آمیزه‌سازی آلیاژهای فنولی - نیتریل: ۱- اثر رزین فنولی

Archive of SID

The Compounding of Phenolic Nitrile Blends: I- Effect of Phenolic Resin

محمدحسین بهشتی*، سیدکمال افضلی و قاسم نادری
پژوهشگاه پلیمر ایران، صندوق پستی ۱۱۵/۱۴۹۶۵

دریافت: ۸۰/۳/۲۰، پذیرش: ۸۰/۷/۲۴

چکیده

لاستیک آکریلونیتریل بوتادی‌ان به دلیل داشتن خواص مکانیکی خوب و همچنین مقاومت زیاد در برابر روغنهای غیرقطبی یکی از الاستومرهای پرمصرف در صنعت لاستیک است. این ویژگیها همراه با انعطاف پذیری خوب توجه روز افزونی را به این الاستومر جلب کرده است. آلیاژ این الاستومرها با رزینهای فنولی که یکی از رزینهای ارزان و پایدار گرمایی است، کاربردهای زیاد آن را در چسبها، عایقها و همچنین سپرهای گرمایی و مواد فداشونده موجب شده است.

در این مقاله، نقش رزین فنولی نوع نووالاک و میزان آن بر خواص گرمایی لاستیکهای نیتریل بررسی می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که افزودن رزین فنولی به لاستیک نیتریل سبب جابجایی دمای انتقال شیشه‌ای (T_g) به دماهای بالاتر، افزایش مدول ذخیره و کاهش افت آن در محدوده وسیعی از دما می‌شود. نتایج آزمونهای گرما وزنی بیانگر افزایش پایداری گرمایی قابل توجه این آمیزه‌ها در اثر افزودن رزین فنولی است. نتایج همچنین نشان می‌دهد که ضریب رسانایی گرمایی آمیزه‌های فنولی - نیتریل با افزایش درصد رزین فنولی افزایش می‌یابد، ولی ضریب انبساط گرمایی و ظرفیت گرمایی ویژه آلیاژهای آنها تقریباً مستقل از میزان رزین فنولی است.

واژه‌های کلیدی: لاستیک نیتریل، رزین فنولی، پایداری گرمایی، ضریب انبساط گرمایی
Key Words: NBR, phenolic resin, heat stability, expansion coefficient

مقدمه

الاستومرهای آکریلو نیتریل بوتادی‌ان که به اختصار به آنها لاستیک نیتریل یا NBR اطلاق می‌شود، به دلیل داشتن خواص استحکامی خوب و همچنین مقاومت زیاد در برابر روغنها و سایش و نفوذپذیری در برابر گازها یکی از الاستومرهای پرمصرف در صنعت لاستیک است. مقاومت خوب در برابر روغنهای غیر قطبی و انعطاف پذیری قابل توجه سبب افزایش کاربرد این الاستومر شده است [۱،۲]. این کوپلیمر به دلیل داشتن گروه CN ساختاری بشدت قطبی دارد. آلیاژ این الاستومر با رزینهای فنولی که یکی از رزینهای ارزان و پایدار گرمایی است [۳] کاربردهای قابل توجه آن را در چسبها، عایقها و همچنین سپرهای گرمایی و مواد فدا شونده موجب شده است.

آلیاژ کردن پلیمرها روشی است که برای تولید مواد جدید با خواص ترکیبی از پلیمرهای اولیه بکار می‌رود. آلیاژهای لاستیک نیتریل و رزین فنولی در اوایل دهه ۵۰ در صنعت هوافضا برای اتصال‌ساختاری فلزها بکار گرفته شده و توسعه یافته است. نیتریل -

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: M.Beheshty@proxy.ipi.ac.ir

www.SID.ir

جدول ۱ - مشخصات رزین فنولی نووالاک مصرفی.

ویژگی	مقدار
میزان رزین (٪)	۹۷/۵<
میزان خاکستر (٪)	۰
دامنه ذوب (°C)	۹۰-۱۱۰
زمان °B (تابه)	۱۱۵-۱۲۵
جریان‌پذیری * (mm)	۳۵-۴۵
میزان هگزا (٪)	۸/۵-۹
فنول آزاد (٪)	۱>
دانه‌بندی (μm)	۹۰

* وزن نمونه ۵/۰ گرم بوده است.

فنولیها به عنوان چسب کاربرد زیادی یافته‌اند [۴]. عایقهای موتور راکت از پخت آلیاژ رزین فنولی و لاستیک نیتریل در مجاورت سایر افزودنیها ساخته می‌شود [۵]. آلیاژ فنولی - نیتریل به عنوان عایق گرمایی و به ویژه عایقهای فداشونده مقاوم در برابر خوردگی گازهای احتراق و مقاوم در برابر زغال گذاری برای حفظ جعبه موتور راکت در برابر گازهای داغ احتراق بکار می‌رود. انعطاف‌پذیری لازم برای اینکه عایق بتواند حرکت دیواره‌های محفظه راکتور را که بعد از اشتعال اتفاق می‌افتد دنبال کند، به دلیل جزء لاستیک آلیاژ تامین می‌شود [۶]. از آلیاژهای فنولی - نیتریل در بسیاری از قسمتهای اتومبیل و صنایع هوافضا استفاده می‌شود و همچنین، این آلیاژها در تولید محصولات قالبگیری چقرمه مقاوم در برابر گرما و سایش، واشرها، درزگیرها، کابلها و غیره کاربرد یافته‌اند [۴].

با توجه به اهمیت و کاربرد آمیزه‌های فنولی - نیتریل، در مقاله قبل [۷] تاثیر رزین فنولی و میزان آن بر شرایط فراورش و خواص مکانیکی مورد بحث قرار گرفت. در این مقاله، نقش رزین فنولی نوع نووالاک که میزان آن از صفر تا ۶۵ درصد وزنی متغیر بوده است بر پایداری گرمایی لاستیکهای نیتریل و همچنین ظرفیت گرمایی و ضریب انبساط گرمایی آنها بررسی می‌شود.

تجربی

مواد

رزین فنولی مورد استفاده در این پژوهش، رزین فنولی پودری نوع نووالاک از شرکت رزیتان است. مشخصات این رزین برابر برگه مشخصات آن در جدول ۱ آورده شده است. لاستومر نیتریل مصرفی، الاستومر Europrene 4040 دارای ۴۰ درصد آکریلونیتریل از شرکت ایتالیایی Enichem CO. تهیه شده است. مواد افزودنی مصرفی دیگر از نوع تجاری مورد استفاده در صنعت لاستیک است. برای بررسی نقش رزین فنولی بر خواص آمیزه‌های NBR آمیزه پایه‌ای به شرح جدول ۲ تهیه شد و سپس، رزین فنولی در مقادیر مختلف به آن اضافه گردید.

Archive of SID

دستگاهها و روشها

رفتار پخت و تغییرات گرمای ویژه نمونه‌ها به کمک گرماسنجی پویشی تفاضلی (DSC) و تجزیه گرماوزنی (TGA) با دستگاه STA مدل ۶۲۵ طبق استاندارد ASTM D۳۸۹۵ و تجزیه گرمایی مکانیکی دینامیکی (DMTA) با دستگاه DMTA-PL طبق استاندارد ASTM D۵۰۲۶ بررسی شد. ضریب رسانایی گرمایی طبق استاندارد ASTM D۶۹۶ اندازه‌گیری شد. همچنین، از دستگاه میکروسکوب الکترون پویشی Cambridge - S۳۶۰ جهت بررسی شکل‌شناسی آمیزه‌ها استفاده شد.

عمل نرم کردن لاستیک و مخلوط کردن اجزای آمیزه، روی غلتک انجام شد. برای این منظور از مخلوط کن دو غلتکی ساخت آلمان با نام Polymix مدل ۲۰۰L استفاده شد.

ابتدا، لاستیک NBR روی غلتک به مدت ۲ دقیقه نرم شده، سپس رزین فنولی و روغن به آن اضافه شده و در مرحله بعد افزودنیهای دیگر (ضد اکسنده روی اکسید و استاریک اسید) به آن افزوده و این آمیزه به مدت ۵ دقیقه مخلوط شده تا آمیزه‌ای یکنواخت حاصل شود. سپس، سیستم پخت (گوگرد و شتاب دهنده) به آمیزه اضافه گردید و آمیزه به مدت ۳ دقیقه دیگر روی غلتک مخلوط شده تا آمیزه‌ای به صورت یکنواخت حاصل شود.

پس از آمیزه‌سازی، برای تهیه نمونه‌های مورد نیاز جهت آزمایشهای مختلف، با توجه به نتایج رئومتری آمیزه‌ها به صورت قالبگیری فشاری در دمای ۱۶۰°C به مدت ۳۰ دقیقه در فشار ۱۵۰atm در یک قالب صفحه‌ای به ضخامت ۲mm پخت شدند.

جدول ۲ - میزان اجزای بکار رفته در آمیزه NBR

نوع مواد	میزان (phr)
لاستیک NBR ٪۴۰	۱۰۰
روی اکسید فعال	۵
استاریک اسید	۱
ضد اکسنده	۲
روغن	۱۰
شتاب دهنده	۳
گوگرد	۱/۵
جمع کل	۱۲۲/۵

www.SID.ir

جدول ۳- آمیزه‌های درنظر گرفته شده برای بررسی نقش رزین فولی.

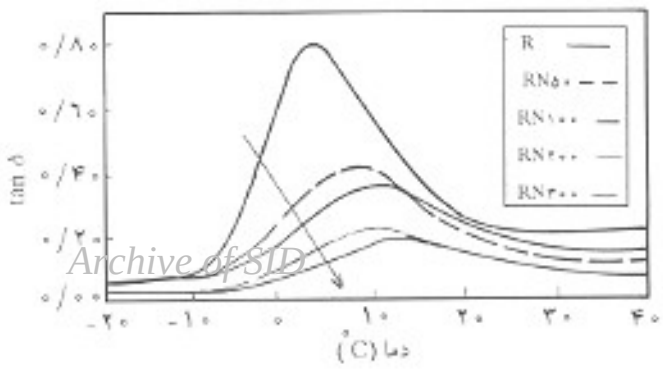
کد آمیزه	میزان لاستیک (phr)	میزان رزین فولی phr	میزان رزین فولی %
R	۱۵۸/۵	۰	۰
RN ۵۰	۱۵۸/۵	۵۰	۲۴
RN ۱۰۰	۱۵۸/۵	۱۰۰	۳۹
RN ۲۰۰	۱۵۸/۵	۲۰۰	۵۶
RN ۳۰۰	۱۵۸/۵	۳۰۰	۶۵

سپس، نمونه‌ها برای آزمون به وسیله فشار از این ورق بریده شده و جهت اطمینان از پخت کامل آنها در دمای ۱۰۰°C به مدت ۷۲ ساعت در یک آون با جرخه هوا پس پخت شدند.

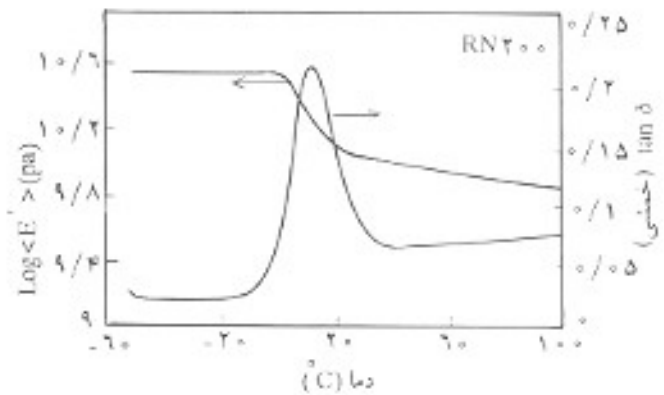
نتایج و بحث

برای بررسی اثر میزان رزین فولی بر خواص آمیزه‌های فولی - نیتریل، پنج آمیزه به شرح جدول ۳ در نظر گرفته شد. در این پنج آمیزه کلیه اجزای بکار رفته در فاز لاستیک ثابت و برابر مقادیر ذکر شده در جدول ۲ است و فقط میزان رزین فولی تغییر کرده است. رزین فولی مصرفی در این آمیزه‌ها، پودری از نوع نووالاک است. همان طور که جدول ۳ نشان می‌دهد، میزان رزین فولی در این آمیزه‌ها از صفر تا ۳۰۰ phr (یا ۰ تا ۶۵ درصد وزنی) تغییر کرده است.

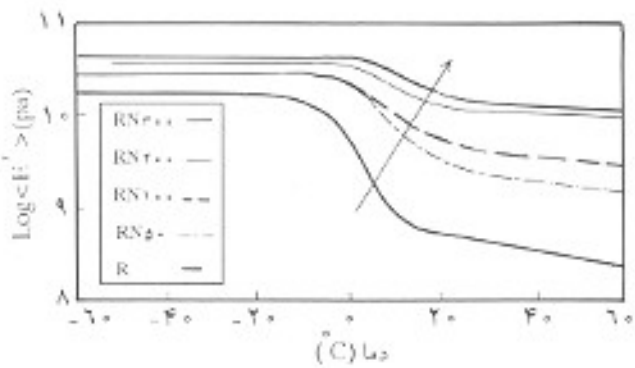
برای بررسی سازگاری و همچنین پایداری گرمایی آمیزه‌های ساخته شده آزمون تجزیه گرمایی مکانیکی دینامیکی (DMTA) روی نمونه‌ها صورت گرفت و میزان میرایی به صورت tan δ و میزان مدول ذخیره به صورت Log E' برحسب دما معین گردید. یک نمونه از منحنیهای DMTA در شکل ۱، تغییرات میزان میرایی در شکل ۲ و تغییرات مدول ذخیره بادما درمقادیر مختلف رزین فولی در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج استخراج شده از این منحنیها در جدول ۴ آورده شده است. همان طور که این جدول و شکلها نشان می‌دهد با افزایش میزان رزین فولی مدول و T_g فاز لاستیکی نمونه‌ها افزایش می‌یابد. هیچ نشانه‌ای مربوط به T_g فاز فولی در منحنیهای DMTA مشاهده نشد. احتمالاً میزان میرایی (tan δ) کاهش می‌یابد (شکل ۲) و سطح زیر منحنیهای tan δ برحسب دما کمتر می‌شود، ضمن اینکه پهنای منحنیهای tan δ (که نشان دهنده محدوده دمایی با فرکانسی اتلاف انرژی است) تغییرات چندانی نمی‌کند. بنابراین، در مجموع با افزایش رزین فولی قابلیت اتلاف انرژی بشدت کاهش می‌یابد که این کاهش در درصدهای پایینتر رزین فولی با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد. انتقال T_g فاز لاستیک به دماهای بالاتر و افت tan δ با افزایش رزین فولی می‌تواند ناشی از سازگار شدن بهتر فازها باشد که این احتمالا به علت مشارکت بیشتر رزین فولی در شبکه‌ای کردن فاز لاستیک است. البته، باید به این



شکل ۲- تغییرات tan δ آمیزه‌های فولی - نیتریل با دما (جهت کمان، جهت افزایش میزان رزین فولی را نشان می‌دهد).



شکل ۱- نمودار DMTA آمیزه‌فولی - نیتریل با ۵۶ درصد رزین فولی (RN200).

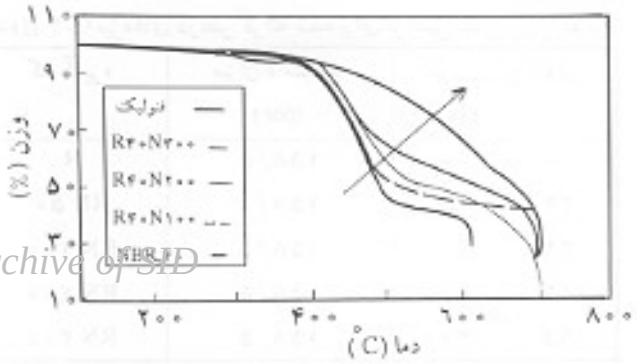


شکل ۳- تغییرات مدول ذخیره آمیزه‌های آلیاژهای فولی - نیتریل با دما (جهت کمان، جهت افزایش میزان رزین فولی را نشان می‌دهد).

Archive of SID
www.SID

جدول ۴- مقادیر حدی $Log\ E'$ و T_g آلیاژهای مختلف فنولی - نیتریل.

کد نمونه	میزان رزین فنولی	$Log<E' >_0$ (Pa)	$Log<E' >_f$ (Pa)	Tg (°C)
R	۰	۱۰/۲۴	۸/۱۳	۴/۴
RN ۵۰	۲۴	۱۰/۴۰	۹/۰۰	۷/۲
RN ۱۰۰	۳۹	۱۰/۴۵	۹/۳۰	۸/۵
RN ۲۰۰	۵۶	۱۰/۵۶	۹/۸۵	۱۰/۸
RN ۳۰۰	۶۵	۱۰/۶۲	۹/۹۵	۱۳/۵



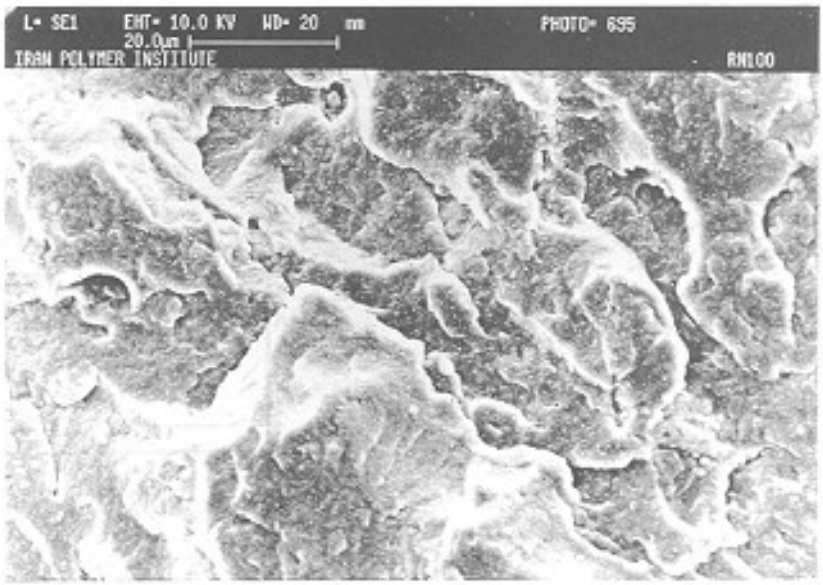
Archive of SID

شکل ۴- منحنیهای TG آمیزه R، رزین فنولی و آمیزه‌های دارای مقادیر مختلف رزین فنولی (جهت کمان، جهت افزایش میزان رزین فنولی را نشان می‌دهد).

نکته نیز توجه داشت که وجود قطعات سخت رزین فنولی می‌تواند حرکت قطعات نرم فاز لاستیک را تا حدی محدود کند، که این مسئله نیز باعث افزایش T_g و کاهش $\tan\delta$ می‌شود.

از آنجاکه الاستومرهای نیتریل با میزان آکریلونیتریل بیشتر T_g بالاتری دارند [۱،۲] می‌توان این‌گونه استنتاج کرد که به جای استفاده از الاستومرهای با میزان بیشتر آکریلونیتریل می‌توان با افزایش رزین فنولی به یک الاستومر با میزان آکریلونیتریل کمتر به T_gهای بالاتر دست یافت. قبلاً [۷] نیز اشاره شد که افزودن رزین فنولی سبب افزایش مدول الاستیک و همچنین بهبود و آسانتر شدن شرایط فراورش نیز می‌شود که این امر در صورت استفاده از الاستومرهای نیتریل با میزان آکریلونیتریل بیشتر میسر نیست.

نکته قابل توجه آن است که افزایش رزین فنولی سبب می‌شود (شکل ۳) که میزان کاهش مدول ذخیره در محدوده وسیعی از دما ناچیز باشد که این بیانگر افزایش پایداری گرمایی این آمیزه‌هاست. تاثیر رزین فنولی بر پایداری گرمایی به کمک آزمون گرما وزنی (TG) نیز مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ای از نتایج این بررسی در شکل ۴ نشان داده شده است. در این شکل گرمانگاشتهای لاستیک خالص (آمیزه R) و رزین فنولی و همچنین آمیزه‌های فنولی - نیتریل مورد آزمایش، ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، افزایش رزین فنولی به لاستیک نیتریل، پایداری گرمایی آن را به میزان قابل توجهی بویژه در دماهای بالا افزایش می‌دهد. شروع تخریب گرمایی آمیزه دارای رزین فنولی از دمای ۴۱۱°C شروع می‌شود که ۲۰°C بیشتر از آمیزه لاستیک خالص است. نکته قابل توجه دیگر کاهش سرعت تخریب آمیزه‌های دارای رزین فنولی در دماهای بالاست و با افزایش میزان رزین فنولی سرعت تخریب این آمیزه‌ها نیز کاهش می‌یابد که این ویژگی در



شکل ۵- تصویر میکروسکوپ الکترون پویشی سطح شکست آمیزه فنولی - نیتریل دارای ۳۹ درصد رزین فنولی.

www.SID.ir

جدول ۳- آمیزه‌های درنظر گرفته شده برای بررسی نقش رزین فنولی.

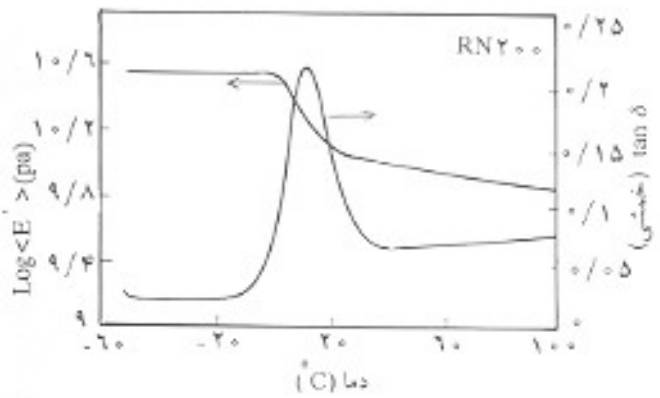
کد آمیزه	میزان لاستیک (phr)	میزان رزین فنولی phr	میزان رزین فنولی ٪
R	۱۵۸/۵	۰	۰
RN ۵۰	۱۵۸/۵	۵۰	۲۴
RN ۱۰۰	۱۵۸/۵	۱۰۰	۳۹
RN ۲۰۰	۱۵۸/۵	۲۰۰	۵۶
RN ۳۰۰	۱۵۸/۵	۳۰۰	۶۵

سپس، نمونه‌ها برای آزمون به وسیله فشار از این ورق بریده شده و جهت اطمینان از پخت کامل آنها در دمای ۱۰۰°C به مدت ۷۲ ساعت در یک آون با چرخه هوا پس پخت شدند.

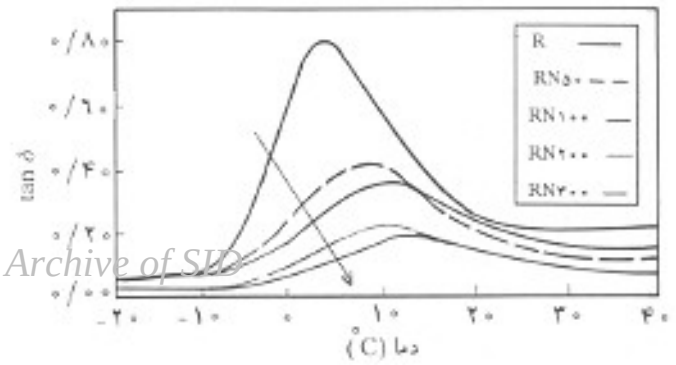
نتایج و بحث

برای بررسی اثر میزان رزین فنولی بر خواص آمیزه‌های فنولی - نیتریل، پنج آمیزه به شرح جدول ۳ در نظر گرفته شد. در این پنج آمیزه کلیه اجزای بکار رفته در فاز لاستیک ثابت و برابر مقادیر ذکر شده در جدول ۲ است و فقط میزان رزین فنولی تغییر کرده است. رزین فنولی مصرفی در این آمیزه‌ها، پودری از نوع نووالاک است. همان طور که جدول ۳ نشان می‌دهد، میزان رزین فنولی در این آمیزه‌ها از صفر تا ۳۰۰ phr (یا ۰ تا ۶۵ درصد وزنی) تغییر کرده است.

برای بررسی سازگاری و همچنین پایداری گرمایی آمیزه‌های ساخته شده آزمون تجزیه گرمایی مکانیکی دینامیکی (DMTA) روی نمونه‌ها صورت گرفت و میزان میرایی به صورت tan δ و میزان مدول ذخیره به صورت 'logE برحسب دما معین گردید. یک نمونه از



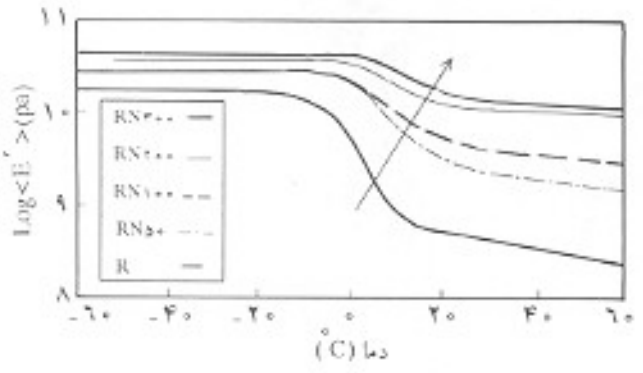
شکل ۱- نمودار DMTA آمیزه‌فنولی - نیتریل با ۵۶ درصد رزین فنولی (RN200).



Archive of SID

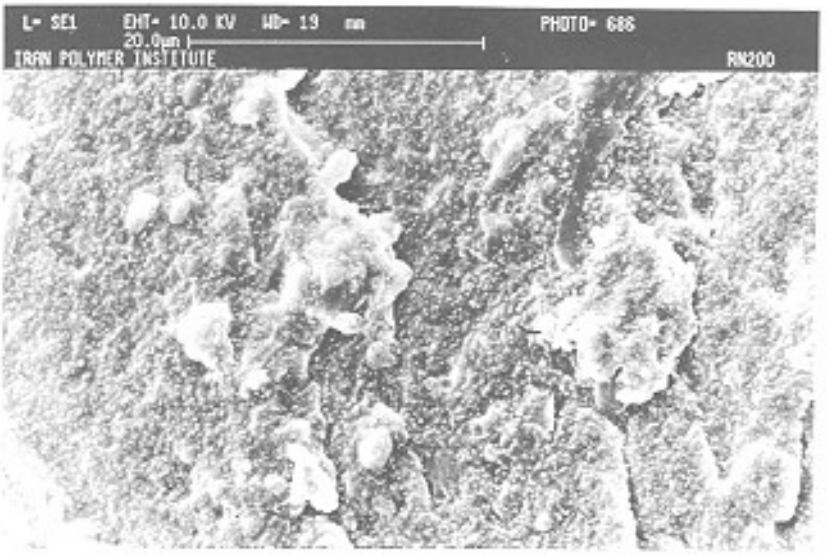
شکل ۲- تغییرات tan δ آمیزه‌های فنولی - نیتریل با دما (جهت کمان، جهت افزایش میزان رزین فنولی را نشان می‌دهد).

منحنیهای DMTA در شکل ۱، تغییرات میزان میرایی در شکل ۲ و تغییرات مدول ذخیره بادما در مقادیر مختلف رزین فنولی در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج استخراج شده از این منحنیها در جدول ۴ آورده شده است. همان طور که این جدول و شکلها نشان می‌دهد با افزایش میزان رزین فنولی مدول و T_g فاز لاستیکی نمونه‌ها افزایش می‌یابد. هیچ نشانه‌ای مربوط به T_g فاز فنولی در منحنیهای DMTA مشاهده نشد. احتمالاً میزان میرایی (tan δ) کاهش می‌یابد (شکل ۲) و سطح زیر منحنیهای tan δ برحسب دما کمتر می‌شود، ضمن اینکه پهنای منحنیهای tan δ (که نشان دهنده محدوده دمایی یا فرکانسی اتلاف انرژی است) تغییرات چندانی نمی‌کند. بنابراین، در مجموع با افزایش رزین فنولی قابلیت اتلاف انرژی بشدت کاهش می‌یابد که این کاهش در درصدهای پایینتر رزین فنولی با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد. انتقال T_g فاز لاستیک به دماهای بالاتر و افت tan δ با افزایش رزین فنولی می‌تواند ناشی از سازگار شدن بهتر فازها باشد که این احتمالا به علت مشارکت بیشتر رزین فنولی در شبکه‌ای کردن فاز لاستیک است. البته، باید به این



شکل ۳- تغییرات مدول ذخیره آمیزه‌های آلیاژهای فنولی - نیتریل با دما (جهت کمان، جهت افزایش میزان رزین فنولی را نشان می‌دهد).

www.SID.ir



Archive of SID

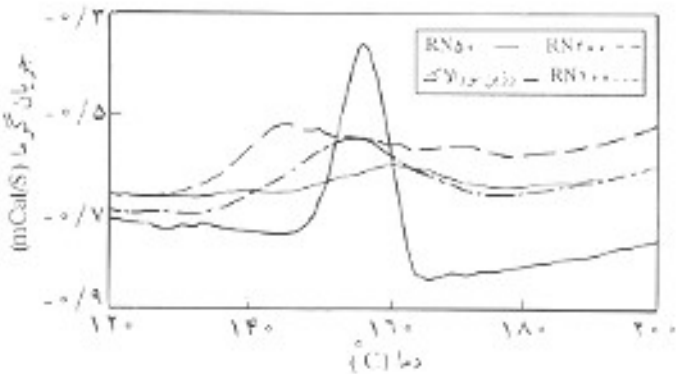
شکل ۶- تصویر میکروسکوپ الکترون پویشی سطح شکست آمیزه فنولی - نیتریل دارای ۵۶ درصد رزین فنولی.

کاربردهای فداشونده بسیار اهمیت دارد.

شکل‌شناسی این آمیزه‌ها نیز به کمک میکروسکوپ الکترون پویشی بررسی شده است که نمونه‌ای از نتایج آن برای آمیزه دارای ۳۹ درصد رزین فنولی و آمیزه دارای ۵۶ درصد رزین فنولی به ترتیب در شکلهای ۵ و ۶ آورده شده است. این بررسیها بیانگر سیستم با سازگاری خوب و درهم پیوسته و به صورت شبکه‌ای در هم نفوذ کننده (IPN)است. همچنین، افزایش رزین فنولی سبب بهبود بیشتر سازگاری این آمیزه‌ها شده است.

اثر رزین فنولی بر شرایط پخت لاستیک نیتریل به کمک دستگاه DSC بررسی شده است. نتایج حاصل از این بررسی در شکل ۷ و جدول ۵ نشان داده شده است. همان طور که گرمانگاشتهای DSCنشان می‌دهد، رزین فنولی نووالاک یک پیک باریک پخت در محدوده دمایی ۱۷۰°C - ۱۴۰ نشان می‌دهد. افزودن لاستیک نیتریل به رزین فنولی سبب شده است که پخت از دماهای پایینتر شروع شود و تا دماهای بالاتر ادامه یابد. به عبارت دیگر، لاستیک نیتریل سبب پهن شدن پیک پخت آمیزه‌ها شده، یعنی اثر ضد کاتالیزوری داشته است. به بیان دیگر، اجزای آمیزه آثار متقابلی برهم داشته‌اند. این مسئله بیانگر آن است که لاستیک یا دیگر اجزای آمیزه سبب شده‌اند که پخت با سرعت کمتری صورت پذیرد. گرچه ممکن است سطح زیر پیک منحنی پخت تغییر چندانی نکرده باشد، اما پهن شدن آن بیانگر آزاد شدن تدریجی گرمای ناشی از پخت است. این ویژگی سبب طولانی‌تر شدن زمان پخت شده است. لازم به یادآوری است که در این بررسی وزن اولیه کلیه نمونه‌ها تقریباً ثابت و حدود ۱۲/۲mg و سرعت گرمادهی ۱۰°C/min بوده است.

ضرایب رسانایی گرمایی (K) و انبساط گرمایی خطی (α_l) و ظرفیت گرمایی ویژه (Cp) از مهمترین ویژگیهای گرمایی این گونه مواد



شکل ۷- گرمانگاشتهای DSC آمیزه‌های مختلف فنولی - نیتریل (وزن اولیه نمونه ۱۲/۲mg و سرعت گرمادهی ۱۰°C/min بوده است).

جدول ۵- نتایج آزمونهای DSC آمیزه‌های فنولی - نیتریل.

کد آمیزه	درصد رزین فنولی	دمای پیک ذوب T_m(°C)	دمای پیک پخت T_c(°C)	گرمای پخت ΔH_c(Cal/g)
R	۰	-	۱۷۰	۰/۱۴۲
RN ۵۰	۲۴	۶۷/۲	۱۶۲	۰/۴۱۹
RN ۱۰۰	۳۹	۶۵/۳	۱۵۶	۱/۲۶
RN ۲۰۰	۵۶	۶۵/۱	۱۴۵	۱/۱۶
Rn ۳۰۰	۶۵	۶۵/۹	۱۵۳	۱/۰۷
Phenolic	۱۰۰	۶۹/۶	۱۵۷	۵/۵۶

www.SID.ir

آزمونهای دینامیکی مکانیکی نشان می‌دهد که افزودن رزین فنولی به لاستیک نیتریل سبب جابجایی دمای انتقال شیشه‌ای (T_g) به دماهای بالاتر، افزایش مدول ذخیره و کاهش افت آن در محدوده وسیعی از دما شده است. نتایج آزمونهای گرما وزنی بیانگر افزایش پایداری گرمایی قابل توجه این آمیزه‌ها و کاهش سرعت تخریب آنها، بویژه در دمای بالا، در اثر افزودن رزین فنولی است. ضریب رسانایی گرمایی آمیزه‌های فنولی - نیتریل با افزایش درصد رزین فنولی بطور خطی افزایش می‌یابد. گرچه ضریب انبساط گرمایی خطی رزین فنولی‌مستقل از دما و بمراتب از الاستومر پخت شده نیتریل کمتر است (حدود ۲۷ درصد) اما ضریب انبساط گرمایی خطی و همچنین ظرفیت گرمایی ویژه آلیاژهای آنها تقریباً مستقل از میزان رزین فنولی است.

مراجع

1. M. Motrion, *Rubber Technology*, 2end Ed., Krieger Pub, Florida, 1981.

2. R. Purdon James, "Nitrile Elastomer", *in The Vanderbilt Rubber handbook*, 13th ed., Ed., R. F. Ohm, Vanderbilt Inc., 1990.

3. A. Knop, L. A. Pilato, *Phenolic Resins: Chemistry, Application and Performance*, Speringer Verlag, Berlin, 1985.

4. P. Sasidharan and R.Ramas Wamy, "Reactive Compatibilization of Nitrile Rubber/Phenolic Resin Blend", *J. Appl. Polym. Sci*, **69**, 1187-1201, 1989.

5. A.R. Cooper, "Agnig Mechanism of Phenolic Resin - Nitril Butadiene Composites", *Polym. Eng. Sci.*, **31**, 10, 727-729, 1991.

6. Danowski, Filled Composition Contaaning Phenol - aldehyde Resin and Butadiene - Acrylonitrile Polymer, U. S. Patent, No. 4 183 841, 1980.

۷ - بهشتی محمدحسین، افضلی سیدکمال و نادری قاسم، بررسی و نقش رزین فنولی بر خواص آمیزه‌های لاستیک نیتریل، مجموعه مقالات چهارمین همایش ملی لاستیک، یزد، ۱۳۷۹.

www.SIL