

مطالعه اثر لاستیک بازیافتی

بر خواص ویسکوالاستیک و رئولوژی لاستیک طبیعی

An Investigation on the Effect of Reclaimed Rubber on Viscoelastic Properties and Rheology of Natural Rubber

طاهره دارستانی فراهانی*، غلامرضا بخشنده، مجتبی ابطی

تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، پژوهشکده فرایند، گروه لاستیک، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵

دریافت: ۸۴/۶/۳۰، پذیرش: ۸۴/۱۲/۲

چکیده

افزودن لاستیک بازیافتی سبب تغییر خواص رئولوژی و ویسکوالاستیک مواد لاستیکی نو شده، مشکلات فرایندی ایجاد می‌کند. در این پژوهش، اثر افزودن لاستیک بازیافتی بر خواص رئولوژی لاستیک طبیعی به وسیله دستگاه تحلیل فرایند لاستیک بررسی شده است. نتایج این بررسیها نشان می‌دهد که در کرنشهای برشی کم، وجود پرکننده در لاستیک بازیافتی باعث افزایش مدول و گشتاور ذخیره (G' و S') و کاهش مدول و گشتاور اتلاف (G'' و S'') نسبت به لاستیک طبیعی می‌شود. اما، در کرنشهای برشی متوسط، محدوده رفتار ویسکوالاستیک غیرخطی در لاستیکهای بازیافتی در مقایسه با لاستیک طبیعی طولانی‌تر است. در کرنشهای برشی زیاد رفتار ویسکوالاستیک غیرخطی به شدت کاهش می‌یابد و روندی مشابه کرنشهای برشی کم بر آن حکمفرماست. با این تفاوت که طول این محدوده در لاستیک بازیافتی و آمیخته‌ها کوتاهتر از لاستیک طبیعی است. رفتار ویسکوالاستیک آمیخته‌های لاستیک طبیعی و لاستیک بازیافتی شبیه پلیمری است که سهم بیشتری در ساختار آمیخته دارد. اما، مقدار گشتاور و مدول (هم ذخیره و هم اتلاف) در همه آمیخته‌ها به دلیل عدم سازگاری و ناهمگنی فازی کامل، کمتر از لاستیک بازیافتی و لاستیک طبیعی خالص است. به همین دلیل کشسانی آمیخته‌ها کمتر از مقدار پیش‌بینی شده بر اساس قانون مخلوطهای ایده‌آل است.

واژه‌های کلیدی

لاستیک طبیعی، لاستیک بازیافتی، آمیخته کاری، رئولوژی، خواص ویسکوالاستیک

مقدمه

است. از آن جمله می‌توان به سوزاندن آنها در محفظه‌های ویژه برای تبدیل به انرژی، تجزیه گرمایی و استفاده مجدد از مونومرها، خرد کردن و استفاده از آنها در صنایع مختلف مانند عمران یا به عنوان پرکننده در لاستیکها یا پلاستیکها اشاره کرد [۱،۲]. روشهای مختلفی نیز برای بازیافت

امروزه وجود ضایعات لاستیکی یکی از مسائل مهم زیست محیطی دنیاست زیرا قطعات لاستیکی گرماسخت بوده، به دلیل داشتن ساختار شبکه‌ای قابل بازیافت یا تجزیه زیستی نیستند. روشهای مختلفی برای استفاده مجدد از قطعات لاستیکی، به ویژه تایرها ابداع شده

Key Words

natural rubber, reclaimed rubber, blending, rheology, viscoelastic properties

آمیزه های الاستومری بکار رفته است [۲۴-۲۰]. رفتار ویسکوالاستیک آمیزه ها به کمک دستگاه RPA و باروش تغییر کرنش برشی مطالعه شده است. در RPA [۲۰] نسبت گشتاور مصرفی (S^*) دستگاه به تغییر شکل (کرنش) برشی به عنوان مدول برشی (G^*) گزارش می شود. مدول ذخیره (G') و مدول اتلاف (G'') با استفاده از معادله های (۱) و (۲) محاسبه می شوند:

$$G' = KS' / \text{کرنش} \quad (۱)$$

$$G'' = KS'' / \text{کرنش} \quad (۲)$$

در این معادلات S' گشتاور هم فاز با کرنش برشی اعمال شده، S'' گشتاور اتلاف و دارای ۹۰ درجه اختلاف فاز با کرنش برشی اعمال شده و K عددی ثابت، تابع اندازه حدیده و محفظه نمونه است. عامل اتلاف ($\tan \delta$) نیز از حاصل تقسیم S''/S' یا G''/G' محاسبه می شود. آزونها در دمای 100°C ، بسامد ۱۰ cpm و در محدوده کرنش برشی ۱ تا ۲۰ درصد انجام شده است.

نتایج و بحث

همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود گشتاور همه نمونه ها با افزایش کرنش برشی افزایش می یابد، زیرا برای ایجاد تغییر شکل بزرگتر نیاز به نیروی بیشتری است. اما، مدول نمونه ها کاهش می یابد چون جریان آسانتر می شود.

گشتاور در نمونه های آمیخته همواره کمتر از نمونه های خالص است، در حالی که پیش بینی می شد حد وسط بین لاستیک طبیعی و لاستیک بازیافتی باشد. دلیل این امر احتمالاً ناهمگنی فازی است که در

جدول ۱ فرمولبندی آمیزه ها.

فرمولبندی		ماده*				
E	D	C	B	A		
۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	لاستیک طبیعی	
۲۰۰	۱۵۰	۱۰۰	۵۰	۰	لاستیک بازیافتی	
۴	۴	۴	۴	۴	روی اکسید	
۲	۲	۲	۲	۲	استتاریک اسید	
۱	۱	۱	۱	۱	IPPD	

* جدول ۱ فرمولبندی آمیزه ها، تمامی مقادیر بر حسب phr است.

لاستیکهای مستعمل و شکستن پیوندهای عرضی [۶-۳] بکار رفته است. لاستیک بازیافتی قابل استفاده مجدد بوده، می توان آن را در ساخت محصولات لاستیکی به تنهایی یا به شکل آمیخته با مواد لاستیکی نو [۱۷-۷] بکار برد. اما وزن مولکولی کمتر، وجود پرکننده و عدم کارایی صددرد فرایند بازیافت باعث شده است در مقایسه با مواد الاستومری نواخواص مکانیکی ضعیفتری داشته باشد [۱۸]. مسأله دیگر فرایندپذیری لاستیک بازیافتی و آمیخته های آن با مواد لاستیکی نو است [۱۹]. گزارشهای کمی در مورد فرایندپذیری لاستیک بازیافتی به ویژه رفتار ویسکوالاستیک آن و آمیخته کاری با مواد لاستیکی نو در دسترس است. در این مقاله، رفتار ویسکوالاستیک آمیخته های لاستیک بازیافتی و لاستیک طبیعی به وسیله دستگاه تحلیل فرایند لاستیک (RPA rubber processing analyzer) بررسی شده است. لاستیک طبیعی پرمصرفترین الاستومر بوده، آمیخته کاری آن با لاستیک بازیافتی در صنعت لاستیک بسیار با صرفه است. اما، مشکلات فرایندی و عدم آشنایی با اثر لاستیک بازیافتی بر رفتار ویسکوالاستیک و رئولوژی لاستیک طبیعی باعث ایجاد مشکلات فرایندی، کاهش کیفیت قطعات تولیدی و در نهایت کاهش مصرف لاستیک بازیافتی می شود.

تجربی

مواد

در این پژوهش، از لاستیک طبیعی (SMR-۲۰) تولید کشور مالزی و لاستیک بازیافتی محصول شرکت ریکلیم یزد استفاده شده است. لاستیک بازیافتی بکار رفته کاملاً تجزیه و شناسایی شده است [۱۸]. افزودنیهای بکار رفته مانند روی اکسید (ZnO)، استتاریک اسید و ضد اکسنده (N-isopropyle - N, N'- phenyl- p -phenylene diamine) IPPD از انواع تجاری موجود در بازار ایران و تولید شرکت Bayer آلمان هستند.

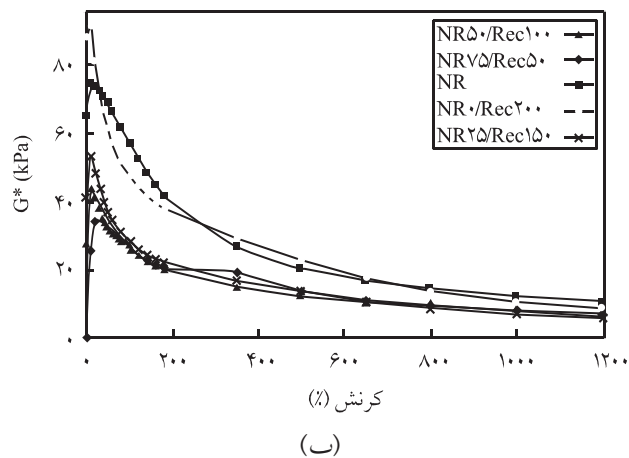
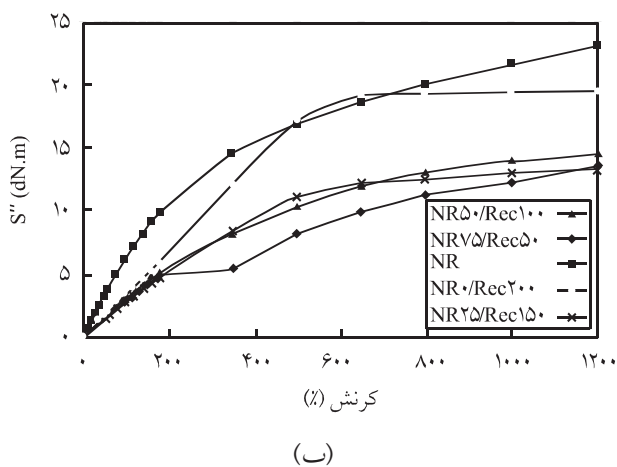
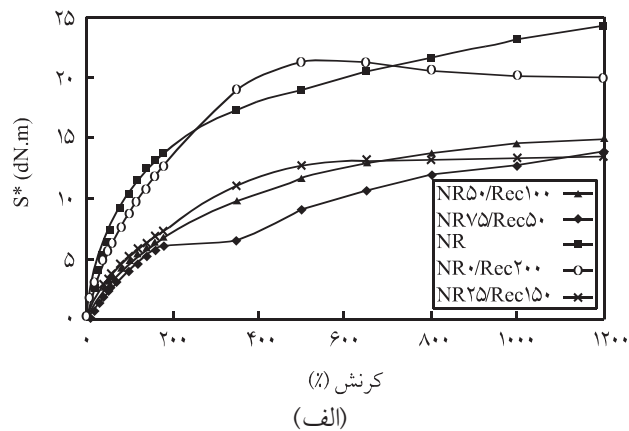
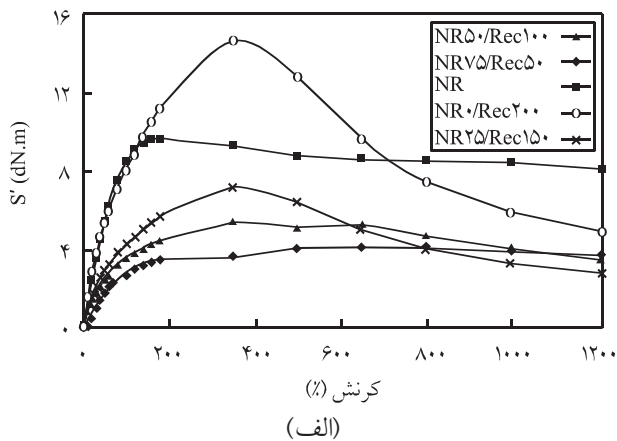
دستگاهها

خواص ویسکوالاستیک آمیزه ها به کمک دستگاه تحلیل فرایند لاستیک Monsanto، RPA ۲۰۰۰ (rubber processing analyzer) مدل ۲۰۰۰، ساخت آمریکا مطالعه شده است.

آمیزه ها با استفاده از غلتک آزمایشگاهی مدل Polymi X ۲۰۰L ساخت آلمان براساس فرمولبندی موجود در جدول ۱ ساخته شده اند.

روشها

دستگاه RPA در پژوهشهای بسیاری برای بررسی رفتار ویسکوالاستیک



شکل ۲ تغییرات: (الف) گشتاور ذخیره (S') و (ب) گشتاور اتلاف (S'') نمونه‌ها با کرنش برشی.

شکل ۱ تغییرات: (الف) گشتاور (S^*) و (ب) مدول (G^*) نمونه‌ها با کرنش برشی.

باز یافتی است.

تغییرات S' در آمیخته‌ها، شبیه پلیمری است که سهم بیشتری در آمیخته دارد. به عنوان مثال سرعت کاهش S' و حداکثر S'_M در آمیخته NR25/Rec150 بیشتر از NR75/Rec50 و NR50/Rec100 است و مقدار S'_∞ نهایی در ناحیه کرنشهای برشی زیاد در مورد NR25/Rec150 کمتر از دو آمیخته دیگر است. بنظر می‌رسد در این ناحیه اثر وزن مولکولی و توزیع آن از اثر پرکننده بیشتر است.

گشتاور اتلاف (شکل ۲) در همه نمونه‌ها افزایش یافته، سپس ثابت می‌ماند. همان‌طور که مشاهده می‌شود مدول اتلاف در مرحله اول یعنی شکست ساختار در مورد لاستیک طبیعی بیشتر از نمونه‌های دارای لاستیک باز یافتی است. در مورد لاستیک باز یافتی در کرنشهای برشی ۶۰۰-۴۰۰ درصد مقدار S'' بیشتر از لاستیک طبیعی است، ولی پس از آن کمتر از لاستیک طبیعی می‌شود. آمیخته‌های دارای لاستیک باز یافتی با S'' کمتر از هر دو ماده خالص رفتاری نزدیک به ماده‌ای دارند که سهم

مورد سایر خواص آمیخته‌های ناسازگار یا ناهمگن نیز مشاهده شده است [۲۵،۲۶].

شکل ۲ گشتاور ذخیره و اتلاف (S' و S'') و شکل ۳ مدول ذخیره و اتلاف (G' و G'') را نشان می‌دهد. می‌توان دید که تفاوت رفتاری در S' و S'' مشخص‌تر از G' و G'' است.

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود تغییرات S' با کرنش برشی در آمیخته‌ها و لاستیک باز یافتی را می‌توان به سه ناحیه تقسیم کرد: در ناحیه اول S' با کرنش برشی افزایش یافته، در ناحیه دوم کاهش یافته و در ناحیه سوم ثابت می‌ماند. حداکثر گشتاور ذخیره (S'_M) با افزایش مقدار لاستیک باز یافتی افزایش می‌یابد که دلیل این امر وجود پرکننده در لاستیک باز یافتی است. اما، کرنش برشی مربوط به S'_M مستقل از مقدار لاستیک باز یافتی و پرکننده است. مقدار S' در ناحیه سوم (S'_∞) در لاستیک طبیعی بیشتر از آمیخته‌ها و لاستیک باز یافتی است. دلیل این رفتار احتمالاً وزن مولکولی بیشتر لاستیک طبیعی نسبت به لاستیک

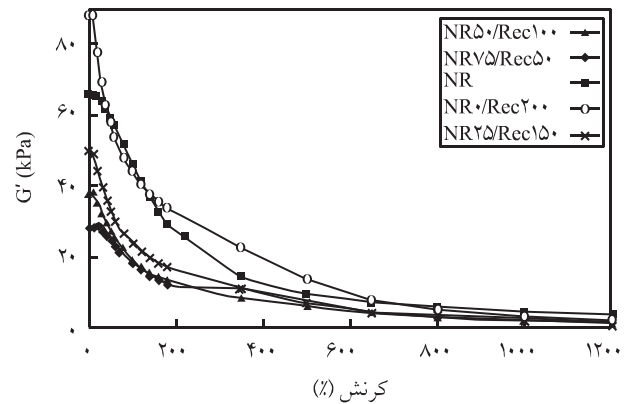
برشی در ناحیه ویسکوالاستیک خطی با کرنشهای برشی کم در آمیخته‌ها، مشابه رفتار فازی است که سهم بیشتری در آن آمیخته دارد، به عنوان مثال رفتار NR۲۵/Rec۱۵۰ مشابه لاستیک بازیافتی و رفتار NRV۵/Rec۵۰ مشابه لاستیک طبیعی است.

در محدوده کرنشهای برشی متوسط مدول همه نمونه‌ها کاهش می‌یابد و در محدوده کرنش برشی ۲۰۰-۶۰۰ درصد مدول نمونه لاستیک بازیافتی بیشتر از لاستیک طبیعی خالص است، زیرا سرعت کاهش G' در لاستیک بازیافتی کمتر از نمونه لاستیک طبیعی است. در کرنشهای برشی زیاد (که رفتار ویسکوالاستیک غیرخطی به شدت کاهش می‌یابد) تفاوت زیادی بین نمونه‌ها مشاهده نمی‌شود. اما، طول این ناحیه با افزایش مقدار لاستیک بازیافتی کاهش می‌یابد و روند ثابت G' از کرنشهای برشی بیشتری شروع می‌شود.

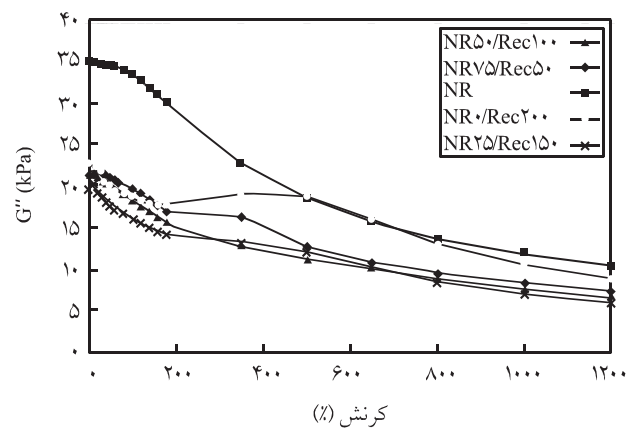
همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود تغییرات مدول اتلاف (G'') نمونه‌ها با افزایش کرنش برشی را نیز می‌توان به سه ناحیه تقسیم کرد: به ترتیب ناحیه ویسکوالاستیک خطی در کرنشهای برشی کم، ناحیه ویسکوالاستیک غیر خطی در محدوده کرنشهای برشی متوسط و ناحیه ویسکوالاستیک تقریباً خطی در کرنشهای برشی زیاد.

مدول اتلاف لاستیک طبیعی در ناحیه اول بیشتر از لاستیک بازیافتی و آمیخته‌هاست. در کرنشهای برشی متوسط، مدول اتلاف آمیزه لاستیک طبیعی کاهش می‌یابد و در کرنشهای برشی زیاد مدول اتلاف ثابت باقی می‌ماند. اما، در مورد لاستیک بازیافتی تغییرات G'' روند متفاوتی دارد. در ناحیه اول مدول اتلاف کاهش می‌یابد. اما، در ابتدای مرحله دوم (کرنشهای برشی متوسط) مدول اتلاف افزایش یافته، مجدد کاهش می‌یابد. این پدیده یعنی کاهش G' و وجود پیک در مدول اتلاف (G''_M) به عنوان اثر پایین (Payne) در آمیزه‌های لاستیکی دارای دوده [۲۷] و سیلیکا [۲۸] گزارش شده است که پژوهشگران دلیل آن را تشکیل و شکست مجدد شبکه‌های پرکننده دانسته‌اند. در کرنشهای برشی زیاد به دلیل وجود پرکننده مدول اتلاف لاستیک بازیافتی کمتر از آمیزه لاستیک طبیعی است.

آمیزه‌های لاستیک طبیعی و لاستیک بازیافتی، مدول اتلاف کمتری از لاستیک طبیعی دارند و تغییرات G'' با کرنش برشی در آمیخته‌ها مشابه پلیمری است که سهم بیشتری در آمیخته دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش مدول اتلاف (G'') در کرنشهای برشی متوسط (ابتدای مرحله دوم) در مورد آمیخته NR۲۵/Rec۱۵۰ نیز مشاهده شده است در حالی که در آمیخته NRV۵/Rec۵۰ این امر مشاهده نشده، مدول اتلاف این آمیخته همواره از آمیخته‌های دیگر بیشتر است و پدیده Payne نیز در این آمیخته‌ها شدت بیشتری از آمیخته‌های



(الف)



(ب)

شکل ۳ تغییرات: (الف) مدول ذخیره (G') و (ب) مدول اتلاف (G'') نمونه‌ها با کرنش برشی.

بیشتری در ساختار آنها دارد.

شکل ۳ تغییرات مدول ذخیره (G') و مدول اتلاف (G'') نمونه‌ها با کرنش برشی را نشان می‌دهد. تغییرات مدول کشسانی نمونه‌ها با کرنش برشی را می‌توان به سه قسمت تقسیم کرد: رفتار ویسکوالاستیک خطی در کرنشهای برشی بسیار کم، رفتار ویسکوالاستیک غیر خطی در کرنشهای برشی متوسط و رفتار ویسکوالاستیک تقریباً خطی در کرنشهای برشی زیاد.

مقدار G' لاستیک بازیافتی در ناحیه اول به دلیل وجود پرکننده که ماهیت کشسان دارد بیشتر از لاستیک طبیعی است. اما، طول این ناحیه کوتاهتر از لاستیک طبیعی است و به عبارتی رفتار کشسان غیرخطی (تغییرات مدول با کرنش برشی) در کرنشهای برشی کمتری آغاز می‌شود. مقدار مدول در آمیخته‌ها از هر دو پلیمر کمتر است که دلیل این امر را می‌توان به ناهمگنی فازی نسبت داد. تغییرات مدول با کرنش

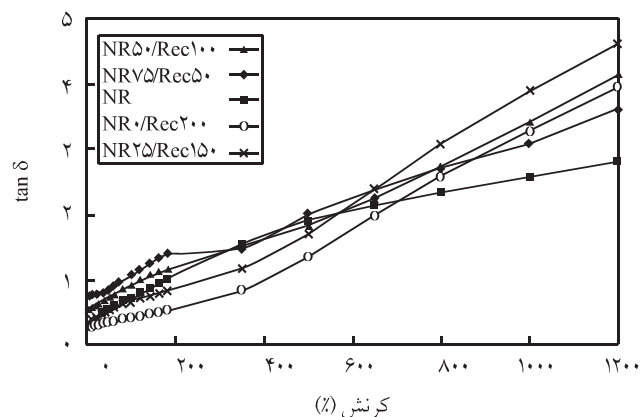
همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود محدوده رفتار کشسان در لاستیک بازیافتی بزرگتر از لاستیک طبیعی است که دلیل آن وجود پرکننده در لاستیک بازیافتی است. در مورد آمیخته ها، هرچه مقدار لاستیک بازیافتی کمتر باشد طول محدوده رفتار کشسان کوچکتر است. در مورد آمیخته های NR۵۰/Rec۱۰۰ و NR۷۵/Rec۵۰ غیریکنواخت پرکننده و عدم سازگاری کامل فازی باعث شده است که رفتار گرانو در کرنشهای برشی کمتر از آنچه در مورد لاستیک طبیعی خالص صدق می کند آغاز شود و $\tan \delta > 1$ باشد.

سرعت افزایش $\tan \delta$ در نمونه ها با هم مقایسه و در شکل ۵ رسم شده است. همان طور که دیده می شود سرعت افزایش $\tan \delta$ و رفتار گرانو در لاستیک بازیافتی بیشتر از لاستیک طبیعی است. در ضمن، سرعت افزایش $\tan \delta$ در آمیخته های لاستیک طبیعی و لاستیک بازیافتی نیز از لاستیک طبیعی بیشتر است، اما انحراف مثبت از خط راست (قانون مخلوطهای ایده ال) نشانگر اثر عدم سازگاری کامل فازی و توزیع غیر یکنواخت پرکننده بر خواص این آمیخته ها است. این دو عامل باعث شده است که آمیخته های لاستیک طبیعی و لاستیک بازیافتی خاصیت کشسانی کمتری از مقدار نظری داشته باشند. هرچه مقدار لاستیک طبیعی در آمیخته کمتر باشد این انحراف بیشتر شده، خواص کشسانی کمتر از مقدار مورد انتظار می شود.

نتیجه گیری

مطالعه خواص ویسکوالاستیک آمیخته های لاستیک طبیعی و لاستیک بازیافتی نشان داد که:

در کرنشهای برشی کم وجود پرکننده در لاستیک بازیافتی باعث می شود که مدول و گشتاور ذخیره (G' و S') و مدول و گشتاور اتلاف (G'' و S'') لاستیک بازیافتی به ترتیب بیشتر و کمتر از لاستیک طبیعی باشد. دلیل این امر وجود پرکننده (دوده و سیلیکا) در لاستیک بازیافتی است. اما، در کرنشهای برشی متوسط طول محدوده رفتار ویسکوالاستیک غیرخطی در لاستیکهای بازیافتی در مقایسه با لاستیک طبیعی بزرگتر است. در کرنشهای برشی زیاد مجدداً رفتار ویسکوالاستیک غیر خطی کاهش می یابد و روندی مشابه کرنشهای برشی کم بر آن حکمفرماست، با این تفاوت که طول این محدوده در لاستیک بازیافتی و آمیخته ها کوچکتر از لاستیک طبیعی است. رفتار ویسکوالاستیک آمیخته های لاستیک طبیعی و لاستیک بازیافتی شبیه پلیمری است که سهم بیشتری در ساختار آمیخته دارد. اما، مقدار گشتاور و مدول (هم ذخیره و هم اتلاف) در همه آمیخته ها به دلیل عدم

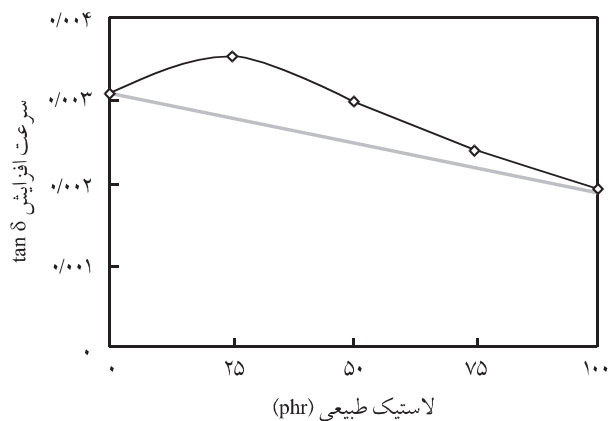


شکل ۴ تغییرات عامل اتلاف ($\tan \delta$) نمونه ها با کرنش برشی.

NR۵۰/Rec۱۰۰ و NR۲۵/Rec۱۵۰ دارد. می توان دید که G''_M و همچنین کرنش برشی مربوط به آن وابسته به مقدار لاستیک بازیافتی است و این پدیده ویسکوالاستیک غیرخطی با افزایش مقدار لاستیک بازیافتی (و به دنبال آن مقدار پرکننده) افزایش یافته و به کرنشهای بیشتری منتقل می شود.

در کرنشهای برشی خیلی زیاد نیز توزیع غیر یکنواخت پرکننده و عدم سازگاری فازی کامل باعث شده است که مدول اتلاف آمیخته ها از لاستیک طبیعی و لاستیک بازیافتی کمتر باشد.

شکل ۴ تغییرات عامل اتلاف ($\tan \delta$) محاسبه شده از نسبت G'' به G' یا نسبت S'' به S' با تغییرات کرنش برشی را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود $\tan \delta$ در همه آمیژه ها با افزایش کرنش برشی افزایش می یابد و آمیژه ها رفتار گرانو تر را نشان می دهند. در کرنشهای برشی کم $\tan \delta < 1$ یعنی $G'' < G'$ است. بنابراین، آمیژه رفتار کشسان دارد. اما، در کرنشهای برشی بیشتر $\tan \delta > 1$ یعنی $G'' > G'$ است و آمیژه رفتار گرانو دارد.



شکل ۵ سرعت افزایش $\tan \delta$ در نمونه ها.

دارای پرکننده به دلیل تشکیل و شکست شبکه‌های پرکننده روی می‌دهد در لاستیک بازیافتی به وضوح مشاهده می‌شود. سرعت بیشتر افزایش عامل اتلاف ($\tan \delta$) در این آمیخته‌ها نیز مؤید این مطلب است که می‌توان آن را به همگنی فازی بیشتر در این ترکیب درصد آمیخته نسبت داد.

سازگاری و ناهمگنی فازی کامل، کمتر از لاستیک بازیافتی و لاستیک طبیعی خالص است. به همین دلیل کشسانی آمیخته‌ها کمتر از مقدار پیش‌بینی شده بر اساس قانون مخلوط‌های ایده‌آل است و هرچه مقدار لاستیک طبیعی در آمیخته کمتر می‌شود این انحراف بیشتر شده، خواص کشسانی کمتر از مقدار مورد انتظار می‌شود. پدیده ویسکوالاستیک غیر خطی Payne که در آمیزه‌های لاستیکی

مراجع

1. Tantayanon S. and Julkhan S., Enhanced Toughening of Poly(propylene) with Reclaimed Tire Rubbers, *J. Appl. Polym. Sci.*, **41**, 510-515, 2004.
2. Sreeja T.D. and Kutty S.K.N., Cure Characteristics and Mechanical Properties of Short Nylon Fiber Reinforced Natural Rubber-Reclaimed Rubber Blends, *Polym. Plast. Technol. Eng.*, **42**, 239-252, 2003.
3. Phadke A.A., Bhattacharya A.K., Chakraborty S.K. and De S.K., Studies of Vulcanization of Reclaimed Rubber, *Rubber Chem. Technol.*, **56**, 726-736, 1983.
4. Fix S.R., Microwave Devulcanization of Rubber, *Elastomerics*, **112**, 38-40, 1980.
5. Levin V.Y., Kim S.H., Isayev A.I., Massey J. and Von Meerwall E., Ultrasound Devulcanization of Sulfur Vulcanized SBR: Crosslink Density and Molecular Mobility, *Rubber Chem. Technol.*, **69**, 104-110, 1996.
6. Tapale M. and Isayev A.I., Continuous Ultrasonic Devulcanization of Unfilled NR Vulcanizates, *J. Appl. Polym. Sci.*, **70**, 2007-2019, 1998.
7. Sreeja T.D. and Kutty S.K.N., Cure Characteristics and Mechanical Properties of Natural Rubber/Reclaimed Rubber Blends, *Polym. Plast. Technol. Eng.*, **39**, 501-512, 2000.
8. Mathew G., Groeninckx G., Thomas S. and Singh R.P., A Study of the Utilization of Reclaimed Natural Rubber Prophylactic in Blend with Epoxidized Natural Rubber and Silica, *Prog. Rubber Plast. Recycl. Technol.*, **19**, 205-230, 2003.
9. Sombatsompop N. and Kumnuantip C., Rheology, Cure Characteristics, Physical and Mechanical Properties of Tire Tread Reclaimed Rubber/Natural Rubber Compounds, *J. Appl. Polym. Sci.*, **87**, 1723-1731, 2003.
10. Shaban H.I. and George R.S., Rheological and Extrudate Behavior of Polypropylene/Latex Reclaim Blends, *J. Elast. Plast.*, **29**, 83-91, 1997.
11. Sreeja T.D. and Kutty S.K.N., Effect of Urethane Based Bonding Agent on the Cure Characteristics and Mechanical Properties of Natural Rubber/Whole Tire Reclaim-Short Nylon Fiber Composite, *Polym. Plast. Technol. Eng.*, **41**, 77-89, 2002.
12. Nelson P.A. and Kutty S.K.N., Cure Characteristics and Mechanical Properties of Maleic Anhydride Grafted Reclaimed Rubber/Styrene Butadiene Rubber Blends, *Polym. Plast. Technol. Eng.*, **43**, 245-260, 2004.
13. Nelson P.A. and Kutty S.K.N., Cure Characteristics and Mechanical Properties of Butadiene Rubber/Whole Tire Reclaimed Rubber Blends, *Prog. Rubber Plast. Recycl. Technol.*, **18**, 85-97, 2002.
14. Kutty S.K.N. and Sreeja T.D., Studies on Acrylonitrile Butadiene Rubber/Reclaimed Rubber Blends, *J. Elast. Plast.*, **34**, 145-155, 2002.
15. Nelson P.A. and Kutty S.K.N., Studies on Maleic Anhydride Grafted Reclaimed Rubber/Acrylonitrile Butadiene Rubber Blends, *Prog. Rubber Plast. Recycl. Technol.*, **19**, 171-188, 2003.
16. Sreeja T.D. and Kutty S.K.N., Acrylonitrile-Butadiene Rubber/Reclaimed Rubber-Nylon Fiber Composite, *Adv. Polym. Technol.*, **20**, 281-288, 2001.
17. Naskar Amit K., Bhowmick A.K., Nevatia P., Banerjee T.S., Dutta B. and Jha A., Thermoplastic Elastomers from Reclaimed Rubber and Waste Plastics, *J. Appl. Polym. Sci.*, **83**, 2035-2042, 2002.
18. Darestani Farahani T., Bakhshandeh G.R. and Abtahi M., Investigation on Improvement of Natural Rubber/Reclaim Rubber Blend Properties Using Coupling Agents, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (in Persian)*, **19**, 209-216, 2006.
19. Tantayanon S. and Juikham S., Enhanced Toughening of

- Poly(propylene) with Reclaimed-Tire Rubber, *J. Appl. Polym. Sci.*, **91**, 510-515, 2004.
20. Pawlowski H. and Dick J., Viscoelastic Characterization of Rubber with a Dynamic Mechanical Tester, *Rubber World*, **206**, 35-40, 1992.
21. Sajjayanukul T., Saeoui P. and Sirisinha Ch., Experimental Analysis of Viscoelastic Properties in Carbon Black-filled Natural Rubber Compounds, *J. Appl. Polym. Sci.*, **97**, 2197-2203, 2005.
22. Barrls C., Mongruel A., Cartault M. and Leblanc J.L., Linear and Nonlinear Viscoelasticity of Carbon Black Filled Elastomers: Use of Complementary Rheological Characterizations, *J. Appl. Polym. Sci.*, **87**, 31-41, 2003.
23. Jean L.L., Investigating the Nonlinear Viscoelastic Behavior of Rubber Materials through Fourier Transform Rheometry, *J. Appl. Polym. Sci.*, **95**, 90-106, 2005.
24. Jean L.L. and Marie C., Advanced Torsional Dynamic Methods to Study the Morphology of Uncured Filled Rubber Compounds, *J. Appl. Polym. Sci.*, **80**, 2093-2104, 2001.
25. Yehia A.A., Helaly F.M. and Elsabbagh S.H., Studies on Mixing Homogeneity of Rubber Blends Using Viscosity Measurements, *J. Elast. Plast.*, **24**, 15-26, 1992.
26. Darestani Farahani T., Abtahi M., Katbab A.A. and Oromiehie A., A Simple Way for Investigation of Elastomer Blends Compatibility, *8th Congress of Chemical Engineering*, Mashad, Iran, 7 October 2003.
27. Aleksy D.D. and Al D., The Payne Effect for Particle-reinforced Elastomers, *Polym. Eng. Sci.*, **42**, 5591-5604, 2002.
28. Cløment F., Bokobza L. and Monnerie L., Investigation of the Payne Effect and its Temperature Dependence on Silica-filled Polydimethylsiloxane Networks, *Rubber Chem. Technol.*, **78**, 211-231, 2004.