آمیزه‌سازی آلیاژهای فنولی - نیتریل: ۲- بررسی اثر نوع الاستومر نیتریل

The Compounding of Phenolic Nitrile Blends: II- Effect of Nitrile Elastomer Type

محمدحسین بهشتی*، سیدکمال افضلی، قاسم نادری
پژوهشگاه پلیمر ایران، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵
دریافت: ۷۹/۳/۲۳، پذیرش: ۸۰/۸/۲۹

چکیده
رزینهای فنولی به دلیل پایداری گرمایی زیاد، فرایند تولید آسان، ارزان بودن و خواص مفید دیگر، کاربردهای زیادی در صنایع مختلف یافته‌اند. ضعفهایی مانند شکنندگی، آمیزه‌سازی آنها را قبل از قالبگیری الزامی می‌کند. یکی از روشهای اصلاح رزینهای فنولی آلیاژ کردن آنها با لاستیک نیتریل (NBR) است، اما انتخاب نوع آن بسیار اهمیت دارد. در این مقاله اثر افزایش درصد اکریلونیتریل (ACN) از ۳۳ تا ۵۰ درصد در لاستیک نیتریل بر خواص این آمیزه‌ها بررسی می‌شود. نتایج آزمونهای تجزیه گرمایی مکانیکی دینامیکی (DMTA) و گرماوزنی (TG) نشان می‌دهد که در درصدهای بالای ACN خواص گرمایی و مکانیکی به مقدار قابل توجهی بهبود می‌یابد. هر چند در درصدهای پایین ACN نیز به علت ایجاد یک سازگاری واکنشی، خواص مکانیکی و گرمایی نیز تا حدودی بهتر می‌شود. همچنین، با افزایش درصد ACN ضریب رسانایی گرمایی آمیزه‌ها افزایش می‌یابد، ولی ضریب انبساط گرمایی آنها کاهش پیدا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: رزین فنولی، لاستیک نیتریل، آکریلونیتریل، پایداری گرمایی، آمیزه‌سازی
Key Words: phenolic resin, Nitrile rubber, acrylonitrile, thermal stability, compounding

مقدمه

محصولات تهیه شده از رزینهای فنولی مقاومت گرمایی، مقاومت در برابر شعله، قابلیت چسبندگی به فلزات و پایداری ابعادی بسیار خوب و هدزایی خیلی کمی دارند. این خواص ویژه مربوط به ساختار کاملاً شبکه‌ای شده آنهاست [۱] از معایب ترکیبات فنولی تردی و شکنندگی زیاد و جمع‌شدگی قابل توجه پس از پخت است [۲].

از ویژگیهای عمومی لاستیک نیتریل (NBR) مقاومت خوب در برابر روغنها، سوختها، گریسها و حلالهای غیرقطبی، فراورش خوب، تنوع سیستمهای پخت، مقاومت زمانمندی بالا و مقاومت عالی در برابر گازهای داغ، مانایی فشاری کم، مقاومت سایشی زیاد، نفوذپذیری کم در برابر گازهای متداول، انعطاف‌پذیری، مقاومت در برابر ازون متوسط، چسبندگی متوسط و ضعیف و سازگاری با پلاستیکهای گرمانرم قطبی است [۳].

یکی از روشهای کاربردی برای بهبود چقرمگی و افزایش استحکام ضربه‌ای ترکیبات فنولی، آلیاژ کردن آنها با الاستومرهای نیتریل است. جزء لاستیک آلیاژ با سیستمهای جذب، پخش و آزادسازی تنش خواص کشسانی و چقرمگی آلیاژ را تامین می‌کند [۴].

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

جدول ۱ - مشخصات آمیزه‌های تهیه شده برای بررسی اثر نوع لاستیک نیتریل.

	مشخصات	کد آمیزه	درصد ACN در لاستیک
گروه ۱	آمیزه‌های با ۳۹ درصد وزنی (۱۰۰ phr) رزین فنولی	R۳۳N۱۰۰	۳۳
		R۴۰N۱۰۰	۴۰
		R۴۵N۱۰۰	۴۵
		R۵۰N۱۰۰	۵۰
گروه ۲	آمیزه‌های با ۵۶ درصد وزنی (۲۰۰ phr) رزین فنولی	R۳۳N۲۰۰	۳۳
		R۴۰N۲۰۰	۴۰
		R۴۵N۲۰۰	۴۵
		R۵۰N۲۰۰	۵۰

آمیزه‌های فنولی - نیتریل همراه با افزودنیهای دیگر برای خواص مفید یاد شده، به عنوان عایقهای گرمایی مورد استفاده قرارمی‌گیرند [۵]. از این آلیاژها در صنایع هوافضا به عنوان عایق فدا شونده، مقاوم در برابر خورندگی گازهای احتراق و برای حفظ جعبه موتور راکت از گازهای داغ احتراق استفاده می‌شود. انعطاف‌پذیری لازم برای اینکه عایق بتواند حرکت دیواره‌های محفظه راکه بعد از احتراق اتفاق می‌افتد دنبال کند به وسیله جزء لاستیک آلیاژ تامین می‌شود [۶]. از آلیاژهای فنولی - نیتریل در قسمتهایی از اتومبیل مانند شناور بنزین، تولید محصولات فائق‌گیری چقرمه و مقاوم در برابر گرما و سایش، واشرها، درزگیرها، کابلها و غیره نیز استفاده می‌شود [۴]. الاستومر نیتریل از دو واحد ساختاری متفاوت آکریلونیتریل و بوتادی‌ان ساخته شده است. از شناسه‌های مهم آن، میزان آکریلونیتریل (ACN)در ساختار این کوپلیمر است. با افزایش مقدار ACN، ساختار کوپلیمر قطبی‌تر شده و انعطاف‌پذیری و مقاومت در دماهای پایین، جهندگی، سازگاری با نرم‌کننده‌ها و نفوذپذیری در برابر گازها کاهش می‌یابد، ولی مقاومت در برابر روغنها، حلالهای غیرقطبی و آروماتیک، مایایی فشاری، استحکام کششی، سختی، مدول، دمای شکنندگی، دمای انتقال شیشه‌ای (T_g)، چگالی، سرعت پخت، سازگاری با پلیمرهای قطبی، مقاومت سایشی و اتلاف گرمایی افزایش پیدا می‌کند. بعضی از خواص مانند انعطاف‌پذیری بشدت وابسته به درصد ACN است، ولی برخی دیگر مانند مقاومت سایشی از مقدار ACN چندان پیروی نمی‌کند [۷].

خواص رزینهای فنولی و لاستیک نیتریل بخوبی شناخته شده است، ولی علی‌رغم کاربردهای زیاد آلیاژهای فنولی - نیتریل اطلاعات مناسبی در زمینه خواص و تاثیر متغیرها و قوانین حاکم بر آنها هنوز بخوبی حاصل نشده و در دسترس نیست. در مقاله قبلی [۸] درباره تاثیر میزان رزین فنولی بر خواص این آلیاژها بحث شد، در این مقاله اثر نوع الاستومر نیتریل بر خواص مکانیکی - دینامیکی و گرمایی آلیاژهای فنولی - نیتریل بررسی می‌شود.

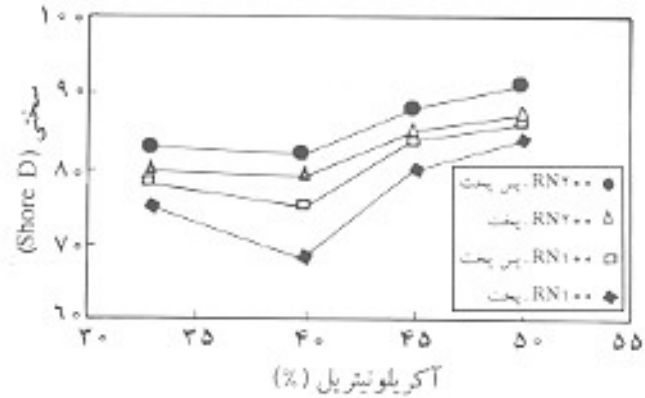
تجربی

مواد

رزین فنولی مورد استفاده در این پژوهش، رزین فنولی نوع نووالاک از شرکت رزپتان و به شکل پودر است. از الاستومرهای نیتریل مصرفی با نام تجاری Europrene با مقادیر ACN متفاوت ۳۳، ۴۰، ۴۵، ۵۰ درصد و گرانروی مونی در $100^{\circ}C$ به ترتیب برابر ۴۸، ۵۲، ۶۵ و ۸۴ استفاده شده است. مواد مصرفی دیگر مانند سیستم پخت لاستیک از مواد تجاری مورد مصرف در صنعت لاستیک بوده است.

دستگاهها و روشها

سختی آمیزه‌ها با سختی سنج Zwick - ۳۱۰۰ طبق استاندارد ASTM D۲۲۴۰، آزمون کشش با دستگاه Instron-۶۰۲۵ طبق استاندارد ASTM D۶۳۸ با سرعت کشش ۵۰mm/min، تجزیه گرماوزنی (TGA) با دستگاه STA ۶۲۵ طبق استاندارد ASTM D۳۸۹۵، تجزیه گرمایی مکانیکی دینامیکی (DMTA) با دستگاه DMTA-PL طبق استاندارد ASTM D۵۰۲۶، ضریب رسانایی گرمایی طبق استاندارد ASTM C۱۷۷ و ضریب انبساط گرمایی خطی با دستگاه TMA-PL-۵۰۰ طبق استاندارد ASTM D۶۹۶ اندازه‌گیری شد. همچنین، از دستگاه میکروسکوپ الکترون پویشی Cambridge-S۳۶۰ برای بررسی شکل‌شناسی آمیزه‌ها استفاده شد. لازم به یادآوری است که نتایج یاد شده، متوسط حداقل پنج بار اندازه‌گیری است.



شکل ۱- سختی دو گروه آمیزهٔ فنولی - نیتریل برحسب میزان آکریلونیتریل بعد از پخت و پس پخت.

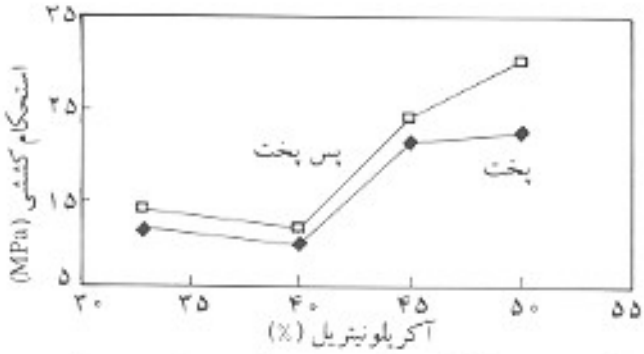
برای بررسی اثر نوع الاستومر نیتریل بر خواص آلیاژهای فنولی - نیتریل، دو گروه آمیزه: گروه اول با ۳۹ درصد (۱۰۰phr) رزین فنولی و گروه دوم با ۵۶ درصد (۲۰۰phr) تهیه شد که در هر گروه میزان آکریلو نیتریل از ۳۳ تا ۵۰ درصد متغییر بوده است. مشخصات آمیزه‌های تهیه شده در جدول ۱ آورده شده است.

نرم و مخلوط کردن اجزای آمیزه روی غلتک انجام شد. برای این منظور از مخلوط کن دو غلتکی آزمایشگاهی با نام Polymix ۲۰۰L استفاده شد. ابتدا، لاستیک نیتریل به مدت ۱ تا ۳ دقیقه نرم شد، بعد رزین فنولی و روغن و سایر افزودنیها به مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه و در پایان سیستم پخت لاستیک افزوده شد.

آمیزه‌های تهیه شده با توجه به بررسیهای رئومتری در دمای ۱۶۰°C به مدت ۵۰ دقیقه در یک قالب صفحه‌ای به ضخامت ۲mm در یک پرس آزمایشگاهی پخت شد و سپس خواص آنها معین گردید. خواص بعضی از نمونه‌ها نیز، بعد از پس پخت که در دمای ۱۰۰°C به مدت ۷۲ ساعت در یک آون با چرخه هوا انجام گرفت، اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

رزین فنولی از رزینهایی است که پایداری گرمایی خوبی دارد، ولی بسیار شکننده است. شکنندگی آن به حدی است که این رزین به تنهایی کمتر کاربرد دارد و باید آمیزه‌سازی شود. از طرفی، الاستومر نیتریل یکی از الاستومرهای پرمصرف است و به علت ساختار قطبی با رزین فنولی سازگاری نسبی دارد با آمیزه‌سازی رزین فنولی و لاستیک نیتریل می‌توان آلیاژهایی ساخت که در بعضی کاربردها از خواص مطلوبتری برخوردار باشد. برای بررسی تاثیر نوع الاستومر نیتریل (از نظر میزان ACN در لاستیک NBR) بر خواص این آمیزه‌ها دو گروه آمیزه طبق

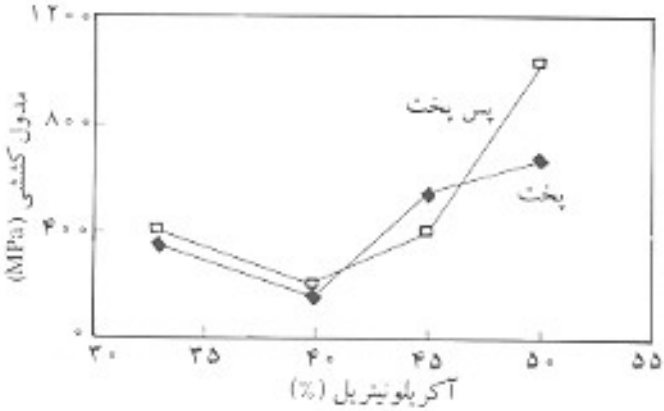


شکل ۲- استحکام کششی آمیزه‌های فنولی - نیتریل دارای ۳۹ درصد رزین فنولی برحسب میزان آکریلونیتریل بعد از پخت و پس پخت.

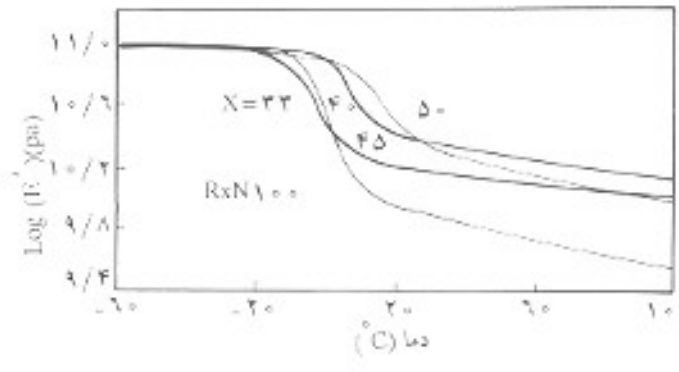
جدول ۱ تهیه شد. در هر گروه از این آمیزه‌ها تنها نوع لاستیک تغییر کرده و سایر شرایط و افزودنیها ثابت بوده است.

شکل ۱ سختی آمیزه‌ها را بعد از پخت و پس پخت در مقادیر مختلف ACN نشان می‌دهد. از این شکل پیداست که با افزایش درصد ACN در لاستیک از ۳۳ به ۵۰ درصد سختی ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. مشاهده می‌شود که بعد از پس پخت نمونه‌ها به مقدار زیادی سخت‌تر شده‌اند. این نشان دهنده افزایش چگالی پیوندهای عرضی رزین فنولی است. زیرا نتایج آزمون رئومتری نشان می‌دهد که در این شرایط پخت لاستیک کامل می‌شود. همچنین با افزایش میزان رزین فنولی از ۳۹ به ۵۶ درصد، سختی آمیزه‌ها به مقدار زیادی افزایش یافته است. این روند برای آمیزه‌هایی که در شرایط پس‌پخت قرار گرفته‌اند نیز وجود دارد.

نتایج آزمون کشش که در شکلهای ۲ و ۳ آورده شده است نشان می‌دهد که با افزایش درصد ACN در لاستیک از ۳۳ به ۵۰ درصد، استحکام و مدول ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. میزان



شکل ۳- تغییرات مدول کششی آمیزه‌های فنولی - نیتریل دارای ۳۹ درصد برحسب میزان آکریلونیتریل بعد از پخت و پس‌پخت.

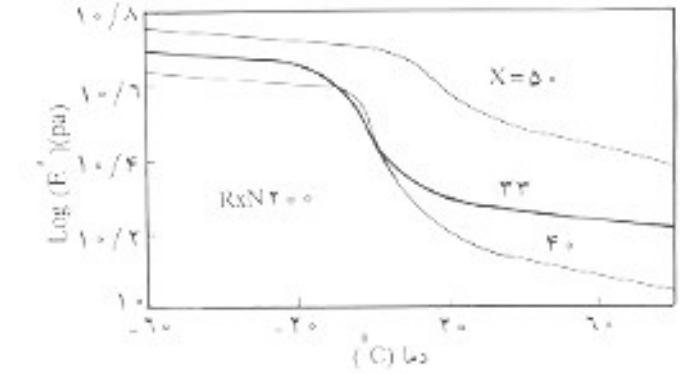


شکل ۴- تغییرات مدول ذخیره برحسب دما برای آمیزه‌های شامل ۳۹ درصد وزنی فنولی با مقادیر متفاوت آکریلونیتریل.

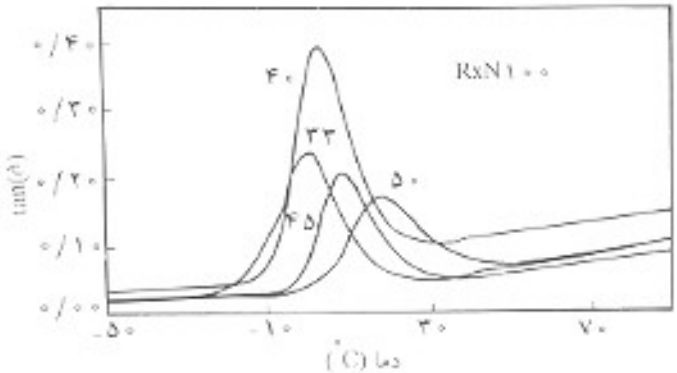
ازدیاد طول تا پارگی نیز از همین روند برخوردار است. همین تغییرات برای آمیزه‌هایی که در شرایط پس پخت قرار گرفته‌اند نیز وجود دارد. با توجه به شکلهای ۲ و ۳ ملاحظه می‌شود که خواص نمونه‌ها بشدت به شرایط پخت (دما و زمان) وابسته است. بنابراین، وقتی نمونه‌های پخت شده در دمایی کمتر برای مدت زمان طولانی‌تر در شرایط پس‌پخت قرار می‌گیرند، فرایند پخت ادامه یافته و خواص مکانیکی بهبود می‌یابد.

در اثر فرایند پس‌پخت استحکام کششی و مدول نمونه‌ها افزایش می‌یابد. میزان این افزایش برای آمیزه‌های با ۳۳ و ۵۰ درصد آکریلونیتریل در لاستیک (R۳۳N۱۰۰ و R۵۰N۱۰۰) بیشتر است، در حالی که مدول و استحکام کششی برای آمیزه‌های R۴۰N۱۰۰ و R۴۵N۱۰۰ در اثر پخت تکمیلی افزایش کمتری داشته و حتی مدول آمیزه R۴۵N۱۰۰ کاهش نیز داشته است. بنظر می‌رسد دو فاز فنولی و لاستیک در مقادیر ACN کم (۳۳ درصد) و زیاد (۵۰ درصد) سازگاری بیشتری با هم داشته باشند.

تاثیر نوع لاستیک نیتریل بر سازگاری این آمیزه‌ها به کمک

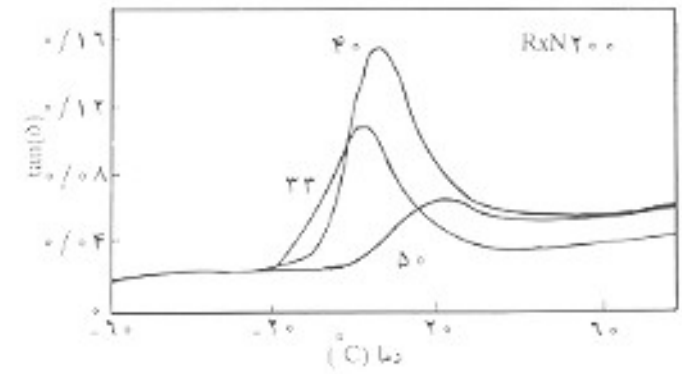


شکل ۵- تغییرات مدول ذخیره برحسب دما برای آمیزه‌های شامل ۵۶ درصد وزنی فنولی با مقادیر متفاوت آکریلونیتریل.

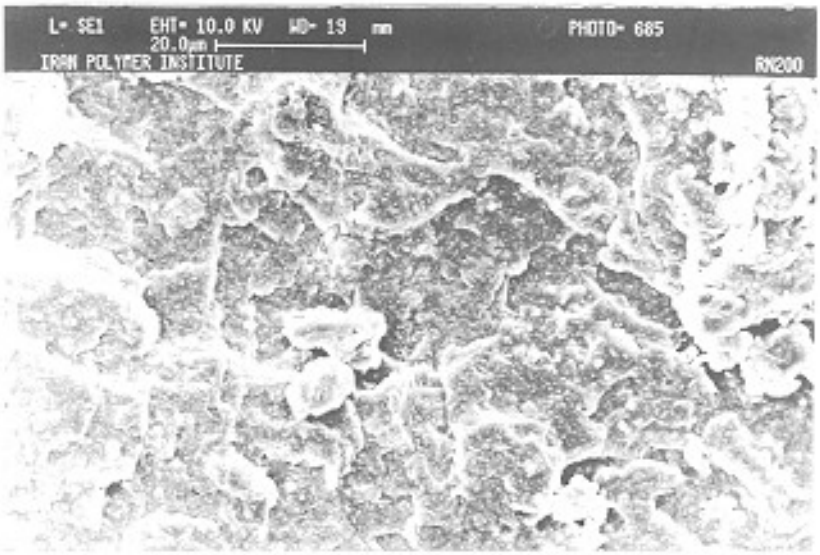


شکل ۶- تغییرات میرایی (tanδ) برحسب دما برای آمیزه‌های دارای ۳۹ درصد وزنی فنولی با مقادیر متفاوت آکریلونیتریل.

DMTA بررسی شد. تغییرات مدول ذخیره در شکلهای ۴ و ۵ و میرایی به صورت tanδ در شکلهای ۶ و ۷ برحسب دما نشان داده شده است. در این آزمون پیک مربوط به T_g فاز فنولی مشاهده نشد که احتمالاً مربوط به ساختار بشدت شبکه‌ای شدهٔ آن است. همان طور که این شکلها نشان می‌دهند، با افزایش درصد ACN، T_g فاز لاستیک افزایش می‌یابد. از آنجاکه لاستیکهای با ACN بیشتر T_g بالاتر دارند، این افزایش در T_g را نمی‌توان مستقیماً به سازگاری فازها نسبت داد، ولی افت و پهنتر شدن پیک tanδ به سازگاری فازها مربوط می‌شود. tanδ با افزایش ACN افزایش و سپس کاهش می‌یابد. نمونه‌های با ۴۰ درصد ACN بیشترین مقدار tanδ را دارند. بیشترین پهنای پیک tanδ مربوط به آمیزه‌های با ۳۳ و ۵۰ درصد ACN است. هرچه سطح زیر منحنی tanδ پهنتر باشد، این انلاف در محدوده وسیعتری از دما (یا فرکانس) اتفاق می‌افتد که از این نظر آمیزه‌های با ۳۳ و ۵۰ درصد ACN اولویت دارند. نوع لاستیک نیتریل در دماهای زیر T_g چندان بر مدول ذخیره اثر نمی‌گذارد. به بیان دیگر در دماهای زیر T_g لاستیک، خواص آنباز



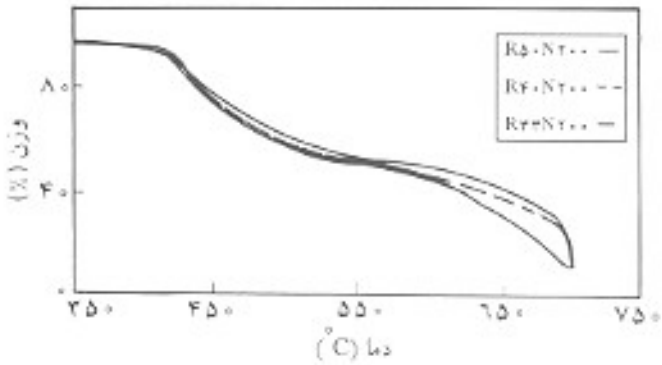
شکل ۷- تغییرات میرایی (tanδ) برحسب دما برای آمیزه‌های دارای ۵۶ درصد وزنی فنولی با مقادیر متفاوت آکریلونیتریل.



شکل ۸- تصویر میکروسکوب الکترون پویشی سطح شکست آمیزه فنولی - نیتریل دارای ۵۶ درصد رزین فنولی.

مستقل از نوع لاستیک است. در دماهای بالای T_g با افزایش درصد ACN مدول افزایش می‌یابد که البته دوباره نمونه‌های با ۴۰ درصد آکریلونیتریل کمترین مدول را نشان می‌دهد.

با توجه به مطالب یاد شده بنظر می‌رسد که در مقادیر کم (۳۳ درصد) و زیاد (۵۰ درصد) آکریلونیتریل سازگاری فازی بیشتری بین رزین فنولی و لاستیک نیتریل وجود داشته باشد. در مقادیر بالای ACN ساختار لاستیک قطبی‌تر است، بنابراین سازگاری بیشتری با ساختار قطبی رزین فنولی وجود دارد و در نتیجه تداخل فازی بیشتر خواهد بود. در مقادیر کم ACN هرچند تداخل فازی به علت کاهش قطبیت لاستیک کم می‌شود، ولی به علت افزایش غلظت پیوندهای سیر نشده (دوگانه) در مولکولهای NBR، که با توجه به ساختار شیمیایی آن فقط در بخش



شکل ۹- تغییرات میزان کاهش وزن برحسب دما برای آمیزه‌های با مقادیر مختلف آکریلونیتریل.

بوتادی‌ان این کوپلیمر وجود دارد، احتمال مشارکت رزین فنولی در شبکه‌ای کردن زنجیرهای NBR (پخت فنولی لاستیک) بیشتر است که این امر منجر به یک سازگاری واکنشی و افزایش تداخل فازی بعد از پخت می‌شود. البته، از آنجا که رزین فنولی بطور جزئی در شبکه‌ای کردن لاستیک دخالت می‌کند و پخت لاستیک عمدتاً به کمک سیستم پخت گوگردی صورت می‌گیرد، ساختار قطبی‌تر لاستیک در سازگاری فازی بیشتر اثر می‌گذارد. افزایش شدید T_g و نسبت بالای پهنا به ارتفاع پیک tanδ مربوط به سازگاری خیلی بیشتر رزین فنولی با لاستیک شامل ۵۰ درصد ACN نسبت به سایر لاستیکهاست. شکل‌شناسی این آمیزه‌ها نیز به کمک میکروسکوب الکترون پویشی بررسی شد که نمونه‌ای از نتایج آن در شکل ۸ آورده شده است. این بررسیها بیانگر یک سیستم با سازگاری خوب و در هم پیوسته است که به صورت شبکه‌ای در هم نفوذ کننده (IPN)اند.

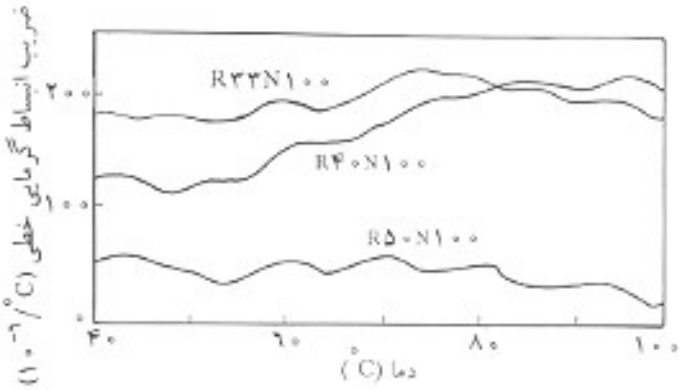
برای بررسی اثر نوع لاستیک بر پایداری گرمایی آمیزه‌ها

جدول ۲- ضرایب رسانایی گرمایی و انبساط طولی آمیزه‌های فنولی - نیتریل.

کد آمیزه	$K(W/m^{\circ}K)$ در $۴۰^{\circ}C$	$\alpha(۱۰^{-۶}/^{\circ}C)$ در $۶۰^{\circ}C$
R۳۳N۱۰۰	۰/۲۲۵	۱۹۱
R۴۰N۱۰۰	۰/۲۶۱	۱۵۰
R۵۰N۱۰۰	۰/۳۲۲	۵۲

K: ضریب رسانایی گرمایی

α: ضریب انبساط گرمایی خطی



شکل ۱۰ ـ تغییرات ضریب انبساط گرمایی خطی (α) برحسب دما.

ویژه در دماهای بالا آزمون تجزیه گرماوزنی (TGA) روی سه آمیزه گروه ۲ انجام شد که نتایج آن در شکل ۹ آورده شده است. مشاهده‌می‌شود که نوع لاستیک اثری بر دمای شروع تخریب ندارد و تخریب تمام نمونه‌ها از دمای ۴۱۰°C شروع شده است، ولی از دمای ۵۰۰°C به بالا آمیزه‌های دارای آکریلونیتریل بیشتر پایداری گرمایی بیشتری نشان می‌دهند. این اثر به گونه‌ای است که مثلاً ۴۰ درصد وزنی باقیمانده در آمیزه‌های با لاستیک نیتریل دارای ۳۳، ۴۰ و ۵۰ درصد ACN به ترتیب در دماهای ۶۴۱، ۶۵۴ و ۶۶۲°C رخ داده است که افزایش پایداری گرمایی قابل توجهی است.

با توجه به اهمیت ضریب رسانایی گرمایی (K) و ضریب انبساط گرمایی (α) در کاربردهای این گونه آمیزه‌ها تغییرات این خواص برحسب دما نیز معین گردید (جدول ۲ و شکل ۱۰). مشاهده می‌شود که افزایش درصد ACN باعث افزایش ضریب رسانایی گرمایی آمیزه‌ها (K) می‌شود که این تغییر احتمالاً ناشی از افزایش قطبیت لاستیک است. از طرفی، افزایش درصد ACN باعث کاهش ضریب انبساط گرمایی خطی (α) می‌شود که این تغییر بیانگر ثبات ابعادی بیشتر این آمیزه‌هاست. این امر می‌تواند ناشی از افزایش قطبیت آمیزه و در نتیجه سخت‌تر شدن تحرک زنجیرها باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به آنچه بحث شد، نتایج زیر را می‌توان استنتاج کرد: با افزایش مقدار آکریلونیتریل (ACN) فاز لاستیک در آلیاژهای فنولی - نیتریل از ۳۳ تا ۵۰ درصد سختی، استحکام و مدول کشسانی و مدول ذخیره ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. همچنین ازدیاد طول تا پارگی و نسبت ارتفاع به پهنای پیک میرایی ($\tan\delta$) ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. افزون بر این، پایداری گرمایی در دماهای بالا به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. بنظر می‌رسد در درصدهای پایین ACN، به دلیل تعداد بیشتر پیوندهای سیرنشده در NBR پخت فنولی فاز لاستیک بیشتر صورت می‌گیرد و باعث می‌شود یک سازگاری واکنشی بین دو فاز رزین فنولی و لاستیک نیتریل ایجاد شود. در درصدهای بالای ACN به علت افزایش قطبیت، لاستیک سازگاری بیشتری با رزین فنولی که ساختاری قطبی دارد نشان می‌دهد. در هر حال قطبیت NBR که با افزایش درصد ACN بیشتر می‌شود برسازگاری دو فاز مؤثرتر است. افزایش درصد ACN باعث افزایش قابل توجه پایداری گرمایی در دماهای بالا و ضریب رسانایی گرمایی و کاهش ضریب انبساط گرمایی آمیزه می‌شود.

مراجع

1. F. S. IKeda and T. S. Ooi, "Impact modified reinforced phenolic resin molding materials", *European Patent* No. 93105496.9 1993.
2. A. Knop, L. A. Pilato, *Phenolic Resins: Chemistry, Application and Performance*, Speringer Verlag, Berlin, 269, 1985.
3. W. hofman, *Rubber Technology handbook*, Transl. By R. Baner and E.A. Meinecke, Oxford University Press, 1989.
4. P. S. Achary and R. Ramaswamy, "Reactive compatibilization of nitril rubber/phenolic resin blend: effect on adhesive and composite properties", *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 containing phenol - aldehyde resin and butadiene - acrylonitrile polymer", U. S. Patent, No. 4 183 841, 1980.
7. R. Purdon James, "Nitrile elastomer", *in The Vanderbilt Rubber handbook*, 13the ed., Ed., R. F. Ohm, Vanderbilt Inc., 1990.

۸ ـ 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.