بهبود خاصیت حافظه شکلی پلی‌یورتان حافظه‌دار Tecoflex با استفاده از CNT

سمیرا فرشید[1*]، محمد کریمی[1]، سیداحمد موسوی‌شوشتری[1]

چکیده:
مواد حافظه‌دار مختلفی مانند ژل‌ها، سرامیک‌ها، آلیاژها و پلیمرها وجود دارد. اما در این میان آلیاژها و پلیمرهای حافظه‌دار[1]، بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. پلیمرهای حافظه‌دار نوعی از پلیمرهای هوشمند هستند که بعد از تغییر شکل، قابلیت بازگشت به شکل اولیه را دارند [۱]. معمولاً این پلیمرها به حرارت حساسند ولی تلاش‌های زیادی جهت تولید پلیمرهای با حساسیت به جریان الکتریکی، نور مادون قرمز و میدان مغناطیسی و غیره انجام گرفته است. پلیمرهای حافظه‌دار معمولاً از پلیمرهای دسته‌ای مانند پلی‌یورتان‌ها ساخته می‌شوند که دارای دو دمای انتقال T_a و T_b هستند به طوری که $T_a<T_b$. در واقع می‌توان یک شکل دائم در ساختار پلیمر ایجاد کرد که بعد از هر تغییر شکل موقت قادر است، مجدداً شکل دائم خود را بازیابی کند [۲]. در سال‌های اخیر، تلاش‌های زیادی جهت بهبود خاصیت حافظه شکلی پلیمرهای حافظه‌دار انجام گرفته است که از آن جمله می‌توان به استفاده از نانولوله‌های کربن اشاره کرد [۳]. در این تحقیق اثر نانولوله‌های کربن و حلال‌های مختلف پلیمر بر روی خاصیت حافظه شکلی پلیمر و همچنین اثر دمای ایجاد تغییر شکل بر روی درصد بازیابی و تثبیت شکل بررسی می‌گردد.

مقدمه

اگرچه آلیاژهای حافظه‌دار کاربردهای مختلفی دارند، ولی پتانسیل کاربرد پلیمرهای حافظه‌دار در مصارف مختلف، بیشتر است. تغییر خواص فیزیکی این مواد در اثر تغییر فاز، باعث کاربردهای مختلف پلیمرهای حافظه‌دار می‌شود.

برای مثال می‌توان به پارچه‌های هوشمند، تجهیزات الکترونیکی، وسایل پزشکی برای کشت سلولی، لوازم ساختمان‌سازی، نخ ماهیگیری، وسایل سرگرمی و اسباب‌بازی و مواد صنعتی اشاره کرد.

بیشترین کاربرد این مواد به علت تغییر در خواص فیزیکی مثل مدول یانگ، شکل و ثابت دی‌الکتریک آنها در اثر تغییرات محیطی است [۱]. چندین مزیت برای کاربرد پلیمرهای حافظه‌دار در صنعت نساجی و پوشاک و تولیدات مشابه، نسبت به مواد حافظه‌دار دیگر وجود دارد. بالا بودن گستره دمایی بازیابی شکل، ازدیاد طول برگشت‌پذیر بالا (حدود ۴۰۰٪) و هزینه‌ی پایین ساخت آنها، از جمله‌ی این موارد می‌باشد [۴].

مواد و روشها

مواد

برای انجام این تحقیق از پلی‌یورتان Tecoflex EG-72D ساخت شرکت Lubri-zol استفاده شده است. از نانولوله‌های کربن چند دیواره[2] با قطر ۱۰–۲۰ nm، طول ۵–۱۵ µm، خلوص ۹۵٪ و از N, N- دی متیل استامید (C_4H_9NO)، تتراهیدروفوران (C_4H_8O) و N, N- دی متیل فرمامید (C_3H_7NO) تولید مرک آلمان بعنوان حلال در تهیه فیلم پلیمری استفاده شده است.

آزمایشات

در این تحقیق خاصیت حافظه شکلی پلیمر به روش کششی بررسی گردید. ابتدا دمای پلیمر به دمایی بالای دمای گذار (T_h) افزایش داده شد تا تغییر شکل مورد نظر ایجاد شود. سپس برای تثبیت شکل، دمای نمونه تا دمای پایین دمای گذار کاهش داده شد. برای محاسبه درصد بازیابی شکل، دما دوباره به T_h رسانده می‌شود تا نمونه به شکل اولیه خود برگردد. در ادامه نتایج آزمایشات بیان می‌شود.

نتایج

تأثیر غلظت نانولوله‌های کربن و دمای تغییر شکل بر درصد تثبیت شکل پلیمر

شکل ۱ درصد تثبیت شکل در غلظت‌های مختلف نانولوله‌های کربن در سه دمای متفاوت در حلال تتراهیدروفوران را نشان می‌دهد. شکل ۲ و ۳ درصد تثبیت شکل در غلظت‌های مختلف نانولوله‌های کربن در سه دمای متفاوت در حلال‌های N, N- دی متیل استامید و N, N- دی متیل فرمامید نشان می‌دهند. همانطور که در نمودارها مشاهده می‌شود درصد تثبیت شکل در دمای ۵۰°C و ۱۱۰°C با افزایش نانولوله‌های کربن افزایش می‌یابد. نانولوله‌های کربن به علت ایجاد محدودیت فضایی برای حرکت زنجیزهای پلیمری باعث افزایش درصد تثبیت شکل می‌شود. اما در دمای ۸۰°C نمونه بدون نانولوله‌های کربن درصد تثبیت بالایی دارد و افزودن نانولوله‌های کربن اثر قابل توجهی بر روی تثبیت شکل ندارد. علت پایین بودن درصد تثبیت شکل در دمای ۵۰°C، عدم روان شدن کامل رنجیره‌های پلیمر در بخش نرم می‌باشد. به دلیل این که شکل موقت در اثر حرکت روان زنجیره‌های پلیمر در بخش نرم حاصل می‌شود و دمای ۵۰°C میزان گرمای لازم برای این حرکات را ندارد. ولی در دمای ۸۰°C پلیمر به طور کامل بالای دمای T_g زنجیره‌های مولکولی نرم قرار دارد و به راحتی می‌تواند دچار تغییر شود.

تأثیر غلظت نانولوله‌های کربن و دمای تغییر شکل بر درصد بازیابی شکل پلیمر

شکل ۴، ۵ درصد بازیابی نمونه‌ها در سه دمای مختلف و غلظت‌های متفاوت نانولوله‌های کربن به ترتیب در حلال‌های تتراهیدروفوران، N,N- دی متیل استامید و N,N– دی متیل فرمامید را نشان می‌دهند. در این منحنی نیز بیشترین درصد بازیابی مربوط به دمای ۸۰°C می‌باشد. دمای ۱۱۰°C به علت تغییر در ساختار بخش سخت، میزانی از بخش سخت را تخریب کرده و باعث کاهش درصد بازیابی می‌شود. به علت اینکه عامل بازیابی شکل، مناطق سخت می‌باشند و در صورت تخریب آنها درصد بازیابی کاهش می‌یابد. میزان بازیابی شکل در دمای ۵۰°C نیز پایین‌تر از بازیابی در دمای ۸۰°C می‌باشد. علت این امر آن است که در دمای ۵۰°C زنجیرهای بخش نرم، همچنان سخت بوده و تغییر شکل اعمالی به هر

1. Shape memory polymer (SMP).
2. Multi-Walled Carbon Nanotubes (MWCNT).

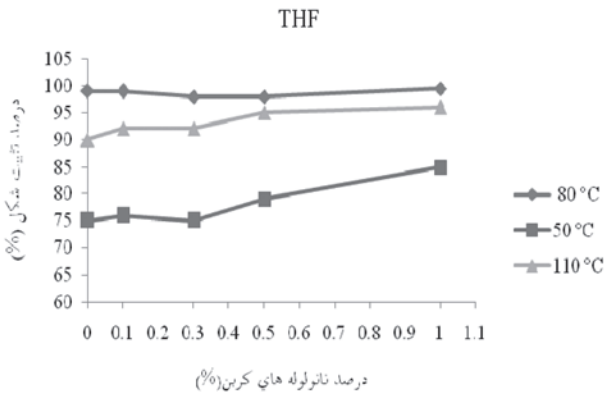
دو بخش سخت و نرم وارد می‌شود و باعث جابه‌جایی مناطق سخت نیز می‌شود. این تغییر شکل ایجاد شده در بخش سخت، باعث کاهش درصد بازیابی می‌شود. افزودن نانولوله‌های کربن در حلال تتراهیدروفوران N, N- دی‌متیل فرمامید باعث افزایش درصد بازیابی می‌شود. این موضوع به چند علت می‌تواند باشد.

از آنجایی که نانولوله‌های کربن برهم‌کنش‌هایی با بخش نرم و سخت، به خصوص بخش سخت دارند، آنها می‌توانند برای ذخیره‌سازی و آزادسازی تنش داخلی حاصل از تغییر شکل به بخش سخت کمک کنند و باعث افزایش درصد بازیابی شوند. در مورد دی‌متیل استامید کاهش درصد بازیابی در میزان ۰/۱٪ نانولوله‌های کربن به علت عدم پراکندگی یکنواخت آنها می‌باشند. در این حلال در دو دمای ۵۰ و ۱۱۰ در غلظت ۰/۳٪ کاهش در بازیابی شکل مشاهده می‌شود که کمترین بازیابی شکل را دارند درصد بازیابی در آنها حتی از نمونه بدون نانولوله‌های کربن نیز کمترمی‌باشد.

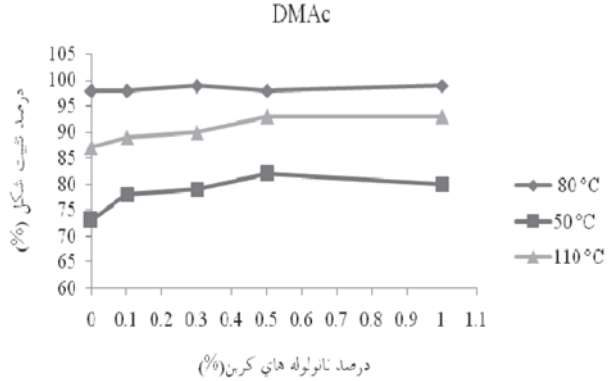
بحث‌ونتیجه‌گیری

نتایج آنالیز حرارتی نشان داد که حلال و نانولوله‌های کربن هر دو بر رفتار حرارتی پلیمر مؤثر هستند. جدایی فازی در حلال تتراهیدروفوران بیش از N, N- دی متیل استامید و آن نیز بیش از N, N- دی متیل فرمامید می‌باشد. به طور کلی افزایش غلظت نانولوله‌های کربن باعث افزایش جدایی فازی می‌شود. در دمای ۸۰°C دمای ایجاد تغییر شکل، بیشترین درصد بازیابی و درصد تثبیت شکل حاصل شده است.

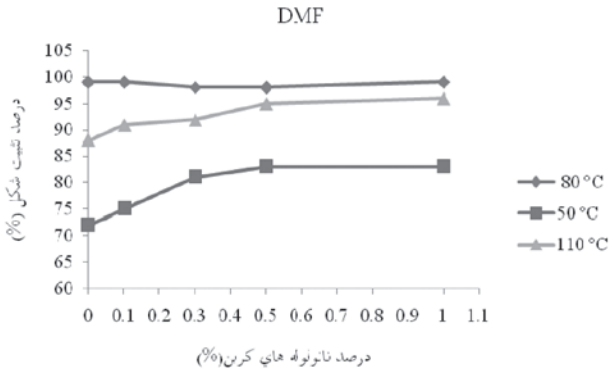
در مورد سه حلال تتراهیدروفوران، N, N- دی متیل استامید و N, N- دی متیل فرمامید می‌توان گفت که با افزایش میزان جدایی فازی درصد بازیابی افزایش می‌یابد. از آنجایی که مناطق نرم در تثبیت شکل و مناطق سخت در بازیابی شکل اثرگذار هستند، هر چقدر مناطق نرم و سخت از هم جداتر باشند، عملکرد هر کدام در تثبیت شکل و بازیابی آن بهتر می‌گردد.



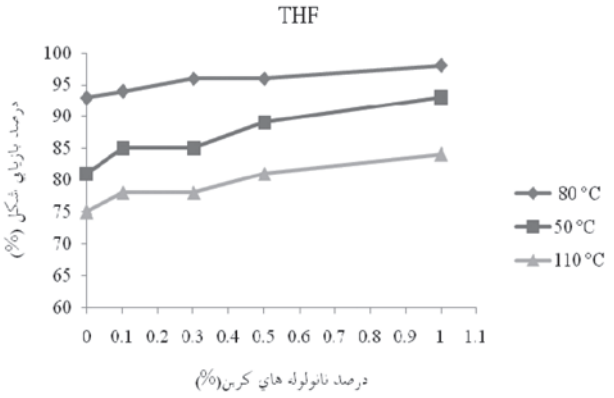
شکل ۱. درصد تثبیت شکل پلیمر در غلظت‌های مختلف نانولوله‌های کربن در سه دمای متفاوت در حلال THF.



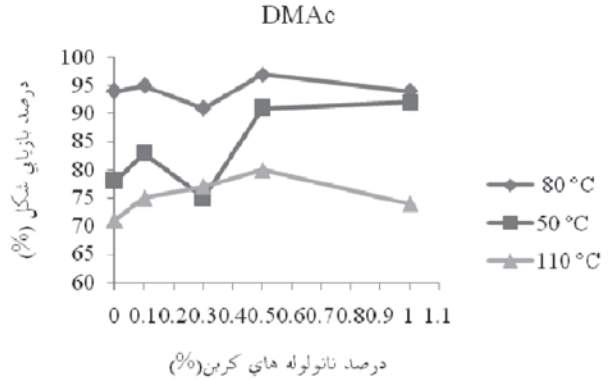
شکل ۲. درصد تثبیت شکل پلیمر در غلظت‌های مختلف نانولوله‌های کربن در سه دمای متفاوت در حلال DMAc.



شکل ۳. درصد تثبیت شکل پلیمر در غلظت‌های مختلف نانولوله‌های کربن در سه دمای متفاوت در حلال DMF.



شکل ٤. درصد بازیابی شکل پلیمر در غلظت‌های مختلف نانولوله‌های کربن در سه دمای متفاوت در حلال THF.



شکل ۵. درصد بازیابی شکل پلیمر در غلظت‌های مختلف نانولوله‌های کربن در سه دمای متفاوت در حلال DMF.

پی‌نوشت

۱. دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی، تهران

*samira@gmail.com.farshid

منابع در دفتر مجله موجود می‌باشد.