تأثیر قرار گرفتن در معرض اشعه ایکس بر خواص نانو-مکانیکی نانوکامپوزیت‌های پلیمری سیلیکونی بارگذاری شده با نانولوله‌های کربنی چند جداره: مطالعه‌ای مبتنی‌بر AFM

چکیده

خواص نانومکانیکی نانوکامپوزیت‌های مبتنی‌بر پلیمر سیلیکونی که با نانولوله‌های کربنی چند جداره (MWCNT[1]) به‌عنوان نانوپرکننده بارگذاری شده‌اند، در این مطالعه با استفاده از تکنیک میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM[2]) بررسی می‌شوند. علاوه بر این، اثرات غلظت MWCNT و قرار گرفتن در معرض اشعه ایکس بر خواص نانومکانیکی و توپوگرافی نانوکامپوزیت‌های پلیمری به طور سیستماتیک مورد مطالعه قرار می‌گیرند. هنگامی که ماتریس پلیمری بکر با 2.5 wt% MWCNT بارگیری می‌شود، میانگین زبری سطح مربع به میزان 123% افزایش می‌یابد، در حالی که برای غلظت ثابت MWCNT، زبری سطح پس از تابش اشعه-X تا 171% افزایش می‌یابد. این رفتار به تخریب پلیمر ناشی از اشعه-X، خروج پلیمر و برهمکنش ضعیف ماتریس پرکننده که منجر به تجمع MWCNT شده است، نسبت داده می‌شود. نیروی چسبندگی و انرژی چسبندگی از منحنی‌های نیرو-جابجایی مبتنی‌بر AFM تخمین زده می‌شود. هر دو مقدار با غلظت MWCNT افزایش می‌یابند. پس از قرار گرفتن در معرض اشعه-X تشخیصی (30-70 keV)، نیروی چسبندگی تقریباً 4 برابر افزایش می‌یابد؛ که به افزایش سطح تماس سطح نوک، به دلیل زبری سطح بالاتر نمونه‌های در معرض اشعه ایکس نسبت داده می‌شود. علاوه بر این، تغییر انرژی چسبندگی با غلظت پرکننده با مقادیر نظری به‌دست‌آمده از مدل جانسون،

[1] multi-walled carbon nanotube
[2] atomic force microscopy

کندال و رابرتز (JKR[1]) مطابقت دارد. مدول الاستیک با غلظت پرکننده به دلیل افزایش نیروی چسبندگی افزایش می‌یابد. نتایج به‌دست‌آمده برای طراحی بهینه نانوکامپوزیت‌های پلیمری بارگذاری شده با نانوپرکننده برای کاربردهای مختلف، از جمله ساخت نانوکامپوزیت‌های رادیویی مات بدون-سرب، سودمند هستند.

کلیدواژه‌ها: نیروی چسبندگی، پلیمر سیلیکون، نانوکامپوزیت‌ها، JKR، میکروسکوپ نیروی اتمی، خواص نانومکانیکی.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه در اثر تابش اشعه ایکس و غلظت نانو پرکننده بر خواص توپوگرافی و چسبندگی نانوکامپوزیت‌های پلیمری سیلیکونی با نانولوله‌های کربنی چند جداره (MWCNT) با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) بررسی شدند. نانوکامپوزیت‌های پلیمری سیلیکونی حاوی غلظت‌های مختلف نانوپرکننده‌های MWCNT با استفاده از روش ریخته‌گری محلول در دمای اتاق تهیه شدند. اندازه‌گیری‌های توپوگرافی 123% افزایش در زبری سطح میانگین مربع (RMS[2]) نانوکامپوزیت‌های پلیمری را هنگامی که غلظت MWCNT به 2.5 wt% افزایش می‌یابد، نشان می‌دهد. از سوی دیگر، برای غلظت ثابت MWCNT، زبری سطح RMS پس از تابش اشعه ایکس به میزان ~171% افزایش می‌یابد، که به تخریب پلیمر ناشی از اشعه ایکس نسبت داده می‌شود که باعث تجمع مجزای MWCNT به دلیل برهمکنش ضعیف پرکننده-ماتریس می‌شود. همانطور که از تصویربرداری توپوگرافی مبتنی‌بر AFM از نانوکامپوزیت‌های پلیمری در

[1] Johnson, Kendall and Roberts
[2] root mean square

معرض اشعه ایکس تایید می‌شود، منجر به برآمدگی‌های نامنظم می‌شود. با استفاده از روش نیرو-حجم، نیروی چسبندگی و انرژی چسبندگی از منحنی‌های نیرو-جابجایی تخمین زده می‌شود و مشاهده می‌شود که نیروی چسبندگی در غلظت‌های بالاتر MWCNT حدود 118% افزایش می‌یابد. برای غلظت ثابت MWCNT ~2.5 wt% نیروی چسبندگی پس از قرار گرفتن در معرض اشعه ایکس تا 4 برابر افزایش می‌یابد، که به افزایش زبری سطح نانوکامپوزیت‌های پلیمری در معرض اشعه ایکس نسبت داده می‌شود که سطح تماس سطح نوک را افزایش می‌دهد. نتایج تجربی افزایش خطی در نیروی چسبندگی با زبری سطح RMS را نشان می‌دهد. مقادیر انرژی چسبندگی به طور تجربی از مناطق تحت غیر تماسی منحنی‌های نیرو-جابجایی تعیین و مشخص می‌شود که با غلظت MWCNT و پس از قرار گرفتن در معرض اشعه ایکس افزایش می‌یابد. علاوه بر این، مقادیر انرژی چسبندگی تجربی مطابقت خوبی با مقادیر تئوری محاسبه‌شده به‌دست‌آمده از مدل جانسون، کندال و رابرتز (JKR) دارند. با استفاده از روش دو نقطه‌ای JKR، مدول الاستیک و تغییر شکل نانوکامپوزیت‌های پلیمری برآورد می‌شود، که در آن مدول الاستیک با غلظت MWCNT به دلیل افزایش نیروی چسبندگی افزایش می‌یابد. یافته‌های تجربی به وضوح افزایش زبری سطح، نیروی چسبندگی، انرژی چسبندگی و مدول الاستیک را برای نانوکامپوزیت‌های پلیمری سیلیکونی بارگذاری‌شده با MWCNT با افزایش غلظت نانوپرکننده و پس از قرار گرفتن در معرض اشعه ایکس نشان می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده برای طراحی بهینه چنین نانوکامپوزیت‌های پلیمری برای کاربردهای مختلف مفید می‌باشد.

Reference

Vadivel, M., Jayakumar, S., Lahiri, B. B., & Philip, J. (2022). Effect of X-ray exposure on nano-mechanical properties of multi-walled carbon nanotube incorporated silicone polymer nanocomposites: An AFM-based study. *Journal of Elastomers & Plastics*, *54*(7), 1172-1201.

DOI: 10.1177/00952443221133237

ترجمه و ویرایش: جواد برزوئی