Archive of SID

بهبود ویژگی‌های مکانیکی لنت ترمز خودرو با استفاده از نانو کامپوزیت فنولیک ـ نانورس

سید حسین کثیریها، مرضیه لطفی*+
دانشکده مهندسی نفت و شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

مجتبی شفیعی
دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران

چکیده: در این پژوهش با استفاده از روش پلیمریزاسیون درجا و پراکنده سازی نانورس (مونت موریلونیت) در بستر رزین فنولیک لنت ترمزی تولید شده است که افزون بر ترمز گیری روان و مطمئن، عمر بالا یی نیز دارد. مقدار بهینه نانو رس ٪۲/۵ تعیین شد تا از کلوخه شدن نانورس و نبود توزیع یکنواخت آن در بستر رزین فنولیک و همچنین کاهش ویژگی‌های مکانیکی لنت ترمز جلوگیری شود. با توجه به نتیجه‌های به دست آمده از آزمون‌های انجام شده، در دو فرمولاسیون لنت ترمز یکسان؛ یکی بدون نانورس و دیگری دارای (٪۲/۵) نانو رس، به ترتیب خمش نمونه از ۶۱/۹ مگاپاسکال به ۷۰/۲ مگاپاسکال، سختی نمونه از ۸۳ به ۹۱ (Shore A)، سایش از $۴/۲۳۰۸\times۱۰^{-۷}$ به $۳/۸۶۷۴\times۱۰^{-۷}$ و ضریب اصطکاک از ۰/۲۲۸ به ۰/۲۳۲ تغییر کرد و همچنین برای اثبات نانو بودن ذره نانورس از آنالیز SEM استفاده شد.

واژه‌های کلیدی: پلیمریزاسیون درجا، آزمون سایش، رزین فنولیک، لنت ترمز، نانورس.

KEYWORD: *In situ polymerization, Abrasion test, Phenolic resin, Brake pads, Nano clay*

مقدمه

کامپوزیت‌های پایه پلیمری معمول‌ترین نوع مواد اصطکاکی لنت ترمز خودرو هستند که باید ویژگی‌هایی همچون مقاومت سایشی بالا، عمر زیاد، ضریب اصطکاک پایدار را دارا باشند. امروزه لنت ترمز با توجه به کاربرد فراوان در صنعت خودرو سازی و ایمنی و سلامت سرنشینان خودروها اهمیت بسیار بالایی پیدا کرده است. یافتن فرمولاسیونی اقتصادی و همچنین بری بودن از مواد سرطان‌زا مانند آزبست و الیاف شیشه که مشکلات تنفسی به مرور زمان ایجاد می‌کنند دارای اهمیت می‌باشد. در لنت ترمز خودروهای سواری ماتریس پلیمر (رزین فنولیک) به عنوان بایندر[۱] وارد فرمولاسیون می‌شود. فیلرهای نانو به دلیل نسبت منظر بالا (نسبت سطح به حجم بالا) و نسبت سطح تماس زیادی که ایجاد می‌کنند ویژگی‌های یگانه ای در پلیمر به وجود می آورد. بنابراین در این پژوهش به بررسی نقش نانوذره‌های نانورس (اصلاح شده) در فرمولاسیون مواد اصطکاکی ترمز خودرو پرداخته شده است.

جاناتان پاپاس و *همکاران* در سال ۲۰۰۵ میلادی [۱] با کمک روش پلیمریزاسیون درجا توانستند مونومرهای فنول را بین صفحه های نانو رس قرار دهند و به این نتیجه رسیدند که میزان بهینه نانو رس

* عهده دار مکاتبات
+ E-mail: marzieh.lotfi@srbiau.

(۱) Binder

www.SID.ir

Archive of SID

در این روش چیزی در حدود ٪۲/۷ می‌باشد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که آزمون مکانیکی کشش رزین دارای نانورس به میزان ٪۲۱ نسبت به رزین خالص و مقاومت در مقابل شکستگی حدود ٪۸۷ و انرژی شکستگی حدود ٪۱۰۰ و خمش حدود ٪۱۳ درصد بهبود پیدا کرده است. *گنگ ژو* و *همکاران* در سال ۲۰۰۸ میلادی[۲] بر روی نانو کامپوزیت‌های رزین فنولیک و اپوکسی تقویت شده با نانورس و الیاف کربن پژوهش کردند. آن ها نانو کامپوزیت‌های پلیمری با کارایی بالا با استفاده از هردو الیاف کربن و نانو رس سنتز کردند. رزین های فنولیک و اپوکسی هر دو به عنوان ماتریس پلیمری استفاده شدند. رزین اپوکسی آب‌گریز با نانو رس اصلاح شده، مخلوط می‌شود در حالی که رزین فنولیک آب‌دوست با نانو رس معمولی یعنی بدون تغییر مخلوط شده و همچنین الیاف کربن به هردو ترکیب افزوده شده است. ویژگی‌های مکانیکی و گرمایی هر دو کامپوزیت تولید شده با الیاف کربن و نانو رس مورد بررسی قرار گرفت که نشان داد ویژگی‌های مکانیکی و گرمایی به طور چشمگیری بهبود یافته است. وی *جیانگ* و *همکاران* در سال ۲۰۰۶ میلادی [۳] به بررسی پایداری و بهبود ویژگی های گرمایی نانو کامپوزیت فنولیک اصلاح شده با نانو مونت موریلونیت پرداختند. آن ها توانستند با موفقیت رزین فنولیک را با نانو مونت موریلونیت اصلاح شده به روش پلیمریزاسیون درجا به کمک اصلاح کننده هایی همچون اکتا دسیل آمین و بنزیل دی متیل هگزا دسیل آمونیوم و ... تولید کنند. با کمک پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی توانستند به خوبی پخش شدن رزین فنولیک (نووالاک) را بین صفحه های نانو مونت موریلونیت ببینند. مقاومت گرمایی نانو کامپوزیت به طور چشمگیری بستگی به ساختار شیمیایی اصلاح کننده های استفاده شده در این روش دارد. تست های پایداری گرمایی از رزین اصلاح شده و رزین خالص گرفته شد و تفاوت چشمگیری بین نتیجه‌های آن به چشم می‌خورد. *هانشنگ وانگ* و *همکاران* در سال ۲۰۰۲میلادی [۴] به سنتز نانو کامپوزیت سیلیکات لایه ای با رزین فنولیک نووالاک با استفاده از مونت مویلونیت اصلاح شده به روش لایه برداری پرداختند. نانو کامپوزیت سیلیکات لایه‌ای/ نووالاک با استفاده از روش پلیمریزاسیون تراکمی از فنول و فرمالدهید و مونت موریلونیت اصلاح شده تولید شد. لایه برداری از رس با استفاده از پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی (TEM) نشان داد شد که فشرده سازی فنول و فرمالدهید نقش مهمی در لایه برداری از مونت مویلونیت اصلاح شده دارد. صفحات نانو رس با مقیاس بین ۱۰ تا ۳۰ نانومتر به طور یکنواخت در ماتریس پلیمر پراکنده شد و با استفاده از تصویرهای TEM مشخص شد.

جیانئینگ یو و *همکاران* در سال ۲۰۰۹ میلادی [۵] به بررسی نانو کامپوزیت فنولیک بهینه شده با ورمیکولیت[۱] و تأثیر آن در لنت ترمز پرداختند. آن‌ها برای تولید نانو کامپوزیت فنولیک از روش گسترش مذاب از اصلاح کننده بنزیل دی متیل اکتا دسیل آمونیوم استفاده کردند. نتیجه‌های ساختار نانو کامپوزیت تولید شده با استفاده از پراش پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل گرمایی سنجی نشان داد که دمای تجزیه گرمایی نانو کامپوزیت از ۴۳۳/۹ درجه سلسیوس به ۴۸۲/۶ تغییر پیدا کرده است. لنت ترمز بر اساس نانوکامپوزیت نوین تهیه شد و نتیجه‌های به دست آمده از آن نشان داد که لنت ترمز نوین دارای ضریب اصطکاک پایدارتر و نرخ سایش کم‌تر بوده است. *مصطفی بز* و *ادم کارت* به بررسی تأثیر آلومینا بر ویژگی‌های مواد اصطکاکی لنت ترمز خودرو پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که با افزایش دمای ماده اصطکاکی ضریب اصطکاک کاهش پیدا کرد کم‌ترین میزان کاهش مربوط به نمونه‌های ۲و۴ درصد بوده است. تصویرهای SEM نمونه نشان داد که افزایش محتوای Al_2O_3 منجر به پوشیدن چسب می شود. با افزایش محتوای Al_2O_3، کاهش در میزان تلفات نمونه ها دیده شد. به طور کلی، نمونه‌هایی که با ٪۲ و ٪۴ Al_2O_3 تقویت شده اند بهترین نتیجه‌ها را نشان می‌دهند[۶]. *تیج سین* و *آمار پاتنیک* در سال ۲۰۱۵ میلادی [۷] به بررسی تأثیر نانو لوله‌های کربنی پرداختند و نتیجه‌های آن‌ها را بر رفتار ضریب اصطکاکی مواد لنت ترمز بررسی کردند. آن ها به پایداری ضریب اصطکاک در طی آزمون سایش و ضریب اصطکاک دست یافتند. *تیج سین* و *آمار پاتنیک* در سال ۲۰۱۲ میلادی [۸] به بررسی اثر تقویتی نانو رس بر مواد اصطکاکی لنت ترمز همراه با فنل ترکیبی پرداختند. آن ها با کمک تست XRD توانستند پراکندگی نانو ذرات رس را در ترکیب نشان دهند. مقدار بهینه نانورس بیشتر از ۲/۲۵ درصد و برابر با ۲/۷۵ درصد بود که موجب بهبود ویژگی‌هایی همچون سختی و مقاومت ضربه می شود. نکته قابل توجه دیگر در بهبود عملکرد ترمز با داغ شدن دیسک ترمز بود. *جیوین وای* و *فنگوان یان* در ۲۰۰۷ میلادی [۹] به بررسی ویژگی‌های مکانیکی و تریبولوژیکی فنولیک رزین بر مواد اصطکاکی پرداختند. استفاده از مواد اصلاح کننده اصطکاک (کربن، پودر تالک و هیدروکسی بوذ نیتریل) تا ده درصد حجمی مقاومت در برابر خمش و بهبود سایش به دست آمد. *وانگ فا ـ هوا* و *لیو ینگ* در سال ۲۰۱۲ میلادی به بررسی الیاف فولاد بر ویژگی‌های تریبولوژیکی مواد اصطکاکی پرداختند. نتیجه‌های آزمون‌های انجام شده نشان داد تست سایش ۲۴ درصد، نسبت تخلخل ۵/۸ درصد و نسبت بهبود آن

(۱) Vermiculite

www.SID.ir

Archive of SID

۱۰/۷ درصد بهبود پیدا کرده است، که نشان دهنده عملکرد درخشان مقاومت در برابر گرما و بازیابی اصطکاک است[۱۰]. *مرتضی فقیهی* و *اکبر شجاعی* در سال ۱۳۸۹[۱۱] با افزودن نانوفیلرها (نانو رس) به ماتریس مواد اصطکاکی به نانوکامپوزیتی بهبود یافته‌ای دست یافته و به بررسی تأثیر نانورس بر این مواد پرداخته اند آن‌ها معتقد هستند نانو فیلرها به دلیل کوچکی و نسبت سطح به حجم بالا می‌توانند بر هم‌کنش مناسبی با ماتریس پلیمری ایجاد کنند. در این پژوهش نخست با استفاده از غلتک دو میله‌ای، لاستیک را چند دقیقه تحت تنش مکانیکی قرار داده و رزین (در صورت بودن در فرمولاسیون آمیزه) و نانورس به سیستم پخت افزوده شد و به مدت معینی تحت تنش مکانیکی بیش‌تر قرار گرفت. سپس خمیر به‌دست آمده در دستگاه پرس تحت فشار و دمای مناسب پخته شد و در آون خلاء تحت پخت تکمیلی قرار گرفت. مقایسه نتیجه‌های فاصله بین لایه‌ای نانوکلی برای آمیزه‌های لاستیک و لاستیک ـ رزین نشان داد که تفاوت چندانی در این فاصله‌ها ایجاد نشده‌است. بنابراین جداشدگی لایه‌های نانوکلی بیش‌تر تحت تأثیر زنجیرهای پلیمری بوده و می‌توان گفت که فیلرهای نانورس بیش‌تر در فاز لاستیکی قرار گرفته‌اند. همچنین نتیجه‌های ریخت شناسی SEM نیز توزیع به نسبت مناسبی از نانورس را در ماتریس لاستیک و لاستیک ـ رزین نشان می‌دهد. از سویی دیگر، افزودن رزین به آمیزه‌های لاستیک، بهبود در مقاومت کششی و مدول را نشان می‌دهد که این مسئله به دلیل مدول بالاتر رزین نسبت به لاستیک، است. با افزودن رزین به آمیزه لاستیکی، افزایش کمی در مدول دینامیک و کاهش در بیشینه فاکتور اتلاف است. همچنین با افزودن نانوکلی به آمیزه‌های لاستیکی، ویژگی‌های گرمایی نیز بهبود می‌یابد. فیلرهای نانورس ضمن بهبود ویژگی‌های این‌گونه ماتریس‌های پلیمری، می‌تواند برای بهبود ویژگی‌های مواد اصطکاکی (لنت ترمز قطارها) استفاده شود. *شهریار جعفری نژاد* و *همکاران* در سال ۱۳۹۰[۱۲] ویژگی‌های مکانیکی نانوکامپوزیت‌های تهیه شده با خاک رس C15A و اولیگومر pp-g-MA با ویژگی‌های مکانیکی نانوکامپوزیت‌های تهیه شده توسط دیگر پژوهشگران مقایسه شده است. به طورکلی مالئیک انیدرید (MA) و گلیسیدیل متاکریلات (GMA) اثرسازگار کنندگی بهتری نسبت به اکریلیک اسید(AA) دارند زیرا به خاطر قطبیتشان، ویژگی‌های مکانیکی نانوکامپوزیت‌ها به ویژه مدول یانگ و مقاومت ضربه‌ای و مقاومت کششی را بهبود می بخشند اگرچه در ویژگی‌های انعطافی کاهش شدیدی نشان می دهند. افزایش خاک رس به پلی پروپیلن مدول کششی و مقاومت کششی را بهبود داده ولی زیاد شدن طول در نقطه شکست را با چشم‌پوشی از عامل کوپلینگ به کار رفته کاهش می‌دهد. نانوکامپوزیت‌های حاوی خاک رسC20A مدول و مقاومت کششی بالاتری نسبت به C30B و CNa+ دارند در نانوکامپوزیت‌های پلی پروپیلن ـ خاک رس تهیه شده با خاک رس اصلاح شده اولیگومری، این خاک اثر شکل‌پذیری (انعطافی) روی پلیمرها دارد که مقاومت کششی در مقایسه با پلیمرهای اولیه کم می‌شود، در حالی که مدول یانگ افزایش می‌یابد. ساختار نانوکامپوزیت‌های تهیه شده با خاک رس C15A و اولیگومر PP-g-MA اینترکلیت است که در آن‌ها مقاومت کششی کاهش یافته ولی مدول یانگ افزایش می‌یابد. دراین نانوکامپوزیت‌ها مقاومت به جذب حلال با افزایش میزان خاک رس، کاهش می یابد. *پریسا جهانمرد* و *اکبر شجاعی* در سال ۱۳۹۰ به بررسی نانوکامپوزیت‌های فنولیک ـ نانورس به روش محلولی پرداختند. در این پژوهش دیدند نانورس اصلاح نشده ویژگی‌های بهتری را از خود نشان داد و همچنین به ویژگی‌های مکانیکی خوبی دست پیدا کردند و همچنین دمای سطح درام در آزمون سایش کاهش پیدا کرد[۱۳]. *حبیب اعتمادی* و *اکبر شجاعی* به مطالعه و نقش نانوذره‌های آلومینا بر رفتار مواد اصطکاکی لنت ترمز خودرو به روش محلولی پرداختند. نتیجه‌ها نشان داد که نمونه با ۴ درصد حجمی آلومینا بیش‌ترین درصد ریکاوری (۱۵٪ افزایش)، کم‌ترین درصد فید (۳۰٪ کاهش) و کم‌ترین دمای سطح مشترک (۶٫۵٪) کاهش را نسبت به نمونه پایه از خود نشان داد[۱۴]. *فرهاد احمدی* و *اکبر شجاعی* در سال۲۰۱۷ میلادی به بررسی نقش الیاف کربن در مواد اصطکاکی لنت ترمز خودرو پرداختند. مقدار بهینه الیاف کربن را ۱٪ مشخص کردند و در این مقدار میزان نرخ خمش از ۴۸٫۶ به ۶۱ مگاپاسکال، سختی از ۳۲٫۶ به ۵۱ و مقدار نرخ سایش به ۰/۹ رسید. با افزایش الیاف کربن درصد فید در نمونه‌ها افزایش پیدا کرد[۱۵]. *محمد ارجمند* و *اکبر شجاعی* در سال ۱۳۸۸ به بررسی اثر الیاف پشم فولاد، الیاف کربن، خمیر آرامید و الیاف سلولز بر روی ویژگی‌های تریبولوژیکی مواد اصطکاکی پایه لاستیک در دو درصد حجمی ۷/۵٪ و۱۵٪ پرداختند. پشم فولاد سبب ایجاد مکانیسم پیوستگی، افزایش ضریب اصطکاک و مقاومت سایشی کم در سرعت های لغزش بالا گردید. الیاف کربن به علت داشتن ویژگی‌های مناسب فیزیکی و ساختار لایه‌ای، سبب مقاومت سایشی بالا و ضریب اصطکاک پایین شد. خمیر آرامید به علت تشکیل لایه چسبناک در دماهای بالا منجر به ضریب اصطکاک بالا و مقاومت سایشی مناسب شد. الیاف سلولز نیز به علت تخریب گرمایی در دماهای پایین و تشکیل ضایعات سایشی ساینده ضریب اصطکاک و نرخ سایشی بالایی را به نمایش گذاشت[۱۶]. *مریم جمال انارکی* و *اکبر شجاعی* در سال ۱۳۸۷ به ساخت و بررسی

www.SID.ir

Archive of SID

ویژگی‌های تریبولوژیکی مواد اصطکاکی پایه لاستیک با ضریب اصطکاک پایین پرداختند. در این پژوهش به منظور دستیابی به ویژگی‌های اصطکاکی مناسب در مواد کامپوزیتی افزودنی های اصطکاکی گرافیت، مس اکسید، تیتانیوم اکسید و زیرکونیوم اکسید مورد استفاده قرار گرفته اند. ضریب اصطکاک، میزان سایش و پایداری ویژگی‌های سایشی نمونه‌ها طی آزمون‌های گوناگون بررسی شد. نتیجه ها نشان داد که گرافیت و مس اکسید به شکل چشمگیری موجب کاهش ضریب اصطکاک شدند[۱۷]. *امیر صفار* و *اکبر شجاعی* در سال ۱۳۸۹ به بررسی نقش لاستیک بر کارایی اصطکاکی مواد اصطکاکی سامانه ترمز پرداختند. آنالیز ویژگی‌های مکانیکی نشان داد که انطباق پذیری کامپوزیت با افزودن لاستیک SBR افزایش می‌یابد. آنالیز اصطکاکی نشان داد که نوع ماتریس پلیمری (رزین یا لاستیک) تأثیر مهمی بر رفتار اصطکاکی کامپوزیت دارد[۱۸]. *آزاده کرمی* و *علیرضا خاوندی* در سال ۱۳۸۵ به بررسی تأثیر اندازه کوارتز بر ویژگی های سایشی لنت ترمز کامپوزیتی بدون آزبست پرداختند. برای این منظور نمونه‌هایی با ۵ دانه بندی با مش های ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ ساختند و مطابق با استاندارد ۵۸۶ ملی ایران به آزمایش نمونه‌ها پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که نمونه دارای اندازه مش ۸۰ در مرحله گرمایی افت عدد سایش نداشت و نمودار یکنواخت تری را ارایه داد. [۱۹]. *محمد لا بقی* و *قنبر ابراهیمی* در سال ۱۳۹۳ به بررسی امکان استفاده از مواد لیگلو سلولزی در ساخت لنت ترمز اتومبیل و اثر نانو آلومینا بر ویژگی‌های آن پرداختند. در این پژوهش متغیر آن‌ها نوع ماده لیگنوسلولزی و ابعاد آلومینا بود. پس از ساخت نمونه‌های لنت ترمز و انجام آزمون‌های استاندارد ملی ایران به این نتیجه رسیدند که بهترین نتیجه‌های آزمون برشی مربوط به نمونه های دارای کنف و نانو آلومینا بود و کم‌ترین انبساط گرمایی مربوط به نمونه دارای شالی و نانو آلومینا و همچنین بهترین ضریب اصطکاک مربوط به نمونه‌های دارای باگاس و نانوآلومینا بود. [۲۰].

با توجه به مطالعه‌های پیشین در زمینه نانو کامپوزیت‌های فنولیک ـ نانورس نوآوری پژوهش حاضر استفاده از روش پلیمریزاسیون درجا در سنتز نانوکامپوزیت‌های فنولیک ـ نانورس و بررسی تأثیر آن در مواد اصطکاکی لنت ترمز است. در پژوهش‌های پیشین نانو ذره‌های دیگری بررسی شده‌اند که بیش‌تر آن‌ها به روش محلولی تهیه و در ترکیب لنت ترمز بررسی شدند. در روش محلولی استفاده از نانورس‌های اصلاح نشده جواب بهتری را نسبت به نانورس‌های اصلاح شده داده است. ولی در روش پلیمریزاسیون درجا به دلیل وجود ماده آلی (رزین فنولیک) نخست به صورت مونومرهای تشکیل دهنده در کنار نانورس، نانورس اصلاح شده جواب بهتری را می‌دهد. در حالی که در روش پلیمریزاسیون درجا احتمال تشکیل ساختار ورقه‌ای شده بیش‌تر از روش‌های تولید دیگر است. زیرا نخست مونومرها که اندازه‌های کوچکی دارند، وارد فضای بین لایه‌ای نانورس شده و سپس این مونومرها در ادامه به پلیمر تبدیل شده و این نانوصفحه‌ها از یک‌دیگر جدا می‌شوند. در حالی که در روش غیردرجا پلیمرها که اندازه‌های بزرگ تری دارند، نمی‌توانند به سادگی وارد فضای بین لایه ای نانورس شوند. نکته دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد استفاده از فرمولاسیون مرجع متفاوت با سایر پژوهش‌های پیشین است.

بخش تجربی

روش کار آزمایشگاهی

مواد اولیه: نانو رس (مونت موریلونیت) اصلاح شده (ارگانوکلی[۱]) استفاده شده از شرکت ساترن کلی[۲] نوع کلویزیت A ۱۵ است. فنول فراورده شرکت کومهو[۳] ساخت کره جنوبی (خلوص ٪۹۶)، فرمالین شرکت سامد مشهد (٪۴۲)، آب مقطر و اگزالیک اسید آزمایشگاهی از شرکت مرک[۴] آلمان (خلوص ٪۹۸) تهیه شده است. رزین فنولیک از شرکت رزیتان با نام تجاری(IP502) تهیه و به عنوان بایندر استفاده شده است.

موادی مانند باریت(فلات ایران)، کربنات کلسیم (پایا پلاست)، پودر لاستیک (ایساتیس یزد)، پودر فریکشن (هند)، پودر زغال و نانورس (مونت موریلونیت) (ساترن کلی) به عنوان فیلر[۵] (پر کننده) در فرمولاسیون مورد استفاده قرار گرفت.

گرافیت چرب (چینی) به عنوان لوبریکنت[۶](روان کننده) و پشم آهن به عنوان تقویت کننده مورد استفاده قرار گرفت.

آهن اکسید سیاه (مهر قم)، روی اکسید (توتیا قم) به عنوان مواد ساینده[۷] مورد استفاده قرار گرفت. شایان ذکر است که مواد مورد استفاده در ساخت نمونه های لنت ترمز خودرو از نوع صنعتی (خلوص دقیقی برای آن‌ها توسط تولید کننده اعلام نشده) بوده اند.

سنتز نانوکامپوزیت فنولیک/نانورس (مونت موریلونیت)

فرایند سنتز رزین در یک بالن ۴ دهانه ۵۰۰ میلی لیتری انجام شده است. نخست مقدار ۱۳۴/۸ گرم فنول را همراه با ۰/۶ گرم کاتالیست

(۱) Organo clay
(۲) Southern Clay
(۳) Kumho
(۴) Merck
(۵) Filler
(۶) Lubricant
(۷) Abrasive

www.SID.ir

Archive of SID

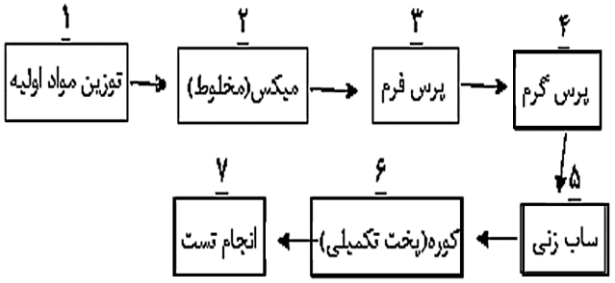
اسیدی (اگزالیک اسید) و ۳/۳۷ گرم نانو رس(۲/۵٪ وزنی فنول) مونت موریلونیت و ۱۲ گرم آب مقطر درون بالن ریخته و اجازه داده شد تا همه مواد درون راکتور با یک‌دیگر مخلوط شده و سپس pH محلول موردنظر خوانده شد که ۱/۲ را نشان داد. سپس دما تا ۹۰ درجه افزایش داده شد و در دمای ۹۰ درجه با تثبیت دما مقدار ۷۰/۷ گرم فرمالین (۴۲٪) به وسیله دکانتور به مدت یک ساعت به راکتور افزوه شد. (به این علت که واکنش به شدت گرما زا است). پس از پایان افزایش فرمالین دمای راکتور تا دمای بازروانی بالا رفت و به مدت دو ساعت راکتور در حالت بازروانی باقی ماند (هدف از انجام این کار واکنش کامل مونومرها و تشکیل زنجیرهای پلیمری بود). پس از دو ساعت بازروانی، سامانه در شرایط آب‌گیری قرار داده شد (زیرا اگر آب موجود در سامانه خارج نشود واکنش به سمت جلو پیش نمی رود و به حالت تعادل می‌رسد.) تا فرایند آب‌گیری ادامه یابد تا وقتی که دمای راکتور به ۱۵۰ درجه سلسیوس برسد. سرانجام با استفاده از پمپ خلا از دمای ۱۵۰ تا ۱۶۵ درجه سلسیوس آب‌گیری در خلا صورت گرفت (زیرا اگر آبی در سامانه باشد رزین پایانی حالت خمیری پیدا کرده و سخت نمی شود). در این مرحله از درون راکتور نمونه گرفته چنان چه در دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس، گرانروی رزین به ۴۰ پاسکال ثانیه رسیده باشد، راکتور خاموش شده و رزین روی یک فویل آلومینیومی تخلیه می شود. سرانجام به رزین فنولیک نوالاک به دست آمده مقدار ۱۰٪ وزنی از ماده هگزامین (هگزامین نقش سخت کننده را برای رزین دارد) افزوده شد و پس از پایان سنتز رزین فنولیک/ نانورس نمونه رزین به دست آمده را توسط آسیاب پودر شده و برای استفاده در ترکیب لنت ترمز آماده شده است. از همین روش سنتز رزین برای نمونه های بدون نانو و ۱/۵ و ۳/۵ درصد نانو رس هم استفاده شد. از رزین نهایی تخلیه شده مشخصات گرفته شد که مطابق با جدول ۱ است.

ساخت نمونه های لنت ترمز خودرو

واحد مربوط به ساخت نمونه های لنت ترمز شرکت آرتا لنت البرز است. برای ساخت نمونه های لنت ترمز هریک از مواد موجود در ترکیب توسط مخلوط‌کن به مدت ۴۵ دقیقه کامل مخلوط شد تا از ترکیب شدن یکسان و یکنواخت مواد اطمینان به دست آید. پس از ساخت ترکیب به دست آمده درون دستگاه پرس فرم ریخته شد تا نخست با فشار ۷۰ بار تنها شکل گرفته و سپس وارد مرحله پرس گرم شود در این مرحله نمونه در دمای ۱۷۰ درجه سلسیوس با فشار ۷۰ بار پرس شده و روش کفشک چسبیده شد سپس ساب زده و برای پخت تکمیلی وارد کوره در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۷ ساعت شد. (شکل ۱)

جدول ۱: مشخصه‌های رزین فنولیک سنتز شده با روش پلیمریزاسیون درجا

ویژگی	مقدار	واحد	روش آزمون
گرانروی	۴۰	پاسکال.ثانیه	ASTM D1238-1
B.Time	۱۰۰	ثانیه	DIN 16916-2
میزان هگزامین	۱۰	درصد	ASTM D1013
Flow(روندگی)	۵۳	میلی متر	DIN 16916-2



شکل ۱: فرایند تولید لنت ترمز دیسکی خودرو در کارخانه

آزمون‌های انجام شده

آزمون پراش پرتو ایکس

دستگاه XRD مدل D8-Advance ساخت شرکت Bruker AXS محصول مشترک همکاری آلمان (زیمنس) و آمریکا (شرکت بروکرپراش) می‌باشد. پرتو ایکس به منظور آنالیز فازی و بررسی کریستالوگرافی و تعیین فاصله لایه‌ها در خاک رس استفاده می‌شود. این کار از طریق پردازش و آنالیز پرتو ایکس بازگشتی از سطح نمونه‌ها امکان پذیر است.

آزمون خمش (Bending)

هدف از آزمون خمش اندازه‌گیری مقاومت پلاستیک‌ها، کامپوزیت‌ها در برابر نیروی خمشی است. دستور کار با دستگاه و چگونگی آزمایش با استفاده از استاندارد ASTM D790 تهیه شد. نمونه مورد آزمایش به شکل مکعب مستطیل با ابعاد گوناگون بوده که بسته به ضخامت قطعه، دیگر ابعاد مطابق با استاندارد تعیین می شود. به طور معمول از نمونه با ابعاد ۱۲۷ در ۱۲/۷ در ۳ میلی‌متر استفاده می‌شود که در این‌جا نمونه‌ها با ضخامت ۶ میلی متر است.

آزمون سختی راکول

دستگاه آزمونگر سختی راکول مدل HR-150A ساخت کشور چین و با استفاده از استاندارد ASTM D785-65 روش Shore A از یک ساچمه با قطر ۱۲/۷ میلیمتری اندازه گیری شد که به نام مقیاس R اندازه گیری می شود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۲: فرمولاسیون نمونه‌های لنت ترمز تولید شده(تفاوت نمونه‌ها در میزان نانورس)

نام مواد	رزین فنولیک	باریت	کربنات کلسیم	پودر لاستیک	پودر کشیو	پودر زغال	نانورس	گرافیت چرب	اکسید آهن	اکسید روی	الیاف آهن
ترکیب۱	۱۵	۱۵	۷	۵	۵	۵	۰	۱۵	۷	۸	۱۸
ترکیب۲	۱۵	۱۵	۷	۵	۵	۵	۱/۵٪	۱۵	۷	۸	۱۸
ترکیب۳	۱۵	۱۵	۷	۵	۵	۵	۲/۵٪	۱۵	۷	۸	۱۸
ترکیب۴	۱۵	۱۵	۷	۵	۵	۵	۳/۵٪	۱۵	۷	۸	۱۸

آزمون سایش و ضریب اصطکاک

در این تست دو پارامتر مهم برای لنت ترمز محاسبه می‌شود یکی از آن‌ها نرخ سایش نمونه بر حسب وزنی که از نمونه کم می‌شود و دیگری ضریب اصطکاک نمونه است. در گراف‌های رسم شده نمودار قرمز رنگ دمای نمونه و نمودار آبی رنگ ضریب اصطکاک نمونه را نشان می‌دهد. روش انجام این آزمون بر اساس استاندارد ۵۸۶ ایران است. اندازه‌های نمونه‌ها دراین تست مطابق با استاندارد ۵۸۶ ایران یعنی (۲/۵۷× ۲/۵۷) با ضخامت ۶ میلی‌متر است.

آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM[1])

اصول عملکرد SEM بر سه اصل استوار است:

۱- برهم‌کنش پرتوی الکترونی با نمونه

۲- امکان تولید و کنترل مشخصه‌های پرتوی الکترونی روبشگر در میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی

۳- امکان آشکارسازی پرتوهای تابیده شده از سوی نمونه در اثر برهمکنش آن با پرتوی الکترونی ورودی

برای اثبات از وجود نانورس در نمونه‌های ساخته شده لنت ترمز از نمونه دارای ۲/۵ درصد نانورس (مقدار بهینه نانورس در نمونه‌ها) آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی گرفته شد و شکل ۸ توزیع یکنواخت نانورس در سطح نمونه را نشان می دهد.

نتیجه‌ها و بحث

آزمون پراش پرتو ایکس (XRD)

سنتز رزین را با سه درصد وزنی گوناگون از نانو رس (۱/۵و ۲/۵ و ۳/۵) مطابق آنچه در جدول ۳ آمده، انجام داده شده است.

با توجه به نتیجه‌های آزمون XRD موجود درشکل‌های ۲و۳ این نتیجه به دست آمد که بین صفحه های نانورس فاصله ایجاد شده است اول می‌توان گفت در شکل یک پیک تیز نانورس در با زه ۲θ، ۲/۷ می‌باشد در حالی‌که در شکل شماره دو پیک نانورس به سمت عدد صفر حرکت کرده و در بازه ۲θ، ۱/۲ قرار گرفته است.

جدول۳: درصد وزنی نانورس در نمونه‌ها

شماره نمونه ها	نمونه یک	نمونه دو	نمونه سه
درصد نانورس	۱/۵	۲/۵	۳/۵

جدول۴: نتیجه‌های آزمون خمش نمونه‌ها

شماره نمونه	درصد وزنی نانورس	مقاومت دربرابر خمش	درصد خمش
۱	۰	۶۱/۹۰	۰/۵۷۳
۲	۱/۵	۶۳/۶۶	۰/۵۲۲
۳	۲/۵	۷۰/۲۹	۰/۵۴۳
۴	۳/۵	۴۸/۴۳	۰/۳۷۵

دوم این‌که طبق قانون براگ ۲θ با d که فاصله بین لایه‌ها است رابطه عکس دارد هرچه میزان ۲θ کم‌تر شود میزان فاصله بین لایه ها افزایش پیدا می کند. با افزایش رزین به نانورس و نفوذ بین صفحه های آن، هم پهنای پیک بیش‌تر شده و هم ارتفاع پیک پایین تر آمده است که این نشان دهنده افزایش فاصله بین لایه‌های نانورس با نفوذ زنجیرهای رزین فنولیک می باشد.

حال با توجه به نمودار XRD مشخص شد که بین لایه‌ها فاصله افتاده است و آزمون‌های مکانیکی مقدار بهینه نانورس را نشان می‌دهند. همه آزمون‌های ویژگی‌های مکانیکی در دانشگاه صنعتی شریف انجام شد.

آزمون خمش (Bending)

به طور معمول از نمونه با ابعاد ۱۲۷ در ۱۲/۷ در ۳ میلی‌متر استفاده می‌شود که در اینجا ضخامت نمونه‌ها ۶ میلی متر است.(جدول۴)

بررسی جدول۴ و شکل۴ نشان می دهد که در نمونه‌های شماره ۲ و ۳ که به ترتیب دارای ۱/۵ و ۲/۵ درصد نانو رس هستند، با افزایش درصد نانورس مقدار درصد خمش کاهش یافته و مقدار مدول افزایش یافته است در نتیجه می توان گفت برهم کنش[2] خوبی میان نانورس و ماتریس پلیمری وجود دارد. در نمونه شماره ۴ که دارای ۳/۵ درصد نانورس است مقدار درصد خمش و مقدار مدول کاهش یافته است که نشان دهنده این است، در درصدهای بالاتر

(۱) Scanning Electron Microscope

(۲) Interaction

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۵: میزان سختی در نمونه لنت ترمز تولید شده

شماره نمونه	درصد وزنی نانورس	میزان سختی(Shore A)
۱	۰	۸۳
۲	۱/۵	۸۹
۳	۲/۵	۹۱
۴	۳/۵	۹۰

توزیع یکسان و یکنواخت نانورس در ماتریس پلیمری صورت نگرفته و موجب کاهش ویژگی‌های مکانیکی می‌شود.

آزمون سختی[1] راکول

دستگاه آزمونگر سختی راکول مدل HR-150A ساخت کشور چین و با استفاده از استاندارد ASTM D785-65 روش Shore A از یک ساچمه با قطر ۱۲/۷ میلی‌متری اندازه‌گیری گردید که به نام مقیاس R اندازه‌گیری می‌شود. میزان سختی در نمونه‌ها مطابق با جدول ۵ است.

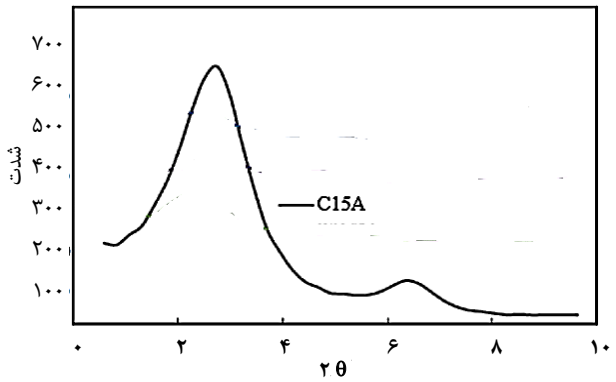
سختی مواد پلیمری به میزان انعطاف‌پذیری زنجیرهای پلیمری ربط دارد هرچه میزان انعطاف زنجیرهای پلیمری بیش‌تر باشد مقدار سختی کم‌تر است و برعکس. در این آزمون سختی نمونه‌ها از Shore A ۸۳ به Shore A ۹۱ افزایش پیدا کرد. نمونه یک بدون نانورس بوده و درصد رزین در این نمونه از بقیه نمونه‌ها بیش‌تر است به همین دلیل میزان مواد معدنی در این نمونه از بقیه کمتر بوده و سختی پایین‌تری دارد. در نمونه های حاوی نانورس به دلیل وجود جزء معدنی به جای بخشی از رزین، سختی افزایش پیدا کرده است و از سویی برهمکنش قوی میان فاز پلیمری و نانورس، موجب کاهش تحرک زنجیرهای پلیمری و افزایش سختی می‌شود. در نمونه‌های دارای نانورس مقدار سختی تفاوت چندانی ندارد زیرا در ساختار مواد اصطکاکی لنت ترمز خودرو به دلیل اینکه ۸۵ درصد را مواد معدنی و ۱۵ درصد را مواد آلی تشکیل می‌دهد و از آنجایی که دستگاه سختی‌سنج، سطح لنت ترمز را مورد آزمون قرار می‌دهد که بیش‌تر در تماس با مواد معدنی است بنابراین در این نمونه‌ها که تفاوت مقدار درصد نانورس کم تغییر محسوسی در سختی نمونه‌ها دیده نخواهد شد.

آزمون سایش و ضریب اصطکاک

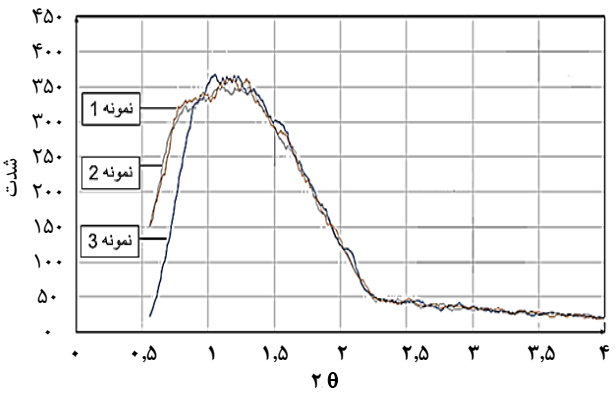
اندازه‌های نمونه‌ها در این تست مطابق با استاندارد ۵۸۶ ایران یعنی (۲/۵۷ ×۲/۵۷) با ضخامت ۶ میلی متر است.

جدول ۶: میزان نرخ سایش و ضریب اصطکاک در نمونه ها

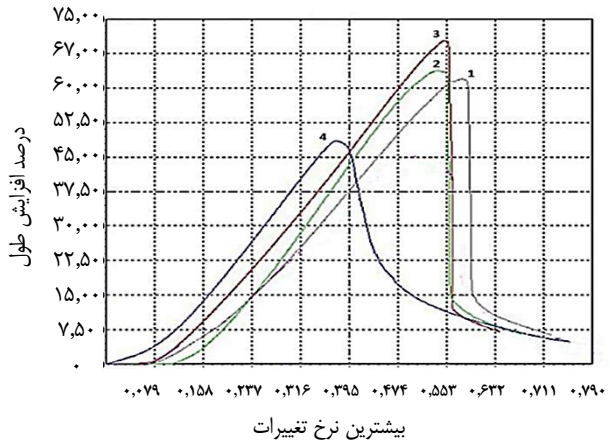
شماره نمونه	درصد نانورس	میزان سایش	ضریب اصطکاک
۱	۰	$۴/۲۳\times۱۰^{-۷}$	۰/۲۲۸
۲	۱/۵	$۳/۹۸\times۱۰^{-۷}$	۰/۲۲۹
۳	۲/۵	$۳/۶۸\times۱۰^{-۷}$	۰/۲۳۲
۴	۳/۵	$۳/۸۱\times۱۰^{-۷}$	۰/۲۲۸



شکل۲: طیف XRD نمونه نانورس خالص



شکل۳: طیف XRD نمونه های،۱و۳

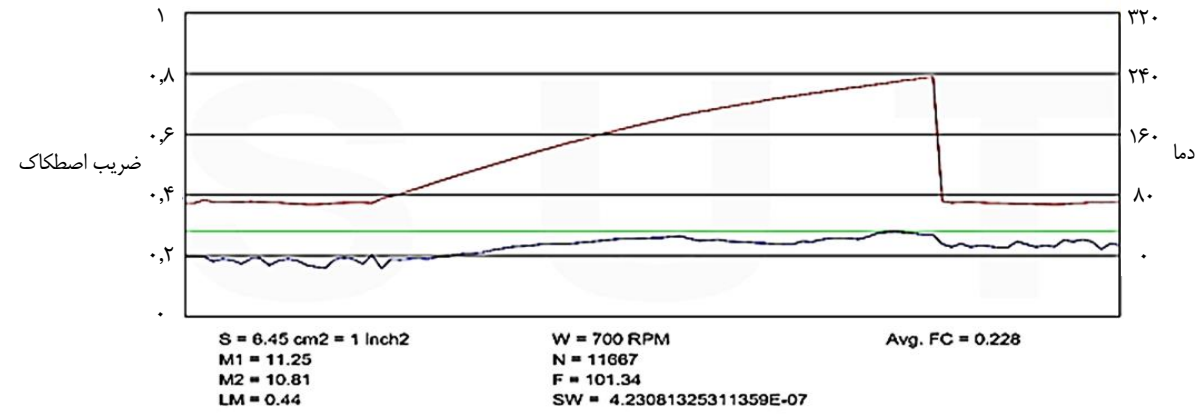


شکل۴: مقاومت لنت ترمزهای تولید شده در برابر خمش

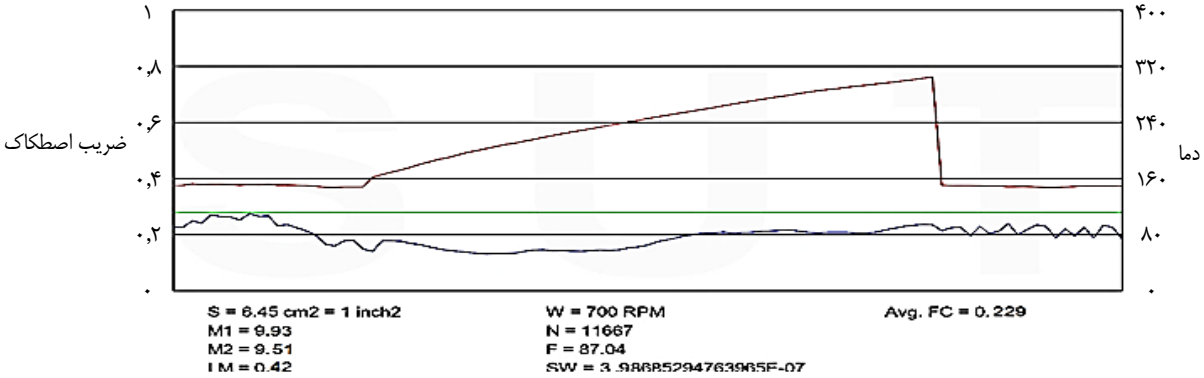
(۱) Hardness

www.SID.ir

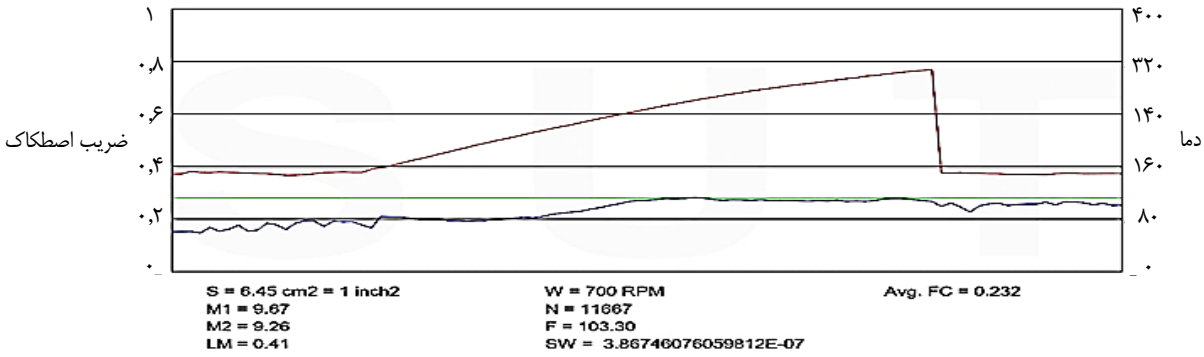
Archive of SID



شکل ۵: آزمون سایش و ضریب اصطکاک نمونه بدون نانورس



شکل۶: آزمون سایش و ضریب اصطکاک نمونه دارای ۱/۵٪ نانورس



شکل۷: آزمون سایش و ضریب اصطکاک نمونه دارای ۲/۵٪ نانورس

با توجه به جدول ۵ و شکل های ۵،۶و۷ مشخص است که در نمونه بدون نانورس (فرمولاسیون پایه) نرخ سایش بیش‌تر است و با افزودن نانورس به ترکیبات مواد اصطکاکی میزان سایش کم و ضریب اصطکاک افزایش پیدا کرده است که می‌توان گفت نانوفیلر مورد نظر توانسته مقاومت گرمایی ترکیب را بالا ببرد و نکته مهم تر این‌که مقدار فید[۱] (کاهش عملکرد لنت ترمز با افزایش دما و افت ضریب اصطکاک) را نیز کاهش داده است با توجه به شکل ۷ در مرحله افزایش دما و ترمزگیری ممتد تا دمای ۳۲۰ درجه سلسیوس میزان ضریب اصطکاک در بالاترین حد خود قرار گرفته است که این بیانگرکاهش فید و افزایش ریکاوری[۲](مدت زمانی که لنت سرد می شود تا ضریب اصطکاک اولیه

(۱) Fade

(۲) Recovery

www.SID.ir

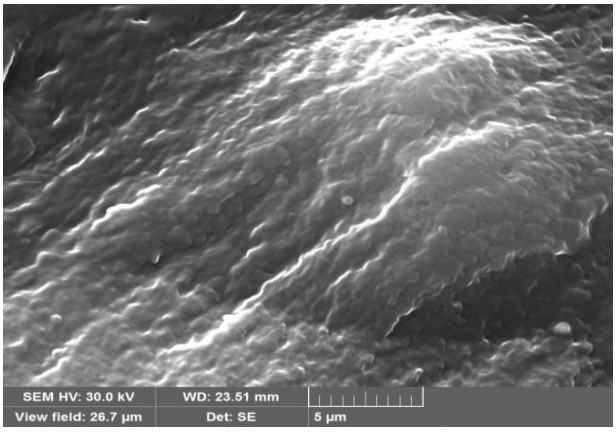
Archive of SID

خود را پیدا کند) در جایی است که لنت ترمز و سطح درام بالاترین دمای خود را تحمل می‌کند که افزون بر بهبود عمر لنت ترمز، ترمزگیری بهتری را هم (در نمونه دارای ٪۲/۵) نشان می دهد.

آنالیز میکروسکوپ الکترونی (SEM)

برای اثبات از وجود نانورس در نمونه‌های ساخته شده لنت ترمز از نمونه دارای ۲/۵ درصد نانورس (مقدار بهینه نانورس در نمونه‌ها) آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی گرفته شد. تصویر SEM برش عرضی از نمونه دارای ۲/۵ درصد نانورس در شکل ۸ نشان داده شده است. این تصویر نشان می‌دهد که اجزای تشکیل دهنده نمونه به صورت یکنواخت و همگن مخلوط شده و همچنین هیچ‌گونه انباشتگی نانو مواد دیده نمی شود. این تصویر بیانگر آن است که نانو مواد به صورت یکنواخت در کل مخلوط توزیع شده است.

مقایسه این روش و روش‌های دیگر پراکنده سازی نانوذره‌ها نشان می دهد که در روش پلیمریزاسیون درجا رزین فنولیک و نانورس، مونومرها (واحدهای اولیه سازنده پلیمر) وارد فضای بین لایه‌ای نانورس شده و سپس به کمک عامل پلیمریزاسیون، فرایند پلیمره شدن انجام می‌شود. در این حالت، هنگامی‌که ذره‌های پلیمر تشکیل می‌شوند، صفحه های نانورس از یک‌دیگر مجزا می‌شوند. به‌طور کلی بعد از ساخت نانوکامپوزیت‌های پلیمر ـ خاک رس، دو حالت کلی وجود خواهد داشت. یکی حالتی که زنجیره‌های پلیمری بین صفحه‌ها نانورس (ارگانوکلی) نفوذ کرده (در بین صفحه‌ها درج می‌شوند) ولی صفحه های نانوکامپوزیت از یک‌دیگر چندان جدا نمی‌شوند. این حالت را حالت درج شدن[۱] می‌نامند. حالت دوم حالتی است که افزون بر درج زنجیره‌های پلیمری در بین صفحه‌های نانورس، این زنجیره‌های پلیمری موجب می‌شوند که صفحه‌های نانورس به‌طور کامل از یکدیگر جدا شوند؛ این حالت را ورقه‌ای شدن[۲] می‌نامند. حالت ورقه‌ای شدن حالتی محبوب‌تر است. چون در این حالت ویژگی‌های بهتری از نانوکامپوزیت دیده می‌شود. یک علت مهم آن وجود فصل‌مشترک بیش‌تر بین پلیمر و نانوفیلر است. با توجه به مطالعه‌های پیشین در روش محلولی استفاده از نانورس موجب افزایش مقاومت سایشی و کاهش ضریب اصطکاک در آمیزه‌های اصطکاکی لنت ترمز شد ولی در روش پلیمریزاسیون درجا شاهد افزایش مقاومت سایشی و افزایش ضریب اصطکاک بودیم که بیانگر افزایش عمر لنت و ترمزگیری بهتر لنت ترمز است. در هردو روش ویژگی‌های مکانیکی لنت ترمز در درصدهای پایین‌تر نانورس نسبت به درصدهای بالاتر نانو رس افزایش پیدا کرد.



شکل ۸: تصویر آنالیز SEM از نمونه دارای ۲/۵ درصد نانورس

مهم‌ترین علت این مسئله مشکل شدن توزیع و پخش همگون نانورس در پلیمر است. در نتیجه‌های به دست آمده از آزمون خمش تا مقدار ٪۲/۵ مقاومت در برابر خمش افزایش یافت ولی در درصد بالاتر آن مقاومت در برابر خمش کاهش یافت که نبود توزیع یکنواخت نانورس در رزین فنولیک را نشان می‌دهد. در نتیجه‌های به دست آمده از آزمون سختی با افزودن نانورس به آمیزه مواد اصطکاکی سختی در نمونه‌ها افزایش یافت که نشان دهنده بر همکنش خوب بین ماتریس پلیمری و نانورس است. این افزایش سختی تا حدودی با مقاومت در برابر سایش نمونه‌ها رابطه مستقیم دارد زیرا با افزایش سختی نمونه ها در برابر سایش مقاوم تر می شوند ولی سختی زیاد و بیش از اندازه موجب شیشه‌ای شدن سطح لنت ترمز و کاهش عملکرد آن می‌شود. استفاده از نانوذره‌های دیگر در مواد اصطکاکی لنت ترمز در مطالعات پیشین نشان داد که می تواند مفید باشد. برای نمونه استفاده از نانوذره‌های آلومینا یا الیاف کربن هر دو موجب بهبود فید و ریکاوری شدند و همچنین ویژگی‌های مکانیکی مانند خمش و سختی را نیز بهبود بخشیدند. درصد بهینه برای نانوذره‌های آلومینا ٪۴ و برای الیاف کربن ٪۱ گزارش شده است. به طور کلی می‌توان جمع بندی کرد که استفاده از نانوذره‌های به دلیل داشتن نسبت منظر بالا در نانوکامپوزیت‌ها به اندازه‌ای که بتوان پراکندگی و توزیع یکنواخت آن را کنترل کرد مفید است و می‌تواند موجب بهبود ویژگی‌ها شود ولی با افزایش میزان آن‌ها به دلیل کلوخه‌ای شدن شاهد کاهش ویژگی‌های آن‌ها باشیم. نانوذره‌هایی در مواد اصطکاکی می‌توانند مفید باشند که افزون بر ویژگی‌های یگانه خود، توانایی مقاومت گرمایی بالایی داشته باشند تا بتوانند موجب بهبود عملکرد لنت ترمز شوند. استفاده از نانوذره‌های گرافن نیز می‌تواند در ترکیب‌های مواد اصطکاکی مفید باشد.

(۱) Intercalated

(۲) Exfoliated

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه گیری

در بین روش های پراکنده سازی نانوذرات در بستر ماده پلیمری روش پلیمریزاسیون درجا به دلیل رسیدن به حالت ورقه‌ای شدن یکی از بهترین روش‌ها است. در این روش با قرار گرفتن مونومرهای سازنده پلیمر بین صفحه‌های نانورس و سپس تشکیل زنجیرهای پلیمری و ایجاد فاصله بین صفحه‌های نانورس بهترین حالت پراکنده سازی اتفاق می‌افتد. پرکن های نانو به دلیل نسبت منظر بالا و سطح تماس زیادی که ایجاد می‌کنند ویژگی‌های یگانه ای به پلیمر می‌دهند. نتیجه‌های طیف XRD برای نانوکامپوزیت‌های فنولیک / نانورس (مونت موریلونیت) تهیه شده به روش پلیمریزاسیون درجا نشان داد در درصدهای کم نانورس فاصله بین لایه ها اتفاق افتاده است. ولی در درصد بیش‌تر نانورس نبود توزیع یکسان و یکنواخت رزین و نانورس، کاهش ویژگی ها در نمونه های لنت ترمز دیده شد. نتیجه های آزمون خمش نشان داد که استفاده از نانورس در ترکیب مواد اصطکاکی از نمونه بدون نانورس تا نمونه دارای ۲/۵ درصد نانورس استحکام خمشی افزایش و درصد خمش کاهش پیدا کرد ولی در نمونه دارای ۳/۵ درصد نانورس هم استحکام خمشی و هم درصد خمش کاهش پیدا کرد. نتیجه های حاصل از آزمون سختی راکول نشان داد با افزایش نانورس مقدار سختی افزایش پیدا کرده است. افزودن نانورس به ترکیب مواد اصطکاکی لنت ترمز خودرو سبب افزایش مقاومت سایشی و ضریب اصطکاک می شود. دمای سطح درام در ترکیب مواد اصطکاکی لنت ترمز در مرحله گرمایی کاهش یافت. با توجه به نتیجه های به دست آمده از آزمون های انجام شده و آزمون پراش پرتو ایکس مقدار بهینه نانو رس ۲/۵ درصد تعیین شد.

بنابراین در این پژوهش به بررسی نقش نانوذره‌های نانورس (اصلاح شده) در فرمولاسیون مواد اصطکاکی ترمز خودرو پرداخته شد. برای بررسی بهتر، این پژوهش به دو بخش اصلی تقسیم شده است. در قسمت اول به چگونگی پخش کردن نانورس در بستر ماده پلیمری (رزین فنولیک) پرداخته و برای اطمینان از چگونگی توزیع نانورس در رزین فنولیک و ایجاد بر همکنش مناسب میان نانوذره و پلیمر از روش پلیمریزاسیون درجا استفاده شد و برای بررسی و اطمینان از درستی چگونگی توزیع از آزمون پراش پرتو ایکس (XRD) استفاده شد. در قسمت دوم با استفاده از رزین فنولیک فرآوری شده با نانورس و فرمولاسیون لنت ترمز مرجع نمونه‌های گوناگونی از لنت‌های ترمز با درصدهای گوناگون نانورس ساخته شد تا ویژگی‌های آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۲۵ ، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۰

مراجع

[1] Pappas J., Patel K., Nauman E.-B., Structure and Properties of Phenolic Resin/Nanoclay Composites Synthesized by In Situ Polymerization, *Journal of Applied Polymer Science*, **95**:1169-1174 (2005).

[2] Zhou G., Movva S., LeeL.-J., Nano Clay and Long Fiber Reinforced Composites Based on Epoxy and Phenolic Resins, *Journal of Applied Polymer Science*, **108**: 3720-3726 (2008).

[3] Jiang W., Chen S.-H., Chen Y., Nanocomposites from Phenolic Resin and Various Organo-Modified Montmorillonites: Preparation and Thermal Stability, *Journal of Applied Polymer Science*, **102**: 5336–5343 (2006).

[4] Wang H., Zhao T., Synthesis of Novolac/Layered Silicate Nanocomposites by Reaction Exfoliation Using Acid-Modified Mont Morillonite, *Macromolecular Rapid Communications, PubMed Journals*, **23**: 44-48 (2002).

[5] Yu J., He J., Ya C., Preparation of Phenolic Resin/Organized Expanded Vermiculite Nanocomposite and its Application in Brake Pad, *Journal of Applied Polymer Science*, **119**: 275–281 (2011).

www.SID.ir

Archive of SID

[6] Boz M., Adem K., The Effect of Al2O3 on the Friction Performance of Automotive Brake Friction Materials, *Tribology International*, **40**:1161-1169 (2007).

[7] Tej S., Patnaik A., Gangil B., Chauhan R., Optimization of Tribo-Performance of Brake Friction Materials: Effect of Nano Filler, *Wear*, **324**: 10-16 (2015).

[8] Tej S., Patnaik A., Satapathy B.-K., Kumar M., Tomar B.-S., Effect of Nano Clay Reinforcement on the Friction Braking Performance of Hybrid Phenolic Friction Composites, *Journal of Materials Engineering and Performance*, **22**: 796-805 (2013).

[9] Yi G., Yan F., Mechanical and Tribological Properties of Phenolic Resin-Based Friction Composites filled with Several Inorganic Fillers, *Wear*, **262:** 121-129 (2007).

[10] WANG F.-H., Ying L., Effects of Steel Fiber on Tribological Properties of Ceramic-Based Friction Material, *Journal Tribology Transactions*, **32**: 144-149 (2012).

[۱۱] فقیهی، مرتضی؛ شجاعی، اکبر؛ بهبود خواص مکانیکی و اصطکاکی کامپوزیت‌های مورد استفاده در لنت ترمز قطارها، *مجله پلیمر کامپوزیت*، **۳۰**: ۱۲۹۰ تا ۱۲۹۸ (۱۳۸۹).

[۱۲] جعفری نژاد، شهریار؛ ابوالقاسمی، حسین؛ احمدی، سید جواد؛ قربانیان، سهرابعلی؛ ویژگی‌های مکانیکی نانوکامپوزیت‌های پلی پروپیلن- خاک رس تهیه شده با روش مخلوط مذاب، *نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران*، **(۲) ۳۰**: ۶۱ تا ۶۷ (۱۳۹۰)

[۱۳] جهانمرد، پریسا؛ شجاعی، اکبر؛ "بررسی رفتار مواد اصطکاکی سیستم ترمز حاوی نانوذرات"، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی شریف، تهران (۱۳۹۰)

[۱۴] اعتمادی مهرنجانی، حبیب؛ شجاعی، اکبر؛ "مطالعه نقش نانوذرات آلومینا بر رفتار مواد اصطکاکی لنت ترمز خودرو"، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی شریف تهران، (۱۳۹۱)

[۱۵] احمدی، فرهاد؛ شجاعی، اکبر؛ "بررسی نقش الیاف کربن بر رفتار اصطکاکی و سایشی آمیزه های اصطکاکی لنت ترمز خودرو"، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی شیمی گرایش پلیمر، دانشگاه صنعتی شریف، (۱۳۹۶)

[۱۶] ارجمند، محمد؛ شجاعی، اکبر؛ بررسی نقش الیاف بر کارایی مواد اصطکاکی پایه ی لاستیک، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی شریف، (۱۳۸۸)

[۱۷] جمال انارکی، مریم؛ شجاعی، اکبر؛ "ساخت و بررسی خواص تریبولوژیکی مواد اصطکاکی پایه لاستیک با ضریب اصطکاک پایین"، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی شریف، (۱۳۸۷)

[۱۸] صفار، امیر؛ شجاعی، اکبر، "مطالعه نظری و تجربی نقش لاستیک بر کارایی اصطکاکی مواد اصطکاکی سیستم ترمز"، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی شریف، (۱۳۸۹).

[۱۹] کرمی، آزاده؛ خاوندی، علیرضا؛ خرازی، یوسف؛ "تأثیر اندازه ذرات بر رفتار سایشی لنت ترمز کامپوزیتی بدون آزبست"، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، **(۳) ۱۷** : ۵۳ تا۶۰ (۱۳۸۵).

[۲۰] لابقی، محمد؛ ابراهیمی، قنبر؛ اکبری، بابک؛ بررسی امکان استفاده از مواد لیگنوسلولزی در ساخت لنت ترمز اتومبیل و اثر نانو آلومینا بر ویژگی‌های آن، نشریه جنگل و فرآورده های چوب، **(۲) ۶۷:** ۲۸۳تا۲۹۴ (۱۳۹۳).

www.SID.ir