



کویر تایر

اولین تولیدکننده تایر در ایران

بررسی چسبندگی و هم چسبی در فصل مشترک لاستیک – فلز در آمیزه استیل بت تایر

مسعود خوشنود^{۱*}، محمد حیدرپور^۲، فائزه نجفی^۱، علی جمالی نودری^۳، یاسر مقبولی^۴

کارشناس تکنولوژی – آسپرست اختلاط – آمدیر مهندسی مواد و فرآیند – رئیس توسعه مواد و فرآیند کارخانه کویر تایر

*masoud.khoshnood@ut.ac.ir

چکیده:

در این پژوهش، اثر سامانه‌ی دو جزئی رزورسینول-فرمالدهید/هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین (RF/HMMM) و نمک کبالت (manobond 680C) به‌همراه اسید استناریک بر تعادل «چسبندگی فصل مشترک لاستیک-فلز» و هم چسبی توده» در آمیزه‌ی استیل‌بت تایر بررسی شد. چهار فرمولاسیون بر پایه SMR-10 و دوده N326 با تغییرات HMMM، نمک کبالت و اسید استناریک تهیه شد. آزمون‌های رئومتر ی MDR در ۱۸۵ °C، کشش، پارگی و چسبندگی H-Test انجام گرفت. نتایج نشان داد افزایش HMMM دانسیته اتصالات عرضی را بالا برده و سختی و مقاومت پارگی را بهبود می‌دهد، اما با تقویت شبکه سه‌بعدی در توده آمیزه، سهم شکست به سمت هم‌چسبی جابه‌جا شده و استحکام چسبندگی لاستیک-سیم کاهش می‌یابد. افزایش نمک کبالت ضمن افزایش شاخص سرعت پخت، با تشدید فرآیندهای اکسیداسیونی، باعث افت گشتاور نهایی و بخشی از خواص کششی شد؛ درعوض چسبندگی بین‌سطحی بهبود یافت. افزایش اسید استناریک بدون تغییر معنادار در رئولوژی پخت، برهم‌کنش با سطح برنجی را تقویت و چسبندگی به سیم را نسبت به نمونه مرجع افزایش داد. جمع‌بندی کلی اینگونه است که تنظیم هم‌زمان ترکیب درصد HMMM و کبالت همراه با افزایش محدود اسید استناریک، بهترین تعادل عملکردی بین چسبندگی فصل مشترک و هم‌چسبی توده را فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: چسبندگی لاستیک به سیم، هم‌چسبی، رزورسینول فرمالدهید

محور مقاله: مواد اولیه و آمیزه‌سازی

مقدمه:

چسبندگی^۱ بین آمیزه لاستیکی و سیم فولادی که از اجزای ناهمگن تایر محسوب می‌شوند، نقش مهمی در تعیین عملکرد کلی و عمر مفید تایر ایفا می‌کند [۱]. تمایل شیمیایی فولاد به آمیزه لاستیکی که معمولاً لاستیک طبیعی^۲ است کم بوده، از این رو از آلیاژ برنج که تمایل بیشتری به چسبندگی به لاستیک طبیعی نسبت به فولاد دارد به صورت لایه‌ای نازک بر روی فولاد پوشش داده می‌شود. چسبندگی بین لاستیک و سیم فولادی با روکش برنج معمولاً از مقاومت پارگی لاستیک فراتر می‌رود و منجر به شکست هم‌چسبی لاستیک^۳ می‌شود. با این حال، فصل مشترک لاستیک-سیم فولادی با روکش برنج، به ویژه در دمای بالا، رطوبت بالا و شوری زیاد، مستعد تخریب است. شرایط آب و هوایی شدید، شرایط رانندگی خشن، سرعت‌های بالاتر (که منجر به افزایش دمای بالا می‌شود) و کم بادی، به تخریب پیوند لاستیک-سیم فولادی با روکش برنج کمک می‌کند.

وجود چنین شرایطی که منجر به شکست فصل مشترک لاستیک-سیم فولادی با روکش برنج^۴ می‌شود، باعث کاهش اثر تقویت کنندگی سیم فولادی شده و در نهایت منجر به کاهش عمر مفید تایر می‌شود [۲]. ویژگی‌های فصل مشترک تا حدودی تحت تأثیر فرمولاسیون آمیزه لاستیکی قرار دارد. فرمولاسیون لاستیک باید طوری بهینه شود تا از یک طرف حداکثر قدرت چسبندگی در فصل مشترک لاستیک-استیل حاصل شود و از طرف دیگر تعادلی بین چسبندگی فصل مشترک و هم‌چسبی آمیزه لاستیکی ایجاد کند [۳].

برای بهینه کردن شرایط چسبندگی، از تقویت‌کننده‌های چسبندگی^۵ در فرمولاسیون آمیزه های لاستیکی استفاده می‌شود تا پیوند قوی در فصل مشترک لاستیک-فلز را بهبود بخشیده و حفظ کند. دو سیستم چسبندگی رایج که امروزه در تولید تایر استفاده می‌شوند، سیستم گوگرد با غلظت بالا/کبالت و سیستم رزین دو جزئی (HMMM + رزورسینول فرمالدئید RF) با کبالت هستند. افزودن نمک‌های کبالت آلی هم بر چسبندگی اولیه و هم بر دوام پیوند لاستیک-فلز تأثیر می‌گذارد. همچنین افزودن رزین دو جزئی (RF+HMMM) باعث تقویت هم‌چسبی آمیزه لاستیکی می‌شود [۴].

هدف این مقاله مطالعه تغییرات فصل مشترک و هم چسبی آمیزه لاستیکی است. در این مقاله سعی شده است با تغییر نسبت رزین دو جزئی و نمک کبالت، تغییرات چسبندگی فصل مشترک و هم چسبی آمیزه لاستیکی بررسی شود. همچنین اثر افزایش ترکیب درصد استناریک اسید به عنوان تقویت کننده چسبندگی فصل مشترک نیز بررسی شد.

تجربی

مطابق جدول ۱، آمیزه سازی با تغییر نسبت رزین دو جزئی و نمک کبالت و همچنین استناریک اسید انجام گرفت. در این پژوهش از کائوچوی SMR 10 به عنوان لاستیک پایه، از دوده N-326 به عنوان تقویت کننده و از روغن آروماتیک به عنوان نرم کننده استفاده شد. سیستم رزین دو جزئی شامل رزورسینول فرمالدهید و هگزامتوکسی متیل ملامین همراه با الترازیل برای ایجاد شبکه فیزیکی و بهبود پیوستگی آمیزه استفاده شد. همچنین از نمک کبالت (مونوباند ۶۸۰) به عنوان تکمیل کننده سیستم تقویت کننده چسبندگی استفاده شد.

جدول ۱: اجزا و ترکیب درصد مواد مورد استفاده در این پژوهش

کد نمونه				
اجزای آمیزه (phr)	A0	AS	AC	AH
کائوچوی SMR-10	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
دوده N-326	۶۰.۴	۶۰.۴	۶۰.۴	۶۰.۴
مونوباند 680 C	۰.۶	۰.۶	۰.۹	۰.۶
هگزامتوکسی متیل ملامین (HMMM)	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۱.۵
اسید استناریک	۰.۷	۱.۱	۰.۷	۰.۷

بقیه اجزای آمیزه شامل: روغن آروماتیک: ۲.۹، رزورسینول: ۱.۶، اکسید روی: ۸، الترازیل VN3:

۷.۵، 6PPD: ۱.۲، TMQ: ۱.۰، گوگرد نامحلول: ۳.۵، شتابدهنده DCBS: ۰.۵، تاخیرانداز

(PVI): ۰.۲ و پپتایزر (رناسیت): ۰.۱

آمیزه سازی در بنبری آزمایشگاهی Pomini مدل Mix-32 با ظرفیت ۱.۲ کیلوگرم انجام گرفته است. شروع دمای فرآیند اختلاط ۶۰ درجه و زمان کل اختلاط ۷ دقیقه بوده، دور روتور rpm ۶۵ و دمای آمیزه مستر خروجی ۱۴۰ درجه سانتی گراد بوده است. در نهایت ساخت آمیزه فاینال شامل سیستم پخت و آمیزه مستر بر روی غلتک آزمایشگاهی به مدت ۴ دقیقه انجام پذیرفت.

آزمون رئومتری پخت با استفاده از دستگاه رئومتری MDR ساخت شرکت Alpha technology در دمای ۱۸۵ درجه سانتی گراد و زمان ۶ دقیقه انجام شده است. همچنین خواص مکانیکی آمیزه شامل خواص کششی و مقاومت پارگی بوسیله دستگاه کشش huntsfield انجام گرفت. با استفاده از روش آزمون H چسبندگی لاستیک به سیم نیز اندازه گیری شد.

نتایج و بحث

رفتار پخت آمیزه‌ها نسبت به تغییر ترکیب درصد اسید استناریک، مونوباند ۶۸۰ و HMMM در جدول ۲ نشان داده شده است. پارامترهایی مانند زمان برشتگی، گشتاور پخت، گشتاور بیشینه با تغییر ترکیب درصد اسید استناریک، مونوباند ۶۸۰ و HMMM تغییرات زیادی نشان نداده‌اند. در تمامی نمونه‌ها، رفتار reversion دیده شده است با این حال روند افت گشتاور پس از گشتاور بیشینه، در نمونه‌های A0 و AS حدود ۴ واحد، در نمونه AC حدود ۶ واحد و در نمونه AH حدود ۱.۵ واحد بوده است. مشاهده می‌شود افزایش ترکیب درصد استناریک اسید در نمونه AS، تأثیری بر رفتار پخت آمیزه‌ها (نسبت به نمونه مرجع A0) نمی‌گذارد.

همچنین افزایش مونوباند ۶۸۰ (نمونه AC) باعث افت بیشتر گشتاور و افزایش HMMM (نمونه AH) باعث افت کمتر گشتاور نسبت به نمونه مرجع شده است. غلظت بیشتر مونوباند ۶۸۰ در آمیزه منجر به واکنش‌های تخریب اکسیداسیونی خود کاتالیزتی شده و به همین دلیل افت گشتاور بیشتری مشاهده می‌شود. غلظت بیشتر HMMM باعث افزایش دانسیته پیوندهای عرضی با رزورسینول شده و مقاومت حرارتی آمیزه را افزایش داده است. همچنین در نمونه AC که غلظت مونوباند ۶۸۰ بیشتر است، سرعت پخت آمیزه بیشتر بوده و در نمونه AH که غلظت مونوباند ۶۸۰ کمتر است، سرعت پخت آمیزه کمتر بوده است. اگر چه پژوهش معتبری وجود ندارد که نقش کبالت بر افزایش سرعت پخت الاستومرها را نشان داده باشد، اما در این پژوهش مشخص شد که نمک‌های کبالت بر سرعت پخت الاستومرها تأثیر مستقیم دارند.

مطابق جدول ۲، افزودن استناریک اسید، به علت ماهیت نرم کنندگی که دارد، باعث افت خواص کششی آمیزه شده است (نمونه A0 و AS). البته این افت خواص قابل چشم پوشی است و می‌توان نتیجه گرفت، افزایش استناریک اسید بر خواص کششی آمیزه تأثیر زیادی ندارد. بر خلاف استناریک اسید، افزودن مونوباند ۶۸۰ و HMMM تأثیر زیادی بر خواص کششی آمیزه نداشته است. افزودن مونوباند ۶۸۰ (نمونه AC) باعث افت ۱۱٪ استحکام کششی و افت ۱۹٪ ازدیاد طول در نقطه پارگی شده است. در نمونه AH که غلظت HMMM افزایش پیدا کرده است، ۲۱٪ ازدیاد طول در نقطه پارگی افت داشته است، با این حال استحکام کششی به میزان ۸.۴٪ نسبت به نمونه مرجع بهبود یافته است. در هر دو نمونه AC و AH و با افزایش غلظت مونوباند ۶۸۰ و HMMM ازدیاد طول در نقطه پارگی به زیر ۳۰۰ درصد کاهش داشته است که نتیجه بسیار نامطلوبی برای آمیزه می‌باشد.

مقاومت پارگی و سختی، هر دو در نمونه AH بیشترین مقدار را نشان داده‌اند که به دلیل افزایش پیوندهای عرضی حاصل از واکنش HMMM و رزورسینول بوده است. همچنین افزایش غلظت اسید استناریک باعث افت سختی و مقاومت پارگی آمیزه بترتیب به مقدار ۳ و ۸ واحد نسبت به نمونه مرجع شده است.

⁵ Adhesion promoters

17 Conference
And 9 Exhibition
Rubber
And
Related Industries

Iranmall
January 6-7
2026

ایران مال
۱۸ تا ۲۱ دی ماه
۱۴۰۴

جدول ۲: خواص رئومتری پخت، خواص مکانیکی، کششی و استحکام چسبندگی نمونه‌ها

کد نمونه	A0	AS	AC	AH
زمان برشتگی (M:S)	۰:۵۶	۰:۵۸	۰:۵۵	۱:۰۱
زمان پخت بهینه (M:S)	۲:۲۵	۲:۲۳	۲:۰۷	۲:۵۳
گشتاور پخت (lb-in)	۳۹.۵۱	۴۱.۸۴	۴۰.۰۲	۴۲.۱۰
گشتاور کمینه (lb-in)	۳.۰۵	۴.۳۴	۲.۹۴	۲.۳۳
گشتاور بیشینه (lb-in)	۴۲.۶۸	۴۴.۱۶	۴۳.۰۴	۴۴.۹۴
گشتاور نهایی (lb-in)	۴۰.۰۰	۴۰.۰۱	۳۷.۰۰	۴۳.۵۱
شاخص سرعت پخت (lb-in/min)	۴۴.۴	۴۵.۲	۵۲.۴	۳۹.۵
استحکام کششی نهایی (MPa)	۱۸.۹	۱۸.۲	۱۶.۷	۲۰.۵
ازدیاد طول در پارگی (%)	۳۲۸.۴	۳۱۴.۵	۲۶۵.۸	۲۵۹.۶
مدول ۱۰۰٪ (MPa)	۶.۳	۵.۹	۵.۶	۶.۵
مدول ۲۰۰٪ (MPa)	۱۳.۵	۱۲.۲	۱۱.۶	۱۹.۱
مدول ۳۰۰٪ (MPa)	۱۹.۴	۱۸.۵	۰	۰
مقاومت پارگی (kN/m)	۳۹.۶	۳۸.۸	۳۶.۱	۴۷.۲
سختی (Shore A)	۷۵	۷۲	۷۶	۸۰
استحکام چسبندگی لاستیک به سیم (N)	۳۰۴.۸	۳۲۵.۹	۳۲۸.۷	۲۷۶.۲

استحکام چسبندگی لاستیک به سیم، در دو نمونه AS و AC نسبت به نمونه مرجع، بهبود یافته است. حضور اسید استناریک در نمونه AS و مونوباند ۶۸۰ در نمونه AC باعث افزایش برهمکنش آمیزه با سطح فولاد پوشش داده شده با برنج شده است. در نمونه AH غلظت بیشتر HMMM باعث شده اتصالات عرضی و سه بعدی در بالک آمیزه بیشتر شود و تمایل و هم‌چسبی در نمونه AH بیشتر از چسبندگی به سطح فولاد باشد. بنابراین قدرت چسبندگی در فصل مشترک (استحکام چسبندگی لاستیک به سیم) در نمونه AH کاهش یافته است.

نتیجه گیری

بهینه کردن مقادیر چسبندگی و هم‌چسبی در فصل مشترک لاستیک-فلز باعث بهبود خواص چسبندگی و خواص مکانیکی آمیزه می‌شود. افزایش ترکیب درصد مونوباند ۶۸۰ باعث افزایش چسبندگی لاستیک-فلز می‌شود اما از طرف دیگر باعث افت خواص کششی و مقاومت پارگی شده است. افزایش ترکیب درصد HMMM باعث افزایش استحکام کششی و مقاومت پارگی می‌شود اما چسبندگی لاستیک-فلز را کاهش می‌دهد. ایده‌آل ترین حالت افزایش ترکیب درصد اسید استناریک است که بدون تغییر در رفتار پخت و خواص مکانیکی آمیزه، باعث بهبود چسبندگی آمیزه-لاستیک می‌شود.

مراجع

[1] Vanooij, W. J., Harakuni, P. B., & Buytaert, G. (2009). Adhesion of steel tire cord to rubber. *Rubber chemistry and technology*, 82(3), 315-339.

[2] Chandra, A. K., Mukhopadhyay, R., & Bhowmick, A. K. (1996). Studies of dynamic adhesion between steel cord and rubber using a new testing method. *Polymer testing*, 15(1), 13-34.

[3] Ashirgade, A. (2010). *Mechanistic study of the rubber-brass adhesion interphase*. University of Cincinnati.

[4] شیخی، & بزن. (۲۰۱۸). مطالعه تاثیر افزودنیهای رزینی و آروزیل بر بهبود چسبندگی لاستیک به فلز. پژوهش‌های کاربردی مهندسی شیمی- پایلر، ۱۲(۱)، ۶۷-۷۷.