معرفی و کاربرد مواد هوشمند مغناطیسی در خودرو

محمدحسن شجاعی فرد[1]، حامد سعیدی گوگرچین[2]، عیسی بناگر[3]، امین طبایی[3]

۱ استاد دانشکدهٔ مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

۲استادیار دانشکدهٔ مهندسی خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، hsaeidi@iust.ac.ir

۳ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشجوی کارشناسی ارشد، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۰۱

چکیده

امروزه در صنایع خودروسازی رقابت شدیدی در خصوص تولید محصولاتی با ویژگی‌های منحصر به‌فرد وجود دارد. به‌کارگیری مواد هوشمند با خواص مکانیکی و ارتعاشی قابل کنترل در سیستم‌های خودرو امکان ایجاد شرایط مطلوب ایمنی و آسایش سرنشین را فراهم می‌آورد. در این مقاله، نخست به معرفی سیالات مغناطیسی پرداخته می‌شود. سپس شرح مختصری از نحوهٔ عملکرد و کاربردهای خودرویی همچون دمپر و سیستم ترمزی، که بر پایهٔ این مواد هستند، بیان می‌شود. در ادامه، الاستومرهای مغناطیسی به‌عنوان نسل جدیدی از این مواد معرفی می‌گردند. این دسته از الاستومرها شرایط کاری منحصربه‌فردی دارند، همچنین به روش‌های متنوعی می‌توان آنها را مدلسازی کرد. چند نمونه از کاربردهای خودرویی این دسته از مواد مانند بوش‌های بر پایهٔ الاستومرهای مغناطیسی، تایرها با فناوری خاص و سیستم تعلیق شامل این مواد هوشمند بررسی خواهد شد. در پایان به یکی از ساده‌ترین روش‌های اندازه‌گیری خواص مکانیکی الاستومرهای مغناطیسی پرداخته شده است.

واژگان کلیدی

مواد هوشمند، سیال مغناطیسی، الاستومر، الاستومر مغناطیسی

۱. مقدمه

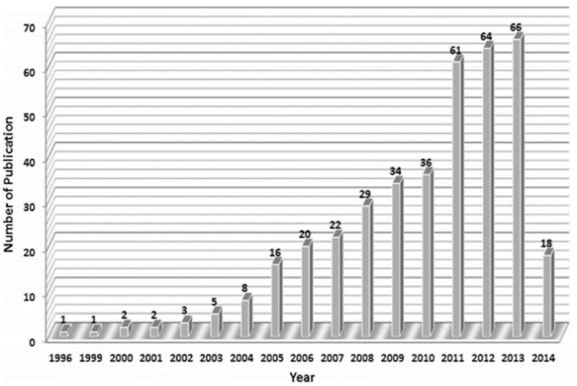
توسعهٔ سریع فناوری و صنایع در قرن ۲۱ م باعث سرعت بخشیدن به دگرگونی در مواد برای تأمین نیازها شده است. منظور از این دگرگونی در مواد نیاز به داشتن رفتارهای نامتعارف از مواد است که به آن پاسخگو به تحریک[1] می‌گویند. مواد پاسخگو به تحریک یا مواد هوشمند[2] اصطلاحاً موادی هستند که می‌توانند در مقابل هر تحریک خارجی همچون تغییر در میدان الکتریکی، تغییر در میدان مغناطیسی، تغییر در نور، تغییر دما و جز این‌ها خود یک پاسخ منحصر به‌فرد مانند تغییر شکل، تغییر اندازه، تغییر در خواص مکانیکی و غیره نشان دهند. از میان موادی که به آنها اشاره شد، مواد هوشمند محرک با میدان مغناطیسی[3] به‌دلیل سرعت بالای

پاسخگویی و انرژی مصرفی کم، توجه بسیاری از محققان را برای استفاده در حالات کاری متفاوت جلب نموده‌اند. به‌علاوه، به‌دلیل امکان نفوذ میدان مغناطیسی در فضا از این نوع مواد در محیط‌هایی که در آنها امکان سیم‌کشی برای ایجاد میدان الکتریکی یا تغییر در میزان نور نیست استفاده می‌شود. به‌طور کلی مواد هوشمند محرک با میدان مغناطیسی شامل حداقل دو نوع ماده با خواص مغناطیسی متفاوت می‌شوند، بنابراین می‌توان آنها را کامپوزیت‌های هوشمند نامید. این مواد هوشمند معمولاً از ذرات مغناطیسی مانند پودر آهن یا پودر کربونیل آهن، که دارای اندازه‌های متفاوت (معمولاً در حدود نانومتر) با شکل‌های متفاوت،که در ماتریس معینی غوطه‌ورند، تشکیل شده‌اند. بنا به نوع ماتریسی که ذرات مغناطیسی در آنها غوطه‌ورند نام، خواص و رفتار این مواد می‌تواند متفاوت باشد. این ماتریس می‌تواند سیال، ژل یا جامد باشد. چنانچه ماتریس سیال باشد، به آن مایع مغناطیسی[۴]، چنانچه ماتریس ژل باشد به آن ژل مغناطیسی[۵] و اگر جامد و از جنس الاستومرها باشد، به آن الاستومر مغناطیسی[۶] یا MRE می‌گویند. در هر یک از این مواد، با اعمال میدان مغناطیسی خارجی رفتار ماتریس و در نتیجه کل ماده به گونهٔ متفاوتی تغییر می‌کند. در نتیجه با شناخت این تغییر در رفتار و اعمال میدان مغناطیسی خارجی می‌توان خواص ماده را بنا بر نیاز به کنترل خود درآورد. در دهه‌های گذشته تحقیقات زیادی روی سیال‌های مغناطیسی به‌منظور استخراج خواص آنها و تغییرات این خواص تحت اعمال میدان مغناطیسی خارجی انجام شده است [۱-۲]. در این زمینه میزان تغییر خواص و رابطهٔ آن با جنس، اندازه و شکل ذرات مغناطیسی بررسی شده است، اما همواره در این مواد مشکل عدم پایداری در خواص به‌چشم می‌خورد و همین امر سبب تمایل به استفاده از الاستومرهای مغناطیسی به‌منظور رفع این ایراد شده است [۳]. در دو دههٔ گذشته تعداد تحقیقات، مجلات و کاربری‌ها در زمینهٔ الاستومرهای مغناطیسی افزایش یافته است. شکل ۱ میزان افزایش سالیانهٔ تعداد ارجاع به مقالات چاپ‌شده در مجلات علمی از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۴ م را نشان می‌دهد.

در سال ۲۰۰۸ م لی و همکاران [۴-۵] گزارشی دربارهٔ موارد کاربری الاستومرهای مغناطیسی منتشر کردند و همان‌طور که مشاهده می‌شود تقریباً از همان سال تعداد ارجاعات به مقالات در زمینهٔ الاستومرهای مغناطیسی افزایش قابل توجهی داشت تا جایی که در سال ۲۰۱۳ م به عدد ۶۶ رسید. در ادامه به بررسی ویژگی ساختاری دو دستهٔ کلی سیالات مغناطیسی و الاستومرهای مغناطیسی پرداخته می‌شود. همچنین پس از معرفی شرایط کاری این مواد، کاربردهای متناسب با این شرایط بیان می‌گردد.

۲. سیالات مغناطیسی

سیالات مغناطیسی مواد هوشمندی و در حال گسترش‌اند. در غیاب میدان مغناطیسی به‌خوبی خصوصیات جریان سیال را از خود نشان می‌دهند، اما در معرض میدان‌های مغناطیسی قوی در زمان بسیار کوتاهی به جامد تبدیل می‌شوند. با حذف میدان مغناطیسی خارجی باز رفتار سیالات نیوتنی را از خود بروز می‌دهند. فرایند تبدیل سیال به جامد به سرعت انجام می‌پذیرد، این فرایند قابل کنترل است و به صرف انرژی زیادی نیاز ندارد.



شکل ۱. تعدادارجاع به مقالات چاپ شده
درمورد الاستومرهای مغناطیسی تا سال ۲۰۱۴ م [۱]

۳. ساختار سیال مغناطیسی

ساختار سیال مغناطیسی شامل سه قسمت اصلی است: ذرات مغناطیسی، سیال حامل و مواد افزودنی که در ادامه به توصیف آنها پرداخته شده است.

ذرات مغناطیسی: این مواد تحت تأثیر میدان خارجی، مغناطیسی شده، به‌صورت زنجیره‌ای ذرات آرایش می‌گیرند. بنابراین سیال مغناطیسی خصوصیات مواد جامد را از خود نشان می‌دهند. این ذرات معمولاً به‌صورت کروی یا بیضوی هستند. ابعاد ذرات از فاکتورهای بسیار مهم هستند.

سیال حامل: نقش اصلی این سیال در پخش ذرات جامد مغناطیسی به‌طور یکنواخت است. این موضوع عامل ایجاد یکپارچگی در رفتار این مواد دوفازی شده است. این سیال‌ها معمولاً در حالت عادی رفتار سیال نیوتنی را دارند، اما در شرایط

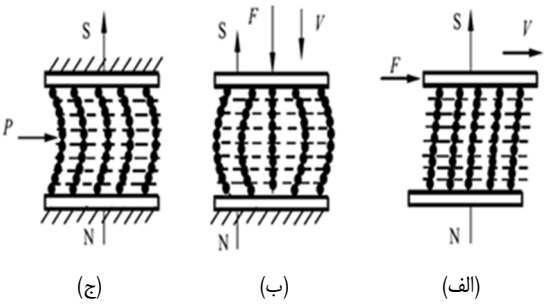
وجود میدان مغناطیسی خصوصیات بین سیال و جامد را از خود نشان می‌دهند.

مواد افزودنی: نقش این مواد جلوگیری یا کاهش سرعت ته‌نشین شدن ذرات مغناطیسی است. این امر پایداری مخلوط را بالا می‌برد؛ علاو بر این باعث کاهش خوردگی می‌شوند. به‌طور کلی کارکرد افزودنی‌ها شامل دو قسمت می‌شود: بهبود خواص مغناطیسی و پایداری مخلوط و جلوگیری از ته‌نشین شدن ذرات.

۴. کاربردهای سیال مغناطیسی

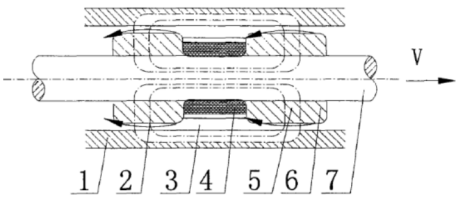
از جمله کاربردهای سیال مغناطیسی عبارت است از:

۱. دمپر سیال مغناطیسی: به‌طور کلی مودهای عملکردی سیالات مغناطیسی عبارت‌اند از الف) مود برشی، ب) مود فشاری و ج) مود فشار محور که در شکل ۲ مشاهده می‌شوند.



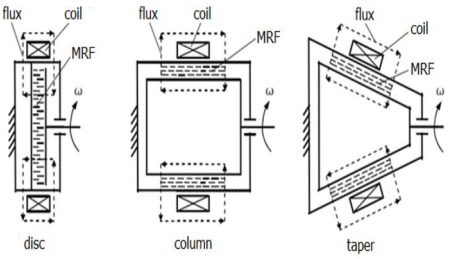
شکل۲. شرایط عملکردی سیالات مغناطیسی [۶]

دمپرهایی که به‌کمک این مواد ساخته می‌شوند در مود فشار محور کاربرد دارند. این نوع دمپرها در صنایع خودروسازی، ساخت ماشین‌آلات و حتی پزشکی کاربرد دارند. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، این دمپرها شامل محفظه، ۲. کانال دمپینگ، سیال مغناطیسی، سیم‌پیچ، شار مغناطیسی، پیستون و میله پیستون است.



شکل۳. دمپر سیال مغناطیسی [۶]

۲. ترمزهای سیال مغناطیسی: وظیفهٔ اصلی سیستم ترمز کاهش سرعت یا توقف کامل مکانیزم در حال حرکت یا خودرو است. گاهی از ترمز برای تنظیم یا محدودکردن سرعت مکانیزم استفاده می‌شود. از فواید ترمزهای سیال مغناطیسی می‌توان به کنترل گشتاور ترمزی مورد نیاز به‌کمک تنظیم قدرت میدان مغناطیسی، کاهش ارتعاش و نویز، پاسخ سریع، کاهش سایش و انرژی مصرفی پایین و ساختار ساده اشاره کرد. در شکل ۴ ساختار متداول این ترمزها را می‌توان مشاهده کرد. همان‌طور که مشخص است، در این کاربرد از مود برشی سیال مغناطیسی استفاده شده است. برای استفادهٔ گستردهٔ سیال مغناطیسی در کاربردهای متنوع مهندسی باید ثبات و پایداری این مواد بررسی شود. اما در عمل مشکلاتی برای این مواد مطرح است. یکی از این مشکلات ته‌نشین شدن ذرات است که هنوز راه‌حل کاربردی و اساسی برای آن مطرح نشده است. مسئلهٔ مهم دیگر عدم پایداری در چرخش با سرعت بالاست که باعث تفاوت گشتاور ورودی و خروجی می‌شود و برای حالت ایده‌آل کلاچ و ترمز مطلوب نیست [۶].



شکل۴. ترمزهای سیال مغناطیسی [۶]

۵. الاستومرهای مغناطیسی

الاستومرهای مغناطیسی از ترکیب ذرات عموماً فلزی حساس به میدان مغناطیسی و بستر (ماتریس) الاستومری عایق نسبت به میدان مغناطیسی تشکیل می‌شوند، به‌همین دلیل می‌توان آنها را در زمرهٔ کامپوزیت‌های هوشمند محسوب کرد. در حضور میدان مغناطیسی، ذرات حساس به میدان مغناطیسی باعث تأثیرپذیری خواص ماده از میدان مغناطیسی می‌شوند و پس از قطع میدان مغناطیسی خواص ماده به حالت اول بازخواهد گشت. خواص فیزیکی این مواد می‌تواند بین الاستومرهای نرم[۷] و الاستومرهای نیمه‌جامد[۸] بر حسب شدت و شرایط میدان مغناطیسی متغیر باشند. الاستومرهای مغناطیسی معمولاً از سه جزء کلی الاستومر، ذرات مغناطیسی (آهنی) و سایر افزودنی‌ها تشکیل شده‌اند. این اجزاء با هم ترکیب می‌شوند و تشکیل مخلوطی از الاستومر و ذرات منظم یا نامنظم با تراکم‌های متفاوت را می‌دهند. این مواد به دو دستهٔ همسانگرد[۹] و ناهمسانگرد[۱۰] تقسیم‌بندی می‌شوند. این دسته‌بندی

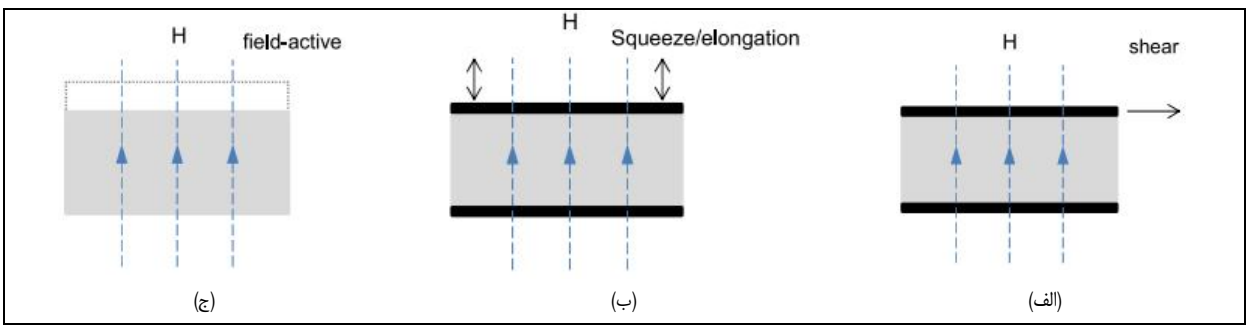
براساس تفاوت در جای‌گیری ذرات حساس به میدان مغناطیسی در الاستومرها صورت گرفته است. به این ترتیب که در الاستومرهای همسانگرد ذرات به‌صورت نامنظم و تصادفی درون الاستومر پراکنده شده‌اند، این در حالی است که در الاستومرهای ناهمسانگرد با اعمال میدان مغناطیسی، قبل از فرایند پخت یا در حین پخت الاستومر ذرات در راستای خاصی قرار می‌گیرند. در واقع پس از پخت، این ذرات درون الاستومر محبوس شده و دیگر نمی‌توانند نسبت به آن حرکت کنند. از این نوع الاستومرها به‌دلیل داشتن قابلیت در تغییر خواص خود مانند مدول برشی و کششی در جاذب‌های ارتعاشی هوشمند استفاده می‌شود. درصورت تغییر در میدان مغناطیسی در اطراف این الاستومرها، مدول‌های (کششی، برشی) ماده تغییرات چشمگیری می‌کنند، این در حالی است که تغییر در میدان مغناطیسی تغییر چندانی در خاصیت دمپینگ ماده ایجاد نمی‌کند. توانایی تغییر زیاد در مدول، پاسخ سریع، پایداری ماده و توانایی افزودن آسان این مواد به سیستم‌های مکانیکی سبب برتری این مواد نسبت به سیال‌های مغناطیسی و سایر مواد هوشمند با خواص مشابه شده است [۷].

٦. شرایط کاری الاستومرهای مغناطیسی

در این بخش به درک شرایط کاری استاندارد الاستومرهای مغناطیسی پرداخته می‌شود. در واقعیت، شراط کاری این الاستومرها یک یا ترکیبی از این حالات است [۸]. در شکل۳ سه دستهٔ کلی شرایط کاری این نوع الاستومرها نمایش داده شده است که شامل برش، کشش یا فشار و حرکت توسط میدان مغناطیسی می‌شود. حالت برشی (۵، الف) می‌تواند ناشی از نیروی برشی و یا ممان پیچشی باشد. در این حالت خطوط میدان مغناطیسی عمود بر جهت حرکتی می‌باشند. حالت کشش (۵، ب) یا فشار ناشی از نیرویی کششی می‌باشد و در این حالت میدان مغناطیسی اعمال شده هم راستا با جهت اعمال نیرو می‌باشد. در حالت سوم (۵، ج) نیز با اعمال میدان مغناطیسی، الاستومر در راستای میدان تغییر شکل می‌هد، این حالت کاری در عملگرهایی[11] که از الاستومرهای مغناطیسی ساخته شده‌اند بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقعیت شراط کاری این الاستومرها یک یا ترکیبی از این حالات می‌باشند [۸].

۷. مدلسازی رفتار مکانیکی الاستومرهای مغناطیسی

الاستومرهای مغناطیسی نوع خاصی از مواد ویسکوالاستیک غیرخطی با خواص مکانیکی، سفتی و دمپینگ وابسته به میدان مغناطیسی‌اند. مدلسازی رفتار پیچیدهٔ آنها گامی مؤثر در پیشبرد کاربردهای مهندسی است. به‌نظر می‌رسد با وجود تحقیقات دربارهٔ خصوصیات مواد، مدلسازی رفتار هیسترزیس به مطالعات بیشتری نیاز دارد. امروزه مدل‌های محدودی از رفتار پیچیدهٔ الاستومرهای مغناطیسی ارائه شده است. در ادامه به یکی از ساده‌ترین مدل‌های ارائه‌شده برای شبیه‌سازی رفتار این مواد اشاره می‌شود. مدل سه‌متغیره معمولاً برای توصیف رفتار ویسکوالاستیک لاستیک‌ها استفاده می‌شود. مدل سه‌متغیره در حقیقت ترکیبی از یک المان فنری و مدل کلاسیک کلوین (فنر و دمپر موازی) است. مطابق شکل ۶ لی و همکاران با مطالعه دربارهٔ این مدل، مدل بهبودیافتهٔ چهارمتغیرهٔ ویسکوالاستیک را ارائه نمودند [۹]. سایر مدل‌های پیچیده‌تر ارائه شده در مطالعات دقیق‌تر بررسی شده‌اند.

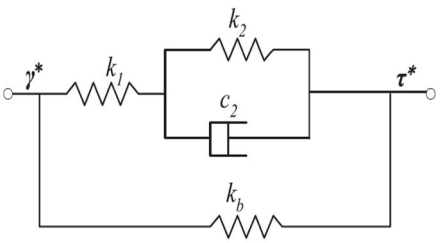


شکل ۵. شرایط کاری الاستومرهای مغناطیسی

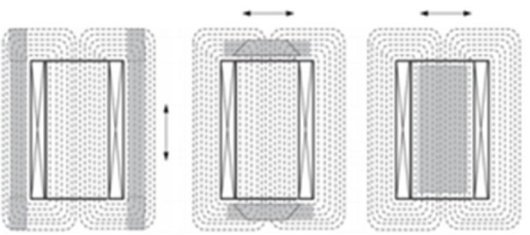
۸. الزامات میدان مغناطیسی

به‌منظور ایجاد شرایط کاری این الاستومر، روش‌های متفاوتی برای ایجاد میدان مغناطیسی پیشنهاد شده است. معمولاً برای ایجاد میدان مغناطیسی پیرامون الاستومر مغناطیسی از یک کویل الکترومغناطیسی استفاده می‌شود. مزیت استفاده از کویل الکترومغناطیسی نسبت به آهنربای دائمی توانایی تغییر شدت

میدان مغناطیسی و در نتیجه نیروی وارده به ذرات درون میدان است. ایده‌آل آن است که همواره شار میدان مغناطیسی عمود بر جهت اعمال نیرو و در نتیجه راستای حرکت ذرات باشد، درنتیجه میدان مغناطیسی ایجادشده می‌تواند بیشترین تأثیر خود را بر خواص الاستومر مغناطیسی بگذارد [۵]. بهینه‌ترین نوع طراحی برای میدان مغناطیسی طراحی C شکل است که در آن یک مسیر بسته برای عبور جریان مغناطیسی اعمال می‌شود و به این ترتیب میزان هدررفت انرژی به حداقل می‌رسد. به‌منظور جلوگیری از اتلاف انرژی در هوا و تأمین یک میدان مغناطیسی منظم و قوی درون الاستومر تا حد امکان دهانه‌های طراحی C شکل باید کوچک باشد [۵، ۱۰]. در طراحی میدان مغناطیسی برای الاستومرهای مغناطیسی بنا به نوع کاربرد آنها و شرایط کاری‌شان، همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود، موقعیت قرارگیری آهنربا نسبت به سه صورت بیرون الاستومر و در جهت حرکت، بیرون الاستومر و عمود بر جهت حرکت و درون الاستومر در راستای حرکت می‌باشد.



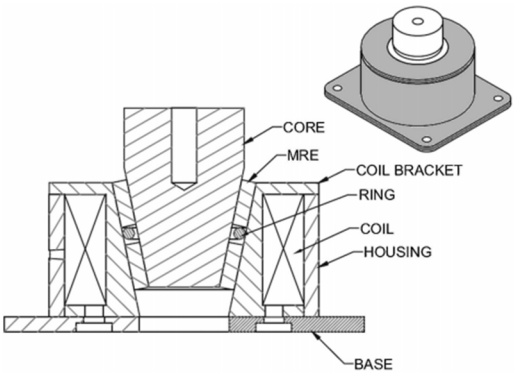
شکل۶. مدل سه‌متغیرهٔ ارائه‌شده توسط لی و همکاران [۲]



شکل ۷. نحوهٔ قرارگیری الاستومر در میدان مغناطیسی

۹. کاربرد الاستومرهای مغناطیسی در صنعت خودرو

در دو دههٔ گذشته، کاربرد الاستومرهای مغناطیسی بیشتر براساس یک جذب‌کنندهٔ فعال ارتعاش بوده است. جذب‌کننده‌های فعال ارتعاش دستگاه‌هایی برای فرونشاندن ارتعاش‌اند که حداقل یک المان دینامیک در آنها وجود دارد و به‌طور پیوسته در حال تغییرات است. این نوع از جاذب‌های ارتعاش گاهی جاذب ارتعاش دینامیک[۱۲]، جاذب ارتعاش فعل و انفعالی[۱۳] یا جاذب ارتعاش وفق‌یافتهٔ انطباقی[۱۴] نیز خوانده می‌شوند. در فرایند جذب ارتعاشات متغیر فنر، جرم، یا دمپر در یک جاذب ارتعاش باید قادر باشد به‌صورت انطباقی با ارتعاش تغییر کند تا بتوان جاذب ارتعاش را مجدداً تنظیم کرد. در شکل ۸ نمایی شماتیک از پیکربندی یک جاذب ارتعاشی وفق‌شوندهٔ فعال بر پایهٔ الاستومرهای مغناطیسی نمایش داده شده است، که برای کنترل ارتعاش صندلی خودرو به‌کار می‌رود.

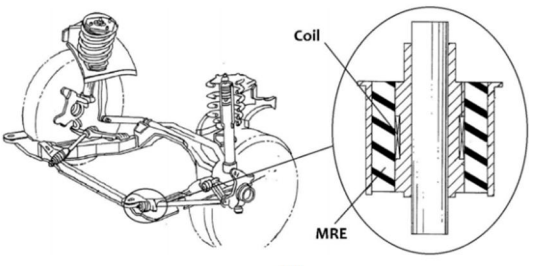


شکل ۸ جاذب ارتعاشی به‌کار رفته در صندلی خودرو [۵]

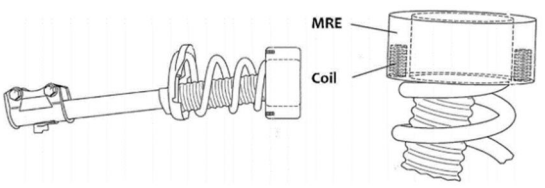
این الاستومرها در ساخت بوش‌های خودرو نیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. تنظیم میزان سفتی یک بوش لاستیکی مورد استفاده در سیستم تعلیق خودرو در راستای محور طولی آن، به‌معنای بهبود بخشیدن عملکرد و تأثیرگذاری روی تجربهٔ سرنشین از جذب ارتعاشات می‌باشد. در طراحی سیستم تعلیق برای انتقال نیرو از خودرو به سطح جاده نیاز به اتصالاتی با سفتی بالا می‌باشد. این در حالی است که بهترین کیفیت سواری در خودرو هنگامی حاصل می‌شود که اتصالاتی که منجر به انتقال نیروهای ناشی از سطح جاده به خودرو می‌گردند، دارای سفتی کمی باشند. این تضاد سبب پیدایش لاستیک‌هایی با ضریب فنریت متغیر شده که الاستومرهای مغناطیسی نمونه‌هایی از همین لاستیک‌ها می‌باشند. بوش‌های ساخته‌شده از الاستومرهای مغناطیسی که در شکل ۹ نمایش داده شده‌اند در سال ۱۹۹۷ م توسط واتسون [۷] به ثبت رسیده است. استفاده از بوش‌های فعال برپایهٔ الاستومرهای مغناطیسی در اعضای طولی سیستم فنربندی خودرو سبب جذب اغتشاشات طولی ایجادشده ناشی از شتاب‌گیری و ترمزگیری در سیستم تعلیق و در نتیجه بالابردن سطح کیفی سواری خودرو از دیدگاه سرنشین می‌گردد. میزان سفتی بوش‌های ساخته‌شده از الاستومرهای مغناطیسی توسط جریان تأمین می‌شود که میزان آن را واحد کنترل خودرو تعیین

می‌کند. واحد کنترل خودرو با استفاده از یک حسگر شتاب‌سنج شتاب‌های طولی وارد بر خودرو را اندازه‌گیری و متناسب با آن میزان جریان مورد نیاز برای کنترل اغتشاشات را تعیین می‌کند.

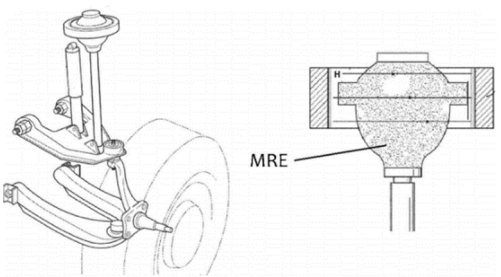
الاستومرهای مغناطیسی همچنین در ایجاد فنربندی متغیر نیز می‌توانند کاربرد داشته باشند. فنرهای فلزی مارپیچ رایج ضریب فنریتی ثابت دارند. این امر سبب می‌شود در سیستم‌های که نوع ارتعاشات متغیرند، مصالحه‌ای بین تعریف راحتی سرنشین و بازهٔ ارتعاشات ورودی به سیستم صورت گیرد. به‌منظور بهبود کیفیت سواری و راحتی سرنشین در خودرها به‌صورت متداول از فنرهای با ضریب فنریت متغیر گازی استفاده می‌شود، که میزان گاز درون آنها به‌صورت دستی یا کنترل‌شده توسط سیستم کنترل مرکزی تنظیم می‌شود. در مراجع [۱۱–۱۲] استفاده از فنرهای ساخته‌شده از الاستومرهای مغناطیسی برای تنظیم فنریت در سیستم تعلیق خودرو پیشنهاد می‌شود. این دو طرح از لحاظ ساختار سیستمی با یکدیگر متفاوت‌اند. در طرح اول [۱۱]، که در شکل ۱۰ نمایش داده شده است، مجموعهٔ فنربندی یک سیستم فنربندی مک‌فرسون معمولی است که در محل اتصال آن به بدنه از الاستومر مغناطیسی استفاده شده‌است. میزان فنریت کل مجموعه در حضور میدان مغناطیسی افزایش می‌یابد و در صورت عدم حضور میدان مغناطیسی این مجموعه مانند قبل به شکل یک سیستم غیرفعال عمل خواهد کرد. در طرح دوم [۱۲]، شکل ۱۱، الاستومر مغناطیسی جایگزین فنر مارپیچ می‌شود. الاستومر مغناطیسی استفاده‌شده در این طرح از نوع ناهمسانگرد و ترکیبی از لاستیک طبیعی و مصنوعی است. ساختار این طرح بسیار ساده است، اما به‌دلیل ضخامت بالای الاستومر مغناطیسی استفاده‌شده در این طرح نیاز به ایجاد میدان مغناطیسی قوی دارد و در نتیجه صرف انرژی زیاد است. در صورت اعمال میدان مغناطیسی مناسب، این طرح توانایی کاربری در بازهٔ فرکانسی وسیعی را دارد.



شکل ۹. بوش سیستم تعلیق ساخته‌شده از الاستومرهای مغناطیسی [۷]



شکل ۱۰. سیستم فنربندی مک‌فرسون ترکیب‌شده با الاستومرمغناطیسی [۱۱]



شکل ۱۱. فنر ساخته‌شده از الاستومرمغناطیسی [۱۲]

شکل ۱۲ تایری را نشان می‌دهد که در آن از الاستومرهای مغناطیسی به‌صورت فشرده استفاده و به ساختار چرخ متصل شده است. به این صورت می‌توان فشار باد تایر را دینامیکی کنترل کرد. وقتی میدان مغناطیسی اعمال می‌شود، عملکرد اصلی سیستم الاستومرهای مغناطیسی تنظیم فشار هوای بین رینگ و تایر است. در وضعیتی که سیستم سفت‌تر شده و دچار تغییر شکل شود، فشار هوا تایر افزایش می‌یابد. میزان جریان مورد نظر توسط واحد کنترل چک می‌شود. سیستم کنترلی باز خوردی با حسگر فشار تایر در ارتباط است، زمانی‌که سیستم کنترلی، سیگنالی مبنی بر اینکه فشار تایر خارج از حد تعریف شده است از حسگر دریافت کرد، این سیستم سیگنالی برای کنترل میدان مغناطیسی و فعال نمودن الاستومرهای مغناطیسی ارسال می‌کند [۵].

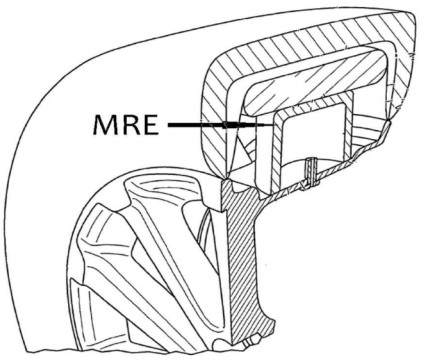
۱۰. اندازه‌گیری خواص مکانیکی

روش‌های متنوعی برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی این دسته از مواد ارائه شده است. یک نمونهٔ ساده از این روش‌ها به این صورت است (شکل ۱۳) که نمونهٔ الاستومر مغناطیسی بین دو عدد آهنربای سیلندری با قطر ۵۰ و ارتفاع ۱۲/۵ میلی‌متر قرار گرفته است. ساختار دستگاه از یک قاب فلزی برای تثبیت محل آهن‌رباها تشکیل شده است. محل هر دو آهن‌ربا به کمک دستگیره‌های تعبیه‌شده قابل تنظیم است، بنابراین می‌توان میدان مغناطیسی متفاوتی به نمونهٔ آزمایش القا کرد. با یک دستگاه گوس‌متر[۱۵] شدت میدان مغناطیس اندازه گرفته می‌شود. همچنین می‌توان با روش‌های معمول میزان نیروی وارده و تغییر طول قطعه الاستومر مغناطیسی را اندازه گرفت [۱۳]. مدول یانگ برای الاستومرهای مغناطیسی در این آزمایش به‌صورت ۱ محاسبه می‌شود. به‌طوری‌که در این رابطه E مدول یانگ، F نیروی اعمالی، A_0 سطح مقطع اولیه که نیرو به آن اعمال می‌شود، Δl تغییر طول قطعه الاستومرهای مغناطیسی و l_0 طول اولیه آن می‌باشد.

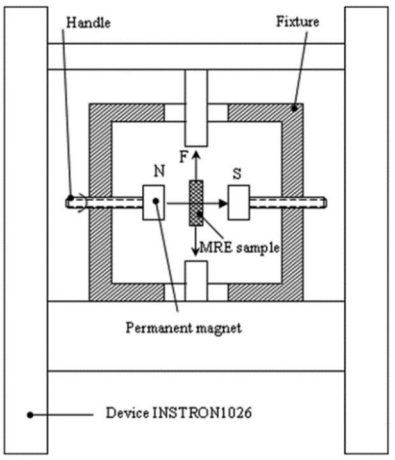
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F / A_0}{\Delta l / l_0} = \frac{F l_0}{A_0 \Delta l} \qquad (۱)$$

۱۱. نتیجه‌گیری

با اینکه از مواد هوشمند در صنایع چندین دهه است که استفاده می‌شود، اما پتانسیل‌های بالایی برای بهبود مواد موجود و نزدیک‌کردن خواص آنها به خواص دلخواه و مطلوب دیده می‌شود. برای مثال در سال‌های اخیر تحقیقات روی الاستومرهای مغناطیسی به‌عنوان جایگزینی مناسب برای سیالات مغناطیسی افزایش یافته است. علاوه بر این در این مقاله به روش‌های به‌کارگیری الاستومرهای مغناطیسی و موارد کاربرد آنها اشاره شد که امید است به پیشرفت این زمینه بیانجامد.



شکل ۱۲. چرخ با سیستم کنترل باد تایر [۵]



شکل ۱۳. نحوهٔ چینش دستگاه آزمایش اندازه‌گیری مدول یانگ [۴]

۱۲. مآخذ

[1] W. H. Li, Y. Zhou, T. F. Tian, Viscoelastic properties of MR elastomers under harmonic loading, *Rheol. Acta*, vol. 49, no. 7, pp. 733–740, 2010.

[2] P. Wu, Q. Ma, J. Zhu, H. Liang, The Review of the Application of Magneto-Rheological Fluid and Engineering, *Math. Model. Eng. Probl.*, vol. 3, no. 2, pp. 63–66, 2016.

[3] N. Hoang, N. Zhang, W. H. Li, H. Du, Development of a torsional dynamic absorber using a magnetorheological elastomer for vibration reduction of a powertrain test rig, *J. Intell. Mater. Syst. Struct.*, vol. 24, no. 16, pp. 2036–2044, 2013.

[4] L., Weihua, Z. Xianzhou, Research and applications of mr elastomers, *Recent Patents on Mechanical Engineering*, vol. 1, no. 3, pp. 161–166, 2008.

[5] L. WH, Z. XZ, Du H, Magnetorheological elastomers and their applications, *Advances in Elastomers I*, Springer, 2013.

[6] P. Wu, Q. Ma, J. Zhu, H. Liang, The Review of the Application of Magneto-Rheological Fluid

and Engineering, *Math. Model. Eng. Probl.*, vol. 3, no. 2, pp. 63–66, 2016.

[7] Ubaidillah, Joko Sutrisno, Agus Purwanto, Mazlan, Saiful Amri. Recent progress on magnetorheological solids: Materials, fabrication, testing, and applications. Advanced Engineering Material, 2014.

[8] Y. Li, J. Li, W. Li, D. Haiping, A state-of-the-art review on magnetorheological elastomer devices. IOP SCIENCE, 1, 2014.

[9] W. H. Li, Y. Zhou, T. F. Tian, Viscoelastic properties of MR elastomers under harmonic loading, *Rheol. Acta*, vol. 49, no. 7, pp. 733–740, 2010.

[10] L. A. Albanese, C., Kenneth, Performance of mre-based vibration absorbers, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 2007.

[11] P. D. Rodenbeck, Active magneto-rheological spring assemblies and vehicle suspension systems incorporating the same, July 3 2012. US Patent 8, 210, 547.

[12] P. R. Marur, Magneto-rheological elastomer-based vehicle suspension, April 11 2013. US Patent App. 13/253,147.

[13] N. Hoang, N. Zhang, W. H. Li, H. Du, Development of a torsional dynamic absorber using a magnetorheological elastomer for vibration reduction of a powertrain test rig, *J. Intell. Mater. Syst. Struct.*, vol. 24, no. 16, pp. 2036–2044, 2013.

پی‌نوشت

1. stimuli-responsive
2. smart
3. magneto actuated smart materials
4. magneto rheological fluid
5. magneto rheological gel
6. magneto rheological elastomer
7. soft elastomers
8. semi-solid elastomers
9. isotropic
10. anisotropic
11. actuator
12. dynamic vibration absorber
13. active-passive vibration absorbers
14. adaptive tuned vibration absorbers
15. Gauss-meter