

بررسی اثر شبکه دوده بر نرخ سایش اکرون آمیزه های NR/BR با تغییر الاستومر پلی بوتادی ان

محمد سلطانی^۱، مهدی رزاقی کاشانی^{۲*}، علیرضا بنی اسد^۲ و پروانه آقارضایی^۲
 ۱- گروه مهندسی پلیمر، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
 ۲- واحد تحقیق و توسعه، گروه صنعتی بارز، کرمان
 Mehdi.razzaghi@modares.ac.ir

چکیده: افزودن الاستومر پلی بوتادی ان در ترکیبات رویه تایر منجر به بهبود خواص سایش می شود. تاکنون خواص ذاتی الاستومر پلی بوتادی ان به عنوان دلایل اصلی بهبود سایش در نظر گرفته شده است. اما از جنبه اثر آمیخته سازی بر تغییر در شبکه دوده و در نهایت بهبود سایش مورد بررسی قرار نگرفته است. در این پژوهش ترکیب لاستیک طبیعی و الاستومر پلی بوتادی ان با ترکیب درصد های متفاوت الاستومر پلی بوتادی ان ساخته شد سایر اجزای این ترکیبات بدون تغییر ماندند بر روی نمونه های تهیه شده آزمون های سایش، رثومتی پخت و RPA انجام شد. روند سایش به جز یک نمونه و روند مدول ذخیره مربوط به آزمون RPA با افزودن الاستومر پلی بوتادی ان در ترکیبات به صورت نزولی است همخوانی خیلی خوبی میان آزمون سایش و آزمون RPA مشاهده شد و در نهایت با تحلیل نتایج و بسط دادن آن به منابع مشخص شد شبکه دوده در ترکیبات حاوی الاستومر پلی بوتادی ان بر بهبود سایش تأثیر مهمی دارد.

واژه های کلیدی: سایش، الاستومر پلی بوتادی ان، اثر پین، شبکه دوده

مقدمه

به طور کلی در صنعت تایر سازی الاستومر پلی بوتادی ان به عنوان یک جز مقاوم به سایش در ترکیبات آمیزه های رویه تایر خودروها شناخته می شود. یکی خواص ذاتی سایش خوب الاستومر پلی بوتادی ان ساختار سیس که منجر به موجب انعطاف پذیری بالاتر زنجیره های پلیمری و کاهش انرژی شکست در هنگام سایش می شود. همچنین نرخ بازگشت الاستیکی خوب، توزیع یکنواخت تر تنش، و پایین بودن Tg الاستومر پلی بوتادی ان به عنوان خواص و ویژگی های ذاتی شناخته شده است [۱]. در مطالعات دیگر ریزتر شدن اندازه ذرات دوده در حین اختلاط نیز عامل مهمی در بهبود خاصیت سایش شناخته شده است [۲]. اثر پین پدیده ای است که در آزمون های دینامیکی مکانیکی-روبش کرنش در کرنش های بالا مشاهده می شود که مدول ذخیره در این کرنش ها دچار افت شدیدی می شود. مدول کرنش های بالا مربوط به ذات الاستومرها، اثر هیدرودینامیکی پرکننده و برهمکنش های پلیمر-پرکننده مرتبط است اما اختلاف مدول های بالا و پایین فقط مربوط به برهمکنش های پرکننده-پرکننده است [۳].

بخش تجربی

مواد:

مواد اولیه توسط واحد تحقیق و توسعه شرکت تایر سازی بارز کرمان تهیه شد. فرمول بندی این پژوهش به علت رعایت حق مالکیت معنوی به صورت محرمانه است اما به طور کلی از BR، NR، دوده، ترکیبات پخت گوگردی و اجزای معمول دیگر استفاده شده است. مطابق جدول ۱، ۵ فرمول بندی با افزودن الاستومر پلی بوتادی ان و کاهش لاستیک طبیعی ایجاد ساخته شد.

جدول ۱- ترکیب درصد میان لاستیک های خام NR و BR و نام گذاری نمونه ها

Formulation name	NR(Phr)	BR(Phr)
BR0	۱۰۰	۰
BR1	۹۰	۱۰
BR2	۸۰	۲۰
BR3	۷۰	۳۰
BR4	۶۰	۴۰
BR5	۵۰	۵۰

آمیزه کاری و نمونه سازی

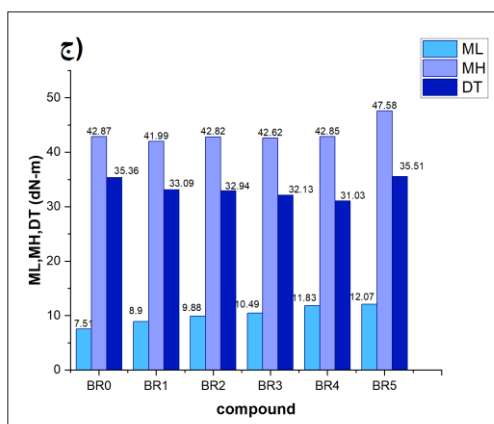
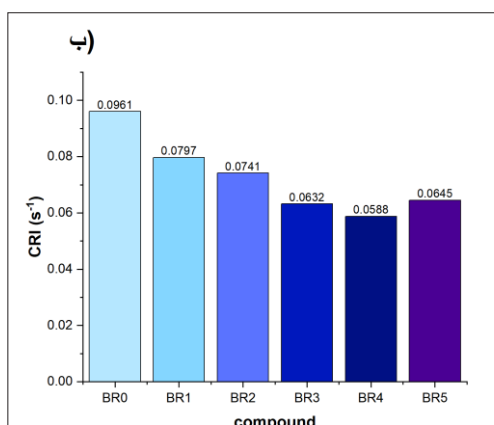
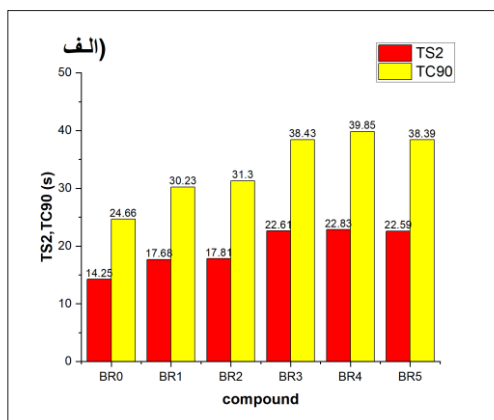
اختلاط آمیزه مستر در بنبوری ۱۵۰۰ سی سی موجود در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران انجام شد. ابتدا الاستومر های خام وارد بنبوری شدند پس از ۵ دقیقه سایر اجزای آمیزه مستر به جز روغن فرایندی وارد بنبوری شدند پس از ۳ دقیقه دیگر روغن فرایندی اضافه شد و در نهایت در مدت زمان نهایی ۱۶ دقیقه و ۳۰ ثانیه آمیزه مستر تخلیه و به مدت ۲ دقیقه بر روی آسیاب دو غلطکه جهت پخش بهتر افزودنی ها و یک دست شدن و ورقه شدن کل آمیزه عمل اختلاط انجام شد. لازم به ذکر است سرعت پیچ ها ۳۵ دور در دقیقه و دمای نهایی حدود ۱۴۰ درجه سانتی گراد به عنوان شرایط فرایندی در نظر گرفته شد. اختلاط آمیزه فاینال بر روی آسیاب دو غلطکه موجود در دانشگاه تربیت مدرس انجام و آمیزه نهایی ساخته شد. ابتدا آمیزه مستر به مدت ۲ دقیقه جهت پیش گرمایش بر روی آسیاب دو غلطکه فرآوری شد سپس مواد پخت اضافه شد و به مدت ۱۳ دقیقه اختلاط صورت گرفت و در انتها ورقی از آمیزه فاینال به ضخامت حدود ۲ میلی متر تهیه شد. سرعت پیچ ۴ دور در دقیقه و دمای اختلاط ۴۰ درجه سانتی گراد بود. با استفاده از پرس پخت در دمای ۱۴۰ درجه سانتی گراد نمونه ها برای انجام آزمون ها تهیه شدند.

مشخصات ولکانش آمیزه ها

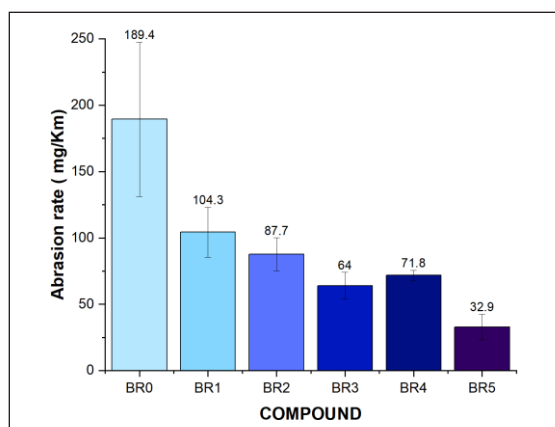
مشخصات ولکانش برای هر یک به صورت مجزا آزمون رثومت پخت توسط دستگاه ODR شرکت GoTech تایوان انجام شود. در این پژوهش خواص پخت در دمای ۱۴۰ درجه سانتی گراد برای همه مواد فاینال استخراج شد. نتیجه های به دست آمده از رثومت مناسب برای تعیین زمان پخت، مقایسه مدول و ویسکوزیته، چگالی پیوندهای عرضی و... خواهد بود

سایش خستگی

این آزمون بر روی نمونه های پخت شده که با استفاده از دستگاه ساینده اکرون شرکت GoTech تایوان موجود در دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. شرایط این آزمون به شرح زیر است: سرعت چرخ ساینده: ۳۵ Rpm قطر چرخ ساینده: ۱۵۰ mm قطر خارجی چرخ لاستیکی: ۶۳ mm قطر داخلی چرخ لاستیکی: ۱۲ mm، ضخامت چرخ لاستیکی: ۱۲ mm، وزن چرخ لاستیکی: ۴۴-۴۶ gr، زاویه لغزش (مابین چرخ



شکل ۱- رئومتر پخت در دمای ۱۴۰ درجه (الف) TS2, TC90 (ب) CRI (ج) ML, MH, DT



شکل ۲- آزمون سایش اکرون

لاستیکی و چرخ ساینده: ۱۵°، وزنه مورد استفاده: برای مقید کردن نمونه ۶ پوند و برای آزمون ۲ پوند، سرعت چرخ لاستیکی: ۹۰ دور در دقیقه و مسافت طی شده چرخ لاستیکی به ازای ۲۰۰۰ دور چرخ ساینده معادل ۱/۰۱۷ کیلومتر. این عمل برای هر نمونه ۴ مرتبه تکرار شد از داده‌ها میانگین گرفته و گزارش شد.

بررسی ریزساختار توسط تحلیل فرایند لاستیک

آزمون تحلیل فرایند لاستیک (RPA): این آزمون توسط دستگاه شرکت Montech آلمان انجام شد. این آزمون در سه مرحله انجام شد. در مرحله اول پخت کامل در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد زاویه کرنشی ۱ درجه انجام شد. در مرحله دوم کاهش دمای نمونه تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. نهایتاً در مرحله سوم رویش کرنش در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد، فرکانس ۱۰ Hz (تحت رویش کرنش به ترتیب ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷، ۰/۸، ۰/۹، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد صورت پذیرفت.

نتیجه‌ها و بحث

مشخصات ولکانش آمیزه‌ها توسط آزمون رئومتري

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود سرعت پخت (CRI) با افزودن الاستومر پلی‌بوتادیان به آمیزه کاهش داشته است زمان در ۹۰ درصد پخت (TC₉₀) روال با افزودن الاستومر پلی‌بوتادیان صعودی است گشتاور قبل از شروع پخت (ML) که به نوعی هم‌راستا با ویسکوزیته سیال است برای همه شرایط با افزودن الاستومر پلی‌بوتادیان افزایشی است. این در حالی است که گشتاور بعد از پخت (MH) ثابت مانده است. در نتیجه (DT) که اختلاف گشتاور پیش و پس از پخت است و معادل چگالی پیوندهای عرضی است در دمای ۱۴۰ °C با افزودن الاستومر پلی‌بوتادیان کاهش داشته است. دلیل کاهش سرعت پخت و چگالی پیوندهای عرضی با افزودن پلی‌بوتادیان را می‌توان به عدم وجود متیل در این الاستومر نسبت به لاستیکی طبیعی نسبت داد. همان‌طور که در مرور منابع پژوهش ذکر شد، نرخ سایش لاستیک می‌تواند متأثر از چگالی پیوندهای عرضی لاستیک باشد. اما مشاهده خواهد شد که کاهش چگالی پیوندهای عرضی با ورود الاستومر پلی‌بوتادیان باعث افزایش نرخ سایش نشده است که تأثیر دیگر عوامل را بر سایش نشان می‌دهد.

نرخ سایش نمونه‌ها توسط ساینده اکرون

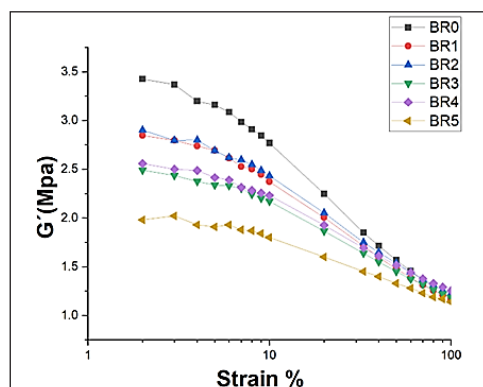
مطابق شکل ۲ روند سایش با افزودن الاستومر پلی‌بوتادیان کاهش و مجدداً در نمونه BR4 کمی افزایش می‌یابد. نرخ سایش نمونه BR3 کمینه و نسبت به نمونه مرجع حدود ۶۶ درصد کاسته شده است که کاهش قابل توجهی است. مجدداً در نمونه BR5 نرخ سایش کاهش می‌یابد.

بررسی شبکه دوده توسط آزمون تحلیل فرایند لاستیک (RPA)

آزمون دینامیکی- مکانیکی با رویش کرنش که توسط دستگاه تحلیل فرایند لاستیک انجام شد که مستقیماً به پراکنش پرکننده و شدت شبکه پرکننده بستگی دارد. همان‌طور که در بخش مقدمه اشاره شد، اختلاف مدول حقیقی در کرنش‌های [کوچک (G'₀) و بزرگ (G'₀)] (ΔG') فقط به برهم‌کنش پرکننده- پرکننده ارتباط دارد. یعنی بیشتر بودن این عدد نشان‌دهنده شدت پدیده پین ناشی از باز کلوخگی ذرات پرکننده و لاستیک مقید ناپایدار است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود مدول ذخیره در کرنش‌های بزرگ میان نمونه‌های مختلف چندان تفاوتی ندارد اما مدول ذخیره در کرنش‌های کم (G'₀) که مرتبط با ساختار شبکه پرکننده و کلوخگی ذرات دوده است کاهش بسزایی نشان می‌دهد که بسیار با روند تغییرات آزمون سایش اکرون شباهت دارد. از نظر کمی، افزایش ۳۰ یا ۴۰ قسمتی از الاستومر پلی‌بوتادیان موجب کاهش حدود ۴۶ درصدی در (ΔG') شده است. کاهش اندازه کلوخه‌های دوده و بهبود پراکنش آن‌ها باعث کاهش ایجاد و رشد ترک‌ها در سازوکار سایش خستگی می‌شود. بنابراین می‌توان حدس زد که یک دلیل بهبود سایش در محدوده نمونه‌های این پژوهش به خاطر تغییر در اندازه کلوخه‌ها و شبکه پرکننده در زمینه الاستومری است.

نتیجه گیری

افزودن الاستومر پلی بوتادی ان سبب بهبود خواص سایشی شد. معمولاً کاهش نرخ سایش آمیزه رویه تاثیر با افزودن الاستومر پلی بوتادی ان به طور مستقیم به خواص ذاتی این الاستومر ارتباط داده می شود. اما نشان داده شده که افزودن الاستومر دوم باعث تغییرات زیادی در شبکه دوده و منجر به جلوگیری از باز کلوخگی و پراکنش بهتر دوده می شود. این پدیده با جلوگیری از ایجاد و رشد ترک در سازوکار سایش خستگی لاستیک را می توان یکی از دلایل مهم در کاهش نرخ سایش آمیزه رویه تایر دانست [4]



شکل ۳- آزمون تجزیه و تحلیل فرایند لاستیک- مدول ذخیره

مراجع

- [1] Rodgers.B., (2017), "Rubber Compounding Chemistry and Applications, Second Edition" 2nd Edition, CRC Press.
- [2] Hong.C., (2007), "Effects of particle size and structure of carbon blacks on the abrasion of filled elastomer compounds" J Mater Sci, 42, p.8391-8399.
- [3] Pongdhorn.S., (2017) "Effects of Blend Ratio and SBR Type on Properties of Carbon Black-Filled and Silica-Filled SBR/BR Tire Tread Compounds" Advances in Materials Science and Engineering.