

Polymerization
Quarterly, 2015
Volume 5, Number 2
Pages 27-35
ISSN: 2252-0449

A Review on Rubber Wear

Rasoul Esmaeely Neisiany and Rouhollah Bagheri*

Polymer Engineering Group, Chemical Engineering Department,
Isfahan University of Technology, Postal Code: 84156-83111, Isfahan, Iran

Received: 3 July 2014, Accepted: 25 July 2014

Abstract

Wearing of rubber parts is one of the most important issues in rubber industry. From researchers' point of view the reduction of wear in rubber parts and extension of their lifetime are crucial subjects, because disposal of scrap rubbers, e.g. worn-out vehicle tires, in the environment leads to pollution problem which is considered as an important global concern. A real scientific understanding of wear mechanism is critical for reduction of wear and modification of the tribological behavior of rubber. In this paper, first the previous research works on rubber wear and methods to reduce it are reviewed. Therefore, some studies on the wear reduction in rubber parts through rubber compounding and reinforcement technology, especially using nano-fillers, are presented. The different types of wear are also introduced. Various theories are discussed for better understanding of nature of wear in rubbers. Finally, the standard methods to measure wear phenomenon in rubber parts are described in order to select a suitable method.

Keywords

rubber,
wear,
wear mechanisms,
wear measurement methods,
tribology

(*) To whom correspondence should be addressed.
E-mail: bagheri@cc.iut.ac.ir

مروری بر سایش در لاستیک‌ها

رسول اسمعیلی نیسانی، روح... باقری*

اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی شیمی، گروه مهندسی پلیمر، کد پستی ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱

دریافت: ۱۳۹۳/۴/۱۲، پذیرش: ۱۳۹۳/۵/۳

سایش قطعات لاستیکی از مهم‌ترین مشکلات در صنعت لاستیک است. به‌حداقل رساندن سایش لاستیک‌ها و افزایش طول عمر آنها اهمیت زیادی برای پژوهشگران فعال در این صنعت دارد. چرا که رها شدن لاستیک‌های ساییده شده و تایرهای فرسوده در محیط، باعث آلوده شدن آن و ایجاد نگرانی شده است. شناخت علمی و صحیح سازوکار سایش لاستیک‌ها می‌تواند برای کاهش و اصلاح رفتار تریبولوژیکی آنها بسیار موثر باشد. در این مقاله، ابتدا مطالعات انجام شده در باره شناخت سایش لاستیک‌ها و کاهش آن مرور می‌شود. بدین منظور، برخی مطالعات کاهش سایش از راه آمیزه‌کاری، افزودن تقویت‌کننده‌ها و به‌ویژه تقویت‌کننده‌های نانو در سال‌های اخیر ارائه می‌شوند. سپس، ضمن معرفی سایش لاستیک‌ها و انواع آن، نظریه‌های سایش در لاستیک‌ها و سازوکارهای آن برای درک بهتر این پدیده ارائه می‌شود. در نهایت، روش‌های استاندارد اندازه‌گیری سایش در لاستیک‌ها به منظور انتخاب صحیح آزمون مرور می‌شود.

چکیده



رسول اسمعیلی نیسانی



روح... باقری

واژگان کلیدی

لاستیک،
سایش،
سازوکارهای سایش،
روش‌های اندازه‌گیری سایش،
تریبولوژی

مقدمه

تریبولوژی علمی است که در باره مالش یا سایش سطوح به یکدیگر بحث می‌کند. اما معنی جدید آن به سه واژه اصطکاک، روان‌کاری و سایش مربوط می‌شود [۱]. با توجه به پیامدهای حاصل از سایش سطوح، اهمیت مطالعات درباره پدیده سایش دارای اهمیت ویژه‌ای است. در صنعت، سایش معمولاً به همراه اتلاف انرژی و ماده است. این موضوع به‌طور بارز باعث کاهش عمر قطعات می‌شود، ضمن اینکه هزینه‌بر نیز خواهد بود. در صنعت لاستیک و به‌ویژه صنعت ساخت تایر مسئله سایش مشهود است، از این رو به راه‌هایی برای به حداقل رساندن آن نیاز است و تلاش پژوهشی در این زمینه ادامه دارد. هنوز درک صحیحی از سازوکار سایش لاستیک‌ها وجود ندارد [۱،۲]. بدین منظور، تدابیر متفاوتی اتخاذ شده است. برای مثال، سعی شده تا با استفاده از آمیزه‌کاری، تغییر دادن و بهینه کردن سامانه پخت و تقویت‌کننده‌ها خواص مکانیکی و در نتیجه خواص تریبولوژیکی لاستیک‌ها اصلاح شوند [۳-۸].

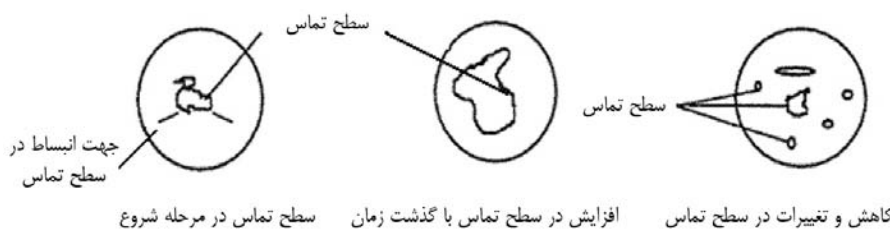
لغزش لاستیک بوتیل روی ساینده‌های سخت در دو شرایط خشک و روان‌کاری شده در مجاورت آب و روغن در دماهای محیط و دماهای بیشتر انجام شده و به طور هم‌زمان عکس‌های پرتو ایکس از این رویداد ثبت شده است [۹]. این آزمایش نشان داد، در حین لغزش روی سطوح خشک، تخریب گرمایی در لاستیک‌ها اتفاق می‌افتد که علت آن افزایش دمای ناشی از اصطکاک و همچنین تغییر شکل‌های ناحیه تماس است (شکل ۱). این مسئله باعث افزایش سایش غیریکنواخت می‌شود. همچنین پژوهش‌ها نشان داد، حین سایش تخریب شیمیایی در مجاورت روغن به شدت افزایش می‌یابد که موجب افزایش سایش می‌شود.

جرارد (Gerrard) و پادوان (Padovan) با انجام آزمایش‌های گوناگون سایش را به رشد ترک ناشی از خستگی وابسته دانستند [۱۰]. این پژوهشگران توانستند، سایش بسیاری از لاستیک‌ها را در محدوده وسیعی از فشار و اندازه ذرات ساینده پیش‌بینی کنند. پاپوف (Popov) و جیک (Geike) با مدل‌سازی، رفتار سایشی لاستیک‌ها را در دو محدوده کشسان خطی و غیرخطی پیش‌بینی کردند. البته

مبنای این کار، کرنش‌های غیرخطی بود که بر تغییر شکل غیرخطی در فنر (به عنوان رفتار کشسان در رفتار گرانروکشسان لاستیک‌ها) مدل شده است. این مدل قابلیت پیش‌بینی اصطکاک و سایش در لاستیک‌ها را، به‌ویژه لاستیک استفاده شده در تایر، دارد [۱۱]. هیل (Hill) و همکاران با یک دستگاه ساینده چرخشی شکل خشک، رفتار سایشی لاستیک پلی‌یورتان را ارزیابی کردند [۱۲]. در این پژوهش، سایش نمونه‌هایی با سختی Shore A ۸۵ تا Shore D ۶۵ بررسی و سعی شد تا رابطه‌ای بین سختی نمونه‌ها و سرعت سایش ایجاد شود. در این پژوهش مشخص شد، رفتار سایشی پلی‌یورتان با توجه به سختی نمونه‌ها به سه بخش تقسیم می‌شود. هر بخش دارای رفتاری متفاوت از بخش دیگر است.

بک (Beck) و تراس (Truss) اثر ساختارهای شیمیایی متفاوت پلی‌یورتان را بر سایش بررسی کردند. این مطالعه نشان داد، تفاوت مواد شیمیایی و ساختارهای شیمیایی باعث تغییر در سختی نمونه‌ها شده و موجب تغییر در سایش نمونه‌های پلی‌یورتانی می‌شود. همچنین، اثر دو عامل پخت بر مقدار شبکه‌ای شدن پلیمر و در نتیجه اثر آن بر سختی و سایش نمونه‌ها ارزیابی شد [۱۳]. از مجموعه این مطالعات مشخص شد، در لاستیک پلی‌یورتان سایش بریدگی در نمونه‌های نرم (با سختی کمتر) و سایش از نوع خستگی، بیشتر در نمونه‌های با سختی بیشتر اتفاق می‌افتد. در پژوهشی دیگر، ژانگ (Zhang) و همکاران اثر عوامل فیزیکی و شیمیایی سطح مقابل را بر سایش پلی‌یورتان بررسی کردند. در این پژوهش، اثر سه نوع سیال آب، محلول پلی‌آمید و محلول سود به همراه ذرات کوارتز (که بر سطح نمونه‌های پلی‌یورتان پاشیده می‌شد) بر سایش این پلیمر مطالعه شد. نتایج این آزمایش‌ها نشان داد، عواملی همچون تخریب گرمایی، آبکافت، تخریب اکسایشی سطح و اندازه ذرات بر سایش پلی‌یورتان موثر است [۱۴].

تایب (Tayeb) و نصیر (Nasir) با انجام مجموعه‌ای از آزمایش‌ها اثر اضافه کردن دوده را بر خواص تریبولوژیکی دو لاستیک، (لاستیک طبیعی و ایزوپرن) بررسی کردند. نتایج آزمون‌های این پژوهش نشان داد، افزودن دوده اثر شگرفی بر کاهش مقدار سایش



شکل ۱- مدل ایجاد سایش در لاستیک‌ها که نشان‌دهنده تغییر شکل سطح تماس حین فرایند کشیده شدن دو سطح روی یکدیگر است [۹].

دارد. به نحوی که حتی می‌تواند تا ۷۰٪ موجب کاهش مقدار سایش شود. مقدار این کاهش به دو عامل نوع دوده و درصد اضافه شدن آن بستگی دارد [۱۵].

از راه‌کارهای بسیار کارآمد در زمینه کاهش سایش لاستیک‌ها، ایجاد فیلم نازک روی آنهاست که باعث کاهش چشمگیر سایش شده است. در این پژوهش، فیلم بسیار نازک پرفلوئورومتیل سیکلوهاگزان با فرایند پلاسمای سرد بر لاستیک اتیلن پروپیلن دی‌ان (EPDM) در بسامد ۱۳۵۶ MHz اعمال شده و سایش به کمک میکروسکوپ الکترونی ارزیابی شده است. نتایج نشان داد، پوشش‌دهی لاستیک با فرایند پلاسمای موجب بهبود سایش آن نسبت به لاستیک پوشش نیافته می‌شود. این بهبود حتی در شرایط اعمالی بسیار خشن نیز باقی می‌ماند [۱۶].

در این میان، استفاده از تقویت‌کننده‌ها در کاهش سایش از اهمیت بسزایی برخوردار است. این روزها به استفاده از نانوذرات برای به حداقل رساندن سایش و بهینه کردن خواص سطحی پلیمرها به شدت توجه شده است [۸-۶].

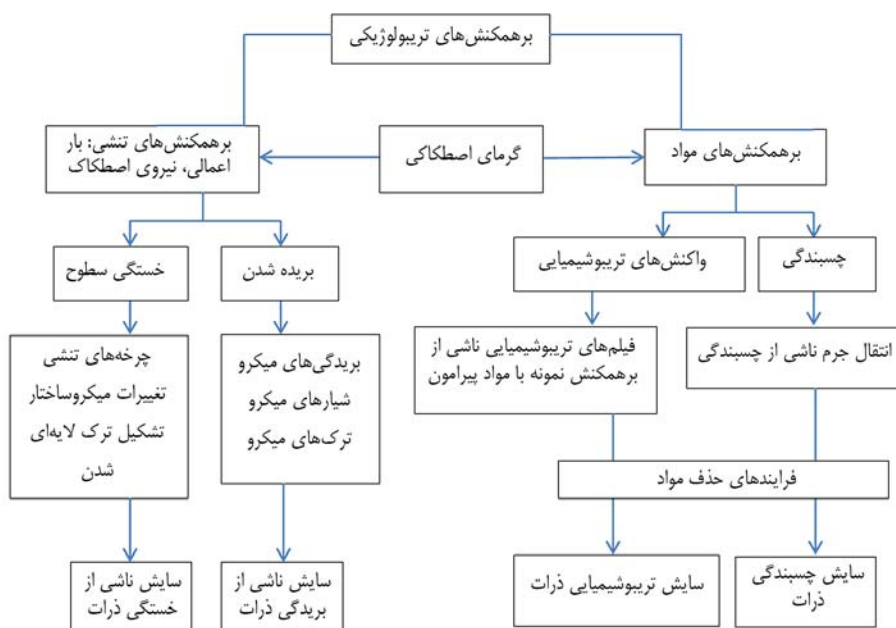
همان‌طور که ذکر شد، هنوز درک کاملی از سایش لاستیک‌ها وجود ندارد. با این وجود، شناخت این پدیده و سازوکارهای آن می‌تواند در به حداقل رساندن آن نقش بسزایی داشته باشد. بنابراین در ادامه سعی می‌شود تا ابتدا مروری کوتاه بر سایش لاستیک‌ها ارائه و در ادامه اصول نظری و سازوکارهای آن معرفی شود. در نهایت، آزمون‌های استاندارد اندازه‌گیری سایش آمیزه‌های لاستیکی معرفی می‌شوند.

معرفی پدیده سایش

سایش پدیده‌ای ناشی از اصطکاک بین سطوح در تماس است که به شکل کاسته شده و کنده شدن ماده از یک یا هر دو سطح در تماس مشاهده می‌شود. معمولاً سایش در صنعت به عنوان پدیده‌ای نامطلوب شناخته می‌شود، زیرا به مرور زمان موجب از بین رفتن استحکام مکانیکی قطعات و اجزای دستگاه‌ها می‌شود. وقوع خسارات مالی قابل توجه در کلیه صنایع سبب شده است تا یکی از مهم‌ترین مشغله‌های ذهن پژوهشگران حذف یا کنترل این مشکل باشد. در این میان، باید توجه داشت که اصطکاک و سایش صرفاً جزء خواص ذاتی ماده نبوده و در هر سامانه مطالعه شده به عوامل گوناگونی بستگی دارند. این پدیده معمولاً وابسته به شرایط عملیاتی، تابع اصطکاک و ضریب آن بین دو سطح در تماس است. در پلیمرها عوامل مؤثر بر این پدیده نوع ماده، جرم مولکولی، توزیع آن، ریز ساختار ماده و ... است. به عبارت دیگر، عوامل

مؤثر بر رفتار گرانروکشسان مواد پلیمری در این زمینه نقش مهمی دارند که تأییدی بر ماهیت گرانروکشسان اصطکاک در مواد پلیمری است. برای سایش از دو مفهوم فرسایش و سایش استفاده می‌شود. فرسایش حالت عمومی‌تر سایش را دربرمی‌گیرد و مربوط به سایش تمام اجسام از جمله آمیزه‌های لاستیکی می‌شود. حال آنکه سایش بیشتر برای سطح تماس تایر با جاده استفاده می‌شود. چگونگی وقوع سایش قطعه لاستیکی متحرک روی سطح دیگر پیچیده است، اما گفته می‌شود که شامل بریدگی ناشی از عمل ذرات سخت و تیز در سرعت‌های زیاد و خستگی توده لاستیک است [۱۷].

مطابق شکل ۲ سازوکارهای سایش به چهار گروه اصلی: خراشیدگی سطحی، چسبندگی، خستگی توده و فرایندهای تریبوشیمیایی تقسیم می‌شوند. عموماً در فرایندهای تریبولوژیکی دو نوع برهمکنش اصلی وجود دارد. اول برهمکنش‌های تنشی بوده که مربوط به ترکیب و عملکردهای نیروهای بارگذاری و نیروهای اصطکاک است. این برهمکنش‌ها منجر به سایش خراشیدگی و خستگی سطحی می‌شوند. دوم، برهمکنش‌های مهم مواد است که مربوط به نیروهای بین مولکولی مواد برهمکنش‌کننده بوده و در نهایت منجر به سایش از نوع چسبندگی و تریبوشیمیایی می‌شود. انواع برهمکنش‌های تریبولوژیکی منجر به سایش در شکل ۲ نمایش داده شده است. سایش می‌تواند ناشی از تنش‌های تناوبی باشد که سبب ایجاد خستگی در لاستیک می‌شود. در نهایت، ذرات پلیمر یا لاستیک به شکل پوسته پوسته از سطح آن جدا می‌شوند. مطالعات انجام شده در سال‌های اخیر نشان داده است، سایش یا به عبارت دیگر جابه‌جایی مواد از سطوح برهمکنش‌کننده، ناشی از فرایندهای مختلف است. سازوکارهای مختلفی که باعث ایجاد سایش در مواد می‌شوند، با توجه به نوع مواد، محیط، شرایط عملیاتی و هندسه اجسام در حال سایش، به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند. مجموعه‌ای از سازوکارهای سایش در اثر رفتار مکانیکی اجسام برهمکنش‌کننده به وجود می‌آیند. دسته دیگر در اثر رفتار شیمیایی مواد ایجاد می‌شوند. در هر حالت، خواص مکانیکی، پایداری شیمیایی مواد، دما و شرایط عملیاتی رفتار سایشی سطوح را معین می‌کنند. در اکثر فرایندهای تریبولوژیکی برهمکنش سازوکارهای سایش وجود دارد و فقط یک سازوکار یا سازوکارهای مستقل هم‌زمان مطرح نیستند. افزون بر این، فرایند اصطکاک نیز سبب تغییرات ساختاری و اصلاح خواص فیزیکی و شیمیایی سطوح لغزنده می‌شود. بنابراین، در موارد نادر فقط یک سازوکار سایش بر سامانه حاکم است. تغییرات سطوح و برهمکنش‌ها بسیار گمراه‌کننده‌اند و در نهایت باید به پیش‌گویی فرایند سایش منجر



شکل ۲- انواع برهمکنش‌های تریبولژیکی منجر به سایش لاستیک‌ها [۱۷].

شوند [۱۷].

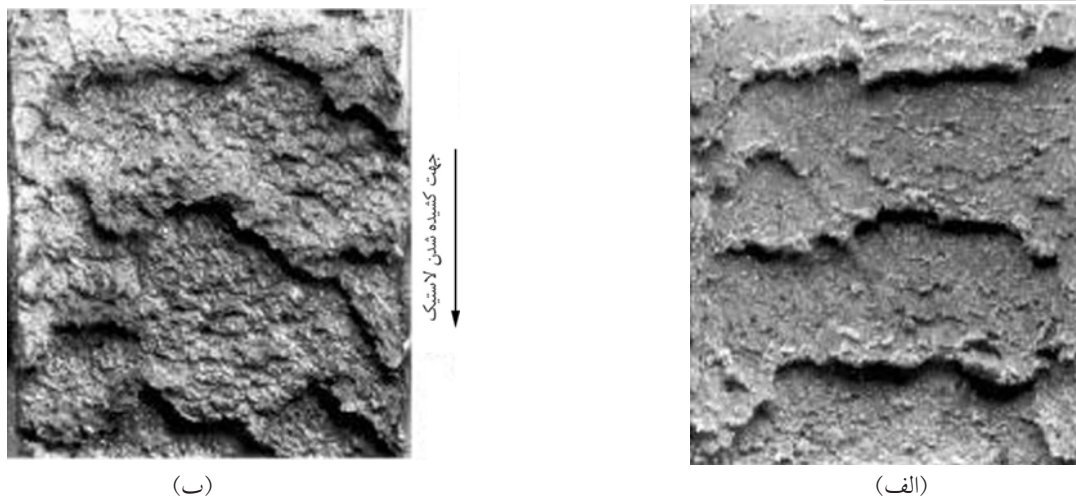
نظریه سایش در لاستیک‌ها

هنگامی که دو سطح متحرک در مجاورت هم قرار می‌گیرند، در اثر اصطکاک موجود بین آنها تنش‌هایی پدید می‌آیند. این تنش‌ها به واسطه پستی و بلندی‌های ریز موجود روی سطوح حالت نوسانی با فرکانس زیاد و دامنه کم دارند. این موضوع سبب می‌شود تا طی چند مرحله ذرات ریزی از سطح مواد در تماس جدا شوند. بدین ترتیب، مواد با زوال تدریجی توده یا سایش روبه‌رو می‌شوند. مطالب مربوط به جزئیات این مراحل در قسمت بعدی به عنوان سازوکار سایش لاستیک‌ها بیان می‌شود. در این بخش هدف تفکیک پدیده سایش لاستیک‌ها از سایر جامدات کشسان است.

عمده تفاوت در اینجاست که کنده شدن ذرات از سطح مواد با ایجاد و رشد یک ترک کوچک رخ می‌دهد. در مواد دارای ساختار منظم و فاقد نواقص ذاتی مانند فلزات، قسمت اعظم مقاومت سایشی مربوط به انرژی لازم برای ایجاد نقص یا ریزترک است. پس از وقوع کوچک‌ترین ترک، در اثر تنش‌های مکانیکی موجود، به سرعت تا کنده ذره از سطح رشد می‌کند. این مطلب به خوبی در مطالعات توماس (Thomas) و ساترن (Satern) بررسی شده و به اثبات رسیده است [۱۸]. به عبارت دیگر، در فلزات در زمان سایش بیشتر، انرژی صرف ایجاد ترک می‌شود تا آنکه صرف رشد

آن شود. در حالی که دقیقاً عکس این موضوع برای لاستیک‌ها اتفاق می‌افتد. زیرا در لاستیک‌ها به طور ذاتی ترک‌های موین ناشی از نقص‌های مولکولی شبکه و حفره‌های ناشی از ساختار بی‌شکل وجود دارد. آنچه عمده مقاومت قابل توجه در برابر سایش لاستیک‌ها را تشکیل می‌دهد، مقاومت در برابر رشد ترک‌های ذاتی موجود در توده لاستیک‌هاست. حین کشیده شدن ماده لاستیکی در یک جهت، روی سطح دیگر مجموعه‌ای از نقش‌های موازی و متناوب بر سطح فرسوده لاستیک ایجاد می‌شود که در اصطلاح به آن الگوی سایش (wear pattern) می‌گویند. چون شالاماک (Schamallach) در دهه شصت میلادی برای اولین بار روی این نقش‌ها مطالعات هدفمندی را انجام داد، سایر پژوهشگران آنها را با نام امواج شالاماک یا امواج جدایش می‌شناسند.

شالاماک مشاهده کرد، این امواج ناشی از سُرش لاستیک روی سطح شیشه نیست، بلکه یک واپیچش ناشی از چسبندگی ایجاد شده بین لایه جدا شده از سطح با دو سطح اولیه است. او این پدیده را با آزمون پوست کندن مشابه‌سازی و بیشتر مطالعه کرد. او متوجه شد، بافت سایش شامل مجموعه‌ای از شیارهای دنداندار به حالت عمود بر جهت لغزش است [۱۹]. تعداد زیادی از شیارهای کوچک در همان ابتدای کشیده شدن دو سطح بر یکدیگر ایجاد می‌شوند. حین ادامه کار، این شیارها در جهت خلاف لغزش کشیده شده و باعث رشد ترک تحت زاویه خاص در توده لاستیک می‌شوند. بدین ترتیب، اثر مضاعف ایجاد شده برای رشد ترک سرعت فرایند



شکل ۳- امواج شالاماک روی سطح لاستیک استیرین بوتادی‌ان پر شده با دو نوع پرکننده: (الف) ۵۰ قسمت وزنی سیلیکا و (ب) ۵۰ قسمت وزنی دوده [۲۰].

لاستیک‌های فاقد ساختارهای بلوری، عمده استحکام ناشی از زنجیرهای انعطاف‌پذیر، جرم مولکولی زیاد و اتصالات شبکه‌های عرضی موجود است. شکست قطعات لاستیکی در مرحله رشد ترک کنترل می‌شود. بدان معنی که ترک‌ها و نقص‌ها به طور ذاتی در پلیمرها وجود دارند. این ترک‌ها و نقص‌های ذاتی با فرایندهای پخت و قالب‌گیری تشدید می‌شوند. جنت (Gent) و همکاران با استفاده از برون‌یابی اندازه ترک ذاتی از راه رسم منحنی انرژی شکست قطعات لاستیکی دارای ترک‌های ایجاد شده با اندازه‌های مختلف در برابر اندازه ترک، ابعاد ترک ذاتی برای نمونه‌های لاستیکی را حدود $20 \mu\text{m}$ تا $40 \mu\text{m}$ ارزیابی کردند. بنابراین، ترک‌های ذاتی در لاستیک وجود دارند و هرگونه کاهش در تعداد، اندازه یا تراکم آنها یا کاهش سرعت رشد این ترک‌ها سبب می‌شود، فرسودگی قطعه لاستیکی به تعویق بیفتد [۲۱]. سایش در لاستیک‌ها سه مرحله را دربرمی‌گیرد:

- الف- نقصان در استحکام ماده یا مرحله پیش از کنده شدن مواد،
- ب- جدا شدن مواد از سطح و
- ج- جابه‌جایی و انتقال براده‌های حاصل از ساییدگی.

آزمون‌های استاندارد اندازه‌گیری سایش لاستیک‌ها

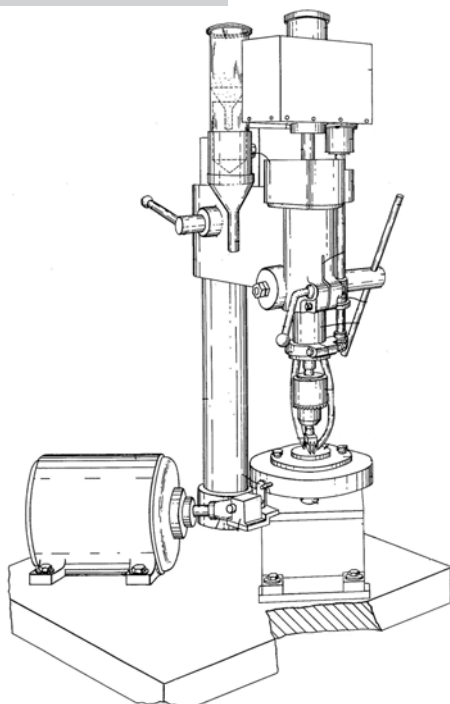
از استانداردهای بین‌المللی سایش ISO 4649 بوده که معادل استاندارد DIN 53516 است. بنابراین، دستگاه اندازه‌گیری این آزمون به ساینده دین شناخته می‌شود. نمای کلی این دستگاه در شکل ۴ نشان داده شده است. در این دستگاه، نمونه قرصی شکل لاستیک روی سیلندر شامل کاغذ سمباده در حال چرخش حرکت

سایش را تشدید می‌کند. شکل ۳ سطح سایش لاستیک استیرین بوتادی‌ان پر شده با دونوع پرکننده را پس از انجام آزمون سایش نشان می‌دهد [۲۰]. طبق نظریه سایش لاستیک‌ها می‌توان بیان کرد، وقوع سایش در قطعات لاستیکی در حال حرکت روی سایر سطوح پیچیده است، اما در کل شامل دو پدیده اصلی غالب است:

- ۱- بریده شدن و کنده شدن ذرات از سطح ناشی از عمل ذرات سخت و تیز در سرعت‌های زیاد و
- ۲- جدایش ذرات از توده در اثر ایجاد و رشد ترک‌های موئین ناشی از خستگی توده لاستیک در برابر تنش دینامیک طولانی مدت.

سازوکارهای سایش در لاستیک‌ها

از آنجا که لاستیک‌ها موادی بسیار نرم و کشسان هستند و قابلیت ذخیره‌سازی سریع حجم زیادی از انرژی را دارند، تغییر شکل‌های پلاستیکی بازگشت‌ناپذیر در آنها قابل توجه نیست. همچنین، سایش در آنها بیشتر ناشی از اعمال بارهای دوره‌ای یا سرعت اعمال بار زیاد (ضربه‌ای) است. پدیده سایش در لاستیک‌ها شامل دو بخش عمده سایش- خستگی و سایش- خراشیدگی است. این دو شیوه سایش به ماهیت مقاومت ساختاری پلیمرها و لاستیک‌ها بازمی‌گردد، چرا که سازوکار شکست دارای دو مرحله اصلی شروع و رشد ترک است. همچنان‌که اشاره شد، فلزات دارای ساختارهای بلوری کامل و منظم‌اند. مرحله شروع یا ایجاد ترک در ساختار فلز کنترل کننده پدیده شکست است. یعنی فلز تا ایجاد ترک مقاومت زیادی نشان می‌دهد و پس از ایجاد آن، رشد کامل ترک و وقوع شکست زیاد طول نمی‌کشد. در حالی‌که برای پلیمرها و به‌ویژه

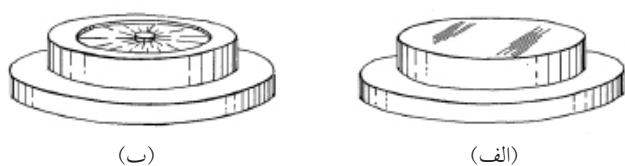


شکل ۶- نمایی از یک دستگاه ساینده پیکو [۲۳].

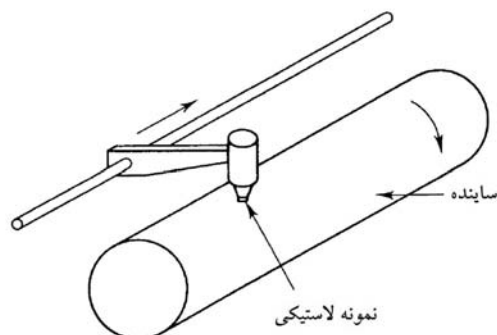
تحت سایش قرار گرفته است. همچنین، دقت اندازه‌گیری بسیار زیاد است. در شکل ۶ نمونه‌ای از دستگاه ساینده پیکو نشان داده شده است [۲۳].

در این آزمون، ابتدا نمونه لاستیکی (مطابق شکل ۷) توزین می‌شود [۲۳]. سپس، نمونه روی صفحه زیرین با گیره‌ها، ثابت می‌شود. با انتخاب سرعت، نیروی عمودی و تعداد دور با آزمونگر آزمایش، تیغه روی قطعه لاستیکی قرار می‌گیرد و قطعه لاستیکی شروع به چرخش می‌کند. در این حالت، ذراتی از سطح نمونه لاستیکی جدا شده و از جرم آن کاسته می‌شود. پس از اتمام آزمون، نمونه لاستیکی دوباره وزن می‌شود که بدین ترتیب مقدار سایش مشخص می‌شود. در شکل ۸ سازوکار سایش نمونه لاستیکی، برشی از نحوه ثابت شدن آن و چگونگی قرار گرفتن تیغه فلزی روی نمونه لاستیکی، نشان داده شده است [۲۳].

مطابق شکل ۸ در طول آزمون، به منظور خنک شدن سطح و جدا کردن ذرات لاستیکی ساییده شده پودری به سطح پاشیده شده و با



شکل ۷- (الف) نمونه لاستیکی پیش از سایش و (ب) نمونه لاستیکی پس از سایش [۲۳].

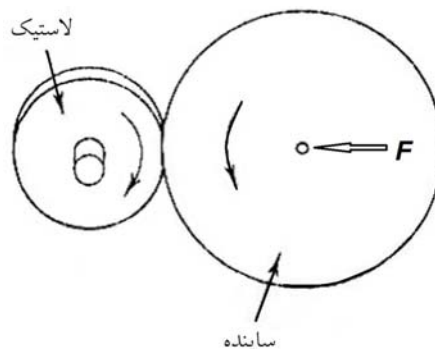


شکل ۴- نمایی از ساینده دین [۲۲].

می‌کند. عیب این روش در این است که قسمت زیادی از سطح ساینده به هیچ عنوان با نمونه تماس پیدا نمی‌کند. بنابراین، روش نسبتاً آهسته‌ای است. ولی در عین حال، روشی یکنواخت بوده که در آن می‌توان نوع سطح ساینده و بار اعمالی را به سادگی تغییر داد. مقدار لغزش در این آزمون ۱۰۰ درصد است [۲۲].

شکل ۵ ماشین آکرون را نشان می‌دهد. در این روش، نمونه و سطح ساینده هر دو به شکل چرخ درمی‌آیند. مزیت این روش در این است که با تغییر محور چرخ لاستیکی یا چرخ ساینده، می‌توان لغزش زاویه‌ای نیز ایجاد کرد. نکته دیگر آن است که به دلیل کوچک بودن سطح تماس، گرمای تولیدی نسبت به نوع قبلی بسیار کمتر است. می‌توان گفت، این روش شبیه‌ترین حالت به حرکت تایر روی جاده است [۲۲].

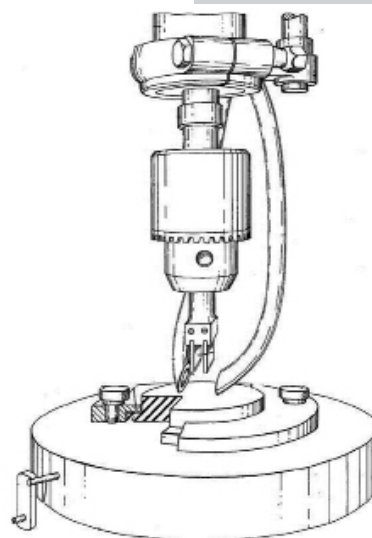
یکی دیگر از انواع ساینده‌های حاضر (بر مبنای استاندارد ASTM)، ساینده پیکو بوده که بر اساس نوع دوپونت شکل گرفته است. در این ساینده مجموعه‌ای از چاقوها از جنس تنگستن کاربرد استفاده می‌شود. آنها به‌طور پیوسته روی سطح نمونه لاستیکی می‌چرخد و جهت چرخش به طور مداوم تغییر پیدا می‌کند. در این حین، پودر گرد و غبار بر سطح نمونه پاشیده می‌شود. فشار اعمالی و سرعت چرخش در طول آزمایش می‌تواند تغییر داشته باشد. از جمله مزایای این ساینده، سطح زیاد آن نسبت به حجم لاستیک



شکل ۵- نمایی از ساینده آکرون [۲۲].

نتیجه‌گیری

سایش از پدیده‌هایی است که حین حرکت مواد روی یکدیگر اتفاق می‌افتد. سایش موجب کاهش طول عمر سرویس مواد و قطعات ساخته شده از آنها شده و ضمن افزایش استفاده از منابع، موجب اتلاف سرمایه اقتصادی و منابع می‌شود. از این رو، شناخت صحیح سازوکارها و علل سایش برای کاهش و به حداقل رساندن آن از اهمیت بسزایی برخوردار است. بهبود خواص و کاهش سایش در آمیزه‌های لاستیکی به سه روش آمیزه‌کاری، بهینه کردن سامانه پخت و افزودن تقویت‌کننده‌ها انجام می‌گیرد. در این میان، اصلاح خواص سطحی، با اصلاح خواص توده در لاستیک‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. البته شناخت صحیح از علل سایش در لاستیک‌ها و سازوکارهای آنها می‌تواند برای کاهش و به حداقل رساندن این مشکل راه‌گشا باشد که در این مقاله مروری کوتاه بر این موارد انجام گرفت.



شکل ۸- نحوه قرار گرفتن تیغه فلزی (ساینده) روی نمونه لاستیکی [۲۳].

لوله مکنده، از سطح خارج می‌شود.

مراجع

1. Sinha S.K. and Briscoe B.J., *Polymer Tribology*, Imperial College, London, 312-343, 2009.
2. Huang X., Tian N., Wang T., and Xue Q., Friction and Wear Properties of NBR/PVC Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **106**, 2565-2570, 2007.
3. Choi S.S., Park B.H., and Song H., Influence of Filler Type and Content of Properties of Styrene-Butadiene Rubber (SBR) Compound Reinforced with Carbon Black or Silica, *Polym. Adv. Technol.*, **15**, 122-127, 2004.
4. Hill D.J.T., Killeen M.I., O'Donnell J.H., Pomery P.J., John D., and Whittaker A.K., Development of Wear Resistant Thermoplastic polyurethanes by Blending with Poly(dimethyl siloxane), *J. Appl. Polym. Sci.*, **61**, 1957-1966, 1996.
5. Karger-Kocsis J., Mousa A., Major Z., and Bekesi N., Dry Friction and Sliding Wear of EPDM Rubbers against Steel as Function of Carbon Black Content, *Wear*, **264**, 359-367, 2008.
6. Fang Fu J., Yu Q.W., Dong X., Chen L.Y., Jia H.S., Shi L.Y., Zhong Q.D., and Deng W., Mechanical and Tribological Properties of Natural Rubber Reinforced with Carbon Blacks and Al₂O₃ Nanoparticles, *Mater. Design*, **49**, 336-346, 2013.
7. Bhattacharya M. and Bhowmick A.K., Analysis of Wear Characteristics of Natural Rubber Nanocomposites, *Wear*, **269**, 152-166, 2010.
8. Wang L., Guan X., and Zhang G., Friction and Wear Behaviors of Carbon-based Multilayer Coatings Sliding against Different Rubbers in Water Environment, *Tribol. Int.*, **64**, 69-77, 2013.
9. Chandrasekaran M. and Batchelor A.W., In Situ Observation of Sliding Wear Tests of Butyl Rubber in the Presence of Lubricants in an X-ray Microfocus Instrument, *Wear*, **211**, 35-43, 1997.
10. Gerrard D.P. and Padovan J., The Friction and Wear of Rubber Part 2: Micro-Mechanical Description of Intrinsic Wear, *Rubber Chem. Technol.*, **76**, 101-121, 2003.
11. Popov V.L. and Geike T., A New Constitutive Model of Rubber, *Tribol. Int.*, **40**, 1012-1016, 2007.
12. Hill D.J.T., Killeen M.I., O'Donnell J.H., Pomery P.J., John D.S., and Whittaker A.K., Laboratory Wear Testing of Polyurethane Elastomers, *Wear*, **208**, 155-160, 1997.
13. Beak R.A. and Trass R.W., Effect of Chemical Structure on the Wear Behaviour of Polyurethane-urea Elastomers, *Wear*, **218**, 145-152, 1998.

14. Zhang S.W, He R., Wang D., and Fan Q., Abrasive Erosion of Polyurethane, *J. Mater. Sci.*, **36**, 5037-5043, 2001.
15. El-Tayeb N.S.M. and Nasir R., Effect of Soft Carbon Black on Tribology of Deproteinised and Polyisoprene Rubbers, *Wear*, **262**, 350-361, 2007.
16. Tran N.D., Dutta N.K. and Roy N., Weatherability and Wear Resistance Characteristics of Plasma Fluoropolymer Coatings Deposited on an Elastomer Substrate, *Polym. Degrad. Stabil.*, **91**, 1052-1063, 2006.
17. Zhang S.W., *Tribology and Interface Engineering Series: Tribology of Elastomer*, 1st ed. Elsevier, 33-135, 2004.
18. Southern E. and Thomas A.G., Studies of Rubber Abrasion, *Rubber. Chem. Technol.*, **52**, 1008-1018, 1979.
19. Schamallach A., Friction and Abrasion of Rubber, *Rubber. Chem. Technol.*, **31**, 982-1014, 1959.
20. Iwai T., Uchiyama Y., Shimosaka K., and Takase K., Study on the Formation of Periodic Ridges on the Rubber Surface by Friction and Wear Monitoring, *Wear*, **259**, 669-675, 2005.
21. Gent A.N. and Pulford C.T.R., Mechanisms of Rubber Abrasion, *J. Appl. Polym. Sci.*, **28**, 943-959, 1983.
22. Brown R., *Physical Testing of Rubber*, 4th ed., Springer, USA, 219-249, 2006.
23. Newton E.B., Sears D.S., and County H., Apparatus for Determining Abrasion Resistance, *US Pat. 2,799,155*, 1957.