

به نام خدا



دانشگاه صنعتی امیر کبیر

دانشکده پلیمر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر - صنایع پلیمر

بررسی اثر عوامل ساختاری بر خواص ویسکوالاستیک SBR

نگارش

سید مرتضی سادات شیرازی

استاد راهنما

دکتر اعظم جلالی آرانی

استاد مشاور

دکتر علی اصغر کتباب

اسفند ۸۵

خلاصه:

الاستومرها گروهی از مواد پلیمری را تشکیل می دهند که رفتار و خواص الاستیک ویژه ای دارند و این نوع رفتار کار برد آنها را در فراورده های گوناگون میسر ساخته است، لذا کارایی محصولات لاستیکی به این ویژگی ها و پارامترهای موثر بر آن وابسته است. در این تحقیق تاثیر پارامترهای ساختاری و تفاوت آنها در SBR امولسیون و محلولی مورد بررسی قرار می گیرد. برای بررسی از سه نوع SBR امولسیون و دو نوع محلولی استفاده شد. آزمایشات مونی ویسکوزیته، ویسکوزیته محلولی رقیق و FTIR روی آن ها انجام گرفت. سپس از هر الاستومر آمیزه با دوده و بدون دوده تهیه شد خواص این آمیزه ها قبل و بعد از پخت بررسی شد.

نتایج نشان می دهد که جرم مولکولی و پراکندگی آن نقش موثری در تعیین خواص فیزیکی مکانیکی و خواص ویسکوالاستیک آمیزه ها دارند و در جایی که این فاکتورها تفاوت عمده ای ندارند، فاکتور ایزومری اهمیت پیدا می کند. ایزومری هم روی خواص و هم روی میزان نفوذ الاستومر به ساختارهای دوده موثر است به این ترتیب که الاستومر دارای درصد ایزومر سیس بیشتر الاستیک تر عمل می کند اما تقویت پذیری آن با دوده به علت الاستیسیته بالاتر زنجیرها کمتر است.

نتایج آزمون رئومتری نیز نشان می دهد که توزیع جرم مولکولی نقش موثری روی نحوه پخت دارد و الاستومرهای محلولی و امولسیونی پخت یکسانی ندارند و همین باعث می شود که بعد از پخت، روند تغییرات خواص متفاوت با قبل از پخت آن ها باشد.

مقایسه نتایج آزمون RMS و DMTA روی نمونه ها بیانگر این بود که برای بررسی اثر پارامترهای ساختاری آزمون DMTA به تنهایی کافی نیست (زیرا همان طور که ذکر شد، الاستومرهای SBR امولسیونی و محلولی پخت مشابهی ندارند)، مگر این که تحت شرایطی اثر پخت نیز لحاظ شود. نتایج به دست آمده از آزمون RMS نشان داد که برقراری رابطه محاسباتی بین نتایج و پارامترهای ساختاری امکان پذیر است.

فهرست:

مقدمه	۱
بخش اول: الاستومر SBR	۵
مقدمه	۶
سنتز SBR	۸
تهیه استایرن و بوتادین	۸
پلیمریزاسیون	۹
پلیمریزاسیون امولسیونی SBR	۱۰
پلیمریزاسیون امولسیونی سرد	۱۰
پلیمریزاسیون امولسیونی گرم	۱۲
گسترده کردن با روغن	۱۲
پایدار کننده ها	۱۳
عوامل موثر در تولید SBR های امولسیونی	۱۴
استانداردهای طبقه بندی انواع SBR های امولسیونی	۱۴
پلیمریزاسیون محلولی SBR	۱۵
مشخصات و مقایسه ساختاری انواع SBR	۱۷

۱۸.....	خواص فیزیکی انواع SBR و تفاوت های آن ها
۲۱.....	آمیزه کاری و فرآیند.....
۲۴.....	ولکانیزاسیون
۲۵.....	خواص آمیزه های ولکانیزه شده انواع SBR.....
۳۰.....	بخش دوم: ویسکوالاستیسیته و مدل های ویسکوالاستیک.....
۳۱.....	مقدمه
۳۳.....	معرفی خواص دینامیکی مکانیکی و توابع ویسکوالاستیک.....
۳۳.....	مدول ذخیره و اتلاف و کامپلیانس
۳۵.....	سایر توابع ویسکوالاستیک
۳۶.....	مدل های ویسکوالاستیک.....
۳۶.....	مدل های مکانیکی.....
۴۲.....	مدل های بر مبنای تئوری های مولکولی.....
۴۳.....	اصل تطابق زمان - دما
۴۷.....	دستگاه های رایج اندازه گیری خواص ویسکوالاستیک
۴۹.....	بخش سوم: ویسکوالاستیسیته رابرها
۵۰.....	ویسکوالاستیسیته رابرها.....

- رفتار ویسکوالاستیک الاستومر خام ۵۱
- ناحیه پلاتو ۵۲
- ناحیه انتقال شیشه ای ۵۳
- ناحیه شیشه ای ۵۴
- ناحیه انتهایی ۵۴
- نمودار ویسکوالاستیک الاستومر پخت شده ۵۵
- نقش دوده در خواص ویسکوالاستیک رابرها ۵۷
- نقش ویسکوالاستیک رابرها در عملکرد تایر ۵۹
- بخش چهارم: بخش آزمایشگاهی ۶۲
- مواد مصرفی ۶۳
- فرمول بندی آمیزه ۶۳
- تهیه و ساخت آمیزه ها ۶۵
- آزمون ها ۶۶
- آزمون های انجام گرفته روی الاستومر خام ۶۶
- آزمون ویسکومتری رقیق ۶۶
- آزمون طیف سنجی مادون قرمز ۷۰

۷۲	.....	آزمون ویسکومتر مونی
۷۴	.....	آزمون RMS
۷۴	.....	آزمون استخراج روغن
۷۵	.....	آزمون های انجام گرفته روی آمیزه های خام
۷۵	.....	آزمون ویسکومتر مونی
۷۵	.....	رئومتر دیسک نوسانی
۷۷	.....	آزمون های انجام گرفته روی نمونه های پخت شده
۷۸	.....	آزمون کشش
۷۹	.....	آزمون سختی
۸۰	.....	آزمون حرارت زایی
۸۲	.....	آزمون مقاومت خستگی
۸۴	.....	آزمون DMTA
۸۶	.....	بخش پنجم: نتایج
۸۷	.....	بحث و بررسی
۸۷	.....	آزمون طیف سنجی مادون قرمز
۸۹	.....	آزمون ویسکومتری محلولی رقیق

آزمون RMS ۹۳

مونی ویسکوزیته آمیزه های خام ۹۶

ویژگی های ولکانشی ۹۸

خواص بعد از پخت ۱۰۰

خواص فیزیکی مکانیکی ۱۰۰

آزمون DMTA ۱۰۷

منابع ۱۱۱

پیوست ۱۱۷

مقدمه:

امروزه رابرها با میلیون ها تن مصرف در سال در سراسر دنیا به یکی از مهم ترین مواد کاربردی تبدیل شده اند. از اهمیت این مواد همین بس که تایر، به عنوان یکی از کالاهای استراتژیک از آن ها ساخته می شود.

در سال ۲۰۰۴ میزان فروش تایر در دنیا بالغ بر ۹۲۶۵۰ میلیون دلار بوده است که این رقم در سال ۲۰۰۵ به ۱۰۱۰۰۰ میلیون دلار رسیده است [۱] که این مبلغ علاوه بر میزان بالای فروش و گردش مالی فوق العاده این صنعت، با رشد ۱۰٪ در یک سال نشان گر روند رو به رشد تقاضا برای این کالای استراتژیک است.

از سوی دیگر استفاده از رابرها در مصارف گوناگون مانند قطعات مختلف خودرو، تسمه نقاله ها، شلنگ ها، ضربه گیر ها، کفپوش ها، دستکش ها و ... باعث شده است که این دسته از مواد به عنوان دسته ای بسیار مهم و تقریبا بدون جایگزین اهمیت بسیاری پیدا کنند. از این رو شناخت آن ها برای به دست آوردن قابلیت های استفاده از این مواد ضروری به نظر می رسد.

همان طور که می دانیم رابرها دسته ای از مواد پلیمری محسوب می شوند و از سوی دیگر می دانیم که پلیمرها خود دسته ای از مواد هستند که خاصیت مابین ویسکوز و الاستیک دارند که به این دسته از مواد ویسکوالاستیک گفته می شود. این خاصیت از یک سو باعث پیچیدگی مطالعه روی خواص این مواد و از سوی دیگر باعث ممتاز کردن این مواد بین سایر مواد می شود. بنابراین مطالعه شناخت ویسکوالاستیسیته و خواص ویسکوالاستیک رابرها ضروری می باشد.

به عنوان مثال در مورد اهمیت موضوع می توان به اهمیت پارامترهای ویسکوالاستیک آمیزه در طراحی تایرها اشاره کرد زیرا، تقریباً تمام خواص تایر از قبیل اصطکاک، سایش، چنگ زنی و سرخوردگی در سطوح خیس وابسته به خواص ویسکوالاستیک آمیزه هستند [۳ و ۲].

Kelleg, Pan و Hayes منشا ویسکوالاستیک اصطکاک تایر در سطوح خیس را قطعی می دانند [۴]. Kurata و Soeda پارامتر اتلاف ($\tan \delta$) را موثر بر خواص اصطکاکی، مقاومت سایشی ترد تایر و مقاومت غلتشی آن می دانند [۵] و Tabor اتلاف هیستریزس را به دلیل ایجاد گشتاور خلاف جهت حرکت تایر و در نتیجه ایجاد مقاومت در برابر حرکت اتومبیل می داند [۶]، Ludema نیز فاکتورهای ویسکوالاستیک را مهمترین پارامترها در عملکرد یک تایر ذکر می کند [۷].

همچنین اگر بدانیم که چیزی در حدود ۳۰٪ سوخت مصرفی اتومبیل به دلیل مقاومت غلتشی تلف می شود و از سوی دیگر مقاومت غلتشی همان طور که ذکر شد کاملاً متأثر از خواص ویسکوالاستیک است (مروری بر عوامل موثر بر مقاومت غلتشی در مراجع [۳ و ۸] صورت گرفته است که در این مراجع نیز بر اهمیت نقش فاکتورهای ویسکوالاستیک تاکید شده است)، با در نظر گرفتن میزان سالانه اتلاف سوخت، اهمیت موضوع بیشتر آشکار می شود.

پارامترهای ویسکوالاستیک نه تنها در تایرها بلکه بر خواص فرایندی آمیزه ها نیز موثرند و هر فرایندی روی آمیزه ها متأثر از خواص ویسکوالاستیک آمیزه می باشد [۹]. تمام موارد ذکر شده باعث می شود که حجم زیادی از مطالعات و تحقیقات در زمینه رابرها، مربوط به مطالعه خواص ویسکوالاستیک آن ها و ارائه مدل های ویسکوالاستیک برای این دسته از مواد باشد.

هر چند همان طور که ذکر شد رابرها دسته ای از پلیمرها هستند و بسیاری از مدل های ارائه شده برای آن ها به نحوی همان مدل های پلیمرهای دیگر یا بسط یافته آن هستند [۱۰ و ۱۱]، اما تفاوت های این دسته از پلیمر ها با سایر انواع آن مانند استفاده از درصد بالایی فیلر تقویت کننده و ایجاد اتصالات عرضی در آنها برای مصزف باعث شده که برخی مدل ها صرفا بر رابرها متمرکز شوند که از مهمترین آنها می توان به مدل BKZ اشاره کرد [۱۲].

عوامل متعددی بر خواص ویسکوالاستیک محصولات ساخته شده از رابرها نقش دارند که مهمترین آن ها خود الاستومر یا الاستومرهای مورد استفاده و نوع و مقدار فیلرهای مصرفی هستند [۹]. همچنین نرم کننده ها، روغن ها و بسیاری عوامل دیگر نیز از عوامل تاثیر گذاری می باشند. به تمام این عوامل می توان شرایط عملکردی، کرنش و تنش اعمالی، دما، اثر محیطی، تعداد سیکل در تنش های دینامیکی را اضافه کرد [۱۳]. شرایط فرایندی نیز به نوبه خود به طرق مختلف از جمله تاثیر در میزان پراکندگی دوده و سایر فیلرها [۱۴] بر خواص ویسکوالاستیک موثرند. تمام موارد ذکر شده و موارد دیگری که در متن پایان نامه به آن ها اشاره شده است تحقیق درباره خواص ویسکوالاستیک آمیزه های رابری را مشکل می کند.

در این تحقیق با توجه به موارد ذکر شده و با توجه به اهمیت الاستومرهای SBR، که در بخش اول مفصل تر راجع به آن بحث شده، خصوصا اهمیت این الاستومرها در صنعت تایرو مخصوصا تولید و مصرف رو به رشد انواع SBR های محلولی سعی بر آن بوده است که تا تفاوت های خواص ویسکوالاستیک انواع مختلف SBR با توجه به تفاوت های جرم مولکولی، توزیع آن و دیگر ساختاری

(می دانیم که انواع SBRهای محلولی توزیع جرم مولکولی باریک تری دارند (بخش اول) مورد مطالعه

قرار گیرد. بدین منظور این پایان نامه در بخش های زیر تنظیم شد:

۱. بخش اول: در این بخش مطالبی درباره الاستومر SBR و انواع آن ارائه می شود و مروری

اجمالی بر روش های سنتز، گونه های مختلف SBR و تفاوت های عمده آن ها و کاربردهای

مختلف SBR

۲. به منظور آشنایی بیشتر با الاستومرهای موضوع تحقیق صورت گرفته است.

۳. بخش دوم: درباره ویسکوالاستیسیته و مدل های ویسکوالاستیک که به منظور آشنایی با پدیده

های ویسکوالاستیک و معنای ویسکوالاستیسیته و مدل های مختلف آن تنظیم شده است.

۴. بخش سوم: ویسکوالاستیسیته رابرها که در این بخش نواحی مختلف نمودارهای

ویسکوالاستیک و رفتار ویسکوالاستیک رابرها در حد ضرورت مورد بحث قرار گرفته است.

۵. بخش چهارم: مواد، آزمایشات و دستگاه ها که در این بخش مواد مصرفی، نحوه آماده سازی

آمیزه ها و آزمایشات انجام گرفته و دستگاه های مورد استفاده در این تحقیق در حد ضرورت

توضیح داده شده اند.

۶. بخش پنجم: در این بخش نتایج ارائه شده و مورد بررسی قرار می گیرد.

بخش اول

الاستومر SBR

مقدمه:

در سال ۱۹۲۹، E.Tchunker و A.Bock کشف کردند که مخلوط بوتادین و استایرن به نسبت ۷۵ به ۲۵ می تواند به صورت امولسیون کوپلیمریزه شود. این گونه SBR های امولسیونی که Buna-S خوانده شد می توانست خیلی راحت تر از گونه ای الاستومر Buna (الاستومر پلی بوتادین حاصل از روش پلیمریزاسیون توده ای با استفاده از کاتالیست سدیم) تحت فرایندهای مختلف قرار بگیرد و همچنین خواص آمیزه های ولکانیزه شده آن هم بهتر بود.

ابتدا SBR امولسیونی در دمای بالا تولید می شد. نخستین گونه های SBR که در آلمان تولید شد وزن مولکولی بسیار بالایی داشت به طوری که مجبور بودند ابتدا پلیمر حاصل را در درجه حرارت بالا دپلیمریزه کنند تا بتوانند آن را به صورتی که قابلیت فرایند پذیری داشته باشد، درآوردند. بعدها با استفاده از عوامل اصلاح کننده زنجیر، امکان کنترل وزن مولکولی حین انجام پلیمریزاسیون به دست آمد.

تا سال ۱۹۴۸ تنها SBR نوع گرم تولید می شد. از این تاریخ با استفاده از آغازگرهای احیایی امکان پایین آوردن درجه حرارت پلیمریزاسیون میسر شد و تولید الاستومرهای SBR سرد نیز آغاز شد. این الاستومرها فرایند پذیری بسیار آسان تری نسبت به انواع گرم داشتند بنابراین تولید آنها به شدت رو به افزایش گذاشت به طوری که در سال ۱۹۵۳ حدود ۶۲ درصد کل تولید الاستومر SBR به طریقه سرد صورت می گرفت. امروزه SBR های گرم تقریباً اهمیت خود را از دست داده اند. درصد قابل ملاحظه ای از الاستومرهای SBR سرد به شکل گسترش یافته با روغن^۱ به بازار عرضه می شود.

از زمانی که کاتالیزورهای بر پایه آلی - فلزی^۱ در دسترس قرار گرفت، تولید SBRهای فضا ویژه^۲ در فرایند محلولی نیز آغاز شد اما هنوز هم SBRهای تولیدی به روش امولسیون حجم بالایی از تولید را به خود اختصاص داده است .

SBR یک الاستومر دارای مصارف عمومی^۳ است که حجم تولید آن از تمام الاستومرهای مصنوعی بالاتر است. در سال ۱۹۸۵ ظرفیت تولید سالانه آن در جهان ۶/۹۳۹ میلیون تن یعنی در حدود ۵۷/۲ درصد ظرفیت کل تولید الاستومرهای مصنوعی بوده است و میزان تولید آن تا به امروز روند افزایشی داشته است.

الاستومرهای SBR معمولاً بین ۲۰ تا ۳۰ درصد استایرن و ۷۰ تا ۸۰ درصد بوتادین دارند. SBRهای با درصد استایرن بالا (بین ۳۰ تا ۵۰ درصد) نیز موجودند که کاربردهای خاصی دارند (مثلاً در طراحی آمیزه ترد^۴ تایر برای رسیدن به خواص چنگ زنی^۵ بالا) که البته این نوع الاستومرها به ندرت به تنهایی مصرف می شوند و اغلب با درصد مناسبی از SBRهای معمولی یا NR آلیاژ می شوند. کاپلیمرهای SBR با درصد استایرن بالاتر (تا ۹۰ درصد) هم موجودند که به نام رزینهای دارای درصد استایرن بالا^۶ شناخته می شوند و می توان در اختلاط الاستومرها برای افزایش سختی^۷ و سفتی^۸ آمیزه ای بر پایه NR یا SBR از آنها استفاده کرد [۱۶].

عمده کاربرد SBR در صنعت تایر است. حدود ۷۵ درصد کل SBR تولیدی در آمریکای

شمالی در صنعت تایر سازی مصرف می شود. خواص مناسب، فرایند پذیری خوب و قیمت نسبتاً

-
1. Ziegler-Natta
 2. Stereo-specific
 3. General purpose
 4. Tread

5. Grip
6. High Styrene Resin
7. Hardness
8. Stiffness

مناسب این الاستومر باعث شده SBR کاربردهای متنوع دیگری نیز در صنایع مختلف بیابد. از جمله این کاربردها می توان تولید قطعات قالبگیری شده، شلنگ ها، زیره کفش و تسمه نقاله ها را نام برد [۱۷ و ۱۸].

سنتز SBR:

۱. تهیه استایرن و بوتادین:

ظرفیت تولید بوتادین در سال ۱۹۷۸ در آمریکا در حدود ۱/۸ میلیون تن بوده که در حدود ۸۰ تا ۸۵ درصد این رقم برای ساخت SBR به کار برده شده است. بیش از ۵۰ درصد بوتادین از بوتن ها و حدود ۳۷ درصد آن از بوتان ها و بقیه از گازهای دیگر پالایشگاه ها قابل حصول است. برای تهیه بوتادین از بوتن ها از فرایند فیلیپس، و از بوتان ها از فرایند هودری استفاده می شود. تهیه بوتادین در کلیه روش های موجود به ایجاد بوتادین ناخالص می انجامد که خالص کردن و تغلیظ آن همواره ضرورت دارد.

در روش پلیمریزاسیون امولسیون، تولید الاستومر SBR با حضور ۵۰۰ ppm ناخالصی استیلن بدون اشکال می باشد اما در روش محلولی حداکثر ناخالصی باید ۵۰ ppm باشد. خالص کردن بوتادین از استیلن به کمک استات مس آمونیاکی صورت می گیرد. جدا کردن بوتادین در مرحله بعد توسط جذب بوتادین به وسیله یکی از حلال های فورفورال، استونیتریل، دی متیل فرمالدهید، دی متیل استامید یا متیل پیرولیدن صورت می پذیرد.

در انتها پس از یک تقطیر جزء به جزء نهایی، بوتادین خالص شده را با ۲۵-۲۰۰ ppm ترشری بیوتیل کاتکول یا ماده مشابه جهت جلوگیری از پلیمریزاسیون آن مخلوط نموده و انبار می کنند. حداقل درجه خلوص بوتادین جهت تولید الاستومر ۹۸ درصد است اما اکثر تولیدکنندگان الاستومر، خلوص بالای ۹۹ درصد را مناسب می دانند.

استایرن عمدتاً از هیدروژن گیری اتیل بنزن به دست می آید. اتیلن بنزن از برش های نفتی و نیز از ترکیب بنزن و اتیلن به دست می آید. راندمان تبدیل اتیل بنزن به استایرن در حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد به ازای هر دفعه عبور از برج تقطیر است. استایرن نیز با درجه خلوص بالای ۹۹ درصد تولید و با مقدار کمی ترشری بیوتیل کاتکول برای جلوگیری از پلیمریزاسیون زودرس مخلوط شده و در انبار نگهداری می شود [۱۹].

ساختار مونومرهای بوتادین و استایرن:



۲. پلیمریزاسیون:

همانطور که اشاره شد پلیمریزاسیون الاستومر SBR به دو صورت اصلی امولسیون^۲ و محلولی^۳ انجام می شود. حین انجام پلیمریزاسیون بوتادین به دلیل وجود دو باند دوگانه می تواند سه ساختار سیس-۱،۴^۴، ترانس-۱،۴^۵ و وینیل (یا ۱،۲)^۶ ایجاد می کند. علاوه بر آن در زنجیر،

-
- | | |
|----------------------------|-----------------|
| 1. Phenyl | 4. Cis-1, 4 |
| 2. Emulsion polymerization | 5. Trans-1, 4 |
| 3. Solution polymerization | 6. Vinyl (1, 2) |

واحدهای استایرن هم داریم که می تواند باعث ایجاد حالت های گوناگون شود. کوپلیمرهای استایرن بوتادین می توانند تصادفی، بلوکی و شاخه ای باشند [۲۰].

۲-۱. پلیمریزاسیون امولسیون SBR:

کوپلیمریزاسیون امولسیون استایرن و بوتادین با یک واکنش رادیکالی انجام می شود. مونومرها در یک محیط آبی به صورت امولسیون پخش می شوند و لاستیک نهایی به صورت لاتکس شکل می گیرد. مهمترین مزیت این پلیمریزاسیون، انتقال حرارت ساده به دلیل محیط آبی و دارای ویسکوزیته پایین می باشد و در نتیجه دمای واکنش در این نوع پلیمریزاسیون به سادگی قابل تنظیم است [۲۱].

همان طور که اشاره شد پلیمریزاسیون امولسیون SBR به دو صورت گرم و سرد انجام می پذیرد که روش سرد امروزه تقریباً به طور کامل جایگزین روش گرم شده است.

۲-۱-۱. پلیمریزاسیون امولسیون سرد:

این پلیمریزاسیون در دمای ۵ درجه سانتیگراد یا پایین تر (بین ۱۰- تا ۱۵- درجه سانتیگراد) انجام می شود که در حالت اخیر برای پیش گیری از یخ زدن مواد ضدیخ^۱ به سیستم اضافه می شود [۱۶].

بهترین امولسیفایر^۱ برای مونومرها در این فرایند پلیمریزاسیون ترکیباتی هستند که ماهیت آنیونی دارند. به عنوان مثال، می توان به مخلوط نمک های سدیم حاصل از اسیدهای چرب یا رزین اسیدها اشاره کرد. نسبت بوتادین به استایرن غالباً ۷۶/۵ به ۲۳/۵ درصد وزنی است (اعتقاد کلی بر این است که این درصدها بهترین توازن را در خواص SBR ایجاد می کند [۲۲]).

رادیکال های آزاد مورد نیاز برای مرحله آغازی پلیمریزاسیون از واکنش بین نمک های آهن دو ظرفیتی با پارامتان هیدروپراکسید^۲ یا پینان هیدروپراکسید^۳ تامین می شود. به عنوان فعال کننده احیایی می توان از نمک سدیم اتیلن دی آمین تترا استیک اسید همراه با سدیم فرمالدهید سولفوکسیلات استفاده کرد. pH محیط واکنش معمولاً در محدوده ۱۱ تا ۱۲ تنظیم می شود.

ترشری دودسیل مرکاپتان متداول ترین ماده اصلاح کننده زنجیر مورد استفاده در پلیمریزاسیونهاست و از آنجائیکه پلیمریزاسیون یک واکنش زنجیری است این ماده تنها زمانی واکنش را خاتمه می دهد که تمام مونومرها وارد واکنش شده باشند. هنگامی که درصد تبدیل مونومر به بالای ۷۰ درصد می رسد، با وجود حضور ماده اصلاح کننده زنجیر، پدیده های شاخه ای شدن زنجیر و تشکیل ژل اتفاق می افتد. بنابراین معمولاً با افزودن سدیم دی متیل تیوکربامات، دی آلکیل هیدروکسی آمین یا نمک های سدیم دی تیونیک اسید، فرایند پلیمریزاسیون در مرحله تبدیل حدود ۶۰ درصد خاتمه داده می شود. قبل از انعقاد پلیمر، پایدار کننده ها به لاتکس افزوده می شود که بسته به کیفیت مورد نظر برای الاستومر حاصل، می توان از پایدار کننده های غیر لکه زا (ترجیحاً از نوع فنلی) یا لکه زا (آمین ها) استفاده کرد. پس از بازیابی و جداسازی مونومرهای واکنش نکرده و پس از انعقاد لاتکس

1. Emulsifier

2. P-methan Hydroperoxide

3. Pinane Hydroperoxide

،خرده ای الاستومر جامد به دست می آید که پس از شستشو و خشک کردن، قالب گیری و به شکل عدل^۱ در می آید.

۲-۱-۲. پلیمریزاسیون امولسیون گرم:

فرایند پلیمریزاسیون الاستومرهای گرم و سرد تشابه زیادی با هم دارند. در فرایند گرم، از صابون های اسیده های چرب یا گاهی اوقات از آلکیل آریل سولفات ها به عنوان امولسیفایر استفاده می شود. درجه حرارت پلیمریزاسیون معمولا حدود ۵۰ درجه سانتیگراد یا بالاتر است. در این درجه حرارت رادیکال های مورد نیاز برای آغاز فرایند پلیمریزاسیون از تجزیه پتاسیم پرسولفات و مرکاپتان ایجاد می شود [۱۷].

۲-۱-۳. گسترده کردن با روغن^۲:

خواص مکانیکی آمیزه های لاستیکی، زمانی که در آن ها از پلیمری با وزن مولکولی بالا استفاده می کنیم بهبود می یابد. اما از سوی دیگر سبب بالا رفتن ویسکوزیته و کاهش فرایند پذیری می شود. این مشکل را می توان با اضافه کردن روغن به پلیمر دارای جرم مولکولی بالا حل کرد. اضافه کردن روغن الاستومر را نرم می کند و ویسکوزیته آن را به حد مطلوبی (حدود ۵۰ واحد مونی) می رساند. البته شایان ذکر است که خواص مکانیکی آمیزه ولکانیزه شده ساخته با الاستومر روغن دار تا حدودی ضعیف تر از خواص مکانیکی آمیزه ولکانیزه شده ساخته شده با الاستومر بدون روغن است.

-
1. Bale
 2. Oil Extension