

بررسی شکست ترمومکانیکی در آمیزه رویه تایرهای خارج از جاده (آف رود) در حضور ترموپلاستیک الاستومر استایرن ایزوپرن استایرن (SIS)

محمد لایقی قلعه سوخته^{*}، مجتبی خوش منظر، فرزاد عبدالحمید و آرش عبدالوند
واحد تحقیق و توسعه، شرکت ایران یاسا تایرورابر، تهران، ایران
m.layeghi@iranyasa.ir

چکیده: از مهم ترین چالش های طراحان قطعات لاستیکی که در معرض تنش های دینامیکی قرار می گیرند، تخریب حاصل از انرژی رشد ترک خستگی و میزان گرمای اتلافی ناشی از پدیده های ویسکوالاستیک در مواد لاستیکی است. این تخریب، تحت عنوان شکست ترمومکانیکی در علم خواص فیزیکی- مکانیکی مطرح است. در این مقاله، هدف، بررسی تأثیر استفاده از ترموپلاستیک الاستومر SIS در راستای بهبود مقاومت در برابر رشد ترک خستگی و کاهش میزان حرارت زایی، در آمیزه رویه تایرهای آف رود است. بلوک های استایرنی درون SIS مانند اتصالات عرضی فیزیکی عمل کرده و باعث افزایش انرژی بحرانی پارگی و مقاومت در برابر تنش های دینامیکی می شود. افزون بر این، استفاده از آلیاژ SIS با لاستیک طبیعی، می تواند باعث کاهش میزان حرارت زایی حاصل از پدیده های ویسکوالاستیک در آمیزه مورد استفاده در رویه تایرهای آف رود شود. نتایج داده های آزمایشگاهی، نشان دهنده افزایش مقاومت پارگی، مقاومت در برابر رشد و انتشار ترک و کاهش اثر پلین به عنوان پدیده ای ویسکوالاستیک با افزایش میزان SIS است. بهبود خواص یاد شده با افزایش مقدار SIS باعث افزایش مقاومت در برابر گل کندگی و برش گل های روی سطح ترد تایر آف رود در شرایط محیطی سخت می شود.

واژه های کلیدی: ترموپلاستیک/الاستومر، SIS، تایر آف رود، انرژی پارگی بحرانی، شکست ترمومکانیکی

جدول ۱- ترکیبات مواد مورد استفاده

S15	S10	S5	NS	Ingredients (Phr)
۸۵	۸۰	۹۵	۱۰۰	NR
۱۵	۱۰	۵	۰	SIS
۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	N330
۵	۵	۵	۵	ZnO
۲	۲	۲	۲	Stearic Acid
۲	۲	۲	۲	IPPD
۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	Aromatic Oil
۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	CBS
۲	۲	۲	۲	S

NS = Non SIS

در این پژوهش، برای بررسی رفتار مقاومت در برابر رشد ترک در حالت استاتیک، از آزمون مقاومت در برابر رشد و انتشار ترک پارگی از طریق محاسبه Gc به روش Trousers استفاده شد. این آزمون براساس استاندارد ISO 34 و در دمای آزمایشگاه صورت گرفت. افزون بر این، از آزمون دی متیا براساس استاندارد ASTM D813 جهت مدل کردن رفتار رشد ترک خستگی استفاده شده است. در نهایت، دستگاه آنالیز فرایند لاستیک (MDR Professional)، براساس استاندارد ASTM D8059 و از طریق پایش پدیده پلین به عنوان پدیده ای ویسکوالاستیک، میزان حرارت زایی آمیزه های لاستیکی را بر اثر اتلاف درون مولکولی تخمین می زند.

نتیجه ها و بحث

نتایج به دست آمده از نمودارهای انرژی پارگی آمیزه ها، نشان دهنده افزایش مقاومت پارگی و مقاومت در برابر رشد و انتشار ترک با افزایش میزان SIS است (شکل ۱). برای مثال، در آزمون مقاومت در برابر خستگی دینامیکی (شکل ۲)، افزایش ۵۶ درصدی در تعداد چرخه بارگذاری دینامیکی تا مشاهده ترک، با افزایش مقدار SIS تا ۱۵ پارت، مشاهده می شود. در ریز ساختار SIS، ناحیه های سخت پلی استایرن (PS) در یک ماتریس لاستیکی انعطاف پذیر (پلی ایزوپرن) پراکنده شده و به عنوان اتصالات عرضی فیزیکی عمل می کنند. این ویژگی باعث می شود که

مقدمه

تخریب ترمومکانیکی به عنوان یک تخریب متداول در تایرهای خارج از جاده (آف رود) مطرح است [۱]. حرکت این تایرها در مسیرهای کوهستانی و سنگ لاج، تنش برشی دینامیکی را به میزان قابل توجهی افزایش می دهد [۲]. در مکانیک شکست مواد، پارامتری به نام Gc معرفی می شود که نشان دهنده انرژی بحرانی انتشار ترک بوده و عامل اصلی شکست مکانیکی در شرایط عملکردی است. پارامتر انرژی پارگی بحرانی از تقسیم مقدار نیروی پارگی بر سطح مقطع تحت کشش به دست می آید [۳]. هم چنین، اتلاف تنش ناشی از رفتار ویسکوالاستیک مواد پلیمری باعث ایجاد گرما درون آمیزه رویه تایر می شود. تجمع گرمایی، رشد ترک ناشی از تنش های دینامیکی را تسریع می کند [۴]. بنابراین، آمیزه رویه طراحی شده در ساخت تایرهای خارج از جاده، باید به گونه ای طراحی شود که بتواند در شرایط اعمال تنش های دینامیکی قابل توجه، مقاومت بالایی در برابر رشد ترک خستگی از خود نشان دهد.

در سالیان اخیر از ترموپلاستیک/الاستومر استایرن ایزوپرن استایرن (SIS)، به جهت تأثیر فزاینده بر افزایش میزان مقاومت پارگی، کاهش نرخ رشد ترک خستگی و کنترل حرارت زایی، در طراحی آمیزه های لاستیکی رویه تایرهای موتوری و سواری، استفاده شده است [۵]. این ترموپلاستیک/الاستومر از دو بخش سخت (بلوک های استایرنی) و انعطاف پذیر (بخش های ایزوپرن) تشکیل شده است [۶]. با توجه به تنش برشی بسیار بالا که در شرایط عملکردی به تایرهای آف رود وارد می شود، هدف این مقاله، بررسی تأثیر استفاده از ترموپلاستیک الاستومر SIS در بهبود مقاومت در برابر رشد ترک خستگی و همین طور کاهش میزان حرارت زایی، در آمیزه رویه تایرهای آف رود است.

بخش تجربی

در آمیزه طراحی شده، از ترموپلاستیک/الاستومر نوع SIS 1124 تهیه شده توسط شرکت سینوپک با درصد استایرن ۱۴ درصد استفاده شده است. هم چنین، در این آمیزه، از لاستیک طبیعی (NR) به عنوان ماتریس و هم چنین از دوده N330 به عنوان تقویت کننده استفاده شده است. ترکیبات مواد مورد استفاده، در جدول ۱ مشاهده می شود.

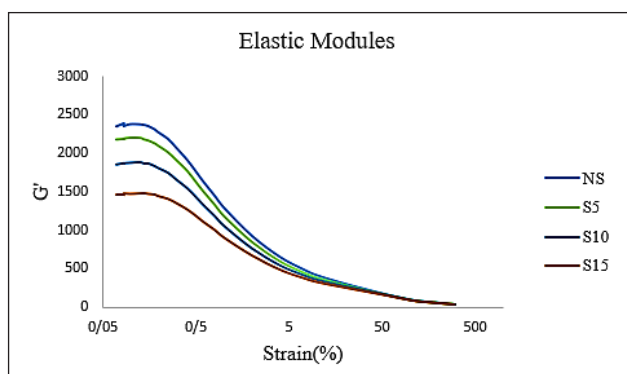
پارت، اثر پائین (اتلاف حرارتی از طریق شکست شبکه‌های پرکننده) به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. این خود معیاری از کاهش میزان حرارت‌زایی در آمیزه لاستیکی است.

جدول ۲- پارامترهای مربوط به مقاومت در برابر رشد ترک آمیزه‌ها در حضور

ترموپلاستیک‌الاستومر SIS

S15	S10	S5	NS	Parameters
۴۰.۴۶	۲۸.۸۲	۲۲.۵۶	۲۵.۳۸	Range(N)
۱۱.۸۸	۷.۸۹	۶.۵۱	۶.۵۴	St.Dv(N)
۳۷۷۵۳	۴۰.۹۲۲	۲۸۳۹۸	۳۰۹۵۹	Gc(ave)(J/m ²)

St.Dv=standard Devotion, Gc=Average Tearing critical Energy

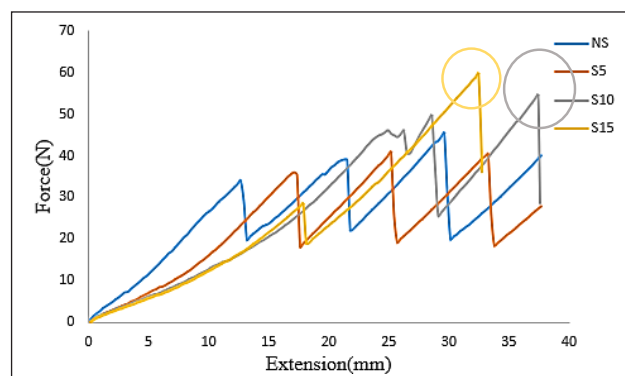


شکل ۳- بررسی میزان حرارت‌زایی در حضور ترموپلاستیک‌الاستومر با استفاده از پایش پدیده ویسکوالاستیک پائین

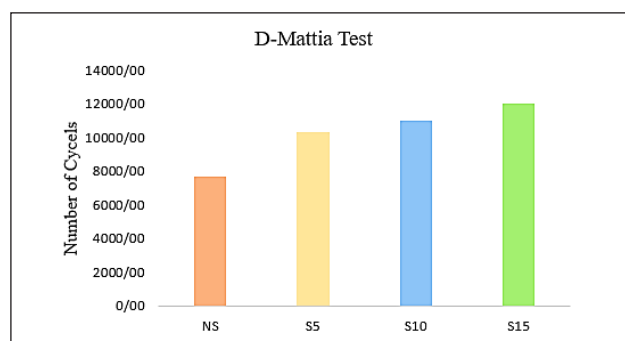
نتیجه‌گیری

نتایج آزمایشگاهی نشان‌دهنده افزایش مقاومت در برابر پارگی از طریق افزایش انرژی بحرانی پارگی (GC) و همچنین کاهش میزان حرارت‌زایی در آمیزه رویه ترد آفرود، با افزایش میزان ترموپلاستیک‌الاستومر SIS تا ۱۵ پارت، است. درنهایت، بهبود خواص یادشده باعث افزایش مقاومت در برابر گل‌کندگی و برش گل‌های روی سطح ترد تایر آفرود در شرایط محیطی سخت می‌شود.

نیروی موردنیاز برای باز شدن گره‌خوردگی‌های فیزیکی و اتصالات شیمیایی به میزان قابل توجهی افزایش یابد، که حاصل آن افزایش میزان انرژی پارگی بحرانی (GC) است [۷]. این تغییرات می‌تواند باعث افزایش مقاومت در برابر گل‌کندگی و برش گل‌های روی سطح ترد تایر آفرود در شرایط محیطی سخت شود.



شکل ۱- نمودار مربوط به مقاومت در برابر رشد ترک استاتیک (آزمون پارگی Trousers)



شکل ۲- نمودار مربوط به مقاومت در برابر رشد ترک دینامیک (آزمون خستگی D-MATTIA)

شکل ۳ روند تغییرات مدول الاستیک آمیزه‌های طراحی شده را با روبش کرنشی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار SIS تا ۱۵

مراجع

- [1] Ma, Shaosen, Linping Wu, and Wei Victor Liu. "Numerical investigation of temperatures in ultra-large off-the-road tires under operating conditions at mine sites." Journal of Thermal Science and Engineering Applications 15.2 (2023): 021010.
- [2] Kledrowetz, Jan, et al. "FEM Optimization of a Steel Belt of OTR Tyres." Materials Science Forum. Vol. 994. Trans Tech Publications Ltd, 2020.
- [3] Abbasi-Soureshjani, Mohammad, et al. "Improved fatigue resistance of thermoplastic elastomer-filled natural rubber composites." Materials Chemistry and Physics 340 (2025): 130824.
- [4] Ma, Shaosen, et al. "Hysteresis loss of ultra-large off-the-road tire rubber compounds based on operating conditions at mine sites." Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering 236.2-3 (2022): 439-450.
- [5] Chouvel, Christophe. "Tire provided with a tread comprising a diene elastomer and thermoplastic elastomer system." U.S. Patent No. 10,780,740. 22 Sep. 2020.
- [6] Kajita, Takato, et al. "Extremely tough block polymer-based thermoplastic elastomers with strongly associated but dynamically responsive noncovalent cross-links." Polymer 217 (2021): 123419.
- [7] Gao, Ling, et al. "Tracking the evolution of the morphology and stress distribution of SIS thermoplastic elastomers under tension using atomic force microscopy." Science and Technology of Advanced Materials 25.1 (2024): 2402685.