بازیافت کائوچو

Reclaiming Rubber

شرکت صنایع لاستیکی سهند
مهندس جلیل هرندی نجفی
مهندس محمد کاظم بُد

واژه‌های کلیدی:
کائوچوی بازیافتی، پودر لاستیک، واولکانش، پالایش و صافی‌گذرانی، ریکلیم

چکیده

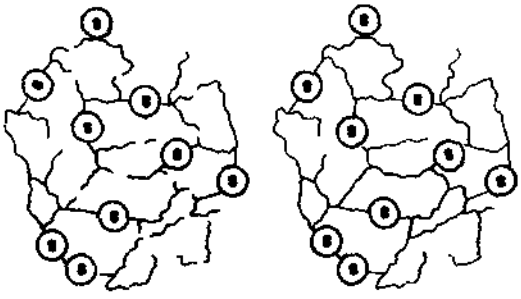
مجموعه فرایندهای تبدیل یک قطعه لاستیکی به الاستومری که بتوان دوباره به عنوان ماده اولیه به کار برد را «بازیافت کائوچو» می‌نامند و «کائوچوی بازیافتی» محصول چنین فرایندی است. این مجموعه از سه مرحله پودر کردن و تخلیص، و ایلیمر کردن، و بهبود کیفیت فراورده تشکیل می‌شود. از میان روشهایی که برای این منظور وجود دارند، روش آسیاب کردن برای تهیه پودر، استفاده از گرمکن برای واپلیمر کردن، و پالایش و صافی گذرانی به منظور بهبود کیفیت برای وضعیت صنعتی و اقتصادی ایران مناسبتر است.

مقدمه

بازیافت کائوچو (ریکلیم کردن لاستیک) به مجموعه فرایندهایی اطلاق می‌گردد که طی آنها لاستیک پخته شده ابتدا پودر می‌شود، سپس از ناخالصیهایی مانند الیاف و فلزات جدا شده و بدین ترتیب تبدیل به ماده‌ای می‌گردد که قابلیت اختلاط با سایر کائوچوهای خام را دارد و می‌تواند از نو پیوند مولکولی برقرار سازد. محصول این مجموعه فرایندها را «کائوچوی بازیافتی (لاستیک ریکلیم)» می‌نامند.

اگر چه بازیافت کائوچو تنها راه استفاده مجدد از لاستیکهای فرسوده و ضایعات به ویژه تایر خودروها نیست ولی در حال حاضر مفیدترین و کاملترین راه به نظر می‌رسد. فراورده آن ماده اولیه‌ای است که علاوه برخواص کائوچوی خام، دوده و روغن نیز همراه دارد. این دو عامل سبب می‌شوند تا کائوچوی بازیافتی فرایندپذیری راحت‌تر و سریعتری نسبت به کائوچوهای خام داشته باشد. با این وجود کائوچوی بازیافتی را نمی‌توان به تنهایی در آمیزه‌های ساخت محصولات لاستیکی به کار برد و باید همراه سایر کائوچوهای خام مورد استفاده قرار گیرد.

کائوچوهای خام متشکل از مولکولهای پلیمری دراز و شاخه‌دار حاوی تعداد زیادی پیوند دوگانه می‌باشند. در هنگام پخت، بعضی از این پیوندهای دوگانه با عامل پخت (مثلاً گوگرد) تشکیل پیوند جدیدی می‌دهند که در مجموع باعث تشکیل یک شبکه سه بعدی (*network*) می‌گردند (شکل ۱ ــ الف). این عمل را وولکانش می‌نامند. در لاستیک ابونیت تقریباً تمام پیوندهای دو گانه وارد واکنش شده‌اند و در بقیه لاستیکها فقط بعضی از پیوندهای پیش گفته ترکیب شده‌اند و بعضی از آنها در لاستیک وولکانیده باقی مانده‌اند. اگر این پیوندها مورد حمله قرار گیرند و شکسته شوند شبکه سه بعدی در هم می‌ریزد و مولکولهای جدیدی به وجود می‌آیند که گرچه حاوی پیوندهای وولکانیده قبلی هستند اما آمادگی تشکیل پیوندهای جدید را نیز خواهند داشت. این مولکولهای شکسته شده همان «کائوچوی بازیافتی» می‌باشند (شکل ۱ ــ ب).



الف ــ لاستیک پخته شده ب ــ کائوچوی بازیافتی

شکل ۱ ــ شکست زنجیره‌های هیدروکربنی [مؤلف]

کاربرد کائوچوی بازیافتی به عنوان ماده اولیه در صنایع لاستیک محاسنی دارد که به اختصار عبارت‌اند از [*1*]:

ــ جلوگیری از هرزروی و افزایش زباله
ــ قیمت نسبتاً مناسب
ــ فرایندپذیری راحت و سریع
ــ زمان اختلاط کوتاه و در نتیجه کاهش مصرف انرژی الکتریکی در فرایند آمیزه‌سازی
ــ برشتگی کوتاه مدت، پخت سریع و در نتیجه کاهش مصرف انرژی گرمایی در فرایند پخت
ــ انعطاف‌پذیری کم (گرمانرمی پایین)
ــ آماس‌پذیری، انقباض و چروکیدگی کم
ــ حداقل بازگشت (در اثر پخت دراز مدت)
ــ عمر مفید زیاد قطعه تولیدی

کائوچوی بازیافتی عیبهایی نیز دارد که عبارت‌اند از:

ــ تولید محصولات صرفاً سیاهرنگ
ــ تضعیف بسیاری از خواص مکانیکی لاستیک مانند تنش کششی، سختی، و مقاومت در مقابل سایش
ــ قابلیت جذب رطوبت (در حد خیلی پایین)

Key Words:

Reclaimed rubber, Rubber powder, Devulcanization, Refining and straining, Reclaim.

کائوچوی بازیافتی را در اکثر آمیزه‌های تولید لاستیک می‌توان به کار برد. مقدار مصرف آن بسته به درجه مرغوبیت مورد نظر در کالای تولیدی است. هر چه خواص مکانیکی از اهمیت بیشتری برخوردار باشد درصد مصرف کائوچوی بازیافتی کمتر و هر چه قیمت تمام شده محصول مورد توجه بیشتری باشد درصد مصرف آن بالاتر خواهد بود. اما به طور کلی میزان مصرف عمومی آن به قیمت روز کائوچوهای خام بستگی تام دارد. جدول ۱ میزان مصرف کائوچوی بازیافتی را در صنایع مختلف لاستیک اروپا طبق برآورد سال ۱۹۶۸ نشان می‌دهد [2]. در این سال کائوچوی بازیافتی به میزان نسبتاً متوسطی مصرف شده است.

جدول ۱ ــ نسبت مصرف کائوچوی بازیافتی در صنایع مختلف لاستیک ۱۹۶۸ اروپا [2]

تایر و روکش آن	۶۷/۰
کابردن انتقال و متعلقات مکانیکی وسایل نقلیه	۱۰/۰
تیوبهای داخلی	۵/۲
عایقگ و تسمه	۴/۳
قطعات مکانیکی (غیر از وسایل نقلیه)	۳/۱
سیمان و مواد معلق	۳/۲
صنایع کفاشی (پاشنه، تخت کفش،...)	۲/۰
ایونیت (چسب باطری، پوشش،.....)	۱/۳
پوششهای سطحی لاستیکی	۰/۹
سایر قطعات (اسباب‌بازی، روکش کابل،...)	۲/۰
جمع	۱۰۰/۰

در این مقاله سعی شده است تکنولوژی بازیافت کائوچو معرفی گردد. در قسمت اول نحوه پودر کردن وتخلیص، درقسمت دوم واوولکانش، سپس بهبود کیفیت و در انتها کنترل کیفی فراورده مورد بحث قرار گرفته است.

تکنولوژی بازیافت کائوچو

بازیابی کائوچو از لاستیک پخته شده طی سه مرحله انجام می‌گیرد که عبارت‌اند از:

الف ــ پودر کردن و تخلیص، ب ــ واوولکانش، و سرانجام ج ــ پالایش. پودر کردن و تخلیص را به روش کاملاً متفاوت می‌توان انجام داد. علاوه بر روشهای تئوری، نُه روش صنعتی برای وولکانش وجود دارد [3]. پالایش تقریباً در همه واحدهای کامل بازیابی کائوچو یکسان می‌باشد، تنها تفاوت در ترتیب قرار دادن دستگاههاست. بنابراین از ترکیب نمودن این مراحل واحدهای گوناگونی را می‌توان طراحی نمود.

در این مقاله درباره روشهایی بحث می‌شود که با شرایط اقتصادی و صنعتی کشورمان، ایران سازگاری بیشتری دارد. شکل ۲ یک واحد کامل بازیابی کائوچو مناسب برای شرایط پیش گفته است. با در نظر گرفتن اینکه بیشترین حجم لاستیکهای مستعمل را تایر تشکیل می‌دهد در این مقاله بازیافت لاستیک تایر مورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به تذکر است بازیافت سایر لاستیکها نیز توسط چنین واحدی امکان‌پذیر است.

الف ــ پودر کردن و تخلیص

اخیراً طبق یک روش ثبت شده در آلمان [4] برای پودر کردن و جداسازی ناخالصیهای لاستیک (به ویژه تایر) از نیتروژن مایع استفاده می‌کنند. در این روش دمای لاستیک را تاحدی کمتر از دمای انتقال شیشه‌ای آن پایین می‌آورند. در این دما لاستیک به صورت شیشه درمی‌آید و به راحتی با وارد کردن ضربه خرد می‌شود و بدین ترتیب سیم طوقه و الیاف و دیگر ناخالصیها که خرد و پودر نشده‌اند به آسانی از خرده‌های لاستیک جدا می‌گردند.

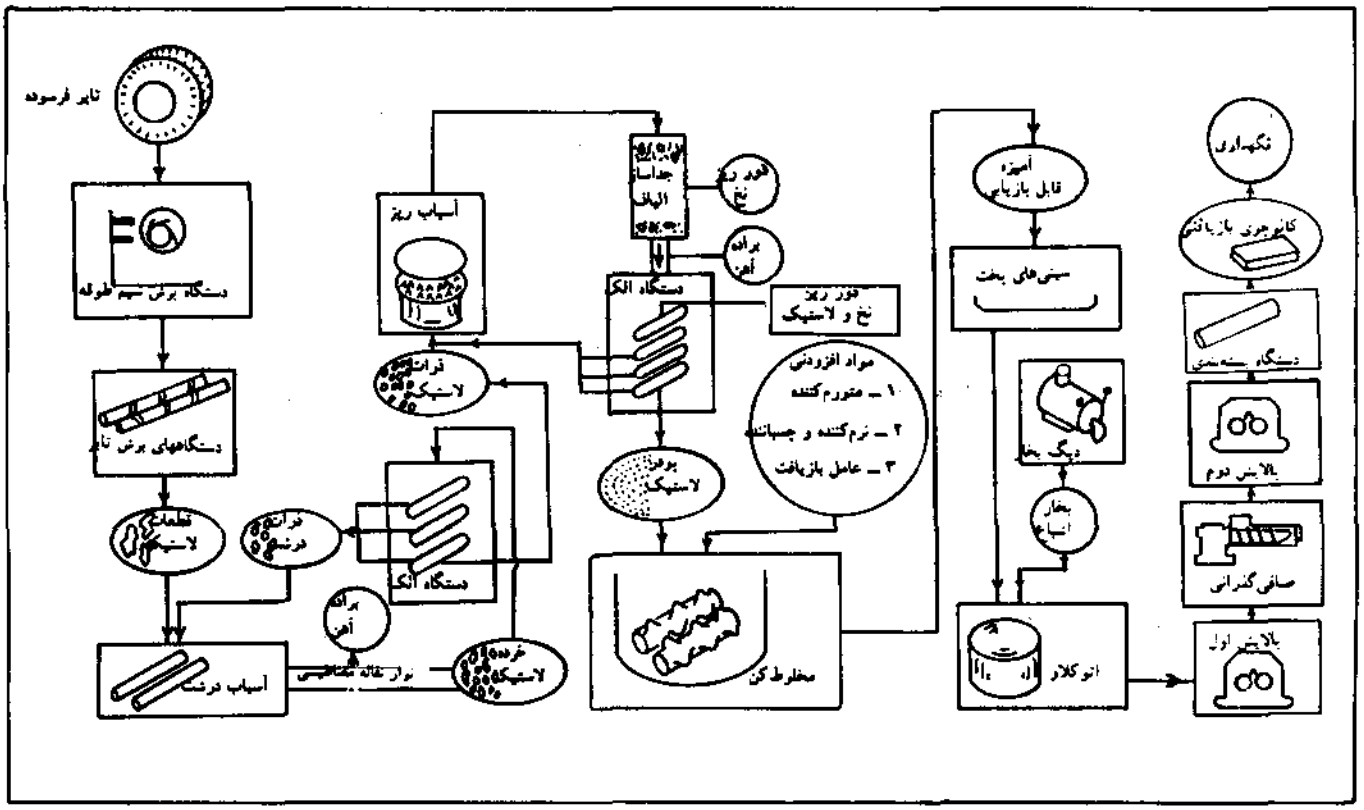
سادگی این روش سبب شده است که کامیونهای حمل ضایعات لاستیکی مجهز به واحدهای پیش گفته، تایرهای فرسوده را در سطح شهر جمع‌آوری و در محل، تبدیل به پودر کرده و بسته‌های پودر را به واحدهای واوولکانش حمل کنند، و چون تایرهای پودرشده حجم بسیار کمتری را اشغال می‌کنند، صرفه‌جویی هنگفتی را در هزینه حمل و نقل برای صاحبان کارگاهها به دنبال دارد. ولی این روش علی‌رغم ارزانتر تمام شدن به دلیل مشکلاتی که از نظر تهیه نیتروژن مایع در ایران وجود دارد و کاربردهای بهتری که برای این ماده موجود است، روش مناسبی نیست.

یک روش قدیمی که بیشتر با وضعیت فعلی کشورمان مناسبت دارد شامل کاربرد دستگاههای برش تایر، آسیابهای فکی و دورانی برای پودر کردن، استفاده از دستگاههای برش سیم طوقه و الک و نوار مغناطیسی برای جدا کردن ناخالصیهاست. اشاره می‌شود که استفاده از الک و نوار مغناطیسی در روش نیتروژن مایع نیز الزامی است. ترتیب قرار گرفتن این دستگاهها در شکل ۲ مشخص است.

دستگاه برش سیم طوقه

حاشیه‌های کنار تایر که در تماس با رینگ چرخ می‌باشند توسط مفتولهای فولادی (سیم طوقه) تقویت می‌شوند. بیشتر وزن این حاشیه‌ها را فولاد تشکیل می‌دهد و تقریباً بین ۱۵ تا ۲۰ درصد وزنی این قسمت تایر لاستیک است. جدا کردن سیم طوقه از تایر سبب خواهد شد تا هم بقیه قسمتها راحت‌تر آسیاب شوند، هم عمر دستگاههای آسیاب بیشتر شود. علاوه بر آن جداسازی فولاد نیز سهلتر می‌شود.

دستگاهی که برای برش سیم طوقه طراحی شده است از یک گیره و یک تیغه چاقویی تشکیل یافته است. گیره، تایر را نگه می‌دارد و آن‌را



شکل ۲ ــ یک واحد کامل بازیابی کائوچو [مؤلف]

حول محور مرکزی می‌چرخاند، در عین حال تیغه چاقویی که به فاصله سیم طوقه به داخل تایر فرو رفته است، با چرخیدن تایر قسمت حاوی سیم طوقه را پاره و جدا می‌کند. تایر را از یک سمت به طرف دیگر برمی‌گردانند و سیم طوقه سمت دیگر را نیز به همین ترتیب جدا می‌کنند. اگر تیغه چاقو به اندازه کافی بلند باشد همزمان هردو طرف تایر بریده می‌شود [1]. بریدن سیم طوقه تایرهای سواری ممکن است با صرف دقت زیاد توسط کارگر و بدون استفاده از ماشین انجام گیرد ولی برای تایرهای وسایل سنگین حتماً این دستگاه مورد نیاز است.

وزن قسمت سیم طوقه جدا شده حداکثر حدود ۷/۵ درصد وزن کل تایر می‌باشد. بنابراین وزن لاستیک موجود در این قسمت تقریباً ۱/۱۲۵٪ وزن کل لاستیک تایر است که اگر با کل لاستیک قابل بازیافت تایر مقایسه شود ۲/۸٪ از وزن آن را تشکیل می‌دهد. بنابراین هزینه پودر کردن و تخلیص این مقدار لاستیک بسیار بیشتر از منفعت بازیابی آن خواهد شد. به همین دلیل از این قسمت لاستیک صرفنظر می‌شود.

دستگاههای برش تایر

این دو دستگاه به این دلیل به کار برده می‌شوند که به دستگاههای آسیاب نیروی زیادی وارد نشود و عمل دستگاههای آسیاب سهلتر و با بازدهی خیلی بیشتری انجام گیرد.

دستگاه اول (*shredder*) تایر را به شکل نوارهایی درمی‌آورد، یعنی یک شکاف پیرامونی در وسط آج و دو شکاف در محل اتصال آج و پهلوی تایر به وجود می‌آورد. نتیجه این که تایر به چهار نوار لاستیکی تقسیم می‌گردد. ممکن است که مقدار این شکافها بیشتر یا کمتر باشد. برای مثال، تایرهای عریضتر احتیاج به شکافهای بیشتری دارند. این دستگاهها عموماً از دو تیغه چاقویی تشکیل شده‌اند. این تیغه‌ها روی هم قرار دارند و یکی از آنها ثابت است و دیگری دوران می‌کند. در مجموع این دستگاه مانند یک قیچی تایر را می‌برد.

دستگاه دوم به صورت یک آسیاب (*mill*) است که هردو غلتک آن شیاردار می‌باشند. رد شدن نوارهای لاستیکی از بین این دو غلتک سبب پاره شدن آنها به قطعات کوچکتر می‌شود. پس از این مرحله قطعات لاستیکی آماده ورود به اولین آسیاب می‌گردند.

دستگاههای آسیاب

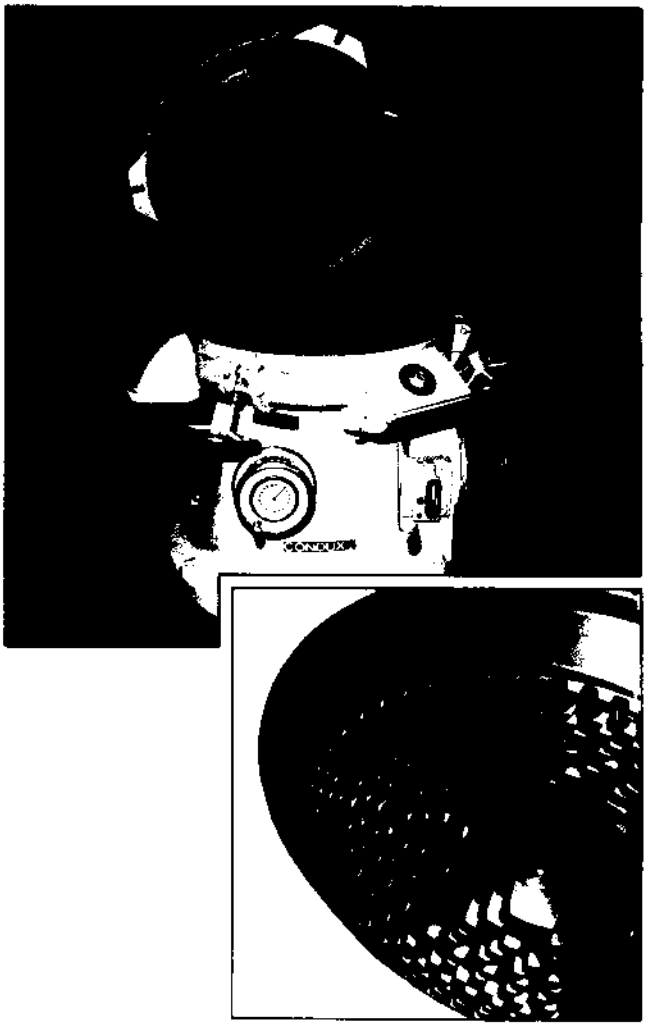
برای پودر کردن لاستیک، دست کم دو دستگاه آسیاب لازم است، یعنی یکی آسیاب درشت و دیگری آسیاب ریز. در ابتدا قطعات لاستیکی از دستگاه برش (دوم) بر روی آسیاب درشت فرستاده می‌شوند که می‌تواند به صورت آسیاب فکی یا آسیاب غلتکی باشد. آسیاب فکی که برای خرد کردن سنگ و گچ و سایر مواد نیز به کار می‌رود به اندازه کافی در صنعت

شناخته شده است. اما آسیاب غلتکی که به آن کراکر رول (*crackerroll*) نیز می‌گویند، از دو غلتک تشکیل شده است که فاصله آنها اندک است. سطح این غلتکها شیارهایی دارد که لبه تیز آنها در هنگام گردش مانند یک قیچی باعث پاره شدن قطعات لاستیک می‌شود.

آسیابهای فکی و غلتکی نمی‌توانند پودر لاستیک را در اندازه‌های مناسب برای واوولکانش تولید کنند، زیرا حالت کشسانی این ذرات سبب تغییر شکل آنها به گونه‌ای می‌گردد که از ریزتر شدن فرار می‌کنند. برای ریزتر کردن ذرات، دستگاه آسیاب خاصی طراحی شده است که چون اولین شرکت سازنده آن کاندوکس (*Condux*) آلمان می‌باشد دستگاه مزبور نیز به همین نام معروف شده است.

آسیاب ریز، کاندوکس یا گریندر (*grinder*) از یک سنگ ثابت در سطح پایین و یک سنگ چرخان روی این سنگ ثابت تشکیل شده است. سطح هردو سنگ آسیاب از دندانه‌های ریز و تیزی پر شده است. تجمع این دندانه‌ها، که روی سطوح دایره‌ای هم مرکزی قرار دارند، از مرکز به سمت خارج بیشتر می‌شود. در مرکز سنگ فوقانی حفره‌ای وجود دارد که ذرات لاستیک از آنجا درون دستگاه ریخته می‌شوند و نیروی گریز از مرکز سبب می‌گردد که لاستیک پودر شده از محیط سنگها به خارج ریخته شود. شکل ۳ یک دستگاه آسیاب ریز را نشان می‌دهد. در این دستگاه اصطکاک موجود بین لاستیک و آسیاب بسیار زیاد است و باعث تولید گرمای زیادی می‌شود. بنابراین فاصله بین سنگ را چنان تنظیم می‌کنند که با ایجاد حداقل گرما، تاحد امکان پودر ریز حاصل شود. بدیهی است که هرچه فاصله مزبور کمتر باشد پودر ریزتر می‌گردد ولی گرمای شدید تولید شده سبب کاهش عمر دستگاه می‌شود.

حتی برای بازدهی بهتر این دستگاه دو زوج سنگ مختلف با اندازه‌های دندانه‌ای متفاوت درنظر می‌گیرند که قابل تعویض هستند و به این ترتیب لاستیک را در دو مرحله پودر می‌کنند. اول با سنگهای درشت‌تر و سپس با سنگهای ریزتر.



شکل ۳ ــ دستگاه آسیاب ریز (با کرنش به شرکت کاندوکس)

تسمه نقاله‌های مغناطیسی

این تسمه‌ها علاوه بر سرعت بخشیدن به عملیات جابه‌جایی به علت خاصیت مغناطیسی باعث جذب قطعات آهنی باقیمانده در داخل ذرات لاستیک می‌شوند. علاوه بر قطعات آهنی که در حالت عادی در تایر وجود دارند (مانند میخ تایر یخ‌شکن)، قطعات آهنی که به هنگام کارکرد تایر از محیط اطراف جذب شده است نیز بدین وسیله تخلیص می‌گردند.

یادآوری می‌شود که اگر ذرات آهنی از لاستیک جدا نشوند سبب ایجاد اختلال در واوولکانش، خراش و سایش دستگاههای پالایش و صافی گذرانی، و عدم مرغوبیت کائوچوی بازیافتی به دست آمده، و سرانجام ایجاد اشکال و خرابی در فرایندهای بعدی تولید کالای لاستیکی با کاربرد کائوچوی بازیافتی می‌گردد.

دستگاه جداساز الیاف از تایر

خلوص پودر لاستیکی که به منظور بازیافت استفاده می‌شود اهمیت زیادی دارد. به همین منظور حداکثر کوشش برای جدا کردن الیاف و فلزات از لاستیک به کار برده می‌شود. یکی از وسایلی که برای جدا کردن الیاف از پودر تایر به کار گرفته می‌شود دستگاه جداساز الیاف است. این دستگاه بعد از آسیاب دوم قرار می‌گیرد.

برای ساختن دستگاه جداساز الیاف، هنوز روش کاملاً ایده‌آلی به دست نیامده است ولی دستگاههایی که ساخته می‌شوند به طور عمده عمل جداسازی الیاف را توسط هوا یا نیروی گریز از مرکز یا با استفاده از الکهای پیاپی انجام می‌دهند. دستگاههایی نیز وجود دارند که بر مبنای دو یا هر سه مکانیسم پیش گفته طراحی شده‌اند.

دستگاههای الک

معمولاً دو دستگاه الک پیش‌بینی می‌شود. نخستین دستگاه پس از

آسیاب درشت قرار می‌گیرد. این الک که از سینی لرزان مشبکی تشکیل شده است، فقط برای جداسازی پودر درشت از ریز به کار می‌رود. پودر درشت دوباره به دستگاه آسیاب درشت باز می‌گردد. پودر ریز به دستگاه آسیاب ریز هدایت می‌شود.

برای جلوگیری از مسدود شدن شبکه‌های توری این دستگاه، معمولاً سه مرحله توری با اندازه‌های شبکه‌ای مختلف به کار برده می‌شود. فقط پودری که ریزترین دانه‌بندی را دارد به مرحله بعدی فرایند می‌رود و پودر لاستیکی که در هر سه مرحله روی الکها باقی می‌ماند به آسیاب قبلی باز می‌گردد. بسته به شرایط بعدی، سوراخهای توری مستطیلی، مربعی، یا دایره‌ای انتخاب می‌شود.

الک دوم که بعد از دستگاه جداساز الیاف قرار می‌گیرد، از چهار مرحله توری تشکیل شده است. روی توری مرحله اول، عمدتاً الیافی که به ذرات لاستیک چسبیده‌اند باقی می‌مانند. چون درصد لاستیک باقیمانده همراه این الیاف بسیار ناچیز است، لذا پودر و الیاف باقیمانده روی توری مرحله اول دور ریخته می‌شوند. (در بعضی از کارخانجات این دور ریز جهت بازیافت الیاف مورد استفاده قرار می‌گیرد.)

مرحله دوم و سوم این دستگاه فقط به منظور جلوگیری از مسدود شدن شبکه‌های الک تعبیه شده‌اند. پودر لاستیکی که از توری مرحله چهارم خارج می‌گردد دانه‌بندی ایده‌آل دارد و تقریباً عاری از الیاف می‌باشد. این پودر به مرحله بعدی فرایند می‌رود، در حالی که پودرهای باقیمانده روی توریهای مراحل دوم، سوم و چهارم به آسیاب ریز باز می‌گردند.

آمیزه قابل بازیافت

پودر لاستیک به تنهایی قابلیت واوولکانش ندارد. به همین سبب لازم است موادی به آن افزوده شود تا قابلیتهای مورد احتیاج را به آن بدهند. علاوه برآن، افزودن این مواد سبب تسریع عمل واوولکانش به صورتی چشمگیر می‌شود. مواد افزودنی عموماً از سه دسته عامل آماس دهنده (*swelling agent*)، نرم کننده و چسباننده (*lubricant & tackifier*) و عامل بازیافت (*reclaiming agent*) تشکیل می‌شوند.

عوامل آماس دهنده عموماً روغنهای نسبتاً سبک و فرارند که باعث متورم شدن لاستیک می‌شوند *[5]*. متورم شدن لاستیک سبب می‌گردد که فاصله بین ذرات زیاد شود و در نتیجه هم سایر عوامل شیمیایی و هم گرما بتوانند به خوبی به عمق لاستیک نفوذ کنند.

مواد متعددی هستند که می‌توانند به عنوان عامل آماس دهنده استفاده شوند، از جمله: ترپنها، نفتاها و برشهای نفتی. این مواد باید به اندازهٔ کافی فرار باشند تا درون اتوکلاو تبخیر شوند و در محصول نهایی باقی نمانند *[5]*، در غیر این صورت مشکلاتی از نظر فرایند پذیری کائوچوی بازیابی شده در هنگام استفاده از آن و تولید قطعات لاستیکی به وجود خواهند آورد.

میزان مصرف این مواد به نوع لاستیکی که باید بازیابی شود، چگونگی بازیافت و نوع خود عامل آماس دهنده بستگی دارد. مثلاً هر چه درصد دوده لاستیک بیشتر باشد مقدار بیشتری از این عامل باید مصرف شود، یا هر چه دمای اتوکلاو بیشتر باشد مقدار مصرف کمتر خواهد بود.

عوامل نرم کننده و چسباننده در ابتدای اختلاط با پودر لاستیک نفوذ خوبی ندارند، اما براثر آماس کردن لاستیک، به‌خوبی درون شبکه آن نفوذ خواهند کرد. این مواد علاوه بر رسانش گرما به درون شبکه لاستیک، در محصول نهایی باقی می‌مانند و نقش مؤثری در عملیات بعدی خواهند داشت. از یک طرف راحت‌تر شدن اعمال مکانیکی (چه در فرایندهای باقیمانده بازیابی و چه در هنگام کاربرد کائوچوی بازیافتی)، و بالا بردن انعطاف پذیری و چسبندگی کائوچوی بازیافتی از سوی دیگر براثر وجود همین مواد است. عوامل نرم کننده و چسباننده عموماً از روغنهای سنگین، قطرانها و قیرها تشکیل می‌شوند. به عنوان مثال از قطران کاج، قطران زغال سنگ و قیر آسفالت می‌توان نام برد.

استفاده از عامل بازیافت، اگر چه امر نسبتاً نوینی است، ولی اهمیت و توسعه آن به ویژه در ارتباط با لاستیکهای مصنوعی بسیار چشمگیر است. این مواد، حتی در مقادیر کم، به طور محسوسی شکل پذیری گرمایی آمیزه را بالا می‌برند. نقش این مواد در بازیابی کائوچو مشابه نقش شتاب دهنده‌ها برای پخت می‌باشد.

تقریباً اولین ماده‌ای که به عنوان عامل بازیافت به کار برده شد آنیلین بود. پس از آن مرکاپتانهای معطر مورد استفاده قرار گرفتند که هنوز هم برای بازیافت لاستیک طبیعی به کار برده می‌شوند. بعدها بعضی از آلکیلها و آریل آمینها و همچنین ترکیبات گوگردی ـ کلریدی کرسولها (*sulfide-chlorides of cresols*) به کار برده شدند. برخی از سولفیدهای پلی‌آلکیل فنول به ویژه برای لاستیک استیرن ـ بوتادی‌ان مفید تشخیص داده شده‌اند *[5]*.

اگرچه پژوهشهای زیادی در مورد مکانیسم عملکرد عوامل بازیافت صورت گرفته است ولی هنوز به طور دقیق مکانیسم عمل مشخص نیست. به احتمال زیاد این مواد با لاستیک پخت شده به طور شیمیایی ترکیب می‌شوند و گسستن اکسایشی زنجیرهای هیدروکربنی را سهلتر می‌کنند، یعنی در واقع برای واکنش واپلیمر شدن نقش کاتالیزور را دارند.

دستگاه مخلوط کن

مخلوط کردن پودر لاستیک و مواد افزودنی نیاز چندانی به دقت زیاد همانند اختلاط در آمیزه سازی تولید لاستیک، ندارد و لذا دستگاه پیچیده‌ای مانند بن بوری (*Banbury mixer*) مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

دستگاههای مخلوط کنی که به این منظور ساخته شده‌اند به یکی از دو صورت چرخ گوشتی یا غلتکی می‌باشند.

نوع اول که شباهت زیادی به اکسترودر دارد از ظرفی تشکیل شده است

که یک نقاله مارپیچی درون آن حرکت می‌کند. از یک سمت این دستگاه پودر لاستیک و عوامل افزودنی وارد و از سمت دیگر آمیزه قابل بازیابی خارج می‌گردد. بدین ترتیب آمیزه سازی در این دستگاه یک روش پیوسته به حساب می‌آید. ممکن است در این دستگاه لوله مسیر آب گرم نیز تعبیه شود تا در صورت بالا بودن گرانروی مواد به کار رفته اختلاط را سهلتر سازد.

نوع دیگر متشکل از دو غلتک است که درون یک وان قرار دارد. سطح این غلتکها دارای چند پره می‌باشد. پودر لاستیک و سایر مواد را توزین کرده درون این دستگاه می‌ریزند و بعد از این که مدت معینی اختلاط صورت گرفت آمیزه یکنواختی به دست می‌آید که قابل بازیابی می‌باشد.

پس از آن دستگاه خاموش می‌شود و محتوی آن درون سینی‌های مخصوص ورود به اتوکلاو تخلیه می‌گردد.

ب ــ واوولکانش

واوولکانش در اینجا به معنی شکستن پیوندهای شبکه لاستیک و تبدیل آن به کائوچوی بازیافتی است. همان طور که در مقدمه اشاره شد، در بازیابی کائوچو عملاً پیوندهای گوگردی شکسته نمی‌شوند بلکه برخی از پیوندهای باقیمانده در خود پلیمر کائوچو گسسته می‌شوند. بنابراین کاربرد واژه «واوولکانش» به جای «واپلیمر کردن» غلط مصطلحی است که در صنعت لاستیک جا افتاده است.

برای واوولکانش تاکنون پژوهشهای بسیار زیادی انجام گرفته و روشهای متعددی نیز پیشنهاد شده است، چون در واقع واوولکانش اساس بازیابی کائوچو می‌باشد. روشهای عملی بازیافت که در حال حاضر در صنعت مورداستفاده قرار می‌گیرند به سه دسته تقسیم می‌شوند، که عبارت‌اند از: روشهای دایجستر *(digester)*، روشهای مکانیکی و روشهای بخار.

روشهای دایجستر، که به سه طریق اسیدی، بازی یا خنثی اجرا می‌شوند، اگر چه از جمله روشهایی می‌باشند که هنوز به طور وسیعی مورداستفاده قرار می‌گیرند، ولی رفته رفته از دور صنعت خارج می‌شوند. در این روشها به تخلیص پودرلاستیک نیازی نیست بلکه بعد از واوولکانش شستشوی محصول الزامی است. کائوچوی بازیافتی حاصل از این روشها زیاد مرغوب نیست.

بازیابی مکانیکی کائوچو با یکی از دو روش ریکلیماتور *(reclaimator)* یا بن‌بوری ــ لانکاستر *(Banbury-Lancaster)* انجام می‌گیرد. این روشها علی‌رغم نتیجه بسیار عالی که تاکنون داشته‌اند، به علت گرانی زیاد دستگاهها به طور گسترده‌ای مورداستفاده واقع نشده‌اند.

روشهای بخار نقش ویژه‌ای در این صنعت یافته‌اند. از بین چهار روش اصلی بخار، دو روش به بخار داغ نیاز دارد، که به دلیل مشکلات فراهم کردن این نوع بخار کمتر مورداستفاده قرار می‌گیرند. در دو روش دیگر از بخار اشباع استفاده می‌شود که یکی مبتنی بر استفاده از یک گرمکن ساده است و دیگری نیز به همین صورت است فقط با تعبیه پدالهای متحرک در داخل گرمکن و استفاده از موتور خارجی جهت گردش خود گرمکن نقصهای ناشی از عدم یکنواختی برطرف شده است.

در کشورمان ایران، استفاده از گرمکن ساده توصیه می‌شود، زیرا اولاً اکثر واحدهای تولید کائوچوی بازیافتی از همین روش سود می‌جویند و ثانیاً سادگی این روش سبب وابستگی کمتر به بیگانه می‌شود.

روش استفاده از گرمکن ساده

این روش ویژه بسیار ساده است، ولی تراشه‌های لاستیک مورداستفاده باید به خوبی پودرشده باشند. پس از اینکه پودر لاستیک با حداکثر دانه‌بندی ممکن تهیه شد و در مخلوط کن همراه با مواد افزودنی به آمیزه قابل بازیابی تبدیل گردید، آمیزه را در سینی‌هایی به عمق حدود ۱۵ تا ۲۰ سانتیمتر قرار می‌دهند. سپس سینی‌ها را درون اتوکلاو بر روی یکدیگر و به فاصله حدود ۸ تا ۱۰سانتیمتر قرار می‌دهند. بخار اشباع با دمایی نسبتاً کم ($180^{\circ}C$ ــ ۱۵۰) به داخل اتوکلاو وارد می‌گردد. پس از مدت زمان معینی که بستگی به مواد افزودنی و دمای اتوکلاو دارد فشار را پایین می‌آورند و کائوچوی بازیابی شده را از دستگاه خارج می‌کنند [2].

فاصله ۸ تا ۱۰سانتیمتری سینی‌ها از یکدیگر برای یکنواخت رساندن بخار به همه سینی‌ها و در نتیجه نفوذ گرمایی خوب به لاستیکهاست. حتی ممکن است برای افزایش نفوذ گرما سینی‌ها مشبک تهیه شوند تا علاوه بر سطح رویی، بخار از سطوح زیرین نیز به آمیزه برسد.

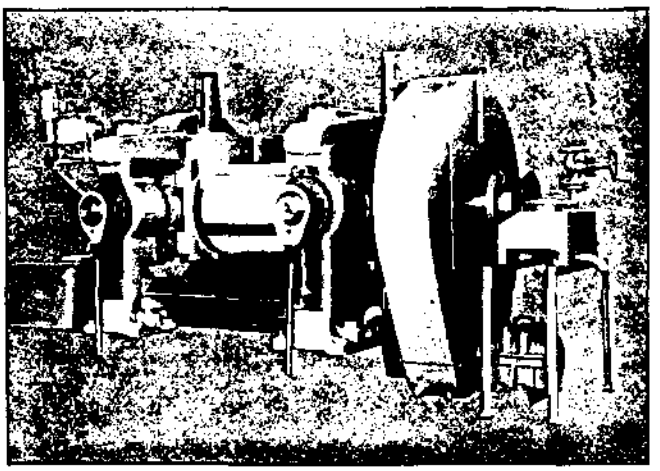
در روش استفاده از گرمکن، بخار آب در تماس مستقیم با آمیزه است، ولی پس از خاتمه واوولکانش احتیاجی به خشک کردن آمیزه خروجی نیست. مقدار کمی آب که از تأثیر بخار باقی می‌ماند عملیات بعدی را آسانتر می‌کند.

ج ــ پالایش و صافی‌گذرانی

اگرچه پس از واوولکانش، مولکولهای لاستیک شکسته می‌شوند و کائوچوی بازیافتی به دست می‌آید ولی تا پالایش و صافی‌گذرانی انجام نگیرد عملیات بازیابی کامل نخواهد بود. طی این مراحل مولکولهای درشت باقیمانده شکسته می‌شوند و ناخالصیهای باقیمانده تاحدامکان جدا می‌شوند.

در اصل این عملیات از دو مرحله پالایش و یک مرحله صافی گذرانی تشکیل می‌گردد ولی ترتیب قرار گرفتن دستگاهها در کارگاههای مختلف بسته به نظر متخصصین متفاوت است. بعضیها معتقد به دو مرحله پالایش و بعد از آن یک مرحله صافی گذرانی‌اند و عده‌ای درست عکس این رویه را در پیش می‌گیرند *[1]*. ولی ظاهراً مهمترین نتیجه تاکنون از یک مرحله پالایش، یک مرحله صافی گذرانی، و سپس مرحله دوم پالایش به دست آمده است.

دو دستگاه پالایش *(refiner)* مرحله اول و دوم تقریباً مشابه یکدیگرند. هرکدام دو غلتک دارند که سطح غلتکها به‌خوبی صیقل داده شده است و دارای روکش نیز می‌باشند. این دستگاهها گرچه بسیار شبیه دستگاههای میل *(mill)* می‌باشند ولی تفاوت آنها با میلهای معمولی در اختلاف قطر توپی جلویی و عقبی است. این تفاوت، به اضافه خواص ناشی از سطح صیقلی و فاصله بین دو غلتک سبب می‌شود که ضریب اصطکاک نسبتاً بالایی (۱:۲/۵) برای این دستگاهها پدید آید (شکل ۴).



شکل ۴ ــ دستگاه پالایش (با کرنش به شرکت تروستر (Troester))

از دستگاه پالایش مرحله اول، که آن را دستگاه شکننده *(cracker)* نیز می‌نامند، در نهایت ورقه نازکی به ضخامت تقریبی ۰/۳ میلیمتر خارج می‌شود. دستگاه پالایش مرحله دوم، که دستگاه تمام کننده *(finisher)* نامیده می‌شود، ورقهایی به ضخامت تقریبی ۰/۱۰ تا ۰/۱۵ میلیمتر تولید می‌نماید.

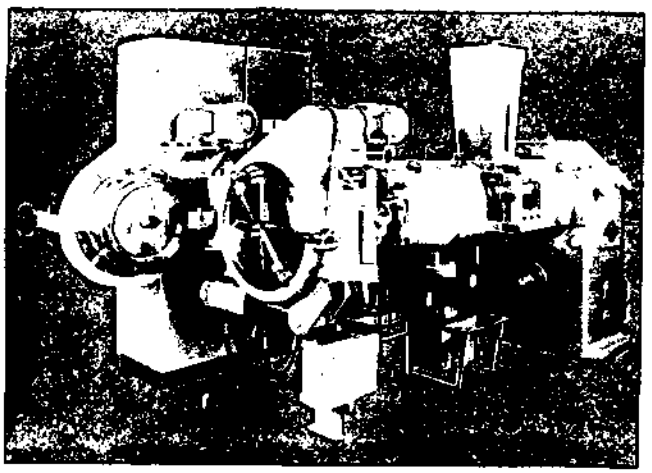
معمولاً در عملیات پالایش، کائوچوی خروجی از دستگاه را دوباره به همان دستگاه، تغذیه می‌کنند. هرچه تعداد دفعات تکرار بیشتر باشد، مرغوبیت کائوچوی بازیافتی بیشتر می‌شود. ولی باید توجه داشت که تکرار این عمل بیش از چهار یا پنج بار از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود.

دستگاه صافی گذران یا استرینر *(strainer)* کاملاً مشابه اکسترودر است *[6]* (شکل ۵). با این تفاوت که طراحی آن بسیار دقیقتر و فاصله بین پیچ و بدنه آن کمتر است. علاوه بر آن در دهنه خروجی این دستگاه یک توری فولادی با دانه‌بندی بسیار ریز قرار دارد. توری مزبور علاوه بر جداسازی ذرات چوب، فلزات و سایر ناخالصیهای این گونه، باعث شکستن مولکولهای درشت باقیمانده نیز می‌گردد. این عمل کیفیت محصول نهایی را خیلی افزایش می‌دهد. برای محافظت توری یک پنجره فولادی نیز پس از آن قرار دارد که استحکام آن را افزایش می‌دهد. دستگاه صافی گذران شباهت زیادی به چرخ‌گوشتهای معمولی دارد.

بسته‌بندی و نگهداری

پس از اینکه کائوچوی بازیافتی از مرحله دوم پالایش خارج شد باید شرایط مناسبی برای نگهداری و حمل و نقل و در کل استفاده از آن به وجود آید. معمولاً کائوچوی بازیافتی را به صورت عدلهایی با ابعاد مشخص تهیه و نگهداری می‌کنند. دستگاهی با استفاده از غلتک ورق کائوچو را با ضخامت معین تهیه می‌کند. ورقهای خروجی بر روی توپی دستگاه عدل بندی پیچیده می‌شوند. وقتی که ضخامت کائوچو بر روی دستگاه مزبور به حد معینی رسید، تغذیه قطع می‌گردد و با برش طولی آن عدل کائوچو به شکل مکعب مستطیل و در ابعاد معین نگهداری، یا به بازار عرضه می‌شود.

جهت نگهداری و جلوگیری از چسبندگی عدلهای کائوچوی بازیافتی به یکدیگر بین عدلها، پودر بسیار نرم تالک یا مواد مشابه می‌پاشند.



شکل ۵ ــ دستگاه صافی‌گذرانی (با کرنش به شرکت تروستر)

کیفیت و کنترل

کائوچوی بازیافتی باکیفیت خوب باید دارای این ویژگیها باشد: شکل پذیری خوب، فرایند پذیری خوب، چسبندگی خوب، عدم وجود گره و تکه‌های قلمبه‌ای، نداشتن ذرات خارجی (ناخالصی)، بوی بد بسیار خفیف، زمان پذیری و خواص مکانیکی نسبتاً خوب (مربوط به آمیزه‌های ساخته شده از کائوچوی بازیافتی).

کیفیت کائوچوی بازیافتی بستگی تام به شرایط زیر دارد:

ــ جنس لاستیک پودر شده

ــ میزان جداسازی لاستیکهای مختلف از یکدیگر (قبل از تهیه پودر)

ــ میزان جداسازی الیاف و فلزات از پودر لاستیک

ــ دانه‌بندی پودر لاستیک

ــ کیفیت و کمیت مواد افزودنی به کار برده شده برای تهیه آمیزه قابل بازیافت

ــ روش و شرایط بازیابی

ـ شرایط و کیفیت عملیات انجام شده پس از واوولکانش (پالایش و صافی گذرانی)

برای ارزیابی کیفیت کائوچوی بازیافتی متأسفانه یک آزمایش منحصر به فرد وجود ندارد. بلکه مجموعه‌ای از آزمایشها برای بررسی خواص مختلف آن به کارگرفته می‌شود. در هر صورت می‌توان این آزمایشها را به دو گروه فیزیکی و شیمیایی طبقه‌بندی کرد [1].

آزمایشهای فیزیکی به طور عمده برای بررسی ویژگیهای زیر صورت می‌گیرند:

ـ جرم مخصوص
ـ خصوصیات تنش و کرنش، سختی، ترکیدگی، آماس پذیری
ـ شکل پذیری
ـ سازگاری با پر کننده‌ها
ـ رنگ‌پذیری
ـ سرعت پخت
ـ رنگ و بو

آزمایشهای شیمیایی برای تعیین موارد زیر انجام می‌گیرند:

ـ درصد هیدروکربنهای موجود در کائوچوی بازیافتی
ـ درصد سلولز موجود (مربوط به الیاف باقیمانده)
ـ خاکستر
ـ درصد دوده موجود در محصول
ـ میزان رطوبت باقیمانده
ـ قسمت قابل حل در استون
ـ قسمت قابل حل در کلروفرم
ـ گوگرد آزاد
ـ گوگرد فکی
ـ pH
ـ سمهای موجود (مس، منگنز)

اشاره می‌شود که همه آزمایشهای پیش گفته برای کارگاه تولید کائوچوی بازیافتی ضروری نیستند، بلکه اکثر آزمایشها مربوط به مصرف و کاربرد آن می‌گردد. در هر صورت چون میزان فروش کائوچوی بازیافتی بستگی به مرغوبیت آن دارد لذا لازم است که در هر شرایط، تولید کننده فرایند و فراورده خود را تحت مراقبت داشته باشد.

نکته خیلی مهم و مؤثر در مرغوبیت کائوچوی بازیافتی تهیه آمیزه قابل بازیابی است. باید روغنها و عوامل مختلف، بانسبتهای متفاوتی مورد آزمایش قرار گیرند تا بهترین نتیجه به دست آید. به هیچ عنوان نباید به فرمولهای موجود اعتماد کامل نمود چون هر فرمولی بستگی تام به شرایط کارگاه و نوع تایرهای استفاده شده دارد.

نتیجه گیری

میزان تایرهای خریداری و تولید شده در سال ۱۳۶۵ کشور بالغ بر ۱۷۰ هزار تن برآورده شده است. شرایط کنونی مصرف و کارکرد تایر در داخل کشور اعم از گرم بودن و غیر استاندارد بودن سطح جاده‌ها، عدم آشنایی رانندگان باتایرهای روکش شده و تایرهای مناسب برای این منظور، سبب می‌شود که بیش از ده درصد تایرهای مستعمل قابل روکش کردن نباشند و تنها از طریق بازیابی کردن بتوان از آنها استفاده مجدد کرد. اگر بازیابی تایرهای فرسوده، بازدهی معادل ۴۰٪ داشته باشد حدود ۶۰ هزار تن کائوچوی بازیافتی در سطح کشور قابل تولید خواهد بود.

براساس مطالعات متخصصین شرکت «ایران یاسا تایر ورابر» تولید هر کیلو کائوچوی بازیافتی صرفه‌جویی ارزی حدود چهل و هشت ریال را در برخواهد داشت. براین مبنا بازیابی لاستیکهای مستعمل علاوه بر ایجاد بازار کار در سطح کشور و برداشتن گامی دیگر در جهت خودکفایی، صرفه‌جویی ارزی حدود ۲۸۸۰ میلیون ریال را به دنبال خواهد داشت (مبنای همه محاسبات نرخ دولتی دلار است).

تولید فراورده‌های لاستیکی حاصل از کاربرد کائوچوی بازیافتی زمانی از مرغوبیت مطلوب برخوردار خواهد بود که این کائوچو کیفیت خوبی داشته باشد. لذا مطالعه و پژوهش پیرامون چگونگی تولید کائوچوی بازیافتی مرغوب و بهبود روشهای شناخته شده قبل از شروع تولید آن الزامی به نظر می‌رسد.

متأسفانه تنها کارگاه فعال، در حال حاضر واحد کوچک نیمه صنعتی شرکت «ایران یاسا تایر ورابر» می‌باشد. پیشنهاد می‌شود که علاوه بر تأسیس واحدهای دیگر، در اسرع وقت پژوهشهای لازم جهت دستیابی به شرایط مطلوب تولید کائوچوی بازیافتی از قسمتهای مختلف تایر در واحد پیش گفته به عمل آید.

REFERENCES

[1] Noury A. (editor), "Reclaimed Rubber, Its Development, Applications and Future," Maclaren & Sons, Ltd., 1962.
[2] Morton M., "Rubber Technology", 2nd ed., New York: Van Nostrand Reinhold Co., 1959.
[3] Hadar U., J.M., Le beau D.S., "Rubber Reclaiming". Ind. Eng. Chem., Vol. 43, No. 2, pp. 250–263, 1951.
[4] Letsch.W., German Patent: 2724813, Jul 2,1977.
[5] Stafford W.E.; Wright R.A, "Fundamental Aspects of Reclaimed Rubber", The Applied Science of Rubber, Edward Arnold Publisher, pp 253–264, 1961.
[6] Stafford W.E.; Wright R.A., "Practical and Technological Aspects of Reclaimed Rubber", ibid,. pp. 265–84., 1961.