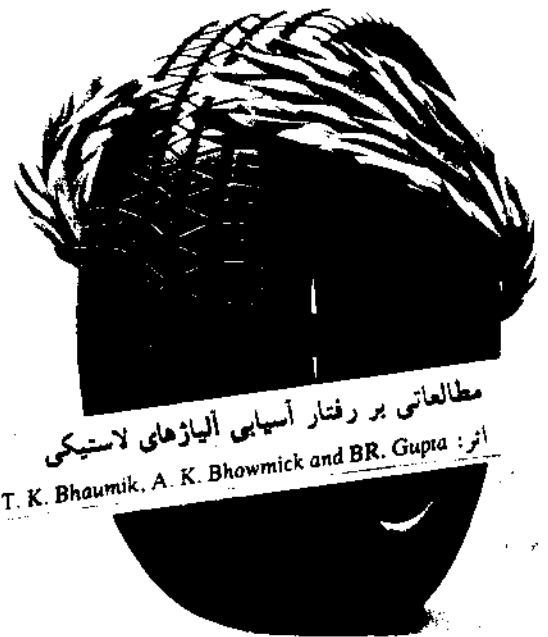


مطالعاتی بر رفتار آسیاب‌های لاستیک

مطالعاتی بر رفتار آسیاب‌های لاستیکی
انتر: T. K. Bhaumik, A. K. Bhowmick and BR. Gupta

Rubber & Plastic Processing & Applications 7 (1987) 43 - 50
ترجمه - دکتر غلامرضا پخشنده



مقدمه

آسیاب‌های لاستیکی به دلایل فنی گوناگونی در صنعت به طور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما رفتار آسیاب‌های لاستیکیهای مختلف متفاوت است. برخی از لاستیکها بخوبی روی غلطک دور کند نوار می‌سوند در حالیکه بعضی دیگر جمع می‌گردند و با روی غلطک دور تند می‌روند. بعضی هم به هیچ وجه به شکل نوار در نمی‌آیند. با اینکه امروزه اکثراً مخلوط کنه‌های داخلی جای آسیاب مخلوط کن را گرفته‌اند، اما جهت توزیع نهایی ماده مخلوط شده، یک آسیاب دو غلطکی مورد نیاز است. در حال حاضر جنبه هنری آسیاب بر جنبه علمی آن برتری دارد.

در شکل ۱ یک آسیاب دو غلطکی نمونه همراه با جهت جریان ماده از درون آن نشان داده شده است. در یک عمل نرمال آمیزه روی آسیاب ریخته می‌شود، به دلایل ایمنی، سهولت افزایش و توزیع مواد افزودنی، عملیات بُرش و تا کردن و نهایتاً رانندمان بهتر، روی غلطک دور کند به شکل نوار درمی‌آید. وقتی که آمیزه به شکل نوار در نمی‌آید، مشکلات زیادی ایجاد می‌کند، در عمل این مشکلات با تغییر دادن فاصله یا دمای غلطکها و یا با استفاده از مواد نظیر محلول صابون یا شیر بر طرف می‌گردد.

کلید واژه

آسیاب‌های لاستیک، رفتار آسیابی، سر بطن، تشکیل نوار، سن ریاضی

چکیده:

رفتار آسیابی لاستیک طبیعی (NR)، لاستیک پلی بوتادی ان (BR)، لاستیک اتیلن - پروپیلن - دی ان (EPDM)، لاستیک برونوبوتیل (BIIR) و آسیاب‌های NR BR و EPDM/BIIR در گستره‌ای از دماها، فواصل بین غلطکها و نسیتهای سرعت آنها، مورد مطالعه قرار گرفته است. لاستیک BR فقط روی غلطک دور تند و در دمای اتاق به شکل نوار (نیست) درمی‌آید؛ در صورتیکه لاستیک NR همیشه روی غلطک دور کند و در دمای اتاق، تحت هر شرایطی تشکیل نوار می‌دهد و فقط در دمای در حدود ۹۰° و با وجود فاصله‌ای کوچک بین غلطکها، روی غلطک دور تند می‌رود. آسیاب‌های NR و BR رفتار حد واسطی را نشان می‌دهند؛ یعنی با افزایش محتوای BR تمایل تشکیل نوار روی غلطک دور تند افزایش می‌یابد. لاستیک EPDM همیشه روی غلطک دور تند در دمای اتاق تشکیل نوار می‌دهد. لاستیک BIIR رفتار آسیابی ویژه‌ای دارد بدین ترتیب که در ابتدا روی هر دو غلطک به صورت نوار درمی‌آید و سرانجام گل توده روی غلطک دور تند تشکیل نوار می‌دهد. آسیاب‌های EPDM و BIIR در اکثر موارد و در دمای اتاق روی غلطک دور تند نوار می‌سوند. به منظور پیش‌بینی تشکیل نوار، یک مدل ریاضی تکامل یافته است که در آن عوامل گوناگونی که ممکن است در آسیاب کردن لاستیکها مؤثر باشند، در نظر گرفته شده است.

Key words:

1 - Rubber blends, 2 - Milling behavior, 3 - Conditions, 4 - To band, 5 - Mathematical model

EPDM-BIIR در نسبت‌های اصطکاک و دماهای متفاوت مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. این لاستومرها چندین نوع پدید شده‌اند که بعضی در غلطک دور تند و بعضی دیگر در غلطک دور کند به سکن نوار در می‌آیند و جمع می‌شوند.

۱-۱ پدیده انتقال غلطک دور تند - غلطک دور کند

وقتی که یک ماده خوراک آسیاب می‌شود، ممکن است روی یکی از غلطکها به صورت نوار درآید و با نوار شده پاشن بیفتد. پارامتر اصلی حاکم بر این پدیده فاصله بین دو غلطک است. اگر ماده به شکل توده روی آسیاب قرار گیرد و امکان رفتار آزادی داشته باشد (یعنی یک فرایند مداوم)، ابتدا می‌تواند روی غلطک دور کند و سپس با کاهش فاصله غلطکها روی غلطک دور تند به شکل نوار درآید. افزایش فاصله بین دو غلطک، انتقال غلطک دور تند به غلطک دور کند را موجب نمی‌شود. در نقطه انتقال از غلطک دور کند به غلطک دور تند، اندازه فاصله بین دو غلطک به وسیله H_0 نشان داده می‌شود. سخت‌ترین پدیده در مورد ماده‌ای مشاهده می‌شود که بیش از اندازه‌ای سفت است که در نقطه انتقال پاره شود؛ این ماده بسادگی از غلطک جدا و جمع می‌شود.

فاصله بین غلطکها در نقطه انتقال تابعی از چندین پارامتر در ارتباط با شرایط هندسی و سینماتیک آسیاب و شرایط رئولوژیک، مکانیکی شیمیایی و فیزیکی شیمیایی مواد می‌باشد. اینک به بررسی پارامترهای زیر می‌پردازیم: μ ، مدت زمان فرایندی است که در خلال آن ماده با غلطکها تماس حاصل می‌کند، از فاصله بین آنها می‌گذرد و سپس از آسیاب جدا می‌شود؛ F_c ، نیروی چسبندگی در واحد سطح بین سطح آسیاب و ماده است؛ P ، افزایش فشار هنگام عبور ماده از فاصله بین دو غلطک است. پارامترهای دیگر عبارتند از: μ ، ویسکوزیته ماده؛ R ، شعاع غلطک؛ $2H_0$ ، فاصله بین دو غلطک در انتقال کند - تند غلطک؛ U ، سرعت سطح غلطک دور کند؛ ψ میزان تغییر شکل ماده؛ V ، سرعت ماده در زمان خروج از غلطک در نقطه انتقال؛ F_c ، نیروی چسبندگی در واحد سطح ماده و θ ، دمای ماده در خلال فرایند.

اصول و روشهای تجزیه ابعادی در کتب درسی ارائه شده است [۱۵] - [۱۳]. در اینجا روش π تجزیه ابعادی با کینگهام (Buckingham) را جهت تعیین گروههای بدون بعد و کاهش تعداد متغیرها به کار می‌بریم در این صورت می‌توانیم بنویسیم:

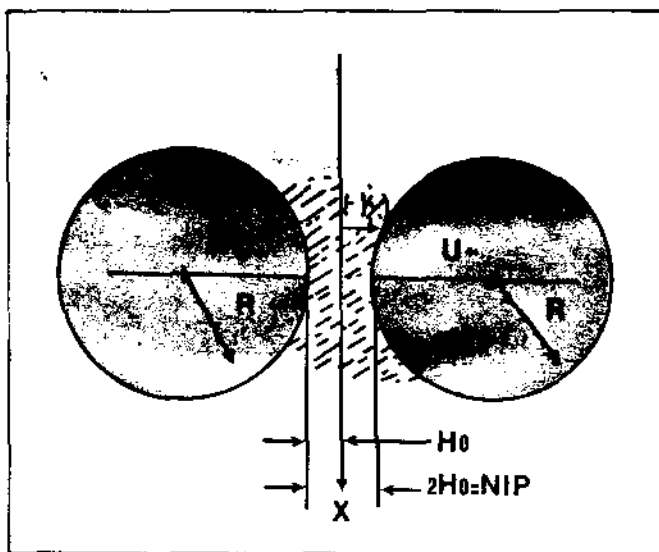
$$F(t_{10}, F_c, P, \mu, R, 2H_0, U, \psi, V, F_c, \theta) = 0 \quad (1)$$

MLT θ را به عنوان بعد پارامترها انتخاب می‌کنیم (θ بعد دماست). کمیتها (یا پارامترها) همراه با ابعاد مربوطه به خود در جدول ۱ فهرست شده‌اند:

t_{10}	F_c	P	μ	R	$2H_0$	U	ψ	V	F_c	θ
زمان	نیروی چسبندگی	نیروی فشار	ویسکوزیته	شعاع	فاصله	سرعت	میزان تغییر شکل	سرعت	نیروی چسبندگی	دما

به منظور ارزیابی اختلاط روی یک آسیاب دو غلطکی، رفتار جریان لاستیک در فاصله بین دو غلطک، توسط عده‌ای از مؤلفین [۵] - [۱] مورد بحث قرار گرفته است. جنبه‌های عمومی موضوع توسط برگن (Bergen) [۲] و پیرسن (Pearson) [۶] مرور شده است. رفتار ویسکوالاستیک غیرنیوتنی نیز توسط توکیتا و وایت (Tokita & white) [۴] و حسونگ (Chong) [۵] بررسی شده است. برای حل مسائل گاهی تئوری لوبریکاسیون هیدرودینامیک نیوتنی رینولد (Reynolds) [۸] و [۷] مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جریان یک سیال ویسکوالاستیک غیرخطی از میان غلطکهای آسیاب، توسط پاسلی (Pasley) [۳] مورد مطالعه قرار گرفته است. مطالعات بیشتری درباره پدیده‌های مکانیکی شیمیایی که در خلال آسیاب لاستومرها رخ می‌دهد، توسط پایک و واتسن (Pike & Watson) [۹]، انگی و چمبرز (Angier & Chambers) [۱۰]، بریستو و واتسن (Bristow & Watson) [۱۱] انجام گرفته است. آنها مشاهده کردند که در اثر تخریب زنجیرهای پلی‌مر با وزن مولکولی بالا به هنگام عبور لاستومرها از غلطکها رادیکالهای آزاد تولید می‌شدند.



شکل ۱ - شرح آسیاب دو غلطکی با جهت جریان مواد.

در حالی که کار قابل ملاحظه‌ای در مورد مشخصات جریان و رفتار مکانیکی شیمیایی مواد به هنگام عبور از بین غلطکها گزارش شده است. ولی در رابطه با تجزیه و تحلیل نحوه تشکیل نوار کار چندانی به عمل نیامده است. یک تجزیه و تحلیل خوب درباره تشکیل نوار به وسیله توکیتا [۱۲] با استفاده از تجزیه ابعادی، ارائه شده است. توکیتا با مفروضات معین و اغماض بعضی از پارامترهای مهم، آنالیز را به طور قابل ملاحظه‌ای ساده کرده است. به علاوه یک ماده ویسکوالاستیک پیچیده برای انجام آزمایشات انتخاب شده است. در این مقاله به منظور وسعت بخشیدن به روش توکیتا سعی شده است متغیرهای مهمتری منظور شود. رفتار اختلاط EPDM, BR, NR و همچنین آلیاژهای NR-BR

کمیت	نماد	بعد
مدت فرایند	t_p	T
نیروی چسبندگی در واحد سطح	F_a	$ML^{-1}T^{-2}$
افزایش فشار	P	$ML^{-1}T^{-2}$
ویسکوزیته	μ	$ML^{-1}T^{-1}$
شعاع غلطک	R	L
فاصله بین دو غلطک	$2H_0$	L
سرعت سطح غلطک (غلطک کند)	U^-	LT^{-1}
سرعت ماده هنگام خروج از غلطکها	V	LT^{-1}
میزان تغییر شکل ماده	$\dot{\gamma}$	T^{-1}
نیروی چسبندگی در واحد سطح ماده	F_c	$ML^{-1}T^{-2}$
دما	θ	θ

$$f_1 \left(\frac{P}{F_a}, \frac{t_p F_a}{\mu}, \frac{2H_0}{t_p U^-}, \frac{R}{t_p U^-}, t_p \dot{\gamma}, \frac{R}{t_p V}, \frac{F_c}{F_a} \right) = 0 \quad (3)$$

برای به دست آوردن فاصله غلطکها ($2H_0$)، از حل معادله (۳) نتیجه زیر حاصل می‌شود.

$$\frac{2H_0}{t_p U^-} = f_2 \left(\frac{P t_p}{\mu}, \frac{t_p F_a}{\mu}, \frac{R}{t_p U^-}, t_p \dot{\gamma}, \frac{R}{t_p V}, \frac{F_c}{F_a} \right) \quad (4)$$

بعد از آنالیز نظری آسیاب [۱۷ و ۱۶ و ۴ و ۷] مدت زمان فرایند به شکل زیر بیان می‌شود:

$$t_p = \frac{X}{U} = \frac{(2H_0 R)^{1/2}}{U(U^+ + U^-)} = \frac{2(2H_0 R)^{1/2}}{U(f+1)} \quad (5)$$

در این معادله X طول مشخصه آسیاب $(2H_0 R)^{-1}$ ؛ U^- سرعت میانگین سطح غلطک و $f = U^+/U^-$ (که در آن U^- سرعت غلطک دور تند است). بنابراین، با استفاده از معادله (۵)، می‌توان گروه‌های $2H_0 t_p U^-$ و $R/t_p U^-$ فاقد هر گونه جزء ثابت را دوباره نوشت:

$$\frac{2H_0}{t_p U^-} = \frac{(f+1)(2H_0/R)^{1/2}}{2} \quad (6)$$

$$\frac{R}{t_p U^-} = \frac{(f+1)(R/2H_0)^{1/2}}{2} \quad (7)$$

چون در این دو گروه هیچگونه جزء ثابتی موجود نیست، حداقل یکی از آنها باید ثابت باشد.

اینک با توجه به معادلات (۶) و (۷) دو عدد N_0 و N_1 را به شکل زیر تعریف می‌کنیم:

$$N_0 = (f+1)(2H_0/R)^{1/2} \quad (8)$$

$$N_1 = (2H_0/R)^{1/2}/(f+1) \quad (9)$$

و با پیگیری تجربی در می‌یابیم که کدام یک از این دو برای آلیاژ لاستیکی ثابت است.

نظر به اینکه چهار بعد مورد بحث می‌باشند، چهار متغیر تکراری هم باید انتخاب شوند؛ علاوه بر این چون متغیرهای تکراری باید دارای هر چهار بعد باشند، θ, F_a, R, μ نیز به عنوان متغیرهای تکراری انتخاب می‌شوند. بنابراین باید هفت پارامتر π (۱۱ - ۴) وجود داشته باشد، که عبارتند از:

$$\pi_1 = t_p^{2a} F_a^{b_1} R^{c_1} \theta^{d_1} P$$

$$\pi_2 = t_p^{2a} F_a^{b_2} R^{c_2} \theta^{d_2} \mu$$

$$\pi_3 = t_p^{2a} F_a^{b_3} R^{c_3} \theta^{d_3} 2H_0$$

$$\pi_4 = t_p^{2a} F_a^{b_4} R^{c_4} \theta^{d_4} U^-$$

$$\pi_5 = t_p^{2a} F_a^{b_5} R^{c_5} \theta^{d_5} \dot{\gamma}$$

$$\pi_6 = t_p^{2a} F_a^{b_6} R^{c_6} \theta^{d_6} V$$

$$\pi_7 = t_p^{2a} F_a^{b_7} R^{c_7} \theta^{d_7} F_c$$

با بسط کمیتها π به ابعاد و حل آنها خواهیم داشت:

$$\pi_1 = \frac{P}{F_a} \quad \pi_2 = \frac{\mu}{t_p F_a} \quad \pi_3 = \frac{2H_0}{R}$$

$$\pi_4 = \frac{t_p U^-}{R} \quad \pi_5 = t_p \dot{\gamma} \quad \pi_6 = \frac{t_p V}{R}$$

$$\pi_7 = \frac{F_c}{F_a}$$

$$f \left(\frac{P}{F_a}, \frac{\mu}{t_p F_a}, \frac{2H_0}{R}, \frac{t_p U^-}{R}, t_p \dot{\gamma}, \frac{t_p V}{R}, \frac{F_c}{F_a} \right) = 0 \quad (10)$$

برگردان گروه‌های دوم، چهارم و ششم و ضرب گروه سوم در عکس بهره‌های چهارم

عملیات باقیمانده مشابه آلیاژهای NR-BR بود. در هر مورد نقطه انتقال تندی به دست آمد. چون رفتار آسیابی EPDM و BIIR هر دو به دما حساس است، لذا با عبور دادن از میان غلطکها دما دقیقاً کنترل شد.

برای ثبت رفتار آسیابی آلیاژها در دماهای بالاتر، غلطکها با عبور دادن جریان بخار از شبکه داخلی آنها گرم شده و به منظور تعیین نقطه انتقال، همان روش قبل اعمال شد. علاوه بر این خصوصیات چسبندگی الاستومرهای خالص به سطح غلطک بررسی و اندازه گیری شده است. برای این منظور نوارهای فلزی از جنس سطح غلطک به عرض ۲/۵ سانتیمتر و با سطحی صاف مشابه سطح غلطک توسط دستگاه تهیه شد. نوارهای الاستومر نیز به ضخامت ۳ میلیمتر و عرض ۲/۵ سانتیمتر تهیه شدند و با نوارهای فلزی تحت فشار قرار گرفتند. زمان تماس ۱۲۰ ثانیه و وزنه مورد استفاده ۱۰۰۰ گرم بود. پس از آن قدرت کنده شدن (پوست گرفتن) این الاستومر از سطح اندازه گیری شد.

۳ - نتایج و مباحنه

برای این بررسی فقط آسیابی که شرح مشخصات آن قبلاً در جدول ۲ آمده است، مورد استفاده قرار گرفت. در این بررسی نسبت سرعت و دما تغییر داده شد. نتایج برای لاستیکهای NR، BR و آلیاژهای NR-BR در جداول ۳ تا ۵ و برای EPDM، BIIR و آلیاژهای EPDM-BIIR در جداول ۶ و ۷ نشان داده شده اند. برای آلیاژهای NR-BR سه نسبت سرعت (۱/۰۴، ۱/۲۶، ۱/۵۱) و برای سیستمهای EPDM-BIIR دو نسبت سرعت (۱/۲۶ و ۱/۵۱) به کار گرفته و گزارش شده اند.

آسیاب اختلاط مورد استفاده در اینکار یک آسیاب دو غلطکی آزمایشگاهی بوده که مشخصات آن در جدول ۲ نشان داده شده است. مواد مورد استفاده عبارت بودند از: لاستیک طبیعی (RMA-1) از دنلب مول/گرم $(M_1 = 3/2 \times 10^5)$ ، EPDM (کلتان ۵۲۱)، از سازمان پژوهشهای فضایی؛ ویسکوزیته مونی M_L در $120^\circ C$ برابر ۴۳، محتوای دی انسی برابر ۴٪ (DPCD)، لاستیک پلی بوتادی (ان) از تولیدات مجتمع پتروشیمی و تهیه شده به وسیله دنلب مول/گرم $(M_1 = 1/7 \times 10^5)$ ، لاستیک برموبوتیل (BIIR) (پلی سار برموبوتیل X، تهیه شده به وسیله آندروپول و کمپانی؛ ویسکوزیته مونی M_L در $120^\circ C$ برابر ۳۷۵)، نسبتهای اجزاء آلیاژ مورد استفاده (NR:BR یا EPDM:BIIR) ۱۰۰:۰، ۱۰:۱۰، ۱:۱۰، ۲۰:۸۰، ۵۰:۵۰، ۷۰:۳۰، ۸۰:۲۰، ۱۰۰:۰.

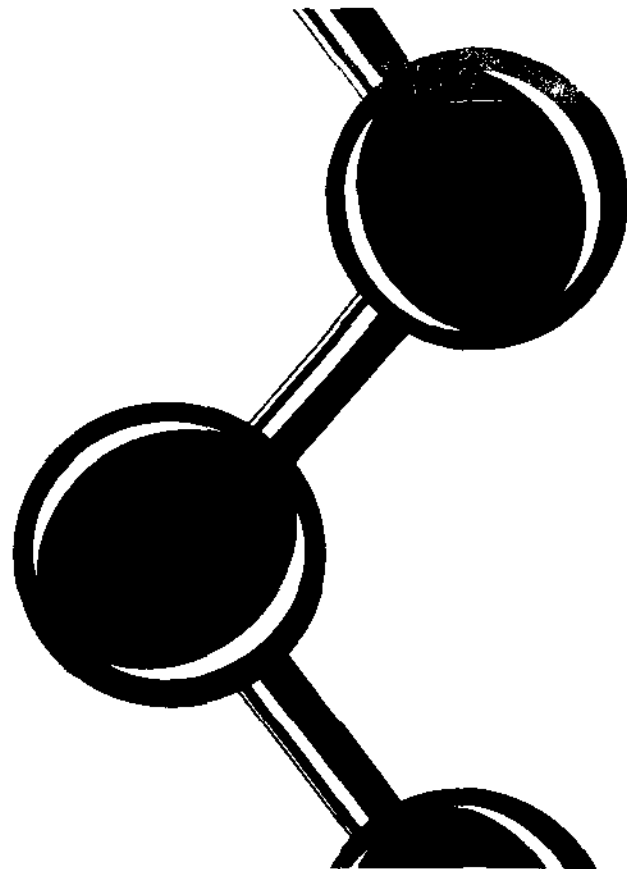
جدول ۲ - شرح مشخصات آسیاب باز دو غلطکی مورد استفاده

۱ - سازنده	اسو انتان، برلین
۲ - نوع	چرخش جدا
۳ - ابعاد غلطک (Cm)	$7/52 \times 32/3$
۴ - سرعت (amps)	۷/۸
۵ - سیستم سرد کننده	حفره های منته شده محیطی
۶ - قدرت کنشی موتور (KW)	۹/۸ هر کدام

روش مورد قبول ممکن است به ترتیب زیر خلاصه شود. وزن پیمانه ای کل برای هر آلیاژ ۱۰۰ گرم بود. هنگام کار با آلیاژ NR و BR، ابتدا NR روی غلطک دور کند به شکل نوار درآمد، سپس در یک فاصله بین دو غلطک مناسب BR به طور جزء به جزء به آن افزوده شد. عمل آسیاب تا وقتی که آلیاژ به شکل یک نوار پیوسته و همگن درآمد، ادامه داشت. دمای غلطکها ثابت نگاه داشته شد. سپس حدود نصف پیمانه کل (تقریباً ۵۰ گرم) جدا و در مخزن آسیاب گذاشته شد. ماده باقیمانده روی غلطک برای رفتار آزادانه رها شد. فاصله بین دو غلطک بتدریج کاسته شد و نقطه انتقال، به هنگام جابه جایی ماده از غلطکی به غلطک دیگر یادداشت شد. فاصله بین دو غلطک در این نقطه انتقال $(2H_0)$ به وسیله عبور دادن یک نوار سربی از بین دو غلطک و اندازه گیری ضخامت نوار، بعد از عبور از غلطکها، برای آلیاژهای NR-BR با محتوای BR کمتر از ۵۰٪ که نقطه انتقال تندی را نشان نداد، نقطه انتقال به عنوان نقطه ای در نظر گرفته شد که ماده بدون تشکیل نوار روی غلطکها، از آسیاب خارج می شود. برای سایر حالات نیز نقطه انتقال تند بدست آمد و فاصله بین دو غلطک در این نقطه به صورت $2H_0$ در نظر گرفته شد.

برای آلیاژهای EPDM-BIIR الاستومرها به طور همزمان تغذیه شدند و عمل خرد کردن تا حصول یک نوار پیوسته و همگن از آلیاژ ادامه یافت.

علوم تکنولوژی پلیمر
سال اول - شماره دوم



جدول ۳ - داده‌های آسیاب برای آلیاژهای NR-BR در ۳۶°C و $f = ۱.۰۴$

شماره نمونه NR-BR	γH_0 (Cm)	t_p (s)	مدت آسیاب (دقیقه) و مشاهدات	N_0	N_1
A ₁	۱۰۰۰۰	۰.۰۳۶	۱۲ دقیقه: نوار پیوسته، بدون انتقال از غلطک دور ۷۸	۰.۰۷۸	۰.۰۱۹
A ₂	۹۰۰۶۰	۰.۰۲۳	کند به غلطک دور تند	۰.۰۵۸	۰.۰۱۴
A ₃	۸۰۰۲۰	۰.۰۲۴	۱۶ دقیقه: نوار همگن پیوسته، بدون انتقال غلطک	۰.۰۸۵	۰.۰۲۰
A ₄	۵۰۰۵۰	۰.۰۲۳	۱۲ دقیقه: نوار همگن پیوسته، بدون انتقال غلطک	۰.۰۵۶	۰.۰۱۴
A ₅	۳۰۰۷۰	۰.۰۱۹	۱۵ دقیقه: نوار همگن پیوسته، انتقال غلطک	۰.۰۳۷	۰.۰۱۱
A ₆	۲۰۰۸۰	۰.۰۲۶	۱۲ دقیقه: نوار همگن پیوسته، انتقال غلطک	۰.۰۶۴	۰.۰۱۵
A ₇	۰.۰۱۰۰	—	۱۵/۵ دقیقه: نوار همگن پیوسته، انتقال غلطک بدون تشکیل هیچگونه نواری روی هر کداه از غلطکها، حتی بعد از ۱۷ دقیقه آسیاب کردن در کمترین فاصله بین دو غلطک	—	—

جدول ۴ - داده‌های آسیاب برای آلیاژهای NR-BR در ۳۶°C و $f = ۱/۲۶$

شماره نمونه NR-BR	γH_0 (Cm)	t_p (s)	مدت آسیاب (دقیقه) و مشاهدات	N_0	N_1
B ₁	۱۰۰۰۰	۰.۰۵۲	۹ دقیقه: نوار پیوسته اما بدون انتقال از غلطک دور کند به غلطک دور تند	۰.۱۴۵	۰.۰۲۸
B ₂	۹۰۰۶۰	۰.۰۵۳	۱۶ دقیقه: نوار همگن پیوسته، بدون انتقال غلطک	۰.۱۰۰	۰.۰۲۹
B ₃	۸۰۰۲۰	۰.۰۳۹	۱۱ دقیقه: نوار همگن پیوسته، بدون انتقال غلطک	۰.۱۱۱	۰.۰۲۴
B ₄	۵۰۰۵۰	۰.۰۱۳	۱۴ دقیقه: نوار همگن پیوسته، انتقال غلطک	۰.۰۲۵	۰.۰۰۹
B ₅	۳۰۰۷۰	۰.۰۱۳	۱۵ دقیقه: نوار همگن پیوسته، انتقال غلطک	۰.۰۴۵	۰.۰۰۹
B ₆	۲۰۰۸۰	۰.۰۲۳	۱۶ دقیقه: نوار همگن پیوسته، انتقال غلطک	۰.۰۶۴	۰.۰۱۲
B ₇	۰.۰۱۰۰	۰.۰۱۲	۱۶ دقیقه: نوار پیوسته، انتقال غلطک	۰.۰۳۷	۰.۰۰۷

جدول ۵ - داده‌های آسیاب برای آلیاژهای NR-BR در ۳۶°C و $f = ۱/۵۱$

شماره نمونه NR-BR	γH_0 (Cm)	t_p (s)	مدت آسیاب (دقیقه) و مشاهدات	N_0	N_1
C ₁	۱۰۰۰۰	۰.۱۵۲	۹ دقیقه: نوار پیوسته، بدون انتقال از غلطک دور کند به غلطک دور تند	۰.۴۱۷	۰.۰۶۶
C ₂	۹۰۰۶۰	۰.۱۲۵	۱۳ دقیقه: نوار همگن پیوسته، بدون انتقال غلطک	۰.۳۴۲	۰.۰۵۴
C ₃	۸۰۰۲۰	۰.۰۸۵	۱۷ دقیقه: نوار همگن پیوسته، بدون انتقال غلطک	۰.۲۳۳	۰.۰۳۷
C ₄	۳۰۰۷۰	۰.۰۳۳	۱۷ دقیقه: نوار همگن پیوسته، انتقال غلطک	۰.۰۹۱	۰.۰۱۴
C ₅	۲۰۰۸۰	۰.۰۲۸	۱۱ دقیقه: نوار همگن پیوسته، انتقال غلطک	۰.۰۷۶	۰.۰۱۲
C ₆	۰.۰۱۰۰	۰.۰۲۱	۱۰ دقیقه: نوار همگن پیوسته، انتقال غلطک	۰.۰۵۸	۰.۰۰۹

شماره نمونه	EPDM: BIIR	$\gamma H_0 (cm)$	$f_p (s)$	مدت آسیاب (دقیقه) و مشاهدات	N_0	N_1
Y ₁	۱۰۰:۰	۰.۲۳	۰.۵۱	۵ دقیقه: نوار پیوسته، انتقال از غلطک دور کند به غلطک دور تند	۰.۱۳۹	۰.۲۲
Y ₂	۹۰:۱۰	۰.۲۹	۰.۵۷	۵ دقیقه: نوار پیوسته، انتقال غلطک	۰.۱۵۶	۰.۲۵
Y ₃	۸۰:۲۰	۰.۳۰	۰.۵۸	۴/۵ دقیقه: نوار پیوسته، انتقال غلطک	۰.۱۵۸	۰.۲۵
Y ₄	۵۰:۵۰	۰.۳۲	۰.۶۰	۴/۵ دقیقه: نوار پیوسته، انتقال غلطک	۰.۱۶۸	۰.۲۶
Y ₅	۳۰:۷۰	۰.۲۶	۰.۵۲	۲ دقیقه: نوار پیوسته، انتقال غلطک	۰.۱۲۸	۰.۲۳
Y ₆	۲۰:۸۰	۰.۳۰	۰.۵۸	۲ دقیقه: نوار پیوسته، انتقال غلطک	۰.۱۵۸	۰.۲۵
Y ₇	۰:۱۰۰	۰.۲۶	۰.۵۲	۳ دقیقه: نوار پیوسته، انتقال غلطک	۰.۱۲۸	۰.۲۳

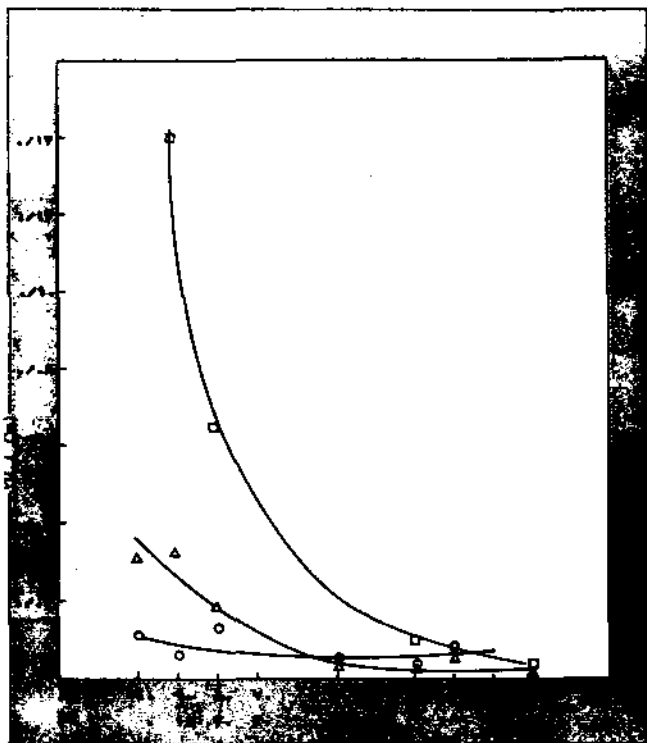
جدول ۷ - داده‌های آسیاب برای آلیاژهای EPDM - BIIR در ۳۶°C و $f = 1/51$

شماره نمونه	EPDM - BIIR	$\gamma H_0 (cm)$	$f_p (s)$	مدت آسیاب (دقیقه) و مشاهدات	N_0	N_1
X ₁	۱۰۰:۰	۰.۰۵	۰.۲۱	۲ دقیقه: نوار یکواخت پیوسته، انتقال از غلطک دور کند به غلطک دور تند	۰.۰۵۸	۰.۱۱
X ₂	۹۰:۱۰	۰.۱۱	۰.۳۱	۵ دقیقه: نوار همگن پیوسته، انتقال غلطک	۰.۰۸۶	۰.۱۷
X ₃	۸۰:۲۰	۰.۰۸	۰.۲۶	۵ دقیقه: نوار همگن پیوسته، انتقال غلطک	۰.۰۷۴	۰.۱۴
X ₄	۵۰:۵۰	۰.۱۳	۰.۳۳	۵ دقیقه: نوار همگن پیوسته، انتقال غلطک	۰.۰۹۴	۰.۱۸
X ₅	۳۰:۷۰	۰.۱۰	۰.۲۹	۵/۵ دقیقه: نوار همگن پیوسته، انتقال غلطک	۰.۰۸۲	۰.۱۶
X ₆	۲۰:۸۰	۰.۱۵	۰.۳۶	۶ دقیقه: نوار همگن پیوسته، انتقال غلطک	۰.۱۰۱	۰.۲۰
X ₇	۰:۱۰۰	۰.۱۲	۰.۳۲	۲ دقیقه: نوار همگن پیوسته، انتقال غلطک	۰.۰۹۰	۰.۱۸

انتظار بود، زیرا مقدار N_1 مربوط به NR خالص در دمای اطاق و در یک نسبت سرعت بالاتر، در مقایسه با BR خالص، خیلی بالاتر بود. مقدار N_0 بالاتر NR احتمالاً به علت قدرت چسبندگی زیادتر آن است. لذا کاهش مقدار N_0 با افزایش محتوای BR ادامه پیدا کرد.

در مورد مقادیر N_1 ، γH_0 و f_p نیز همین روند دنبال می‌شود (شکل‌های ۲ تا ۴). چون مقادیر N_1 ، N_0 و f_p به طور مستقیم با γH_0 (معادلات (A)، (۹)، (۵)) متناسب هستند، مقدار این کمیتها با افزایش γH_0 فزونی و با کاهش آن نقصان می‌یابد. مقادیر γH_0 مربوط به آلیاژهای NR-BR در نسبتهای سرعت بیشتر، زیاد بودند. در دمایی حدود $90^\circ C$ NR خالص در یک فاصله خیلی کم بین دو غلطک، روی غلطک دور کند نوار شد. جداول ۶ و ۷ داده‌های مربوط به آسیاب کردن آلیاژهای EPDM-BIIR را نشان می‌دهند. با بررسی این جداول مشاهده می‌شود که مقادیر N_0 ، برای تمام آلیاژها در نسبتهای سرعت بالا و پائین، تقریباً ثابت است. مقدار N_0 در نسبت سرعت بیشتر (1/51)، در مقایسه با نسبت سرعت پائینتر به مراتب بیشتر بود. باید توجه کرد که تمام آلیاژهای EPDM و BIIR نقطه انتقال تندی در دمای اطاق از خود پیروز داشتند. علاوه بر این ویژگیهای نیز در رفتار آسیابی آنها مشاهده شد.

در مورد آلیاژهای NR-BR (جدول ۵ - ۳) مشاهده شد که آلیاژهای حاوی کمتر از ۵۰٪ BR، انتقال از غلطک دور کند به غلطک دور تند در دمای اطاق، حتی در فاصله خیلی کم بین دو غلطک و زمان طولانی عمل خرد کردن (Mastication) روی نمی‌دهد. اما در آلیاژهای حاوی ۵۰٪ BR یا بیشتر، در دمای اطاق، انتقال غلطکی تندی را نشان دادند. هنگامی که نسبت سرعت پائین بود (۱/۴)، BR به تنهایی روی هیچ‌یک از غلطکها، در فاصله خیلی کم بین دو غلطک و زمان طولانی عمل خرد کردن، نوار نشد. در عوض NR در دمای اطاق و در هر نسبت سرعتی روی غلطک دور کند نوار می‌شد. بنابراین، رفتار آلیاژها حد واسطی از رفتار هریک از اجزاء به طور خالص بود. مقادیر N_0 آلیاژهای NR-BR در نسبت سرعت باین تقریباً ثابت باقی ماند، ولی در یک نسبت سرعت بالاتر، در مقادیر N_0 آلیاژها تفاوت قابل ملاحظه‌ای مشاهده شد (شکل ۲). مقدار N_0 آلیاژهای حاوی ۵۰٪ BR یا بیشتر در نسبت سرعت بالا به مقدار به دست آمده در نسبت سرعت پائینتر کاملاً نزدیک بود. در یک نسبت سرعت بالا (1/51) در مقایسه با 1/۴) هنگامی که محتوای BR آلیاژهای NR-BR افزایش یافت و سپس در سطح ثابتی باقی ماند، مقدار N_0 آنها همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، شدیداً سقوط کرد این نتیجه قابل

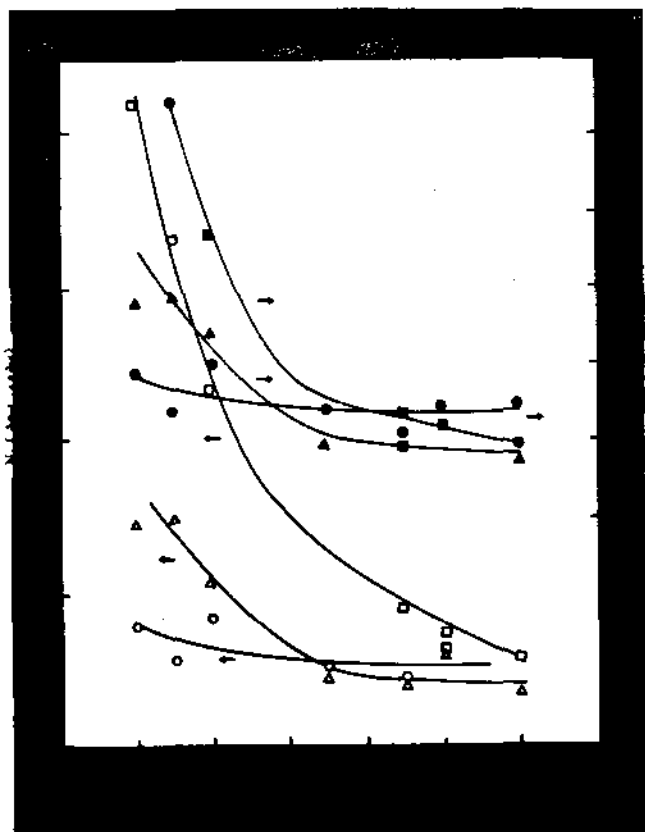


شکل ۳ - $2H_0$ در $36^\circ C$ برای آلیاژهای NR-BR متفاوت در نسبتهای سرعت مختلف - ○ در $2H_0$ در $f = 1/51$ □ در $2H_0$ در $f = 1/26$ Δ در $2H_0$ در $f = 1/4$

نمونه NR به علت وجود شکستگیهای گسترده در وزن مولکولی خود در نقطه انتقال، پایینترین مقدار را ارائه کرد؛ در واقع ماده چسبنده شد. شکستگی در وزن مولکولی EPDM و BR، حتی بعد از مدت طولانی عمل خرد کردن به مراتب کمتر بود؛ به همین دلیل تغییر در قدرت چسبندگی این نمونهها به اندازه کافی محسوس نبود.

۴- نتیجه گیری

رفتار آسیابی لاستیک طبیعی (NR)، لاستیک پلی بوتادی ان (BR)، لاستیک اتیلن-پروپیلن-دی ان (EPDM)، لاستیک برموبوتیل (BIIR) و آلیاژهای NR/BR و EPDM/BIIR در نسبتهای سرعت متفاوت و دماهای مختلف غلطکها مورد مطالعه قرار گرفته است. یک رابطه ریاضی بین پارامترهای مختلف با کمک روش π تجزیه ابعادی با کینگهام برقرار شده است. مقدار $1/4 (2H_0 R) = (f+1) N_0$ ، (که در آن f نسبت سرعت، $2H_0$ فاصله بین دو غلطک در نقطه انتقال و R شعاع غلطکهاست)، یک عدد بدون بعد است؛ و برای یک سری از آلیاژهای EPDM/BIIR در یک نسبت سرعت و دمای خاص تقریباً ثابت است. برای آلیاژهایی با محتوای BR ۵۰٪ یا بیشتر صادق است. برای تمام آلیاژها یک نقطه انتقال غلطک دور تند - دور کند وجود دارد که به دما بستگی دارد. آلیاژهای EPDM/BIIR این نقطه انتقال را در تمام دماها نشان می دهند، در صورتی که برای آلیاژهای NR/BR این نقطه فقط در دمای بالا یا با محتوای BR ۵۰٪ یا بیشتر مشاهده می شود.

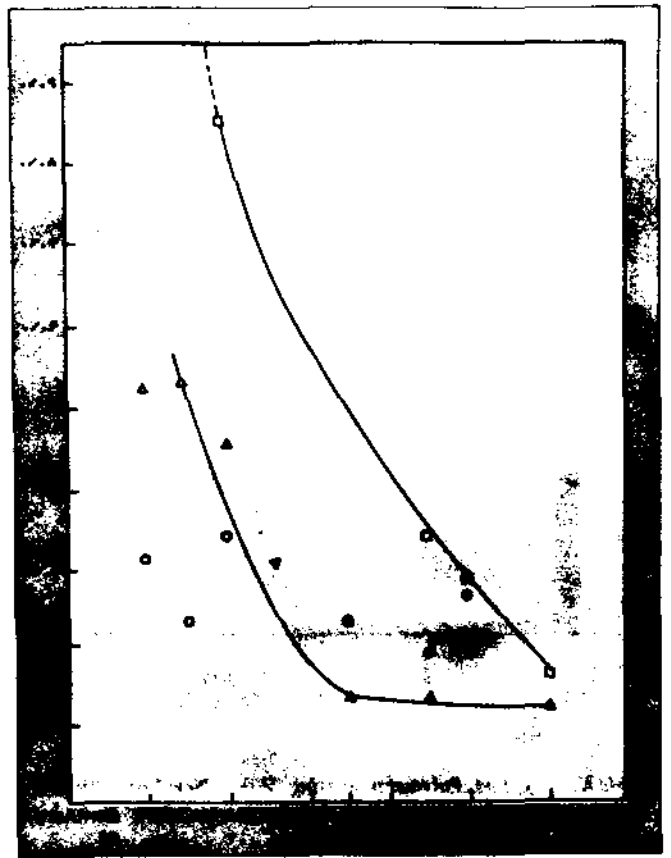


شکل ۴ - مقادیر N_0 در $36^\circ C$ برای آلیاژهای NR-BR متفاوت در نسبتهای سرعت مختلف - ○ در $2H_0$ در $f = 1/4$ □ در $2H_0$ در $f = 1/26$ Δ در $2H_0$ در $f = 1/51$ ◊ در $2H_0$ در $f = 1/26$

گاهی در خلال عمل آسیاب ماده روی هر دو غلطک بصورت نسوار در می آید و نهایتاً کل توده روی غلطک دور تند منتقل می شود. این عمل در مورد آلیاژهای با محتوای BIIR بیشتر نسبت به EPDM سریباً اتفاق می افتاد.

مقادیر H_0 برای EPDM خالص و BIIR در دمای اطباق خیلی به هم نزدیک بودند (جدول ۶ و ۷). نظریه اینکه از آلیاژهای دو جزئی رفتار حدواسطی مورد انتظار است، مقدار N_0 برای همه آنها مشابه است. در مقادیر $2H_0$ ، N_0 نیز به همین روند دنبال می شود. (اشکال ۵ و ۶). در حالی که مقدار N_0 در دمای اطباق تقریباً ثابت باقی می ماند، با افزایش دما این مقدار روبه کاهش می گذاشت (شکل ۷). این رفتار ممکن است به علت کاهش نسبت چسبندگی با ازدیاد دما باشد.

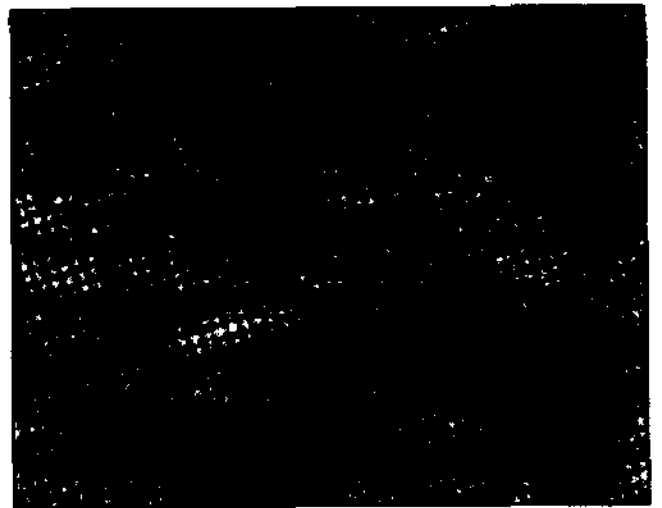
جدول ۸ مشخصه های چسبندگی چهار الاستومر را با سطح غلطک تحت شرایط نقطه انتقال نشان می دهد. برای نمونه BIIR بیشترین چسبندگی مشاهده شد، که این خاصیت عمدتاً به علت وجود گروه برمید قطبی در زنجیر الاستومر است.



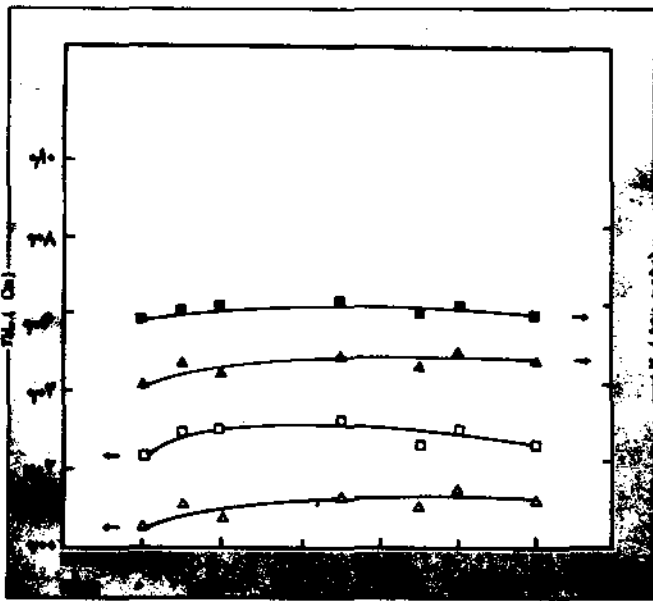
نسبت آلیاژ

شکل ۴- نمودار برای آلیاژهای NR-BR متفاوت در سرعت مختلف، در ۲۳°C. \square : $f = 1/26$ در ۱۰۰، Δ : $f = 1/51$ در ۱۰۰

جدول ۸ - استحکام چسبندگی لاستیک به سطح غلطک

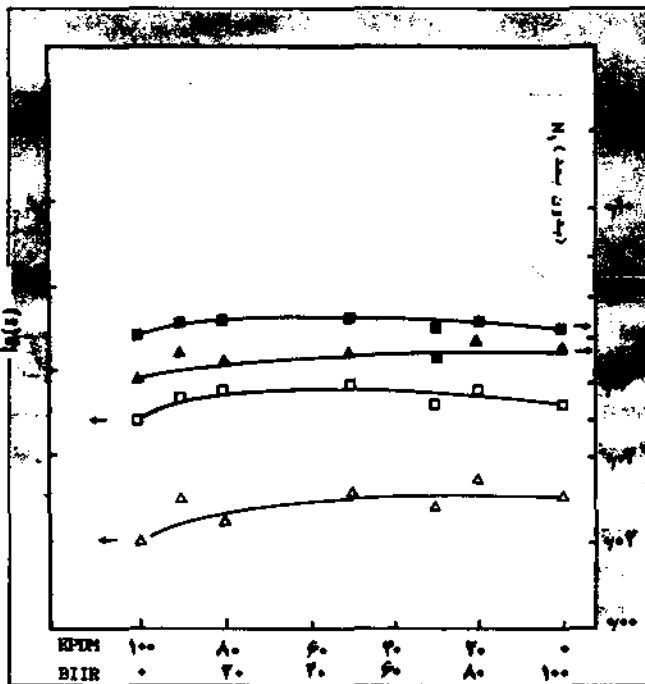


سرعت آزمایش = دقیقه / میلی متر ۵۰۰: پهنای آزمایش ۲۳°C؛ وزنه = ۱۰۰۰ گرم
علوم تکنولوژی سال اول - شماره دوم



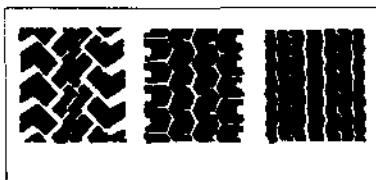
نسبت آلیاژ

شکل ۵- نمودار برای آلیاژهای EPDM-BIIR متفاوت در نسبتهای سرعت مختلف، در ۲۳°C. \square : $f = 1/26$ در ۱۰۰، Δ : $f = 1/51$ در ۱۰۰، \circ : $f = 1/102$ در ۱۰۰، \diamond : $f = 1/204$ در ۱۰۰



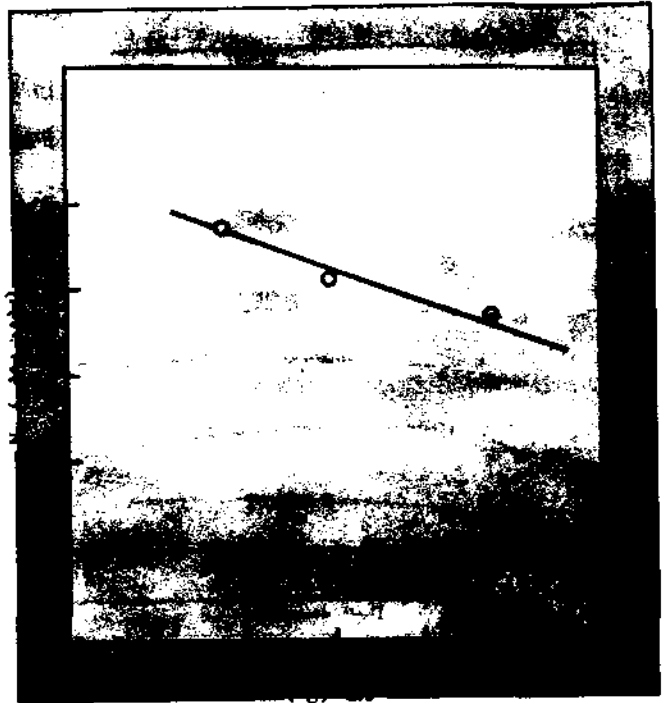
نسبت آلیاژ

شکل ۶- نمودار برای آلیاژهای EPDM-BIIR متفاوت در نسبتهای سرعت مختلف، در ۲۳°C. \square : $f = 1/26$ در ۱۰۰، Δ : $f = 1/51$ در ۱۰۰، \circ : $f = 1/102$ در ۱۰۰، \diamond : $f = 1/204$ در ۱۰۰



References

- [1] Mc Kel. Vy, J.M. *Polymer processing*, Wiley, New York, 1963
- [2] Bergen, J.T. *Processing of thermoplastic materials*, Bernhardt, E.C (ed). Reinhold, New York, 1959
- [3] Pasley, P.R. *Calendering of a viscoelastic material*, *J. Appl. Mech*, 24 (1957), pp 602-8
- [4] Tokita, N. and White, J.L., *Mill behaviour of gum elastomers, experiment and theory*. *J. Appl. polym. sci.*, 10 (1966), pp. 1011 - 26
- [5] Chong, J.S. *Calendering thermoplastic materials*, *J. Appl. Polym. Sci.*, 12 (1968), pp. 191-212
- [6] Pearson, J.R. *Mechanical principles of polymer melt processing* Pergamon Press, New York, 1966
- [7] Langlois, W.E. *Slow viscous flow*, Mcmillan, New York, 1964.
- [8] Schlichting, H. *Boundary layer theory*, 4th ed., McGraw Hill, New York, 1962
- [9] Pike, M. and Watson, W.F. *Mastication of rubber, I. Mechanism of plasticizing by cold mastication*. *J. Polym. sci.*, 9 (1952), pp. 229-51
- [10] Angler, D.J. and Chambers, W.T. *Mastication of rubber, VI. Viscosity and molecular relationships for natural rubber after cold mastication. wight relationships for natural rubber after cold mastication*, *J. polym. Sci.*, 25 (1957), pp. 129-38
- [11] Bristow, G. M. and Watson, W.F. *the chemistry and physics of rubber like substances*, Bateman, I., (ed). MacIaren, London, 1963
- [12] Tokita, N. *Analysis of band formation in mill operation*. *Rubb. chem. Technol.*, 52 (1979), pp. 387-99.
- [13] Langhaar, H. I., *Dimensional analysis and theory of models*, Wiley, New York, 1951
- [14] Knudsen, J. G. and Katz, D.L. *Fluid dynamics and heat transfer*, McGraw Hill, New York, 1958.
- [15] Streeter, V.L. *Fluid mechanics*, McGraw Hill, Newyork, 1971
- [16] Kumar, A. and Gupta. S.K. *Fundamentals of polymer science and engineering*, TaTu McGraw Hill publishing Co, Ltd, New Delhi, 1978
- [17] Wagner, M.G. *Mill behaviour of elastomers; scale up criteria*, *J. Appl. Polym. Sci.*, 14 (1970), pp. 757-63



شکل ۷ - N_p بر حسب دما برای نسبت ۵۰:۵۰ از آلیاژهای EPDM-BIIR در ۱۱۷۶



واژه‌نامه:

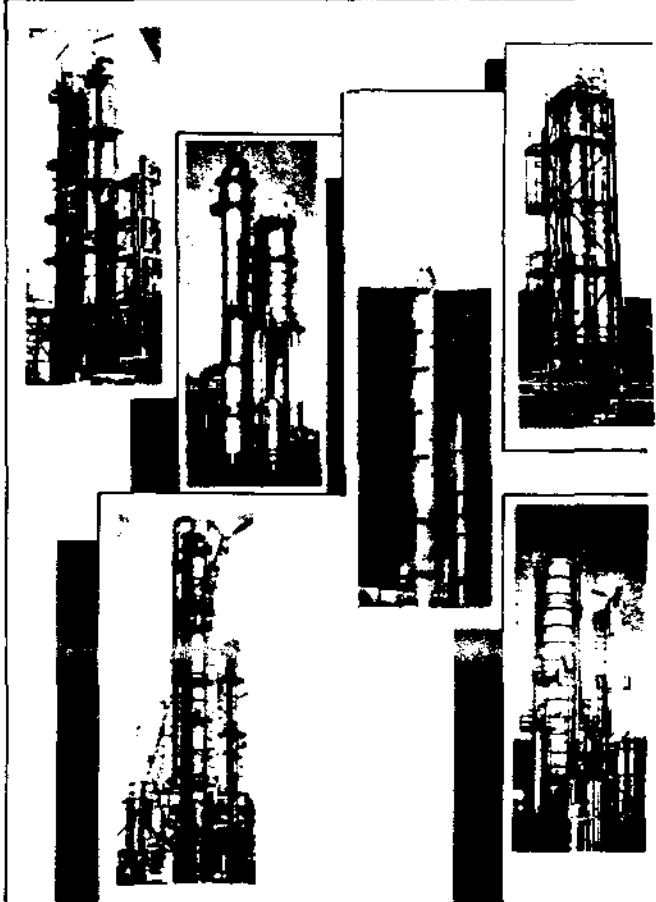
Mill	آسیاب
Milling	آسیاب‌ی
Nip Gap	فاصله بین دو غلطک
Blend	آلیاژ
Speed Ratio	نسبت سرعت
To Band	تشکیل نوار دادن - نوار شدن
Mixing	اختلاط
Compound	آمیزه
Mechan Chemical	مکانیکی شیمیایی
Physicochemical	فیزیکی شیمیایی
Transition	انتقال
Kinematic	سینماتیک
Dimensional Analysis	تجزیه ابعادی
Dimension (B)	بعد (ابعاد)
Batch	بیمانه
Mastication	عمل خرد کردن
Trend	روند
Constant Material	جزء ثابت
Break down	شکستگی

صلاً طرحی و حده باید ز نظر اقتصادی مترون به صرفه باشد. یکی از عوامل مهمی که در اقتصادی بودن فرآیندها را جمعه فرآیند تولید استیرن نفس در بازیابی گرما است. به همین دلیل در تکنولوژی های مختلف سعی می شود که این موضوع از طریق طراحی راکتورهای آدیاباتیک، تبادل گرما بین جریانهای گره و سرد و تولید بخار لازم از گرمای خروجی از راکتور، رعایت شود.

S.	نسبت بخار به اتیل بنزن
T	دما بر حسب درجه کلوین
X _i	گره مول عنصر که از هر گرم مول اتیل بنزن بدست می آید که در آن ۱، ۲ و ۳ به ترتیب استیرن، بنزن و تولوئن را جایگزین می کند.
X _{eq}	درصد تبدیل تعادلی برای واکنش تولید استیرن
P	وزن مخصوص کاتالیزور بر حسب گرم بر سانتیمتر مکعب
θ	کل اتیل بنزن تبدیل شده بر حسب گرم مول

فهرست اصطلاحات

A	سطح راکتور عمود بر جهت جریان بر حسب سانتیمتر مربع
B	نسبت جذب سطحی برای عنصر A که در آن T, I, H, E, E, B به ترتیب برای بنزن، اتیل بنزن، استیل بنزن، هیدروژن و تولوئن جایگزین می شود.
b	ضریب تطبیق رابطه (۴۰) برای عنصر A بر حسب استمر
E _i	انرژی فعال سازی برای واکنش A که در آن ۱، ۲ و ۳ به ترتیب برای واکنش استیرن، بنزن و تولوئن جایگزین می شود و بر حسب کالری برای هر گرم مول
F	شدت جریان اتیل بنزن بر حسب گرم مول در ساعت
K ₁	شدت جریان در دمای T بر اساس تجربیات کار پوند مول در ساعت و اتمسفر برای هر پوند از کاتالیزور
K ₂	شدت جریان برای واکنش A که در آن ۱، ۲ و ۳ به ترتیب برای واکنش استیرن، بنزن و تولوئن جایگزین می شود. بر حسب گرم مول در دقیقه برای هر گرم از کاتالیزور
K ₃	برای واکنش A که در آن ۱، ۲ و ۳ به ترتیب برای واکنش استیرن، بنزن و تولوئن جایگزین می شود بر حسب گرم مول در دقیقه برای هر گرم از کاتالیزور
K _{4(t)}	شدت جریان در دمای T بر اساس تجربیات و نر (۷) بر حسب پوند مول در ساعت و اتمسفر برای هر پوند از کاتالیزور
K ₅	دابت تعادل برای واکنش A
N _i	ممول های عنصر A در ساعت - که در آن S, H, E به ترتیب برای اتیل بنزن، هیدروژن، استیرن، پخار آب جایگزین می شود
P	فشار کلی به اتمسفر
P _i	فشار جزئی عنصر A - که در آن S, I, H, E, T, E, B به ترتیب برای بنزن، اتیل بنزن، استیل بنزن، استیرن، هیدروژن و تولوئن جایگزین می شود. بر حسب اتمسفر
Q _i	گرمای جذب سطحی عنصر A - که در آن S, E به ترتیب برای اتیل بنزن و استیرن جایگزین می شود. بر حسب کالری بر گرم مول
r _i	شدت جریان واکنش برای واکنش A - که در آن ۱، ۲ و ۳ به ترتیب استیرن، بنزن و تولوئن را جایگزین می کند بر حسب گرم مول در دقیقه برای هر گرم کاتالیزور
R	نابت گازها بر حسب کالری برای هر گرم مول دمای کلوین (۱/۹۸۷)



References:

- [1] Process Economics Program: SRI, 1973
- [2] Bohm, H.G., and R. Wenske, "Kinetic Reaction Investigation of the Dehydrogenation of Ethylbenzene," Inst. Chemicalogen. Dresden, East Germany (1965).
- [3] Carra, S., and L. Forni, Ind. Eng. Chem. Product Design Develop., 4 (3), 281 - 285 (July 1965)
- [4] Bogdanova, O.K., et al., Petrol. Chem. U.S.S.R. (Neftekhimiya) 1 (1), 120 - 127 (1962).
- [5] Weller, s., AIChEJ., 2 (1), 59 - 62 (Mar. 1956).
- [6] Hinshelwood, C.N., The Kinetics of Chemical Change, Clarendon Press. Oxford, England (1940).
- [7] Langmuir, I., J. Am. Chem. soc., 40 (9), 1361 - 1403 (Sept. 1918).
- [8] Wenner, R.R., and E.C. Dybdal, Chem. Eng. Progr., 44 (4), 275 - 286 (Apr. 1948).
- [9] Ashmore, P.G., Catalysis and Inhibition of Chemical Reactions, Butter Worths, London (1963).
- [10] Pitzer, K.S., L. Grutman, and E.F. Westrum, J. Am. Chem. Soc., 2209 - 2290 (1946).

ادامه دارد...