بررسی تأثیر نانوویسکرهای SiC بر خواص کششی و خمشی نانوکامپوزیت سیلیسیم کاربید/اپوکسی

محمدرضا نعیمی‌راد [۱و۲]، علی زادهوش [۱و۵]، رسول اسماعیلی [۲]

چکیده:

نانوکامپوزیت‌ها از ترکیب دو یا چند فاز تشکیل می‌شوند که حداقل یکی از ابعاد فاز تقویت‌کننده نانومتری می‌باشد. نسبت ظاهری (نسبت طول به قطر) یکی از عوامل مؤثر بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های الیاف کوتاه در مقیاس میکرو شناخته شده است. در این پژوهش با توزیع نانوویسکرهای سیلیسیم کاربید (که حالت سوزنی، طول میکرو و قطر نانومتری دارند) در نسبت‌های ۰/۵، ۱، ۲ و ٤ درصد وزنی، با استفاده از امواج مافوق صوت در رزین اپوکسی، نمونه‌های نانوکامپوزیتی تهیه شد و با انجام آزمون‌های کشش و خمش بر روی آنها تأثیر نسبت ظاهری و نیز میزان تقویت‌کننده بر خواص مکانیکی نانوکامپوزیت بررسی شد. در نهایت این نتایج حاصل آمد که نسبت ظاهری در مقیاس نانو نیز یک عامل اثرگذار بر خواص مکانیکی است و با افزایش نسبت طول به قطر، تقویت‌کنندگی افزایش می‌یابد. بالاترین میزان تقویت‌کنندگی در نسبت ۲ درصد وزنی و تا حدود ۳۵ درصد افزایش خواص مکانیکی حاصل شد و در ٤ درصد وزنی کاهش خواص رخ داد که دلیل آن تجمع نانوویسکرها می‌باشد.

مقدمه

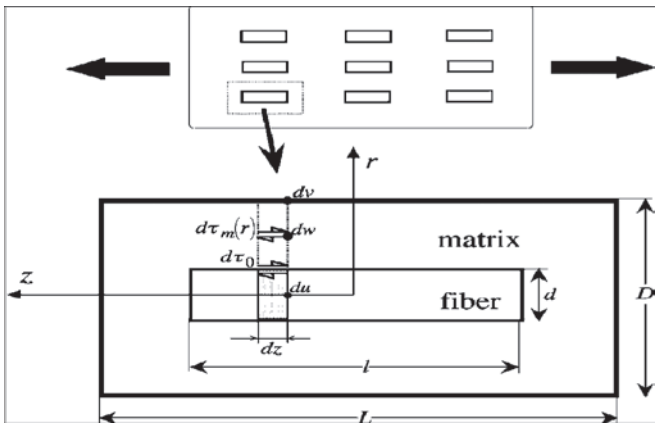
نانوکامپوزیت‌ها، کامپوزیت‌هایی تشکیل شده از دو یا چند فاز هستند که حداقل یکی از فازها در ابعاد نانومتر باشد [۱]. سیلیسیم کاربید یک سرامیک غیراکسیدی و از مواد پیشرفته است که به خاطر خواص قابل توجه آن استفاده‌های زیادی از آن می‌شود. این ماده بعد از الماس، نیترید بر و کاربید بر، سخت‌ترین ماده شناخته شده در جهان می‌باشد [۲]. از کاربردهای این ماده می‌توان در ساینده‌ها، نیمه‌رساناها و کامپوزیت‌ها اشاره کرد. در گزارشات اخیر منتشر شده از کاربرد SiC در کامپوزیت‌های پایه پلیمری، به خصوص رزین اپوکسی، توسط محفوظ و همکارانش [۳] و [۴]، نانوذرات و میکروذرات SiC در نسبت ۱/۵ درصد وزنی باعث افزایش ۲۵ درصدی خواص کششی و خمشی شده و بعد از آن در درصدهای بیشتر، افت خواص رخ داده است. نانوویسکرهای سیلیسیم کاربید یکی از جدیدترین محصولات این ماده می‌باشد که به شکل سوزن در یک راستا (اندیس میلر [۱۱۱]) شروع به رشد می‌نماید و یک بعد آن در اندازه نانو است، به عبارتی دیگر قطر ویسکرها نانومتری و طول آنها میکرونی است. در سال‌های اخیر راه‌های متعددی برای تولید این مواد نانو گران‌قیمت کشف و به ثبت رسیده است [۵]. یکی از عوامل مهم در خواص مکانیکی کامپوزیت‌های لیفی نسبت ظاهری است که این عامل توسط تئوری شیر – لگ و روش کاکس طبق شکل ۱ نشان داده می‌شود [۶]. استحکام کامپوزیت با استفاده از مدل کاکس از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$\sigma_c = \sigma_f v_f \{1 - l_c/2l\} + \sigma_m(1 - v_f) \quad (۱)$$

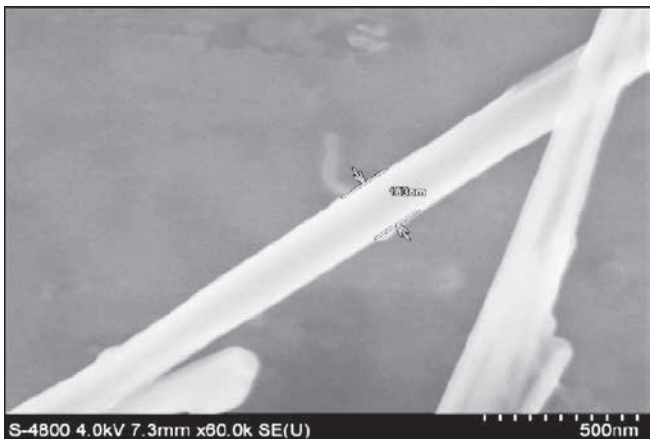
که در این رابطه Lc طول بحرانی بوده و از رابطه ۲ به دست می‌آید و fσ استحکام الیاف و vf کسر حجمی الیاف است.

$$L_c = \sigma_f \times r/2\tau \quad (۲)$$

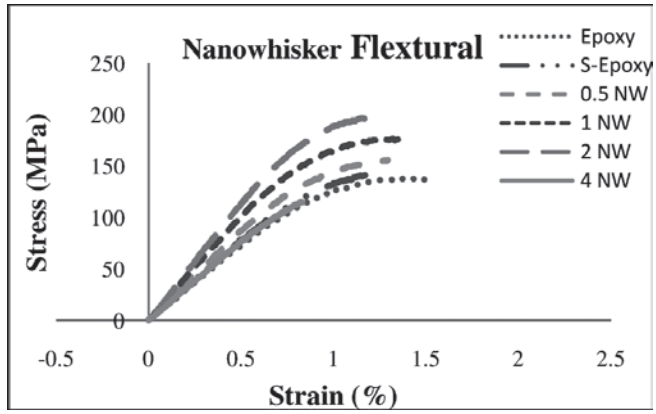
با توجه به نسبت ابعادی بیشتر نانوویسکرها نسبت به نانوذرات و تأثیر این عامل مهم در تقویت‌کنندگی کامپوزیت‌ها از این ماده باارزش برای تقویت اپوکسی استفاده شده و خواص مکانیکی نانوکامپوزیت حاصل بررسی شد تا تأثیر این عامل در مقیاس نانو مشخص گردد، همچنین تأثیر درصد افزودن تقویت‌کننده بر خواص کامپوزیت مطالعه شد.



شکل ۱. نمایی از مدل شیر – لگ [۶].



شکل ۲. تصویر TEM از نانوویسکر



شکل ۳. نمودار تنش – کرنش حاصل از آزمون کشش

روش تحقیق

در این پژوهش رزین اپوکسی با نام تجاری Araldite LY ۵۶۴ ساخت شرکت هانسمن آلمان با پرکننده نانوویسکر SiC تولیدی شرکت Sky Spring امریکا به میزان کسر وزنی ۰/۵، ۱ و ۲ و ۴ درصد مخلوط شده و توسط دستگاه مافوق مدل UP 400s ساخت شرکت هلسچر آلمان به مدت یک ساعت به همراه سرمایش، با شدت دامنه ۶۵% تحت امواج مافوق صوت قرار گرفت، سپس عامل پخت تترآمین با نام تجاری Aradur به نسبت وزنی ۲۷ به ۱۰۰ نسبت به رزین به مخلوط اضافه شده و بعد از هم زدن به مدت ده دقیقه با همزن مکانیکی قالب‌ریزی شد. نمونه‌های آزمون توسط ماشین‌کاری CNC از صفحات نانوکامپوزیت تهیه شد. دمبل‌های آزمون کشش طبق نوع ۵ ASTM D638 و تیغه‌های آزمون خمش طبق نوع ۳ ASTM D790 توسط دستگاه زویک مدل ۱۴۴۶ مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج با خواص کامپوزیت‌های میکروذرات و نانوذرات و همچنین رزین شاهد مقایسه شد.

نتایج و بحث

با انجام آزمون FT-IR مشخص شد که امواج مافوق صوت ساختار شیمیایی رزین را تخریب نکرده است، تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانوویسکر نیز که در شکل ۲ نشان داده شده است بیانگر ابعاد آن می‌باشد. پس از انجام آزمون‌های مکانیکی نتایج حاصل از آزمون کشش و خمش نانوکامپوزیت‌ها به صورت نمودار تنش – کرنش که در شکل ۳ و ۴ نشان داده شده به دست آمد.

همان‌گونه که از شکل ۳ و ۴ مشخص است، پس از انجام مافوق صوت خواص مکانیکی رزین اندکی افزایش یافته است که دلیل آن تأثیر امواج مافوق صورت بر همگن شدن رزین و تأثیرات شیمیایی آن بر درجه پیوندهای عرضی است. با افزودن نانوویسکر نیز خواص مکانیکی (مدول و استحکام کششی و خمشی) افزایش یافته و در نسبت وزنی ۲ درصد به حداکثر خود رسیده است، اما در ۴ درصد، افت خواص رخ داده که دلیل آن تجمع و درهم پیچیدن ویسکرها در نسبت‌های بالا است. برای مقایسه بهتر نتایج، داده‌های نمودارها در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که از اطلاعات جدول ۱ مشخص است، رزین شاهد استحکام کششی و خمشی ۸۶ و ۱۳۷ مگاپاسکال را از خود نشان داده است و مدول کششی آن ۲۳۶۰ و مدول خمشی آ ن ۳۳۹۰ مگاپاسکال بوده است. با انجام مافوق صوت حدود ۵ درصد افزایش خواص مکانیکی مشاهده شده است. نانوویسکرها نیز با توزیع در رزین به عنوان تقویت‌کننده باعث افزایش خواص مکانیکی شده‌اند، به طوری که بیشترین خواص در کسر ۲ درصد وزنی حاصل شده است. افزایش مدول کششی و خمشی در این نمونه حدود ۳۵ درصد و افزایش استحکام کششی و خمشی ۳۴ و ۴۴ درصد نسبت به رزین شاهد بوده است. با افزایش میزان نانوویسکرها تا ۴ درصد، افت خواص مکانیکی حتی تا کمتر از نمونه شاهد رخ داده است که دلیل آن تجمع نانوویسکرها می‌باشد. با مقایسه نتایج این پژوهش با نتایج محفوظ و همکارانش [۳ و ۴] مشخص می‌شود که نانوویسکرها تقویت‌کنندگی بهتری نسبت به نانوذرات سیلیسیم کاربید در رزین اپوکسی داشته‌اند که دلیل آن شکل ظاهری این مواد و نسبت ابعادی بیشتر (حدود ۲۰ الی ۴۰ برابر) در مقایسه با نانوذرات است. از نتایج دیگر، توزیع تقویت‌کننده و تأثیر مطلوب امواج مافوق صورت بر نانوویسکرها در رزین و نیز سازگاری سطحی نانوویسکرها با رزین اپوکسی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با استفاده از امواج مافوق صوت خواص رزین تا حدی افزایش پیدا نموده است که به دلیل همگن نمودن اجزای رزین و نیز کاهش میزان حباب و تأثیرات شیمیایی امواج مافوق صوت بر درجه پیوندهای عرضی می‌باشد. نانوویسکرهای SiC تا نسبت ۲ درصد وزنی باعث افزایش حدود ۳۵ درصدی خواص کششی و خمشی اپوکسی شده که دلیل دست‌یابی خواص بالاتر نسبت به نانوذرات، نسبت ابعادی بیشتر و تحمل تنش بیشتر می‌باشد. با افزایش میزان نانوویسکرها از تقویت‌کنندگی کاسته شده که دلیلی بر تجمع ویسکرها و غلبه برهمکنش مواد تقویت‌کننده بر برهمکنش میان تقویت‌کننده و رزین است.

پی نوشت

۱دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان
۲بخش مهندسی غیرفلزی، شرکت صنایع هواپیماسازی ایران، اصفهان

مراجع در دفتر مجله موجود است.

نمونه/خواص	خواص کششی				خواص خمشی			
	مدول (Mpa)	%	استحکام (Mpa)	%	مدول (Mpa)	%	استحکام (Mpa)	%
Epoxy	۲۳۶۰	–	۸۶	-	۳۳۹۰	-	۱۳۷	-
S-Epoxy	۲۴۴۵	۴	۹۲	۶	۳۶۰۰	۶	۱۴۴	۵
0/5NW	۲۶۷۰	۱۳	۱۰۴	۲۰	۳۷۲۸	۱۰	۱۵۵	۱۳
NW 1	۲۸۷۰	۲۱	۱۱۱	۳۰	۴۰۷۰	۲۰	۱۷۷	۲۹
NW 2	۳۲۲۵	۳۶	۱۱۵	۳۴	۴۵۸۸	۳۵	۱۹۸	۴۴
NW 4	۲۹۹۰	۲۶	۱۰۵	۲۲	۳۶۱۲	۶	۱۱۶	-۱۵

جدول ۱. خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌ها و مقایسه با اپوکسی