) کاربرد زیادی دارند. برخی از الاستومرها به جز این مورد، خصوصیات دیگری از جمله شفافیت یا خودترمیمی نیز دارند. الاستومرهای خودترمیم شونده می توانند پس از آسیب دیدن ناشی از نیروهای خارجی، ترمیم شوند. برخی نیز در تماس با مایعات خاصی افزایش حجم می دهند که به آن ها الاستومر انبساطی نیز گفته می شود [۳]. شکل ۲، برخی از انواع الاستومر را نشان می دهد.



شکل ۲- انواع الاستومرها [۴]

الاستومرها نوعی پلیمر هستند و آن‌ها را می‌توان به‌طور کلی به دو دسته تقسیم کرد:

■ الاستومر ترموپلاستیک (TPE)

■ الاستومر گرما سخت

الاستومر گرما سخت، همان لاستیک سنتی است. اما الاستومر ترموپلاستیک، قدری متفاوت است. این ماده، قابلیت ارتجاعی لاستیک را در دمای اتاق دارد و می‌تواند در دمای بالا، پلاستیکی (سخت و غیرانعطاف‌پذیر) شود. بنابراین این نوع الاستومرها، ویژگی‌های دو ماده را با هم به‌صورت ترکیبی دارند. یک زنجیره مولکول این ماده، از بخش‌های سخت (پلاستیک) و بخش‌های نرم (لاستیک) تشکیل شده است. برهم‌کنش بین بخش‌های سخت، پیوندهای عرضی فیزیکی بین زنجیرهای مولکولی ایجاد می‌کند. در حالی که بخش نرم، قابلیت چرخش بالا دارد. با تنظیم بخش‌های سخت و نرم می‌توان انواعی از مواد الاستومری را به دست آورد. با توجه به طبقه‌بندی نوع مواد، مواد الاستومری را می‌توان به چند دسته تقسیم کرد. از جمله الاستومر پلی‌اورتان، الاستومر اپوکسی، الاستومر نانوکامپوزیت، الاستومر لاستیکی و... را در طبقه‌بندی مواد می‌توان نام برد [۳].

پیشرفت الاستومر با کمک نانوذرات

به‌طور کلی قابلیت‌های مواد الاستومری با افزودن مقدار کمی از نانوپرکننده‌ها به دلیل خواص شگفت‌انگیزشان، می‌تواند افزایش یابد. ترکیب نانوپرکننده‌ها خواص مکانیکی، حرارتی، مکانیکی دینامیکی، جلوگیری از نشئی، ضدشعله بودن و... را به‌طور چشمگیری بهبود می‌دهد. خواص نانوکامپوزیت‌های الاستومری تا حد زیادی به شیمی ماتریس‌های پلیمری، ماهیت نانوپرکننده‌ها و روش تهیه آن‌ها بستگی دارد. پراکندگی کاملاً یکنواخت نانوپرکننده‌ها نیز در ماتریس‌های الاستومری یک پیش‌نیاز اساسی برای دستیابی به ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی مطلوب است [۵].

برای افزایش قابلیت‌های الاستومر با افزودن نانوذرات پرکننده مطابق جدول ۱ استفاده می‌شود.

جدول ۱- برخی از انواع نانوذرات افزوده شده به الاستومرها [۶] [۵]

نانوذرات مورد استفاده برای تقویت الاستومر

نانوذرات سیلیکا	نانوالیاف	نانوذرات خاک‌های سیلیکات لایه‌ای
نانوذرات فلزی	نانوذرات اکسیدهای فلزی	نانوذرات کربنات کلسیم
فولرن‌ها	نانوذرات سیلیس	نانولوله‌های کربنی (CNT)
سیلکسوپوکسان الیگومری چندوجهی (POSS)	نانوالماس‌ها	نانوذرات زیستی

در بیشتر تحقیقات برای اثر بهبود نانوذرات در لاستیک، نانوذرات غیرآلی مورد بحث قرار گرفتند [۷]. برای افزایش قابلیت الاستومرها، گاهی آن‌ها را با هم ترکیب می‌کنند، برخی از این مواد در اختلاط با هم ناسازگار هستند، افزودن ذرات پرکننده‌های نانومقیاس می‌تواند به حل این مشکل کمک کند. به عنوان مثال با افزودن نانورس (خاک رس نانومقیاس) به مخلوط چند پلیمر غیرقابل اختلاط، مقداری سازگاری بین مواد داخل مخلوط رخ می‌دهد [۸].

نانوذرات بدین صورت اختلاط چند پلیمر الاستیک را در همدیگر افزایش می‌دهند:

- سطح بالای نانوذرات رس با هر دو پلیمر داخل مخلوط، پیوندهای درجا ایجاد می‌کند و در نتیجه به کاهش کشش سطحی بین پلیمرهای غیرقابل اختلاط کمک می‌کند.
- پراکنده شدن نانوذرات رس در میان زنجیره‌های مولکولی یک فاز از پلیمر داخل مخلوط، تحرک زنجیره‌های پلیمری آن ماده را به تأخیر می‌اندازد و در نتیجه از رشد یک فاز جداگانه ناشی از به هم پیوستن زنجیره‌های آن ماده جلوگیری می‌کند (در صورتی که هر ماده، داخل مخلوط حل نشود، یک فاز جداگانه تشکیل می‌دهد و به عبارتی یک مخلوط دوفازی تشکیل می‌دهد).

اکسیدهای فلزی مهمی که می‌توانند به عنوان نانوذرات تقویت‌کننده در یک ترکیب الاستومری استفاده شوند، شامل ماده دی‌اکسید تیتانیوم و ماده اکسیدروی هستند. با افزودن نانوذرات اکسیدروی، در زمینه لاستیک بوتادین همراه سیلیس، استحکام کششی بالا به دست می‌آید و بر روی پخت محصول نیز اثر دارد [۸]. همچنین در صورتی که بستر، ویژگی شفافیت را داشته باشد، با افزودن نانوذرات اکسید فلز در شرایطی، شفافیت بستر نیز حفظ خواهد شد [۹].

در سال‌های اخیر پرکننده‌های سیلیسی نیز به عنوان پرکننده تقویت‌کننده لاستیک‌ها با توجه به عوامل اقتصادی و همچنین توانایی آن‌ها در ارائه مزایای عمده‌ای مانند انبساط حرارتی کم، مقاومت شیمیایی، سطح سخت، استحکام دی‌الکتریک بالا و... کاربرد داشتند. دیگر نانوذرات آلی مانند نانوتیوب کربنی و گرافن نیز به عنوان پرکننده می‌توانند در الاستومر پلیمری برای افزایش قابلیت‌های ماده استفاده شوند [۸].

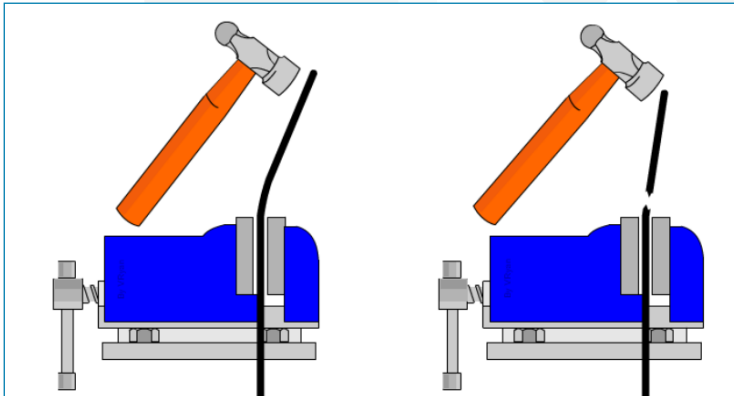
گاهی نیز از نانوذرات الاستومر برای افزایش قابلیت دیگر پلیمرها استفاده می‌شود. نانوذرات الاستومری که لاستیک پودری تمام ولکانیزه فوق‌العاده ریز^۲ نیز نامیده می‌شود، نوعی ذره لاستیکی با قطر ۱۰۰ نانومتر و اتصالات عرضی بسیار بالا در سطح هستند. این نانوذرات در اصلاح لاستیک و روان‌کننده‌ها مفید بوده‌اند [۱۰]. افزودن نانوذرات الاستومری شبکه‌ای شده مقاومت گرمایی بستر پلاستیکی را نیز افزایش می‌دهد. نانوذرات الاستومری به وسیله پرتو نوری، شبکه‌ای می‌شوند و با اسپری کردن خشک می‌شوند. بعد از اسپری کلوخه‌هایی به اندازه ۵۰ میکرومتر تشکیل می‌شود، این کلوخه‌ها در زمان مخلوط شدن به آسانی جدا خواهند شد. شبکه‌ای کردن ساختار نانوذرات، کلوخه‌ای شدن نانوذرات الاستومر در رزین اپوکسی را کاهش می‌دهد [۷].

مزایا

■ افزایش خواص مکانیکی ماده

هنگامی که اندازه ذرات لاستیک در مقیاس نانو است و توزیع اندازه ذرات یکنواخت است، فضای بین ذرات لاستیک در ماتریس پلاستیکی به قدری کوچک است که حرکت آزاد را محدود می‌کند. به جز بهبود خواص

مقاومت حرارتی، این کار چقرمگی ماده را زیاد می‌کند [۱۰]. چقرمگی مقدار نیرویی است که جسم می‌تواند



شکل ۳- مفهوم چقرمگی (حداکثر نیرویی که جسم می‌تواند تحمل کند تا قبل از آن که شکسته شود) [۱۲]

تحمل کند تا قبل از زمانی که شکسته شود [۱۱].

به عنوان مثال، افزودن نانوذرات الاستومر در رزین اپوکسی آزمایش شده است. این نانوذرات، موجب افزایش دو برابری در مقدار چقرمگی و افزایش سه برابری در مقدار ازدیاد طول شده است [۱۳]. همچنین نانوصفحات گرافیت^۴ در زمینه نوعی الاستومری (کوپلیمر اکریلونیتریل بوتادین^۵) توزیع شد (تولید یک نانوکامپوزیت الاستومری). آزمایش‌های دینامیکی- مکانیکی نشان داد که ترکیب حاصل دارای مدول الاستیک و استحکام کششی بسیار بالاتر و اتصالات قوی‌تری هستند. این باعث شده در برابر سایش نیز مقاومت بالاتری از خود نشان دهند [۱۴]. برای این ماده ازدیاد طول در هنگام شکست تا ۶۰ درصد افزایش یافته است [۱۵]. در بخشی دیگر، افزودن نانوذرات به یک نوع الاستومری که در صنعت نفت استفاده می‌شد، بررسی شد. در این نوع الاستومرها توانستند مقاومت سایشی را تا بیش از ۱۰۰ درصد افزایش دهند، این در حالی است که انبساط حرارتی نامطلوب در آن‌ها ۳۰ درصد کاهش یافته است. نتیجه باعث شده این مواد در استفاده‌هایی که در معرض آسیب یا گرامش موضعی هستند، پایداری خود را بیشتر حفظ کند [۱۶].

در کاربرد دیگری از استفاده نانوذرات، نانوذرات سیلیس^۶ با نانولوله‌های کربنی چند جداره^۷ مونتاژ شدند و نانوکامپوزیت حاصل در زمینه لاستیک استایرن بوتادین پلیمریزه شده با محلول^۸ توزیع شد. نانوذرات سیلیسیم اکسید با اندازه ذرات ۱۰ تا ۱۵ نانومتر می‌تواند از طریق پیوندهای کووالانسی روی سطح نانولوله‌های کربنی محکم شود. با افزایش درصد وزنی نانولوله‌های کربنی، هم استحکام کششی و هم ازدیاد طول در شکست به ترتیب ۲۳٫۶ مگاپاسکال و ۶۰۳٫۹ درصد افزایش یافت [۱۷].

نانوذرات رس همچنین می‌تواند باعث سدکنندگی نفوذ گاز و افزایش مدول (بیشترین نیرویی که می‌تواند تحمل کند تا قبل از شکست) شود. برای رسیدن به این خصوصیات، توزیع نانوذرات در لاستیک، بایستی یکنواخت باشد [۷].

■ جاذب ضربه و دمپ کردن ارتعاش

تحقیقات نشان داده که نانوکامپوزیت‌های تشکیل شده توسط برخی نانوذرات تقویت‌کننده در پلیمرها/الاستومرها، به‌طور قابل توجهی ویژگی‌های میرایی ارتعاش آن‌ها را بهبود می‌بخشد [۱۸]. به‌عنوان مثال، نانوذرات سیلیس با قطر ۱۱۰ نانومتر در زمینه یک الاستومر کامپوزیت سیلیکا شفاف و سخت (دی (اتیلن گلیکول) متیل اتر متاکریلات) توزیع شد. بر روی ماده حاصل، اندازه‌گیری‌های خواص ارتعاشی - میرایی انجام شد. نتایج نشان داد که ضریب تلفات الاستومر کامپوزیت^{۱۰} به‌طور قابل توجهی بیشتر از الاستومر بدون نانوذرات است. این نشان می‌دهد که این ماده می‌تواند به‌عنوان یک لایه در شیشه‌های چند لایه در کاربردهای خودرویی و معماری استفاده شود [۱۹].

قابلیت الاستومرهای تقویت شده با نانوذرات باعث شده برای حفاظت از ساختمان‌ها و پل‌ها در برابر زلزله‌های بزرگ با عنوان عایق‌های الاستومری حفاظت لرزه‌ای^{۱۱} نیز استفاده شوند [۲۰].

■ بهبود خواص حرارتی

میزان استفاده از نانوذرات نقش مهمی در پایداری حرارتی نانوکامپوزیت‌ها (نانوذرات در زمینه یک الاستومر) دارد. در بیشتر موارد، افزایش پایداری حرارتی در بارگذاری کم (۴ تا ۵ درصد وزنی) نانوذرات انجام می‌شود. با افزایش درصد نانوذرات از میزانی به بعد، مقاومت حرارتی دیگر افزایش پیدا نمی‌کند [۲۱]. به‌عنوان مثال، نانوصفحات گرافیت در زمینه نوعی الاستومر توزیع شد و توانست خواص حرارتی ماده را افزایش دهد [۲۰]. در کاربرد دیگری، نانوذرات رس که با ذرات اکسید آهن و ذرات تری آمینوپروپیل متوکسی سیلان، ترکیب شدند (حاصل، یک نانوکامپوزیت است). ماده حاصل در زمینه نوعی الاستومر به نام پلی اورتان توزیع شدند (حاصل، یک نانوکامپوزیت الاستومری است). این کار، الاستومر را مغناطیسی کرد (به دلیل اکسید آهن) و علاوه بر آن، مقاومت حرارتی آن را افزایش داد. مقاومت و پایداری حرارتی بیشتر، باعث می‌شود که ماده در دماهای بالاتری بدون تخریب بتواند کار کند [۲۲]. همچنین همان‌طور که بالاتر ذکر شد محدودیت آزادی حرکت زنجیره‌های الاستومر به دلیل توزیع یکنواخت نانوذرات و اتصالات جدید حاصل، مقاومت حرارتی ماده را نیز بهبود می‌دهد [۱۰]. همچنین بارگذاری بالای نانوذرات در یک پلیمر می‌تواند جذب اشعه UV را در محدوده وسیعی تغییر دهد [۹].

■ جلوگیری از نفوذ گاز و نشتی

توزیع نانوصفحات گرافیت در زمینه نوعی الاستومر^{۱۲}، بررسی شد، نتایج نشان داد که این نانوکامپوزیت الاستومری، می‌تواند در برابر نفوذ گاز، جلوگیری بهتری داشته باشد [۱۴]. این ویژگی برای کاربرد در بسته‌بندی محصولات، مفید است. در بررسی دیگری نانوذرات الاستومر در رزین اپوکسی توزیع شد. نتایج کاهش جذب آب را نشان داد [۱۳]. این برای کاربردهای واشر و مهر و موم برای کمک به جلوگیری از نشتی آب و مایعات دیگر، مفید است.

■ رسانایی الکتریکی

ترکیب نانوذرات در افزایش رسانایی الکتریکی یک کامپوزیت تأثیر می‌گذارد. نانومواد غیرکروی، مانند نانوسیم‌های نقره، در مقایسه با نانوذرات کروی با نفوذ کمتر از ۱ درصد کسر حجمی به دلیل افزایش تماس با ذرات، افزایش بیشتری در هدایت الکتریکی کامپوزیت‌ها دارند [۲۳]. همچنین آزمایش‌ها نشان داده که توزیع نانوذرات گرافن در نوعی الاستومر^{۱۳} خواص هدایت الکتریکی را بهبود داده است [۱۴].

■ ثبات رنگ

عمر محدود پورتوهای صورت به دلیل تخریب و بی ثباتی رنگ یک چالش مهم در کاربردهای پزشکی است. تحقیقاتی بر روی توزیع نانوذرات اکسیدروی در زمینه الاستومرهای سیلیکونی فک و صورت^{۱۲} انجام شد. سپس نانوکامپوزیت الاستومری حاصل در معرض پیری مصنوعی قرار گرفت و ثبات رنگ آن بررسی شد. نانوذرات حفاظت خوبی را ارائه کردند و کاهش تغییر رنگ را نشان دادند [۲۴].

■ ضد حریق

توزیع نانوپرکننده های سیلیکات در زمینه نوعی الاستومر، می تواند خاصیت ضد حریق ماده را افزایش دهد [۵].

■ افزایش چسبندگی پوشش ها

توزیع نانوذرات الاستومر در رزین اپوکسی بررسی شد. آزمایش بر روی ماده حاصل افزایش چسبندگی پوشش را تأیید می کند که می تواند در کاربردهای مختلف با کاهش هزینه و افزایش عملکرد نسبت به پوشش های دیگر استفاده شود [۱۳].

■ افزایش حساسیت به فشار

توزیع نانوصفحات گرافن در الاستومر پلی دی متیل سیلوکسان^{۱۵}، باعث شده ماده حاصل در عین حفظ انعطاف پذیری، حساسیت بیشتری نسبت به فشار داشته باشد که آن را به گزینه مناسبی برای کاربردهای پوست مصنوعی و حسگرهای پوشیدنی تبدیل می کند [۲۵].

کاربردهای فناوری نانو در صنایع لاستیک و الاستومر

برخی از کاربردهای فناوری نانو در الاستومر ذکر شد. نانوکامپوزیت های الاستومر به طور گسترده می توانند در کاربردهای واشر و مهر و موم در انواع صنایع و ماشین آلات استفاده شوند. در صنعت خودرو نانوذرات الاستومر نیتریل بوتادین با قطر حدود ۸۰ نانومتر، بر روی اصلاح خواص مکانیکی دینامیکی لاستیک بررسی شده است. ماده حاصل می تواند مقاومت در برابر لغزش مرطوب را بهبود بخشد و مقاومت غلتشی را نیز کاهش دهد. همچنین دارای خواص دینامیکی خوبی برای عملکرد ایمنی لاستیک ها در دمای بالا و استحکام کششی خوب، استحکام پارگی و خواص خستگی بهبود یافته هستند [۲۶]. از نانوکامپوزیت های الاستومری می توان برای آب بندی موتور، شیلنگ، اتصالات واشر و... در صنعت خودرو استفاده کرد.

نانوکامپوزیت های الاستومری در صنعت دارو نیز کاربرد دارند. حسگرهای انعطاف پذیر حساس به فشار (پیزومقاومتی) بر اساس نانوکامپوزیت های نانوپلاکت های گرافن و پلی دی متیل سیلوکسان الاستومر، نه تنها می توانند تا حدودی به خم شدن پاسخ دهند، بلکه حرکات انگشت فرد را به دقت تشخیص می دهند [۲۵]. همچنین این مواد ممکن است بتوانند در دستکش های جراحی یا روکش های بسته بندی نیز استفاده شوند. در صنعت نفت و گاز، این مواد از جمله در کمک به سیالات حفاری و اکتشاف نفت و آب بندی تجهیزات کمک کننده هستند. در صنعت ساختمان نیز برای روکش کابل و سیم و رنگ می توانند کاربرد داشته باشند.

شرکت‌های ایرانی تولیدکننده محصولات نانوکامپوزیت الاستومری

شرکت‌های دانش‌بنیان در داخل کشور برخی محصولات نانوکامپوزیت الاستومری را تولید می‌کنند. از جمله شرکت پویاگستر خراسان در خراسان رضوی با ترکیب نانوذرات در زمینه نوعی الاستومر، نوارهای آب‌بندی قطارهای شهری و نوار لاستیکی خودرو را تولید می‌کند.

همچنین شرکت سازه پایدار الهیه در استان تهران، از نانوکامپوزیت‌های الاستومری، محصولی با قابلیت عایق صوتی و حرارتی تولید کرده که به‌ویژه در بخش‌های تأسیساتی و صنعتی (پالایشگاه‌ها، بیمارستان‌ها، ساختمان‌ها و...) کاربرد دارد.

شرکت فرایشتاز هونام در استان فارس نیز واشرهای لاستیکی نانوکامپوزیتی برای بهبود عملکرد آب‌بندی در تأسیسات ساختمانی و تجهیزات آب‌رسانی را توسعه داده است [۲۷].

جمع‌بندی

الاستومرها موادی با خاصیت کشسانی هستند که پس از تغییر، به حالت اولیه خود بازمی‌گردند. این مواد کاربرد گسترده‌ای از جمله در آب‌بندی تجهیزات و جلوگیری از نشتی (واشر، مهر و موم و...)، لاستیک خودرو، روکش سیم، حسگرها، وسایل جراحی، سیالات حفاری و... دارند. نانوکامپوزیت‌های الاستومری، موادی با بستر الاستومر هستند که ترکیب نانوذرات به آن‌ها افزوده شده است. از جمله تأثیر افزودن نانوذرات به الاستومر، افزایش استحکام و چقرمگی ماده، افزایش قابلیت جاذب ضربه و دمپ کردن ارتعاش، بهبود خواص حرارتی، جلوگیری بیشتر از نفوذ گاز و نشتی، بهبود خواص رسانایی الکتریکی، افزایش ثبات رنگ، بهبود خاصیت ضد حریق، افزایش چسبندگی پوشش‌ها و افزایش حساسیت به فشار است. در ایران نیز سه شرکت دانش‌بنیان دارای گواهی نانومقیاس، اکنون در تولید محصولات نانوکامپوزیت‌های الاستومری نقش ایفای می‌کنند.



پی‌نوشت‌ها

- ۱ Elasticity
- ۲ Elastomeric nano-particle (ENP)
- ۳ Ultra-fine full-vulcanized powdered rubber(UFPR)
- ۴ GNP
- ۵ NBR
- ۶ SiO_2
- ۷ CNTs
- ۸ SSBR/BRNTs
- ۹ PMEO_2MA

۱۰ کامپوزیت بدین معنی است که چند ماده با هم مخلوط شده‌اند. الاستومر کامپوزیت، یعنی چند ماده در زمینه الاستومر اضافه و مختلط شده‌اند.

۱۱ ESPI

۱۲ در اینجا، منظور نوعی الاستومر با نام اختصار NBR است.

۱۳ در اینجا، الاستومری با نام اختصار NBR منظور است.

۱۴ HTV

۱۵ PDMS

منابع

- ۱ "Encyclopedia Britannica," elastomer, without year. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/science/elastomer/Intermolecular-association-thermoplastic-elastomers>.
- ۲ "Elastomers - optimal freedom of design," Tinby A/S, [Online]. Available: <https://tinby.com/about-polyurethane-pur/elastomers-optimal-freedom-of-design/>.
- ۳ "Research Progress of Elastomer Materials and Application of Elastomers in Drilling Fluid," Polymers, vol. 15, no. 4, p. 918, 2023.
- ۴ "The Basics of Working with Elastomeric Materials," SyBridge Technologies, 2020. [Online]. Available: <https://sybridge.com/elastomeric-materials/>.
- ۵ "Elastomer Nanocomposites," Rubber Chemistry and Technology, vol. 81, no. 3, p. 384-469, 2008.
- ۶ "Rubber Nanocomposites: Latest Trends and Concepts," in Advances in Elastomers II, 2013, p. 69-107.
- ۷ مروری بر کاربردهای نانوذرات الاستومری شبکه‌ای شده، نشریه صنعت لاستیک، ۲۵، ۱۱۰، ۱۴۰۰.
- ۸ "Elastomer Blends: The Role of Nanoparticles on Properties," Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials, Springer Berlin Heidelberg, 2014.
- ۹ "The role of nanoparticles in visible transparent nanocomposites," Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, vol. 7030, 2008.
- ۱۰ J. Qiao, "Elastomeric nano-particle and its applications in polymer modifications," Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, vol. 3, no. 2, pp. 47-59, 2020.
- ۱۱ n. nielsen, "Stack Exchange," What is the difference between toughness and hardness?, 2020. [Online]. Available: <https://physics.stackexchange.com/questions/561431/what-is-the-difference-between-toughness-and-hardness#:~:text=Hardness%20is%20resistance%20to%20deformation,to%20the%20>

point%20of%20fracture..

۱۲ V. Ryan, "technology student," TOUGHNESS TESTING OF MATERIALS, 2012. [Online]. Available: <https://technologystudent.com/joints/toughness1.html>.

۱۳ ع. آ. م. ک. س. مزینانی، «خواص فیزیکی، مکانیکی و حرارتی پوشش‌های اپوکسی در حضور نانوذرات الاستومری»، مجله مواد پیشرفته و پوشش‌های نوین، دوره ۷، شماره ۲۸، صص. ۲۰۴۷-۲۰۳۶، ۱۳۹۸.

۱۴ M. T. Q.-X. J. J.-H. S. Jian Yang, "Improved mechanical and functional properties of elastomer/graphite nanocomposites prepared by latex compounding," Acta Materialia, vol. 55, no. 18, pp. 6372-6382, 2007.

۱۵ D. K. Soumya Mondal, "Elastomer reinforcement by graphene nanoplatelets and synergistic improvements of electrical and mechanical properties of composites by hybrid nano fillers of graphene-carbon black & graphene-MWCNT," Composites Part A Applied Science and Manufacturing, vol. 102, pp. 154-165, 2017.

۱۶ R. D. e. al., "Nano-Enhanced Elastomers for Oilfield Applications," in Offshore Technology Conference, Texas, 2017.

۱۷ L. K. e. al., "High-performing multi-walled carbon nanotubes/silica nanocomposites for elastomer application," Composites Science and Technology, vol. 162, no. 7, pp. 23-32, 2018.

۱۸ M. R. e. al., "Nanocomposite Vibration Dampers formed by Reinforcement in Viscoelastic Materials," in International Conference on Recent Trends in Engineering & Science, 2017.

۱۹ F. A. e. al., "Silica Nanoparticle Reinforced Composites as Transparent Elastomeric Damping Materials," Silica Nanoparticle Reinforced Composites as Transparent Elastomeric Damping Materials, vol. 4, no. 4, 2021.

۲۰ T. NISHI, "Heterogeneous Structure in Elastomers and Polymer Nanotechnology: Part IV. Polymer Nanotechnology and Megatechnology," Rubber Science and Technology, vol. 92, no. 8, pp. 295-301, 2019.

۲۱ D. Bikiaris, "Review Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers? Part II: An overview on thermal decomposition of polycondensation polymers," Thermochimica Acta, vol. 523, no. 1-2, pp. 25-45, 2011.

۲۲ س. ز. ح. م. ع. نیکجه، «تهیه و مطالعه نانوکامپوزیت الاستومری پلی اورتان مغناطیسی با استفاده از نانوذرات رس اصلاح شده با تری آمینوپروپیل متوکسی سیلان و اکسید آهن» در پنجمین همایش ملی فناوری نانو از تئوری تا کاربرد، ۱۳۹۵.

۲۳ D. C. e. al., "Influence of Nanoparticles on Thermal and Electrical Conductivity of Composites," Polymers, vol. 12, no. 4, p. 742, 2020.

۲۴ M. A. e. al., "The impact of zirconium dioxide nanoparticles on the color stability of artificially aged heat-polymerized maxillofacial silicone elastomer," Science Progress, vol. 106, no. 4, 2023.

۲۵ D. N. e. al., "Graphene-elastomer nanocomposites based flexible piezoresistive sensors for strain and pressure detection," Materials Research Bulletin, vol. 102, pp. 92-99, 2018.

۲۶ Q. W. e. al., "Effect of elastomer nanoparticles on improving the wet skid resistance of SBR/NR composites," Rubber Chemistry and Technology, vol. 89(2), 2015.

۲۷ news.nano.ir/107152

۲۸ «کاربرد هیدروژل‌های نانوکامپوزیتی مبتنی بر زیست‌پلیمرها در سامانه‌های دارورسانی»، فصلنامه پژوهش و توسعه فناوری پلیمر ایران، دوره ۸، شماره ۱، ۱۴۰۲.

از مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو که در صنعت خودرو منتشر شده است:



- مزایای اقتصادی به‌کارگیری مبدل‌های نانوکاتالیستی در خودروها
- معرفی استانداردهای ارزیابی کاتالیست آگزوز خودرو (بخش آلومینای متخلخل نانوساختار)
- مزایای اقتصادی استفاده از خنک‌کننده نانو در رادیاتور خودروها