Archive of SID

Downloaded from arcpe.modares.ac.ir at 9:58 IRDT on Monday May 6th 2019

مطالعه تأثیر افزودنی‌های رزینی و اروزیل بر بهبود چسبندگی لاستیک به فلز

سجاد شیخی[1]، سید محمدرضا پرن[2]*

۱ ایران، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ

۲ایران، تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، پژوهشکده فرایند

پژوهش‌های کاربردی مهندسی شیمی - پلیمر

فصلنامه علمی - پژوهشی بین‌رشته‌ای

سال دوم، شماره۱، نسخه۱،

بهار ۱۳۹۷، صفحه ۷۷-۶۷

چکیده

چسبندگی در فصل مشترک قطعات لاستیک به فلز از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. کارایی بهینه این نوع چسبندگی به استحکام چسبندگی بین آمیزه لاستیکی و سطح فلز و رفتار پخت آمیزه بستگی دارد. افزودنی‌های رزینی و حضور ذرات سیلیکا نقش متفاوتی بر بهبود چسبندگی دارند. برای ارزیابی تأثیر افزودنی‌ها از آزمون‌های کششی و پوست کنی ۹۰ درجه استفاده شد. براساس نتایج بدست آمده حضور ۱۵phr از رزین فنول‌فرمالدهید موجب افزایش ۱۷ درصدی چسبندگی لاستیک به فلز و موجب کاهش ۴۳ درصدی در استحکام کششی آمیزه گردید. همچنین حضور ۵phr رزین هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین در کنار رزین فنول‌فرمالدهید توانست چسبندگی لاستیک به فلز را به میزان ۱۳۷ درصد بهبود دهد در حالی که افت خواص کششی آمیزه به ۱۲ درصد کاهش یافت. این در حالیست که افزودن ۵phr اروزیل در کنار رزین‌های فوق توانست افزایش استحکام چسبندگی را به ۱۷۵ درصد برساند و استحکام کششی خود را همانند حالت بدون ارزویل حفظ کند.

واژه‌های کلیدی

لاستیک
فلز
چسبندگی
فصل مشترک
اروزیل

* **مسئول مکاتبات:**
m.paran@ippi.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from arcpe.modares.ac.ir at 9:58 IRDT on Monday May 6th 2019

مقدمه

کاربردهای فراوان این گونه از مواد مرکب (لاستیک-فلز) به‌خصوص در صنعت خودرو به‌دلیل خاصیت لرزه‌گیری خوب آنها در اواخر سال ۱۹۳۰ باعث گسترش این صنعت شد. در این زمان با استفاده از روش لاستیک سخت و با تهیه محلول، لایه‌های لاستیک بر روی فلز قرار داده می‌شدند. در بین سال‌های ۱۹۴۰ تا ۱۹۵۰ تلاش‌هایی برای ایجاد پیوند بین لاستیک با فلز به استفاده از ایزوسیانات صورت پذیرفت. در همین سال‌ها به کمک چسب پیشرفته به نام کملوک ۲۲۰ که در اواسط این دهه ساخته شد، دانشمندان موفق به ایجاد پیوند لاستیم-فلز شدند. این چسب با نام تجاری کموزیل توسط شرکت هنکل آلمان به‌صورت انحصاری به بازار عرضه شد. سازوکار عملکرد این عامل پیوند جدید به گونه‌ای است که در حین پخت به‌طور همزمان با هر دو لایه لاستیک و فلز واکنش شیمیایی می‌دهد و موجب پیوند این دو ماده غیر هم جنس می‌شود. این چسب به‌گونه‌ای طراحی شده است که پایداری بسیار زیادی در شرایط دمای محیط داشته باشد [۱-٤]. در بسیاری از این کاربردها لازم است که لاستیک در تماس با سطح فلزی قرار گیرد تا قابل اطمینان‌تر باشد. از این رو برای دستیابی به پیوندی پایدار و مقاوم، آماده سازی مکانیکی و تمیز کاری شیمیایی سطح مشترک با لاستیک اهمیت بسزایی دارد. همچنین عوامل پیوندی مورد استفاده در آمیزه‌های لاستیکی نیز بر چسبندگی تأثیر گذار هستند [۳-٤]. با توجه به اهمیت موضوع پیوند لاستیک به فلز و کاربردهای روز افزون این مواد مرکب، نیاز به پژوهش در زمینه عوامل مؤثر در تشکیل و پایداری پیوند لاستیک به فلز بیش از پیش لازم و ضروری به‌نظر می‌رسد. تغییر و بهینه سازی اجزاء در آمیزه لاستیک می‌تواند پیوندهایی با قدرت همسان و یا حتی بیشتر از پیوندهای به‌وجود آمده با چسب کموزیل را ایجاد کند.

ایوانس و همکارانش [۵] تأثیر افزودن ۲۰phr سیلیکا به آمیزه‌ی بر پایه لاستیک طبیعی را بررسی کردند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد استحکام پارگی و کارایی چسبندگی بهبود یافته‌اند. همچنین با تنظیم میزان مدول آمیزه، مقادیر انرژی چسبندگی را نیز محاسبه کردند به‌طوریکه با افزایش مقدار سیلیکا روند افزایش خطی در چسبندگی مشاهده شد. این یافته پیش‌بینی کرد که افزایش سیلیکا نه تنها منجر به بهبود خواص فیزیکی آمیزه می‌شود بلکه بر لایه بین‌سطحی نیز تأثیر دارد. کریسی و همکارانش [٦] طی تحقیقاتی تأثیر ذرات سیلیکا و سیلیکات بر چسبندگی لاستیک به سیم فلزی را بررسی کردند. تحقیقات آنها نشان داد مقدار ۳۰-۱۰phr از ذرات سیلیکا و سیلیکات توانسته چسبندگی آمیزه‌های لاستیک طبیعی به سیم‌های پوشش داده شده با برنج را بهبود دهد. در سال‌های اخیر نیز تحقیقاتی بر میزان تأثیر سیلیکا بر بهبود چسبندگی و استحکام چسب‌های بر پایه لاستیک استایرن-بوتادی‌ان انجام شده است. این نتایج نشان داد که مقدار ۲۰phr از سیلیکا مقدار بهینه‌ای برای بهبود خواص چسبندگی و استحکام چسب لاستیکی است [۷].

جِوونگ و همکارانش [۸] گزارش کردند که افزایش مقدار کم (۲ phr) از لاستیک طبیعی اپوکسی دار شده تأثیر به‌سزایی در خواص فیزیکی آمیزه تایر سیمی (نرخ پخت، استحکام کششی و میزان کشش پایین و مدول و سختی بالا) دارد. تشکیل لایه‌ای با وزن مولکولی بالا در فصل مشترک و در برخی مواقع تسریع تشکیل سولفید ناشی از حضور ترکیب اپوکسی دار موجب بهبود چسبندگی می‌شود. افزودن مقادیر بالاتر از ۱۰phr منجر به ضعف خواص لاستیک و در نتیجه چسبندگی ضعیف‌تر شد.

رزین رزورسینول‌فرمالدهید به‌عنوان گیرنده متیلن و هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین به‌عنوان دهنده متیلن استفاده شده است. فرایند تغلیظ و تراکم رزورسینول‌فرمالدهید در سامانه توسط هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین به‌عنوان پیش‌برنده چسبندگی عمل می‌کند. کمپلکس رزورسینول‌فرمالدهید و هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین تأثیر زیادی بر چسبندگی در شروع و بعد از پیرشدگی تحت بخار و رطوبت را نشان می‌دهد. همچنین برای سامانه کمپلکس هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین و رزورسینول‌فرمالدهید ترکیب شده با کبالت، کارایی

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from arcpe.modares.ac.ir at 9:58 IRDT on Monday May 6th 2019

بهتری گزارش شد [۹]. تاکشی و همکارانش [۱۰] نیز طی تحقیقاتی دریافتند که نیروی چسبندگی و چگالی شبکه‌ای شدن با اعمال هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین افزایش می‌یابد. آنها بیان کردند که ترکیبات آمینی ایجاد شده از تجزیه شتاب‌دهنده‌های پخت، دی سیکلوهگزیل بنزوتیازول سولفون آمید، در حین وولکانش گوگرد توسط هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین به دام می‌افتد، که با نفوذ به لایه چسبی بین لاستیک دی‌ان و سیم فولادی پوشش شده با برنج، تأثیر معکوس بر چسبندگی دارد.

کریسی و همکاران [٦] با افزایش رزین‌هایی مانند رزورسینول و فرمالدهید با خاصیت متیل‌دهندگی به ترکیبات لاستیکی، بهبود چسبندگی لاستیک-فلز بیشتری ایجاد کرده‌اند. از طرفی استفاده از سامانه رزورسینول و هگزامتیلن تترامین در مقایسه با سیم پوشش شده با لاتکس رزورسینول‌فرمالدهید، چسبندگی را به‌طور قابل توجهی بهبود داده است. انتخاب میزان رزورسینول و هگزامتیلن تترامین به سامانه الاستومر وابسته است. میزان بهینه رزورسینول و هگزامتیلن تترامین در ترکیبات لاستیک طبیعی/ استایرن بوتادی‌ان لاستیک به ترتیب مقادیر ۲/۵phr و ۱/٦ به‌دست آمده است.

چسب‌های پایه حلال متداول معمولاً دارای سامانه دو پوششی هستند: چسب پرایمر و کاور. پرایمرها معمولاً شامل رزین‌هایی مانند فنولیک‌ها، ایزوسیانات‌ها و دیگر اجزای ویژه حل شده در حلال‌های آلی مانند تولوئن، پرکلرواتیلن و زایلن هستند. نیاز اساسی پرایمر برای رسیدن به بهترین خیس‌کنندگی سطح فلز است. چسب کاور با استفاده از پلیمرهای هالوژنه با افزودنی‌های ویژه مانند سیلان، پرکننده‌ها(دوده) و حلال‌های آلی فرمول‌بندی می‌شوند. پوشش رویی برای رسیدن به پیوند خوب بین فلز و لاستیک با آمیزه لاستیک واکنش داد [۱۱- ۱۲].

در سال ۲۰۰۲ طی پژوهشی که توسط شلناخ و لانگه [۱۳] با همکاری شرکت هنکل آلمان انجام گرفت چسبندگی آمیزه‌های لاستیک طبیعی و نیتریل بوتادی‌ان لاستیک به آهن با استفاده از چسب‌های مختلف تک‌پوششی و دو پوششی کموزیل ۲۱۱، ۲۲۲ و ٤۱۱ و چسب‌های XW ۷٤۸٤ و XW ۱۱۸۰ و مخلوطی از رزین‌های اکریلیک و اپوکسی، بررسی شد. نتایج نشان داد که نیتریل‌بوتادی‌ان لاستیک نسبت به لاستیک طبیعی و چسب‌های دوپوششی نسبت به تک‌پوششی‌ها چسبندگی بهتری را ایجاد می‌کنند. همچنین مشخص شد که چسب‌های کموزیل استحکام بیشتری نسبت به سایر چسب‌ها دارند. در این پژوهش نوع شکست نیز اعلام شده است و با توجه به اینکه شکست در بیشتر مواقع در داخل لاستیک روی داده است، می‌توان پیوندهای ایجاد شده را کارآمد دانست.

در این پژوهش به بررسی تأثیر افزودنی‌های رزینی و ذرات اروزیل بر استحکام چسبندگی بین آمیزه لاستیکی و فلز و تاثیر هم‌افزایی عوامل افزوده شده پرداخته شده است.

تجربی

مواد اولیه

در این پژوهش از لاستیک خام طبیعی RSS (Ribbed Smoked Sheets) با چگالی ۰/۹۱۳ گرم بر سانتی‌مترمکعب به‌عنوان لاستیک پایه، از دوده نوع N ۳۳۰ با عدد (Iodine (mg/g ۸۲ و جذب DBP (Dibutyl Phthalate) (ml / 100g) ۱۰۲ به‌عنوان پرکننده، از روغن آلیفاتیک ۸٤۰ با چگالی ۰/۸۹±۰/۰۵ و نقطه آنیلین ۱±۸۱ درجه سانتی‌گراد و گرانروی (در ۱۰۰°C) ۳۵ (cSt) به‌عنوان نرم‌کننده، از اکسید روی با چگالی ۵/٦±۰/۱ گرم بر سانتی‌مترمکعب و اندازه مش ۳۲۵ به‌عنوان فعال‌کننده واکنش پخت، از اسید استاریک با چگالی ۰/۹۵±۰/۰۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب و عدد اسیدی ۱۰±۲۰۰ به‌عنوان کمک فعال‌کننده واکنش پخت، از گوگرد با چگالی ۲/۰۷ گرم بر سانتی‌مترمکعب به‌عنوان عامل اتصال عرضی، از CBS (N-Cyclohexyl-2-benzothiazole Sulfenamide) با نقطه ذوب ۹۰ درجه سانتی‌گراد و چگالی ۱/۱±۰/۰۵ به‌عنوان شتابدهنده واکنش پخت، از MBTS (Dibenzothiazole Disulfide) با نقطه ذوب ۵±۱۷۲ و چگالی ۱/۵٤±۰/۰۵ به‌عنوان شتاب‌دهنده ثانویه، از TMQ (2,2,4-Thimethyl-1,2-Dihydropuinoline) با نقطه نرمی ۵±۹۰ درجه سانتی‌گراد، شاخص آلکانیتی ۳۰±۵٤۰ به‌عنوان عامل

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from arcpe.modares.ac.ir at 9:58 IRDT on Monday May 6th 2019

ضداکسنده استفاده شده است. همچنین برای بهبود چسبندگی از پارا-ترشیوبوتیل‌فنول‌فرمالدهید و برای بهبود اتصال عرضی از هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین با گرانروی ۲۶۰۰ mPa/s و pH بلاستیک با ۸/۲ استفاده شده است. همچنین از ذرات اروزیل با سطح ویژه ۲۰۰ متر مربع بر گرم و چگالی ۰/۳ گرم بر سانتی‌مترمکعب برای ایجاد شبکه فیزیکی و بهبود پیوستگی آمیزه استفاده شده است. مقادیر اجزای آمیزه تهیه شده در جدول ۱ آورده شده است.

روش کار

به‌طور کلی دو روند در این پژوهش پیگیری می‌شود. روند اول بر اساس چسبندگی لاستیک به فلز با افزودن رزین در آمیزه لاستیکی و با استفاده از چسب کموزیل ۲۲۲/۲۱۱ است و در روند دوم از اروزیل برای بهبود چسبندگی لاستیک به فلز استفاده شده است و از چسب کموزیل مشابه روند اول استفاده شده است. آستر و چسب کموزیل با ضخامت ۶۰ میکرون بر روی سطح فلز آماده سازی شده قرار داده شد. آمیزه لاستیکی با استفاده از دستگاه میل دو غلتکی با قطر ۱۵ سانتی متری طبق فرمول‌بندی جدول ۱ تهیه شدند. همچنین عوامل بهبود دهنده چسبندگی لاستیک به فلز نیز در میل دو غلتکی به آمیزه لاستیکی اضافه شده و سپس به کمک پرس گرم بر روی فلز پخت شده‌اند. به‌منظور اندازه گیری چسبندگی از آزمون پوست کنی بر اساس استاندارد 14-429ASTM D استفاده شده است. همچنین بر روی نمونه‌های لاستیکی تهیه شده مطابق استاندارد 412ASTM D آزمون کشش انجام شده است.

سطح فلزات مورد استفاده در آزمون چسبندگی، پیش از اعمال آستر و چسب بر روی آن باید تمیزکاری شوند. مراحل انجام کار به‌ترتیب زیر است.

الف) ساییدن سطح فلز با برس فلزی و سنباده

ب) شستشو با آب برای از بین رفتن خرده فلزها

ج) شستشو با مواد شوینده صابونی برای از بین رفتن چربی‌ها

د) شستشو با حلال

نمونه‌های مورد بررسی به‌صورتی که در جدول ۲ نام گذاری شده و توضیح داده شده، تهیه شده‌اند. نام گذاری نمونه ها به این صورت است که نماد Gum نشان دهنده آمیزه لاستیکی حاوی ترکیبات گفته شده در جدول ۱ است. نماد H، Ph و N به ترتیب نشان دهنده افزایش رزین فنول‌فرمالدهید، هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین و ذرات اروزیل به آمیزه لاستیکی گفته شده است و اعداد مقابل نشان‌دهنده مقادیر آنها در ۱۰۰ قسمت وزنی از لاستیک خام است. لازم به ذکر است که دما و زمان واکنش پخت بهینه برای دستیابی به بهترین میزان پیوندهای عرضی لاستیک با توجه به آزمون رئومتری تعیین شده است.

جدول ۱ ترکیب اجزای مواد مورد استفاده در آمیزه‌های مورد بررسی در پژوهش

اجزا	مقدار(phr)	شرکت سازنده
RSS (Natural Rubber)	۱۰۰	CIPA
N۳۳۰	۲۰	ROKEM
ZnO	۵	شرکت مهندسی فرا پلیمر
Stearic Acid	۲	شرکت مهندسی فرا پلیمر
Aliphatic oil۸۴۰	۵	پارسیان کیش
TMQ	۱/۵	ROKEM
Sulfur	۲	
MBTS	۱/۵	ROKEM
CBS	۰/۵	ROKEM

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from arcpe.modares.ac.ir at 9:58 IRDT on Monday May 6th 2019

جدول ۲ اجزا و ترکیب درصد مواد مورد استفاده در پژوهش و کدگذاری نمونه‌ها.

کد نمونه	نوع رزین	مقدار رزین (phr)	مقدار ذره (phr)	نوع ذره
Gum	-------	-------	-------	------
Ph-R۵	فنول‌فرمالدهید	۵	-------	------
Ph-R۱۰	فنول‌فرمالدهید	۱۰	-------	------
Ph-R۱۵	فنول‌فرمالدهید	۱۵	-------	------
Ph۱۵-H۵	هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین + فنول‌فرمالدهید	۱۵ + ۵	-------	------
Ph۱۵-H۱۰	هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین + فنول‌فرمالدهید	۱۵ + ۱۰	-------	------
Ph۱۵-H۱۵	هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین + فنول‌فرمالدهید	۱۵ + ۱۵	-------	------
Ph۱۵-H۵-N۵	هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین + فنول‌فرمالدهید	۱۵ + ۵	۵	Aerosil

آزمون‌ها بر روی نمونه‌ها

آزمون رئومتری

آزمون پخت با استفاده از دستگاه رئومتری مدل ۱۰۰ ساخت شرکت Monsanto انجام شده است. نتایج این آزمون زمان پخت، زمان برشتگی، گشتاور بیشینه، گشتاور کمینه و دمای پخت را مشخص می‌کند. به همین منظوری در این پژوهش از رئومتری استفاده شده است.

آزمون پوست کنی ۹۰ درجه

آزمون پوست‌کنی ۹۰ درجه بر روی ماده مرکب لاستیک-فلز انجام شده است، به‌طوریکه در این آزمون لاستیک را تحت زاویه خاص ۹۰ درجه و با سرعت ۵۰ میلیمتر بر دقیقه از فلز جدا کرده و انرژی لازم برای جدا کردن لاستیک از سطح فلز و نوع شکست ثبت شده است. این آزمون بر اساس استاندارد ASTM D 429-14 انجام شده است.

آزمون کشش بر روی لاستیک پخت شده بدون تماس با فلز

آزمون کشش بر روی نمونه‌های لاستیکی پخت شده انجام گرفت. میزان استحکام درونی لاستیک های پخت شده بررسی شده است. آزمون کشش بر اساس استاندارد ASTM D412 با استفاده از دستگاه مدل SAF500 ساخت شرکت سنتام (ایران) و با سرعت کشش ۵۰۰ میلی متر بر دقیقه انجام گرفته است.

نتایج و بحث

آزمون‌های رئومتری

پخت لاستیک برای هشت آمیزه مختلف در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد انجام شده است، جدول ۳. همان گونه که در نمودارهای پخت مشاهده می‌شود، شکل ۱، حضور رزین فنول‌فرمالدهید، زمان برشتگی را کاهش داده اما افزودن رزین هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین زمان برشتگی را افزایش داده است. زمان پخت و گشتاور بیشینه نیز با افزایش مقدار عامل افزایش‌دهنده چسبندگی به ترتیب افزایش و کاهش یافته است. این در حالیست که حضور اروزیل در کنار ترکیب دو رزین توانسته ضمن پایین نگه‌داشتن زمان پخت، مقدار گشتاور بیشینه را نیز تقریبا حفظ کند که نشان دهنده پخت کامل لاستیک در زمان کمتر است.

همانگونه که از نمودارها مشاهده شده، آمیزه‌های تهیه شده منطقه ترازه (منطقه‌ای که نمودار پخت ثابت می‌شود) وسیعی را نشان داده است که به‌دلیل مقاومت گرمایی بسیار عالی آمیزه‌ها است، و به این معنی است که لاستیک زمان طولانی تری را قبل از تخریب شدن می‌تواند در دمای پخت باقی بماند و در نتیجه امکان پخت کامل درون قطعات ضخیم را نیز فراهم می‌آورد و سبب همگونی بهتر و افزایش یکپارچگی لاستیک می‌شود. از این مزیت میتوان برای ساخت قطعاتی که

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from arcpe.modares.ac.ir at 9:58 IRDT on Monday May 6th 2019

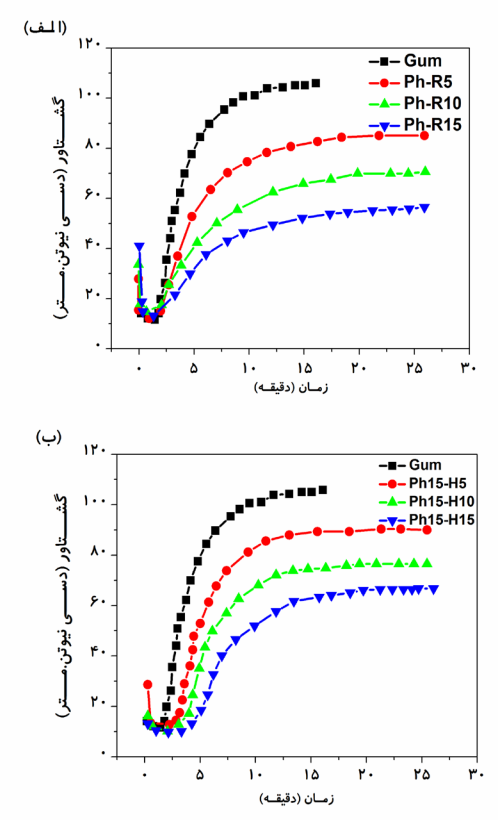
جدول۳ مشخصات پخت آمیزه‌های لاستیکی خام، حاوی رزین‌های فنول‌فرمالدهید و رزین هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین با مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ PHR و ذرات اروزیل با مقدار ۵ PHR.

کد آمیزه	زمان برشتگی M:S	زمان پخت M:S	گشتاور پخت kg.cm	گشتاور بیشینه kg.cm	گشتاور کمینه kg.cm	شاخص نرخ پخت
Gum	۲:۱۵	۸:۲۶	۱۰۵/۳۴	۱۰۹/۸۵	۱۹/۷۵	۱۶/۲۰
Ph-R۵	۱:۴۸	۱۱:۴۳	۸۱/۵۲	۸۵/۱۵	۱۲/۷۳	۱۰/۸۱
Ph-R۱۰	۱:۳۶	۱۴:۱۰	۶۸/۰۸	۷۰/۹۳	۱۳/۹۶	۷/۹۶
Ph-R۱۵	۱:۳۵	۱۴:۲۹	۵۴/۴۸	۵۶/۶۲	۱۳/۹۲	۷/۷۵
Ph۱۵-H۵	۲:۳۰	۹:۲۲	۸۶/۳۰	۹۰/۲۱	۱۲/۰۹	۱۴/۵۵
Ph۱۵-H۱۰	۲:۵۰	۱۰:۴۷	۷۳/۴۱	۷۶/۷۲	۱۰/۶۴	۱۲/۵۷
Ph۱۵-H۱۵	۳:۴۱	۱۲:۵۹	۶۳/۴۶	۶۶/۲۹	۹/۷۰	۱۰/۷۵
Ph۱۵-H۵-N۵	۱:۵۸	۹:۴۳	۱۰۶/۱۱	۱۱۱/۰۵	۱۲/۳۹	۱۲/۹۰

قطر بالایی دارند استفاده کرد.

از طرفی مشاهده شده که افزودن رزین فنول‌فرمالدهید و هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین گشتاور بیشینه و کمینه را کاهش داده است، در مقابل افزودن اروزیل به مقدار ۵phr هر چند مقدار گشتاور بیشینه را افزایش داده ولی گشتاور کمینه و زمان پخت را نیز در مقدار بهینه نگه داشته است. به‌طور کلی رزین فنول‌فرمالدهید و رزین هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین تأثیر متفاوتی بر زمان برشتگی داشته است. افزودن رزین فنول‌فرمالدهید موجب کاهش زمان برشتگی شده در حالی که افزودن رزین هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین موجب افزایش زمان برشتگی شده است. از طرفی مشاهده شده که حضور اروزیل در کنار دو رزین زمان برشتگی را کاهش داده است. همانطور که از نتایج نشان می‌دهد، حضور این دو رزین زمان پخت آمیزه را به شدت افزایش داده‌است. از این‌رو استفاده از اروزیل توانسته تا مقدار قابل قبولی این اثر را خنثی کرده و زمان پخت آمیزه را بهینه کند.

شاخص نرخ پخت مقیاسی از شیب متوسط میزان پخت در ناحیه افزایش گشتاور پخت است که با استفاده از معادله ۱ از نتایج آزمون رئومتری محاسبه می‌شود [۱۴]. شاخص نرخ پخت نشان دهنده سرعت پخت لاستیک است و افزایش مقدار این شاخص به معنای پخت سریع‌تر آمیزه است. مقادیر این شاخص



شکل ۱ تصاویر رئومتری پخت آمیزه‌های لاستیکی (الف) نمونه‌های Ph-R۵، Ph-R۱۰ و Ph-R۱۵، در مقایسه با آمیزه خالص (ب) نمونه‌های Ph۱۵-H۵، Ph۱۵-H۱۰ و Ph۱۵-H۱۵ در مقایسه با آمیزه خالص

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from arcpe.modares.ac.ir at 9:58 IRDT on Monday May 6th 2019

برای آمیزه‌های تهیه شده در جدول ۳ نشان داده شده است.

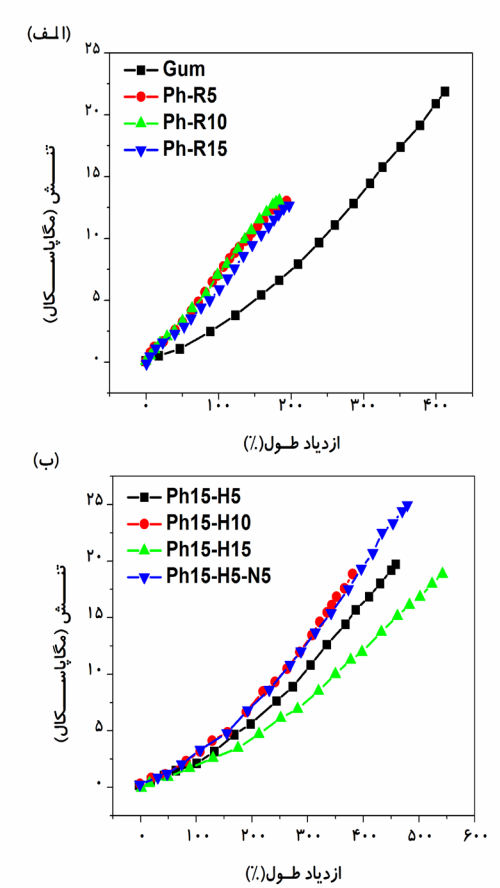
$$CRI=\frac{100}{(t_{90}-t_{S2})} \quad (1)$$

CRI (Cure Rate Index)، t_{S2} و t_{90} به ترتیب نشان‌دهنده شاخص نرخ پخت، زمان برشتگی و زمان پخت آمیزه لاستیکی هستند.

آزمون کشش تک جهته

آزمون کشش تک جهته بر روی هشت نمونه انجام گرفته است که هفت نمونه به بررسی اثر مواد افزاینده چسبندگی در آمیزه مربوط است. در این آزمون تأثیر افزودن رزین فنول‌فرمالدهید، رزین هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین و اروزیل به آمیزه اولیه بررسی و با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج آزمون کشش به‌صورت خلاصه در جدول ٤ نشان داده شده است. همچنین این نتایج به‌صورت منحنی‌های تنش-کرنش در شکل ۲ آمده است.

بنابر نتایج نشان داده شده در شکل ۲ الف، می توان گفت که افزودن رزین فنول‌فرمالدهید در آمیزه لاستیکی موجب کاهش استحکام کششی نمونه و همچنین حضور رزین تا مقدار ۱۰phr موجب کاهش ازدیاد طول در نقطه پارگی شده است. شکل ۲ نشان می دهد که با افزایش



شکل ۲ نمودار تنش-کرنش نمونه‌های (الف) Gum، Ph-R۵، Ph-R۱۰ و Ph-R۱۵. (ب) Ph۱۵-H۵، Ph۱۵-H۱۰، Ph۱۵-H۱۵ و Ph۱۵-H۵-N۵

جدول ٤ نتایج آزمون کشش آمیزه‌های خالص و حاوی رزین‌های پارا ترشیو بوتیل فنول‌فرمالدهید و هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین و ذرات اروزیل

کد نمونه	استحکام کششی MPa	تغییرات استحکام کششی (٪)	مدول کششی GPa	ازدیاد طول (٪)
Gum	۲۲/۳۸	---	۵/۴۶	۴۱۰/۱۲
Ph-R۵	۱۳/۷۱	-۴۳/۲	۷/۱۸	۱۹۱/۷۵
Ph-R۱۰	۱۳/۵۳	-۳۹/۵	۷/۴۲	۱۸۲/۴۳
Ph-R۱۵	۱۲/۵۸	-۴۳/۸	۶/۵۰	۱۹۳/۹۰
Ph۱۵-H۵	۱۹/۶۰	-۱۲/۴	۴/۴۱	۴۴۱/۱۵
Ph۱۵-H۱۰	۱۷/۷۱	-۲۰/۵	۴/۸۶	۳۶۰/۶۷
Ph۱۵-H۱۵	۱۷/۷۸	-۲۰/۵	۳/۳۴	۵۳۲/۱۰
Ph۱۵-H۵-N۵	۲۳/۰۵	+۳	۴/۸۴	۴۷۶/۱۵

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from arcpe.modares.ac.ir at 9:58 IRDT on Monday May 6th 2019

مقدار رزین به مقدار ۱۵phr تا حدودی ازدیاد طول در نقطه پارگی افزایش یافته است. که این پدیده ناشی از کاهش پیوستگی آمیزه در اثر حضور رزین بوده است. از طرفی نتایج نمشان می دهند که روند تغییرات مدول آمیزه پخت شده در اثر حضور رزین فنول‌فرمالدهید برخلاف روند مربوط به ازدیاد طول در نقطه پارگی است. از آنجا که رزین‌های فنول‌فرمالدهید در دمای محیط در حالت شیشه‌ای هستند، حضور رزین می‌تواند دلیلی بر افزایش مدول کششی و کاهش ازدیاد طول نمونه‌ها باشد. همچنین انحراف از این روند در مقادیر ۱۵phrرزین می‌تواند به‌علت توزیع و برهمکنش ضعیف‌تر رزین با زنجیرهای لاستیکی باشد. همانطور که از شکل ۲ب مشاهده شده، در نمونه‌های Ph۱۵-H۵ ، Ph۱۵-H۱۰ و Ph۱۵-H۱۵ با افزودن رزین هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین به‌علت انجام برهمکنش با رزین فنول‌فرمالدهید، بهبود استحکام کششی آمیزه‌ها مشاهده شده است. از آنجایی که رزین هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین خاصیت متیل دهندگی دارد، در حضور رزین فنول‌فرمالدهید که متیل گیرنده است می‌تواند در واکنش ایجاد اتصالات عرضی شرکت کند و موجب بهبود خواص مکانیکی نهایی آمیزه لاستیکی شود. اما همانطور که مشاهده شده افزودن بیشتر مقدار رزین هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین تأثیر معکوس داشته است، به‌طوری که با افزودن مقدار رزین هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین از ۵phr تا ۱۵ کاهش در استحکام کششی آمیزه‌ها مشاهده شده است که به‌دلیل مقدار اضافی رزین هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین است و مقدار متیل‌دهنده بیشتر از حد مورد نیاز برای متیل‌گیرنده موجب تأثیرات منفی بر روی سامانه می‌شود. از طرفی می‌دانیم که حضور ذرات و به‌ویژه ذرات اروزیل با سطح ویژه بالا می‌تواند موجب بهبود استحکام و پیوستگی آمیزه‌های لاستیکی شود. از این رو برای بهبود پیوستگی آمیزه‌های حاوی دو رزین از اروزیل استفاده شده است. حضور ذرات اروزیل توانسته با ایجاد ساختار شبکه سه بعدی فیزیکی پیوسته موجب بهبود پیوستگی سامانه شود و در پی آن استحکام آمیزه را بهبود دهد.

آزمون پوست کنی ۹۰ درجه

در این آزمون، شش نمونه آمیزه حاوی مواد افزایش‌دهنده چسبندگی و تأثیر آن بر استحکام پوست کنی ۹۰ درجه بررسی شده اند. دیگر نمونه‌ها برای بررسی نمونه خالص و تأثیر حضور اروزیل بر استحکام پوست کنی ۹۰ درجه انتخاب شده اند. نتایج این آزمون برای نمونه‌ها در شکل‌های ٤-۳ نشان داده شده اند.

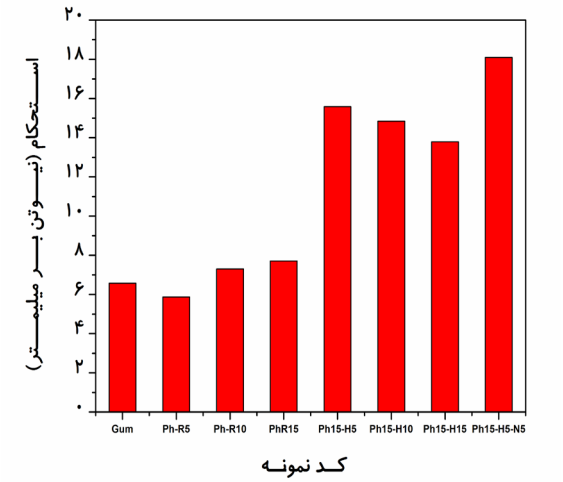
بنابر نتایج آزمون پوست کنی ۹۰ درجه که به‌صورت نمودار میله‌ای در شکل ٤ آمده، افزودن رزین فنول‌فرمالدهید موجب افزایش جزئی در استحکام چسبندگی آمیزه شده است. این نتیجه با نتایج آزمون مربوط به آمیزه‌های حاوی رزین فنول‌فرمالدهید متفاوت است. افزایش چسبندگی می‌تواند به خاصیت چسبناک‌کننده رزین فنول‌فرمالدهید مربوط باشد. درحالی که در نتایج آزمون کشش حضور رزین در آمیزه لاستیکی موجب کاهش استحکام آمیزه شده است. از طرفی مشاهده شده که افزودن رزین هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین در آمیزه لاستیکی تأثیر قابل توجهی بر هر دو استحکام چسبندگی و استحکام کششی داشته است. میتوان مشاهده کرد که برهمکنش دو رزین در آمیزه لاستیکی موجب بهبود چسبندگی لاستیک به لایه چسبی نیز شده است.

با توجه به شکل ۵ (الف) که مربوط به آمیزه خالص و آمیزه حاوی رزین فنول‌فرمالدهید است، با افزودن رزین فنول‌فرمالدهید، شکست از درون لاستیک مشاهده شده است که با نتایج حاصل از آزمون چسبندگی و کشش تک جهته همخوانی داشته و نشان دهنده بهبود چسبندگی و کاهش استحکام آمیزه است. در شکل ۵ (ب) تصاویر پس از آزمون نمونه‌های مربوط به آمیزه‌های حاوی دو نوع رزین فنول‌فرمالدهید و رزین هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین و همچنین آمیزه حاوی اروزیل نشان داده است. این تصاویر نشان دهنده پوشش کامل سطح توسط لاستیک است که دلیلی بر این مساله است که علاوه بر حفظ چسبندگی لاستیک به چسب، لاستیک توانسته استحکام خود را نیز حفظ کند.

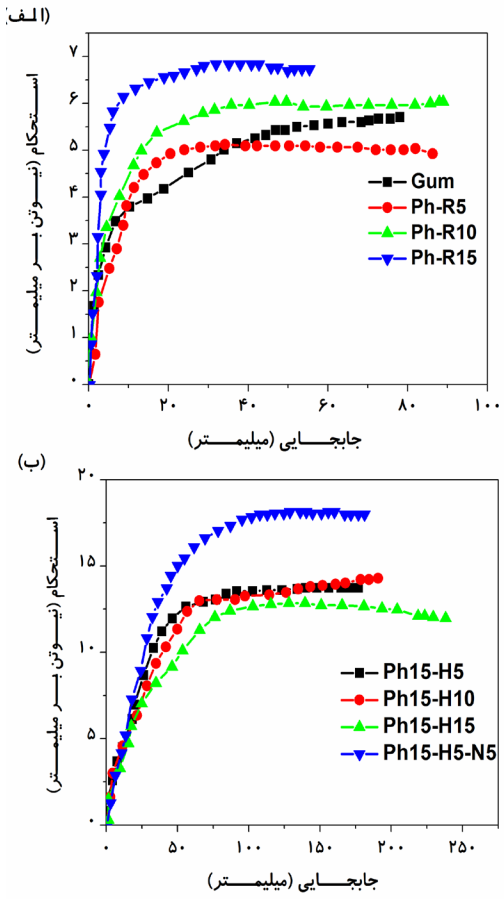
www.SID.ir

Archive of SID

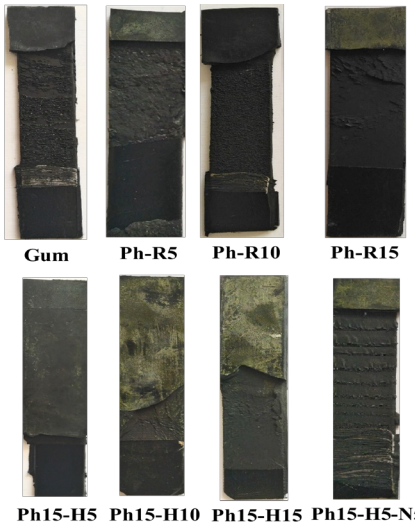
Downloaded from arcpe.modares.ac.ir at 9:58 IRDT on Monday May 6th 2019



شکل ٤ نمودار میله‌ای نتایج آزمون پوست کنی ۹۰ درجه برای هشت نمونه بررسی شده.



شکل۳ نمودار نیرو بر حسب ازدیاد طول آزمون پوست کنی ۹۰ درجه برای نمونه‌های (الف) Gum، Ph-R۵، Ph-R۱۰ و Ph-R۱۵ (ب) Ph ۱۵-H۵، Ph۱۵-۱۰H، Ph۱۵-H ۱۵ و Ph ۱۵-H ۵-N۵.



شکل۵ تصاویر پس از آزمون پوست کنی ۹۰ درجه برای نمونه‌های مختلف

نتیجه گیری

از آنجایی که چسب‌های استفاده شده در این پژوهش چسبندگی مناسبی با سطح فلز ایجاد می‌کند. پژوهش حاضر با هدف افزایش چسبندگی بین آمیزه لاستیکی و چسب انجام شده است. نتایج حاصل از آزمون‌های انجام شده نشان می‌دهد که افزودن رزین فنول‌فرمالدهید به مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ phr، چسبندگی لاستیک را به ترتیب در حدود ۱۰/٦۵-، ۱۱/۱+ و ۱۷/۳۵+ درصد تغییر می‌دهد. اما موجب کاهش پیوستگی و استحکام کششی آمیزه لاستیکی به ترتیب در حدود ٤۳/۲، ۳۹/۵ و ٤۳/۸ درصد می‌شود. از این‌رو از رزین هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین برای ایجاد برهمکنش با رزین فنول‌فرمالدهید و مشارکت در فرایند شبکه‌ای شدن استفاده شده است. بنابر نتایج، مشاهده شده است که در حضور مقدار ۱۵ phr از رزین فنول‌فرمالدهید، افزودن رزین هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین در مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ phr، چسبندگی را به ترتیب به مقدار ۱۳۷، ۱۲۵ و ۱۱۰ درصد افزایش یافت. در حالی که اثرات منفی حضور رزین بر پیوستگی و استحکام کششی آمیزه کمتر شد. میزان کاهش خواص کششی به ترتیب ۱۲-، ۲۰- و ۲۰- درصد بود. حضور دو رزین با وجود تأثیر مثبت بر روی چسبندگی، استحکام کششی مناسبی از خود نشان نداد. برای بهبود پیوستگی آمیزه‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

و استحکام کششی تک جهته از اروزیل به مقدار ۵phr برای آمیزه حاوی ۱۵phr رزین فنول‌فرمالدهید و ۵phr رزین هگزامتوکسی‌متیل‌ملامین استفاده شد از این‌رو مشاهده شد که حدود ۱۷۵/۵ درصد افزایش چسبندگی ایجاد گردید. درحالی که استحکام کششی در حدود ۳ درصد تغییر کرده است. نتایج نشان داد که بهبود چسبندگی لاستیک به فلز در کنار ثابت نگه داشتن تقریبی استحکام کششی آمیزه با استفاده ترکیب رزین های فوق امکان پذیر است.

Downloaded from arcpe.modares.ac.ir at 9:58 IRDT on Monday May 6th 2019

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from arcpe.modares.ac.ir at 9:58 IRDT on Monday May 6th 2019

مراجع

1- Crowther B., The Handbook of Rubber Bonding, Revised Edition, RAPRA Technology Limited, Revised and Reprinted 2003.

2- Hafmann W., Rubber Technology Handbook, LTD, Hanser Publishers, Network 1989.

3- Alan D. R., Rubber Contact Phenomena, Rubber Chemistry and Technology, 87, 383–416, 2014.

4- MH A.S., JA Kh., Hamdi H. H., Factors Affecting the Adhesive Force Between Metallic Substrate and Carbon Black Filled Rubber Composites, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 32, 974–986, 2013.

5- Walter H. W., Larry R. E., Edward G., Linda J. S., Mechanism by Which Precipitated Silica Improves Brass-Coated Wire-To-Natural Rubber Adhesion, Rubber Chemistry and Technology, 69,48-58, 1996.

6- Creasy J. R., Russel D. B., Wagner M. P., Role of Silicas and Silicates in Rubber Adhesion, Rubber Chemistry and Technology, 41, 1300-1311, 1968.

7- Poh, B. T., Loh, W. S., Effect of Silica Filler on Viscosity, Peel Strength, Shear Strength and Tack of Styrene-Butadiene Rubber-Based Adhesive, Pertanika J. Sci. & Technol., 24, 307–317, 2016.

8- Gyung S. J., Boric Acid Ester as an Adhesion Promoter for Rubber Compounds to Brass-plated Steel cord, J. Adhes. Sci. Technol., 17, 797-814, 2003.

9- Gyung S. J., On Characterizing Microscopically the Adhesion Interphase for the Adhesion Between Metal and Rubber Compound Part I. Effect of hexamethoxymethylmelamine in Rubber Compound, J. Adhes. Sci. Technol., 27, 1666–1680, 2013.

10- Takeshi H., Yasuhiro I., Kunio M., Effect of Compound Ingredients on Adhesion between Rubber and Brass-Plated Steel Cord, Rubber Chemistry and Technology, 78, 175-187, 2005.

11- Roman M., Rubber-to-metal Bonding Agents, Rubber World, 3, 26–31, 1996.

12- Sophie N, Camille B., Lionel B., Frederic H., Zineb M., Joseph D., Jean-Jacques P., Adhesion properties and Surface Analyses of Monolayers of N-dodecanethiol Self-assembled on Galvanic Gold, Surf. Interface Anal., 26, 889-895, 1998.

13- Schelnach R., Lange I., Rubber-Metal Composite, Us Pat. 6379752 B1, 2002.

14- Ansarifar M.A., Zhang J., Baker J., Bell A., Ellis R.J., Bonding properties of Rubber to Steel, Aluminium and Nylon66, International Journal of Adhesion & Adhesives, 12, 369-380, 2001.

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from arcpe.modares.ac.ir at 9:58 IRDT on Monday May 6th 2019

www.SID.ir