بررسی مقاومت روغنی و حرارتی و سینتیک نفوذ روغن در آمیزه های NBR، CR و آلیاژNBR/CR

طاهره دارستانی فراهانی*، غلامرضا بخشنده، مجتبی ابطحی
پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران ، پژوهشکده فرایند ، گروه لاستیک
تهران صندوق پستی :۱۴۹۶۵/۱۱۵

نهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران

دانشگاه علم و صنعت ایران
۳-۵ آذر ماه ۱۳۸۳

چکیده

در این تحقیق با هدف طراحی یک آمیزه مقاوم در برابر روغن های غیر قطبی در دمای بالا، مقاومت روغنی و حرارتی دو الاستومرNBR ، CR و آلیاژ آنها بررسی شده است. به این منظور آمیزه های مختلفی بر پایه دو الاستومر و همچنین آلیاژهای آنها طراحی شده و تاثیر زمان دهی (ageing) در روغن موتور به مدت ۱۰۰ ساعت در دماهای ۱۵۰ و۷۰ درجه سانتیگراد بر خواص آمیزه ها و همچنین سینتیک نفوذ و جذب روغن در آنها بررسی شده است. همچنین با استفاده از معادلات ریاضی مدت زمان کارآیی نمونه ها در دمای محیط پیش بینی شده است.

کلمات کلیدی: CR–NBR، آلیاژ NBR/CR، مقاومت روغنی، مقاومت حرارتی

مقدمه

لاستیک CR نسبت به لاستیک NBR از مقاومت حرارتی بیشتری برخوردار است ولی به دلیل قطبیت کمتر نسبت به لاستیک NBR مقاومت روغنی آن در برابر روغن‌های غیر قطبی کمتر از NBR است. لذا استفاده از آلیاژ NBR/CR برای کارکردهایی که نیاز به تماس با روغن در دمای بالا دارد مناسب به نظر می‌رسد(۱). هدف از این تحقیق طراحی آمیزه‌ای با این ویژگی برای کاربرد در صنعت خودرو است.

مقالات و تحقیقات زیادی مقاومت حرارتی، روغنی و سایر خواص لاستیک CR را مطالعه نموده‌اند و تحقیقات زیادی روی آلیاژ سازی دو الاستومر CR/NBR انجام شده است (۷-۲) در این تحقیق از نتایج این گزارش‌ها استفاده شده است.

یکی از بزرگترین مسائل آلیاژ NBR/CRناسازگاری پخت دو الاستومر است .لذادر این تحقیق پس از مطالعات ابتدایی از دو فرمولاسیون پخت استفاده شده و نتایج آزمون ها برای هر فرمولاسیون ارائه شده است. هدف نهایی تحقیقاتی از این دست طراحی آمیزه هایی مقاوم به روغن است که در شرایط محیط کارایی داشته باشند اما از آنجا که انجام این آزمون ها در دمای محیط نیاز به زمان های طولانی دارد از آزمون های به اصطلاح شتاب داده شده استفاده شده و نتایج آزمون ها در دماهای بالاتر بر اساس استاندارد های بین المللی ارائه می شود. اخیرا نتایج تحقیقاتی به چاپ رسیده است که در آن نتایج استفاده از معادلات ریاضی برای پیش بینی کارایی آمیزه های لاستیکی در دمای محیط با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است(۹-۸).

عمدتا از دو رابطه آرنیوس و WLF برای این منظور استفاده شده است .که نتایج استفاده از رابطه آرنیوس بر اساس مطالعات انجام شده قابل اعتماد تر از WLFاست.رابطه آرنیوس به صورت زیر است:

$$K(T) = Ae^{\frac{-E}{RT}} \quad \text{یا} \quad Ln(K(T)) = B - (\frac{E}{RT})$$

که در آن K(T) سرعت واکنش وA وB اعداد ثابت، E انرژی اکتیواسیون ، Rثابت گازها و T دمای مطلق هستند. در این تحقیق برای هر خاصیت با استفاده از رابطه دوم برای دو دمای معلوم ۱۵۰و۷۰ درجه سانتی گراد و رسم خط Ln(K(T)) بر حسب عکس دمای مطلق، سرعت واکنش در دمای محیط محاسبه شده و مدت زمان کارایی (مدت زمان لازم برای نصف شدن آن خاصیت) در دمای محیط محاسبه شده است. لازم به ذکر است این روش در مراجع نیز به کار رفته است.

کارهای عملی

فرمولاسیون های پایه بکار رفته برای بررسی خواص و مقاومت حرارتی و روغنی آلیاژ NBR/CR در جدول ۱ و فرمولاسیون سیستم های پخت استفاده شده در جدول۲ نشان داده شده است. ابتدا به وسیلهٔ بنبوری آزمایشگاهی آمیزه‌های پایهٔ NBR و CR تهیه شده و سپس روی غلتک آلیاژ NBR/CR50/50 تهیه شده و سپس آمیزه‌های خاص و همچنین آلیاژ با سیستم‌های پخت مخلوط شده‌اند.

جدول ۱- فرمولاسیون پایه NBR و CR

مواد	CR(W)	NBR(34%)
Rubber	100	100
N-550	25	25
N-330	25	25
OIL	25	25
NA-4010	2	2
P.WAX	3	3

مشخصات پخت (t_5، زمان برشتگی و t_{95}، زمان پخت) با استفاده از یک رئومتر زوئیک (Zwick) مدل ODR تعیین شده سپس آمیزه‌ها در ۱۷۰°C براساس مقدار، t_{95} مربوطه با استفاده از یک پرس هیدرولیک قالبگیری فشاری شده‌اند.

جدول ۲- فرمولاسیون‌های پخت

سیستم پخت	A	B
ST.ACID	1	1
ZnO	5	5
MgO	4	2
DOTG	0.5	0
TMTD	1	0
S	1	2.5
CBS	0	1
ETU	0	0.5

اندازه‌گیری خواص مکانیکی: خواص کششی مطابق استاندارد بین‌المللی ASTM D638 با استفاده از یک دستگاه کشش مدل MTS با سرعت کشش ۵۰۰ میلی‌متر در دقیقه شده است اندازه‌گیری می‌شود. سختی (Shore A)، جهندگی و افت سایش و مقاومت سایشی) با استفاده از دستگاه‌های Zwick به ترتیب براساس استانداردهای D5963, D1054,ASTM D2240 انجام شده‌اند.

جدول۳-خواص قبل از زمانمندی

	NBR-A	NBR-B	CR-A	CR-B	NBR/CR-A	NBR/CR-B
سختی(shore A)	54.3	59.6	61.9	63.7	59.4	64.4
ازدیاد طول تا پارگی(٪)	456.3	320.6	439.2	401.4	284.8	250
استحکام کششی(Mpa)	9.5	9.7	10.94	12.7	9.5	11.4
مدول۱۰۰(Mpa)	1.59	2.2	2.663	3.9	2.5	4.2
مدول۳۰۰(Mpa)	8.2	8.9	7.8	11.1	3.45	0
زمان برشتگی t5 (دقیقه)	3.18	1.24	1.37	1.35	1.82	1.29
زمان پختt95(دقیقه)	7.62	9.62	15.91	17.05	12	17.143
سایش(درصد)	11.46	10.38	16.03	15.99	16.9	13.52

مطالعات تورمی و مقاومت روغنی: مقاومت روغن آمیزه‌ها در ۱۵۰°C به مدت ۷۲ ساعت روغن موتور بهران پیشتاز (ساخت شرکت نفت بهران –ایران) اندازه‌گیری شده است. نمونه‌ها بصورت قطعات مستطیلی متحدالشکل در ابعاد (۴۰×۲۰×۲) میلی‌متر شده وزن نمونه‌های خشک قبل از غوطه‌ور کردن در روغن یادداشت شده و در فواصل زمانی معین، نمونه‌ها بیرون آورده شده، در اتیل الکل غوطه‌ور شده و پس از خشک کردن بین دو کاغذ صافی با استفاده از یک ترازوی دقیق آزمایشگاهی وزن شده‌اند. سپس برای جلوگیری از تغییرات دمایی نمونه‌ها سریعاً به درون ظرف آزمون در آون برگردانده شده‌اند. همچنین اثر زمانمندی (ageing) روی خواص مکانیکی نمونه‌ها نیز بررسی شده است. براساس مطالعات قبلی (۱۴) نمونه‌های کشش، سایش و سختی درون روغن موتور در ۱۵۰°C به مدت ۷۲ ساعت غوطه‌ور شده و تغییرات خواص نمونه‌ها بعد از غوطه‌ورسازی در روغن، به عنوان معیاری برای تعیین مقاومت در برابر روغن آمیزه‌ها به کار رفته است. لازم به ذکر است برای هر آزمون حداقل از سه نمونه استفاده شده و میانگین نتایج گزارش شده است.خواص نمونه‌ها قبل و بعد از آزمون زمانمندی در دماهای ۷۰ و ۱۵۰ درجه سانتیگراد به ترتیب در جداول ۴،۳و۵ ارائه شده است. در جدول ۶ نیز مدت زمان کارآیی محاسبه شده برای نمونه ها را بر اساس نصف شدن خاصیت هر ردیف ارایه شده است.خانه هایی که دارای سایه خاکستری هستند ، نتایجی هستند که به دلایل مختلف نتایج غیر قابل قبولی بدست امده است که در بخش بحث ونتایج به دلایل آن اشاره خواهد شد.

جدول۴-خواص پس از زمانمندی در ۷۰ درجه سانتی گراد

	NBR-A	NBR-B	CR-A	CR-B	NBR/CR-A	NBR/CR-B
سختی(shore A)	63	62.5	63.5	65	61	60.5
ازدیاد طول تا پارگی(٪)	231.3	276.8	196.4	250.3	215.6	281.2
استحکام کششی(Mpa)	10.25	8.65	9.4	11.8	9	10.8
مدول ۱۰۰(Mpa)	3.5	2.4	4.1335	5.0425	3.26	3.6775
سایش(درصد)	35.6	27.9	56.28	41.04	62.63	48.09
جذب روغن(٪)	-4.3	-2.97	1.85	-0.79	-2.66	1.51

جدول۵-خواص پس از زمانمندی در ۱۵۰ درجه سانتی گراد

	NBR-A	NBR-B	CR-A	CR-B	NBR/CR-A	NBR/CR-B
سختی(shore A)	63.2	69	63.5	68.9	70.6	65.3
ازدیاد طول تا پارگی(٪)	280.1	149.2	252.56	160.4	200.23	140.91
استحکام کششی(Mpa)	8.8	8.7	7.57	7.2	7.6	7.27
مدول ۱۰۰(Mpa)	2.73	5.2	2.74	2.05	2.91	4.497
سایش(درصد)	17.29	12	22.33	18.25	26.47	15.42
جذب روغن(٪)	-4.255	-10.1	2.56	-3.25	-3.08	0

جدول۶-زمان کارآیی محاسبه شده با استفاده از معادله آرنیوس

	NBR-A	NBR-B	CR-A	CR-B	NBR/CR-A	NBR/CR-B
سختی(shore A)	222.46*	1839.33	1682.296	5187.01	6142.57	179.33
ازدیاد طول تا پارگی(٪)	58.37	761.53	51.31	134.93	169.05	761.37
استحکام کششی(Mpa)	403.56	310.99	464.9	2094.86	1749.11	3104.32
مدول۱۰۰(Mpa)	19.55	218.78	6.22	21.91	70.17	207.16
سایش(درصد)	5.36	3.09	3.17	7.48	3.71	1.35

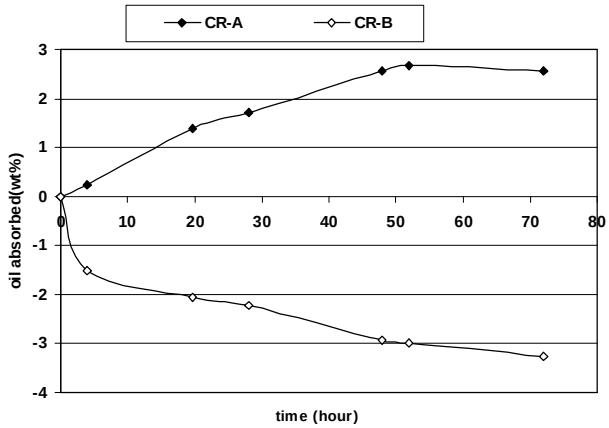
*زمان ها در واحد ساعت و بر حسب نصف شدن خاصیت مربوطه ارائه شده اند.

نتایج و بحث نتایج

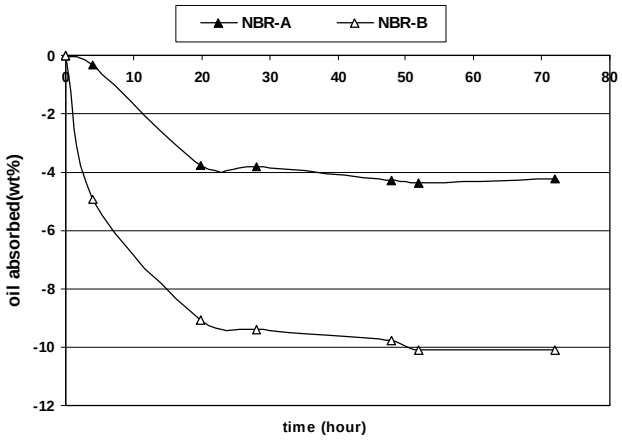
جذب (Sorption)

شکل ۱ تأثیر سیستم پخت بر پروفایل جذب روغن در آمیزه‌ها در دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد را نشان می‌دهد. می توان دید که در آمیزه‌های NBR در هر دو سیستم پخت خروج مواد کوچک مولکول از همان ابتدا آغاز شده و سرعت خروج مواد در آمیزهٔ پخت شده با سیستم پخت B بیشتر است. دلیل این امر استحکام بالای شبکه در سیستم پخت B و عدم نفوذ روغن به درون سیستم است که باعث خروج مواد غیرقطبی به درون روغن می‌گردد.

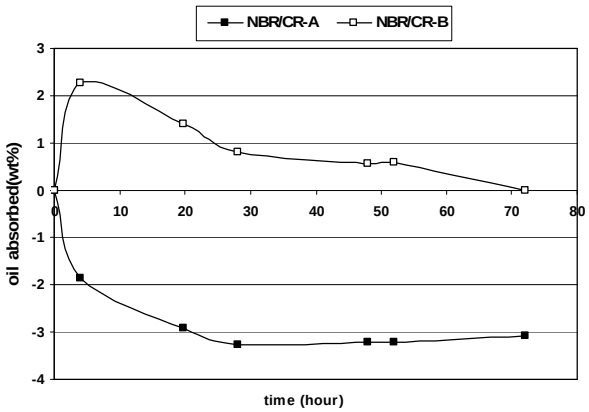
در آمیزهٔ CR دو سیستم پخت رفتار کاملاً متفاوتی نشان داده‌اند. سیستم پخت A باعث جذب روغن و سیستم A باعث خروج مواد افزودنی شده است. این موضوع نشان می‌دهد که الاستومر CR به دلیل قطبیت کمتر خود ذاتاً مستعد جذب روغن است و مقاومت روغنی کمی دارد. اما استفاده از سیستم پخت مناسب و ایجاد اتصالات عرضی می‌تواند این روند را تغییر دهد.آلیاژسازی CR,NBR با همراه سیستم پخت B رفتار میانه‌ای بین رفتار NBR و CR با این سیستم نشان می‌دهد یعنی ابتدا روغن جذب شده و سپس با خروج نرم کننده وهمچنین مواد کوچک مولکول مقدار افزایش وزن افت کرده و در نهایت به صفر می‌رسد. اما سیستم پخت A رفتاری نزدیکتر به رفتار NBR نشان می‌دهد و نمونه آلیاژی پخت شده با این سیستم از همان ابتدا دچار خروج مواد (Leaching) می شود.در شکل ۲ تأثیر نوع پلیمر بر پروفایل جذب روغن مشاهده شده است. می‌توان دید که رفتار آلیاژ NBR/CR در سیستم پخت A مشابه رفتار NBR خالص است حتی در مراحل اولیه سرعت خروج مواد از نمونهٔ NBR نیز بیشتر است. این امر نشان از عدم کارایی کافی سیستم پخت A در آلیاژ و احتمالاً غالب بودن فاز NBR به عنوان فاز پیوسته دارد. اما در سیستم پخت B رفتار آلیاژ با رفتار هر دو الاستومر تفاوت دارد که به نظر می رسد بستر پلیمری یکنواختی ایجاد شده است.



(الف)

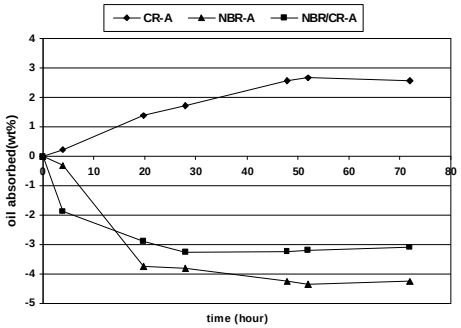


(ب)

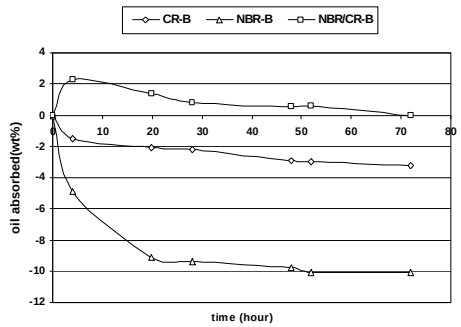


(ج)

شکل ۱- تأثیر سیستم پخت بر پروفایل جذب روغن در نمونه‌ها الف)NBR ب)CR ج)آلیاژ BR/CR



(الف)

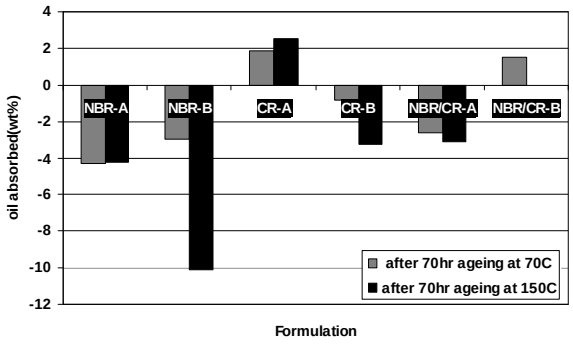


(ب)

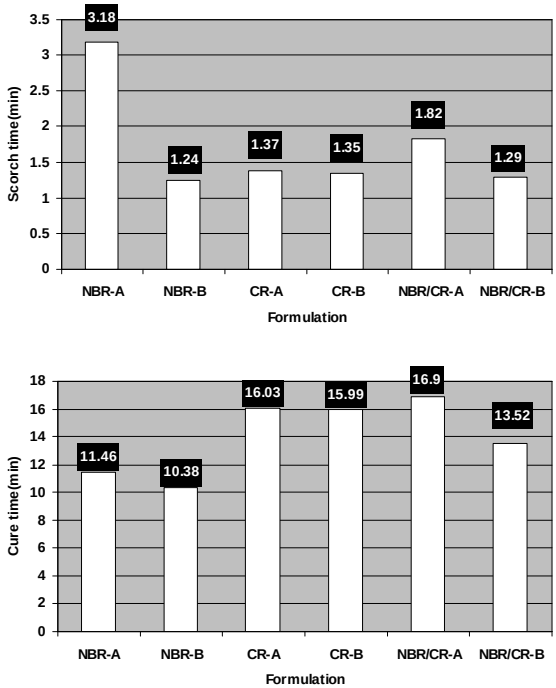
شکل ۲- تأثیر نوع پلیمر بر رفتار تورمی آمیزه‌ها: الف) سیستم پخت A ب)سیستم پخت B

شکل ۳ مقدار نهایی روغن جذب شده در نمونه‌ها در دو دمای ۱۵۰ و۷۰ درجه سانتی گراد را نشان می‌دهد می‌توان دید که نمونه‌های NBR خالص، CR با سیستم پخت B و نمونه CR/NBR با سیستم پخت A در اثر زمانمندی (غوطه وری) در روغن غیر قطبی (روغن موتور) دچار کاهش وزن شده و مواد کوچک ملکولی از بستر پلیمری خارج شده (Leaching) است. به طور کلی در سیستم پخت B میزان تورم و نفوذ روغن (که منجر به Leaching می‌شود در نمونه‌های حاوی CR یعنی CR خالص و آلیاژ CR/NBR کمتر از سیستم پخت A است. به نظر می‌رسد سیستم پخت A بویژه در فاز CR استحکام شبکه (دانسیته اتصالات عرضی CLD) بیشتری ایجاد کرده و به این ترتیب از ایجاد تورم جلوگیری می‌کند. رفتار کاملاً متفاوت در سیستم پخت A و B در لاستیک CR مؤید این مطلب است. لاستیک NBR نسبت به لاستیک CR در هر دو سیستم پخت مقاومت بیشتری در مقابل تورم نشان داده است که با توجه به قطبیت بیشتر آن امری طبیعی است بنابراین آلیاژسازی آن با CR در هر دو فرمولاسیون باعث کاهش تورم لاستیک CR شده است، اما سیستم پخت B نیز باعث تقویت فاز NBR شده و مقاومت روغنی آلیاژ را بهبود می‌بخشد. تفاوت مقدار نهایی جذب روغن در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد با توجه به پروفایل جذب روغن در دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد در هر آمیزه قابل توجیه است. به عنوان مثال در آمیزه CR/NBR-B در دمای ۱۵۰درجه پس از ۷۰ساعت مرحله خروج مواد کاملا به پایان رسیده است در حالیکه در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد هنوز در مرحله جذب روغن غیر قطبی قرار دارد. در مجموع سیستم پخت B در مورد مقاومت تورمی آلیاژ و لاستیک CR موفق بوده است اما در لاستیک NBRمقدار Leaching زیاد آمیزه پخت شده با سیستم B بویژه در مورد تغییر خواص کمی نگران کننده عمل کرده است. شکل ۴ زمان برشتگی (t_5) و زمان پخت بهینه (t_{45}) نمونه‌ها را در دمای پخت

۱۷۰°C نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود زمان برشتگی در همه آمیزه‌ها با استفاده از سیستم پخت B کاهش می‌یابد اما این تغییر در مورد سیستم پخت A عمل می‌کند و این تفاوت سرعت در NBR بیشتر از CR است. تفاوت زمان برشتگی با استفاده ازسیستم پخت B در آمیزه‌های CR و NBR و آلیاژ CR/NBR بسیار کم است سیستم پخت B زمان پخت بهینه نیز رفتار مشابهی داشته و تفاوت زمان پخت آمیزه‌ها در سیستم پخت B کمتر است. زمان پخت بهینه نیز در همه آمیزه‌ها با استفاده از سیستم پخت A بیشتر از سیستم پخت B است. زمان پخت بهینه در آمیزه‌های CR بیشتر از آمیزه‌های حاوی NBR، یعنی NBR خالص و آلیاژ NBR/CR است.در مجموع با توجه به سیستم پخت کاملاً متفاوت و الاستومر سیستم پخت B سازگاری پخت بسیار مناسبی در آلیاژ و خواص پخت معقولی در هر دو الاستومر ایجاد کرده است.

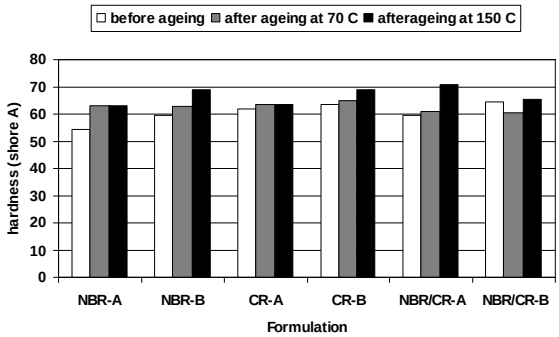


شکل۳- مقدار جذب روغن نمونه ها

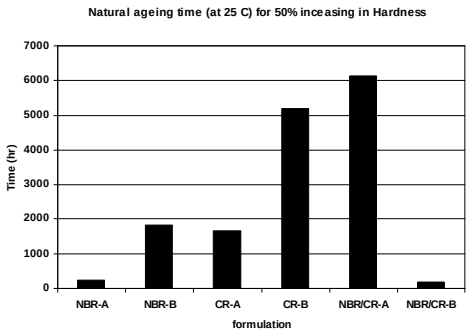


شکل ۴- مشخصات پخت نمونه‌ها در ۱۷۰°C: الف) زمان برشتگی (t_5) و ب) زمان پخت بهینه (t_{95})

شکل ۵ سختی آمیزه‌ها قبل و بعد از آزمون زمانمندی را نشان می‌دهد. سختی همه نمونه‌های پخت شده با سیستم پخت B بیشتر از نمونه‌های پخت شده با سیستم پخت A است که دلیل آن کارایی بیشتر این سیستم پخت و ایجاد اتصالات عرضی بیشتر در هر دو الاستومر و همچنین آلیاژ است.
می‌توان دید که سختی نمونه‌ها در اثر زمانمندی در روغن افزایش می‌یابد. دلیل این امر افزایش تخریب الاستومر و احتمالاً خروج نرم کننده از بستر پلیمری است. تغییرات سختی در نمونه‌های حاوی CR به دلیل مقاومت حرارتی بیشتر این الاستومر کمتر از نمونه حاوی NBR خالص است. سیستم پخت B در همه نمونه‌ها بویژه در آلیاژ NBR/CR (که تفاوتی مشاهده نشده است) کمترین تفاوت سختی پس از زمانمندی را ایجاد می‌کند، دلیل این امر قوی‌تر بودن اتصالات عرضی و استحکام بیشتر شبکه است. افزایش دمای زمانمندی نیز باعث افزایش سختی می گردد وتنها در مورد نمونه NBR/CR-B که نمونه در مرحله جذب روغن قرار دارد و نمونه در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد حاوی نرم کننده است سختی نمونه پس از زمانمندی در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد کمتر از دمای ۱۵۰ درجه است.



شکل ۵- سختی نمونه‌ها قبل و بعد از آزمون زمانمندی

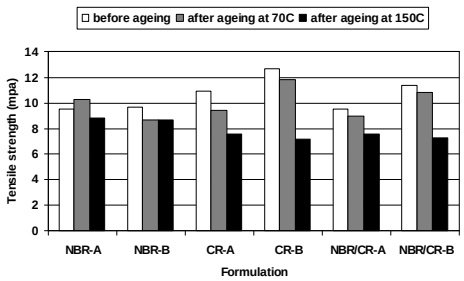


شکل ۶- پیش بینی زمان کارکرد نمونه ها در دمای محیط بر اساس سختی

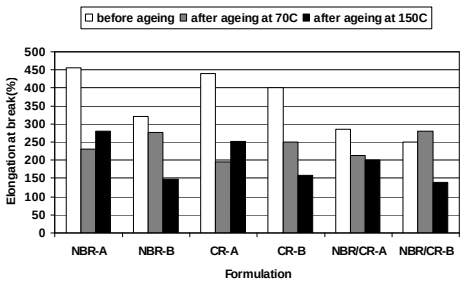
می توان دید که نمونه پخت شده با سیستم پخت B از سیستم پختA کار ایی بیشتری دارد و آلیاژ NBR/CR نسبت به نمونه های خالص دو الاستومر مقاومت روغنی بیشتری دارد. لازم به ذکر است که نمونه NBR/CR-B به دلیل رفتار متفاوت با سایر نمونه ها و جذب روغنی که نشان داده است در رابطه آرنیوس دچار خطا شده است .به عبارتی رابطه آرنیوس نرم شدن در اثر نفوذ را برای آن پیش بینی می کند.
شکل‌های ۷و۸ به ترتیب استحکام کششی و ازدیاد طول تا پارگی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. می‌توان دید که استحکام کششی همهٔ نمونه‌های پخت شده با سیستم پخت B بیشتر از نمونه‌های پخت شده با سیستم A

است و آمیزه‌های حاوی CR استحکام کششی بیشتری از آمیزهٔ NBR دارند. دلیل این مشاهدات استحکام شبکه بیشتر در حالت استفاده از سیستم پخت B و همچنین استحکام ذاتی بیشتر و مقدار پرکننده بیشتر در آمیزهٔ پایه CR است در مورد ازدیاد طول کاملاً برعکس است و نمونه‌های پخت شده با سیستم B ازدیاد طول کمتری داشته و نمونه‌های حاوی CR ازدیاد طول کمتری نسبت به NBR دارند. این مسأله با توجه به برعکس بودن رابطهٔ این دو خاصیت کاملاً منطقی است. نکته نگران کننده خاصیت منفی آلیاژ سازی است که احتمالاً به دلیل مورفولوژی فازی اصلاح شده ازدیاد طول آلیاژها از هر دو پلیمر کمتر است که نیاز آلیاژ به اصلاح مورفولوژی و ایجاد سازگاری فازی را آشکار می‌سازد.

استحکام کششی نمونه ها با افزایش دمای زمانمندی افزایش یافته و عمدتا افزایش طول تا پارگی کاهش می یابد. در مورد آلیاژ پخت شده با سیستم پختB این روند به دلیل موردی که به آن اشاره شد، مشاهده نمی شود.

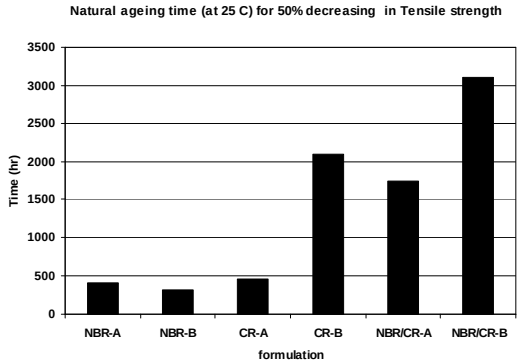


شکل ۷- استحکام کششی نمونه‌ها قبل وبعد از آزمون زمانمندی

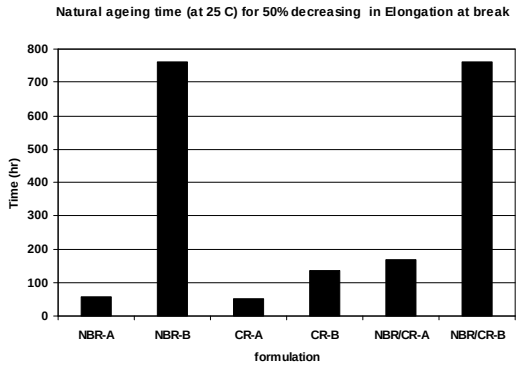


شکل ۸- ازدیاد طول تا پارگی نمونه‌ها قبل و بعد از آن زمانمندی

شکل های ۹ و۱۰ مدت زمان کارایی محاسبه شده نمونه ها را به ترتیب بر اساس خاصیت مقاومت کششی و ازدیاد طول تا پارگی نشان می دهند. باز هم می توان دید که استفاده از سیستم پخت B و آلیاژ سازی دو الاستومر منجر به مدت زمان کارایی بیشتری می گردد. بیشترین مدت زمان کارایی در مورد نمونه-NBR/CR B وجود خطا در محاسبات آرنیوسی در مورد سختی را تائید می کند. کارایی بیشتر سیستم پخت B در مورد NBR در زمان های محاسبه شده بر اساس تغییرات ازدیاد طول تا پارگی (شکل۱۰) مشهودتر است.



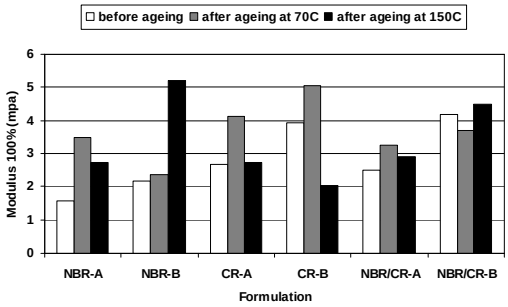
شکل ۹- پیش بینی زمان کارکرد نمونه ها در دمای محیط بر اساس استحکام کششی



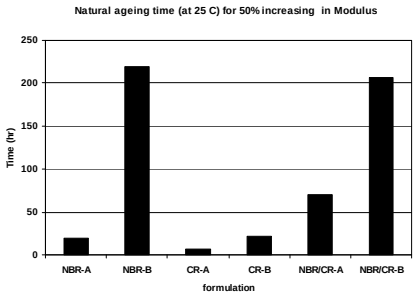
شکل۱۰- پیش بینی زمان کارکرد نمونه ها در دمای محیط بر اساس ازدیاد طول تا پارگی

شکل ۱۱مدول نمونه‌ها قبل و بعد از آزمون زمانمندی و شکل ۱۲ مدت زمان کارایی محاسبه شده برای نمونه ها بر اساس تغییرات مدول را نشان می‌دهند. می‌توان دید که مدول نمونه‌های پخت شده با سیستم پخت B و همچنین مدول نمونه‌های حاوی CR مانند استحکام کششی آنها و به دلایلی که قبلاً ذکر شد بیشتر از سایر نمونه‌ها است. آلیاژسازی NBR/CR نوعی حالت هم افزایی نشان داده و مدول آلیاژها تقریباً با مدول CR برابر است. مدول ۱۰۰٪ نمونه‌ها در اثر زمانمندی در روغن به دلیل افزایش سختی و سفتی (stiffness) افزایش می‌یابد. اما مدول ۳۰۰٪ آنها کاهش چشمگیری نشان می‌دهد(به جداول ۳-۵ مراجعه شود) به عبارتی رفتار تنش کرنش نمونه‌ها در اثر زمانمندی تغییر کرده و نمونه‌ها به دلیل خروج نرم کننده از بستر پلیمری و همچنین تخریب شبکه در اثر حرارت رفتار الاستیک کمتری نشان می‌دهند.

تغییرات مدول نمونه ها با دمای زمانمندی روند مشخصی ندارد اما عموما مدول نمونه ها با افزایش دما زیاد می شود.در مورد زمان کارایی محاسبه شده روند مانند آنچه در مورد مقاومت کششی ذکر شد ، است.بیشترین مدت زمان کارآیی با استفاده از سیستم پخت B در همه نمونه ها افزایش می یابد.اما کارآیی بهتر آلیاژها در مورد مدول زیاد مشخص نیست.

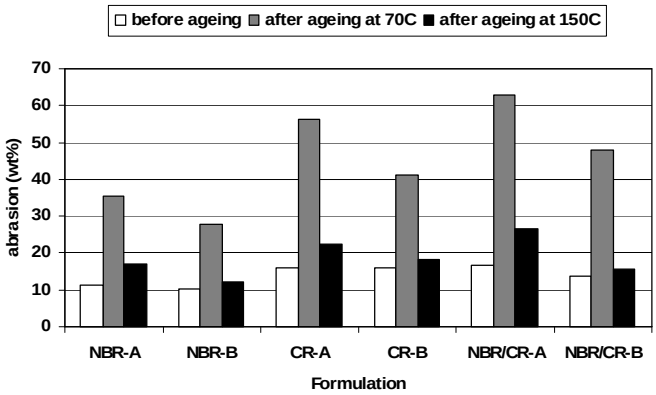


شکل ۱۱- مدول نمونه‌ها قبل و بعد از آزمون زمانمندی



شکل ۱۲-پیش بینی زمان کارکرد نمونه ها در دمای محیط بر اساس مدول

شکل ۱۳ مقدار سایش نمونه‌ها قبل و بعد از آزمون های زمانمندی را نشان می‌دهد. می‌توان دید که مقدار سایش در نمونه‌های پخت شده با سیستم B کمتر از سیستم A است. که این مقاومت سایشی بالاتر بازهم به دلیل استحکام شبکه بیشتر با استفاده از سیستم B قابل توجیه است. آمیزه‌های NBR در مجموع مقاومت سایشی بیشتری داشته و مقدار سائیده شده در هر دو آمیزه NBR خالص کمتر از آمیزه‌های دیگر است. آلیاژسازی NBR,CR با استفاده از سیستم پخت A اثر منفی داشته و با سیستم پخت B اثر هم افزایی دارد این امر احتمالاً به دلیل عدم سازگاری پخت دو الاستومر با سیستم پخت A و عدم وجود اتصالات عرضی کافی در سطح مشترک دو فاز است این امر نشان از موفقیت سیستم پخت B در سازگاری پخت دو فاز (بزرگترین مسأله در آلیاژ NBR/CR) دارد.



شکل ۱۳ -سایش نمونه‌ها قبل و بعد از آزمون زمانمندی

در دمای ۱۵۰درجه سانتیگراد مقاومت سایشی همه نمونه‌ها پس از زمانمندی کاهش یافته و مقدار سائیده شده بیشتر است و دلیل این امر خروج نرم کننده سازگار با بستر پلیمری و همچنین تخریب اکسیداسیونی حرارتی نمونه‌هاست. البته با استفاده از سیستم پخت B این تفاوت بسیار کم است به عبارت دیگر استحکام شبکه بیشتر منجر به خروج کمتر مواد نرم کننده و همچنین نفوذ کمتر روغن شده و از تخریب اکسیداسیونی حرارتی بستر پلیمری جلوگیری می‌کند. مقدار زیاد افزایش سختی در اثر زمانمندی در نمونه آلیاژ CR/NBR پخت شده با سیستم ناکارآمد A در ایجاد اتصالات عرضی بویژ در فصل مشترک فازها موید این ایده است.دمای آزمون زمانمندی تاثیر مشخصی بر مقدار سایش نمونه ها ندارد و برای اظهار نظر در مورد تاثیر دمای آزمون بر مقدار سایش نیاز به آزمون های بیشتری در دماهای مختلف است. با اطلاعات موجود تنها می توان گفت مقاومت سایشی نمونه های پیر شده در دمای ۷۰درجه کمتر از مقاومت سایشی نمونه های پیر شده در دمای ۱۵۰درجه سانتی گراد است. مدت زمان پیش بینی شده نیز به دلیل رفتار غیر یکنواخت سایش نمونه ها با دما دارای خطا بوده و غیر قابل استناد است.

نتیجه گیری

از نتایج آزمون های انجام شده می توان نتیجه گیری کرد که:

۱- سازگاری پخت یکی از مهمترین مسائل آلیاژ NBR,CR است و سیستم پخت B یعنی ترکیب گوگرد. اتیلن تیواوره و CBS به همراه اکسید منیزیم و اکسید روی و فعال کننده اسید استئاریک مناسب‌تر از سیستم پخت A یعنی ترکیب گوگرد دهندهٔ TMTD و گوگرد DOTG، اکسید روی اکسید منیزیم و فعال کننده اسید استئاریک است.

۲- مقاومت روغنی آمیزهٔ CR از NBR در برابر روغنهای غیر قطبی کمتر است اما با استفاده از سیستم پخت مناسب این موضوع قابل اصلاح است.

۳- مقاومت حرارتی نمونه‌های NBR کمتر از نمونه CR است و میزان افت خواص در نمونه‌های CRکمتر است.با آلیاژسازی NBR و CR آمیزه‌ای با مقاومت حرارتی و روغنی مناسب بدست می‌آید.

۴- آلیاژ NBR/CR با سیستم پخت اکسید فلزی و تیواوره‌ای مناسب‌ترین کارایی را از نظر خواص فیزیکی مکانیکی قبل و بعد از زمانمندی و مقاومت حرارتی و روغنی ارائه داده است.

۵- براساس پیش بینی صورت گرفته با کمک معادله آرنیوس نیزاستفاده از سیستم پختB و آلیاژسازی دو الاستومر بهترین مقاومت روغنی و حرارتی را در پی خواهد داشت.

۶- پیش بینی زمان کارآیی با استفاده از معادله آرنیوس در مواردی که خاصیت مذکور تغییرات غیریکنواختی با دمای آزمون دارد(مانند سایش) نتایج غیر قابل قبولی ارائه می دهد و بهترین نتایج پیش بینی با استفاده از این معادله با استفاده از خاصیت استحکام کششی بدست آمده است.

منابع و مراجع

1. Abdel-Bary E.M ,Von Soden W, Polymer for Advanced Technologies ,vol 11,n. 1,1-8, (2000).
2. H.Ismail, C.L.Ho, C.C.Lim, polym. Plast. Technol. Eng., 40:4, 505-517, (2001).
3. Azima L.G., S. Elsabbagh, Journal of Applied polymer Science, 79, 60-71, (2001).
4. A.K. Sircar, Rubber Chemistry and Technology, 54, 821-834, (1980).
5. M.Q. Fetterman, Rubber Chemistry and Technology, 52, 50-73, (1978).
6. J. F.Meier, Rubber Chemistry and Technology, 52, 50-73, (1978).
7. J. F.Meier, Rubber Chemistry and Technology, 54,781-791, (1979).
8. R.P. Brown, T. Butler, S.W. Hawley, Ageing of rubber: accelerated heat ageing test results, RAPRA Technology Limited, (2001).
9. R.P. Brown, T. Butler, S. W. Hawley, Ageing of rubber: accelerated weathering and ozon ntest results, RAPRA Technology Limited, (2001).