

مواد هوشمند و کاربرد آنها در صنعت خودرو

محمد شفیعیان^{*۱}

۱- مدیریت مهندسی خودرو
* m.shafieian@isaco.ir

چکیده

با رشد و بهبود تکنولوژی اطلاعات طی بیست سال گذشته، واژه "هوشمند" به شکل فزاینده ای در مورد مواد، اشیا و محیط بکار گرفته شده است. هوشمندی خاصیتی است که در تمام گروههای مواد یافت شده است. در هر دسته از مواد مثل کامپوزیتها، پلیمرها، فلزات و سرامیکهای پیشرفته می توان موادی یافت که با اعمال یک سری فرایندها خواص هوشمند پیدا کنند. انواع مختلفی از مواد همچون فروالکترونیک ها (که در میدان الکتریکی کرنش میکنند)، آلیاژهای حافظه دار (shape memory alloy) (که در واکنش به تغییرات دما دچار تغییر شکل ناشی از تبدیل فاز میشوند) و مواد منعطف مغناطیسی (که در میدان مغناطیسی کرنش می کنند) و یکسری مواد دیگر از خود قابلیت حسگری (sensing) و تحریک پذیری (actuating) نشان میدهند که از آنها بعنوان هوشمندی تعبیر میشود. می توان از این قابلیتها و یا ترکیبی از آنها برای پاسخگویی به شرایط محیطی مختلف بهره برد. پیش بینی میشود که در آینده نزدیک شاهد استفاده از این مواد در خط تولید خودرو باشیم و مدل جدیدی از خودروی سمند هوشمند طراحی و به دست همکارانمان تولید گردد.

کلیدواژگان

مواد هوشمند، صنعت، خودرو

۱- مقدمه

مواد در تاریخ زندگی بشر همواره از اهمیت بسزایی برخوردار بوده اند بطوریکه برهه های خصوصی از تاریخ را با توجه به مواد مصرفی و یا با اهمیت آن دوران نامگذاری کرده اند. بعنوان مثال: عصر سنگ - عصر آهن - عصر برنز و ... به نظر میرسد پس از تأثیرات شگرفی که فن آوری اطلاعات بر زندگی انسانها گذاره بار دیگر نوبت به مواد رسیده است تا جایگاه اصلی خود را در این عرصه باز یابند.

زمانیکه از شیوه های مرسوم برای طراحی استفاده میکنیم، یکی از گامها تصمیم گیری در مورد ماده مناسب است. مواردی که در نظر گرفته می شود شامل قیمت، استحکام، سختی، خستگی، وزن و... است. ولی زمانیکه از مواد هوشمند استفاده می شود قابلیتها و امکانات جدیدی فراروی ماست. این نوع مواد میتوانند برای بهبود عملکرد، بدون افزودن اجزای مکانیکی و الکترونیک جدید بکار روند.

مواد هوشمند (smart or intelligent materials) موادی هستند که برای پاسخگویی به محرکهای محیطی از خود قابلیتهای حسگری و تحریک پذیری نشان میدهند. برای این مواد طبقه بندیهای مختلفی وجود دارد یک طبقه بندی مناسب برای این مواد، بر اساس حوزه ایست (field) که در آن به ماده، محرک وارد شده و سپس ماده پاسخ خود را در حوزه مکانیکی به معرض نمایش گذارده است و نیز اگر نیروی مکانیکی را بعنوان محرک بگیریم پاسخها در چه حوزه ها و به چه اشکالی ظاهر خواهند شد در واقع مورد دوم با در نظر گرفتن خصلت حسگری و یا تحریک کنندگی برای ماده تعریف میشود. اگر به ماده هوشمند پردازش (processing) را نیز اضافه کنیم یک سیستم (smart material system) یا ساختار هوشمند (smart structure) خواهیم داشت که از آن استفاده های بیشماری بعمل می آید (شکل ۱ که ذیلا آورده شده است)

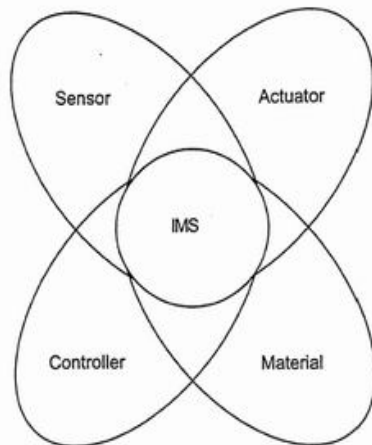


Fig 1. Intelligent material systems

شکل ۱ سیستم مواد هوشمند

در این قسمت به بررسی اجمالی برخی از مهمترین انواع مواد هوشمند پرداخته می شود:

۲- آلیاژهای حافظه دار (SMA)

فلز حافظه دار آلیاژی است که می تواند در دمای پایین تغییر شکل پلاستیک داده و سپس با قرار گرفتن در معرض حرارت بشکل اولیه خود بازگردد. (شکل ۲)

آنهاست از آنجاییکه سیمها شعاع کوچکی دارند و رسانای خوبی نیستند (مثلا در قیاس با مس) جریان باعث میشود سرعت گرم شده و از خود عکس العمل نشان دهند. شکل شماره ۴ (انتهای متن) خواص آلیاژ نیتینول را نشان میدهد.

این آلیاژها موارد استفاده متنوعی در صنعت، هنر، پزشکی، کاربردهای مهندسی و ... دارند بعنوان مثال میتوانند بعنوان: اتصال لوله-فعال کننده نیرو در مدارهای الکتریکی_ شیر اطمینان_ شیر کنترل سیال_ قاب عینک_ کاربردهای دندانپزشکی_ ایمپلنتهای پزشکی_ فیلتر خونی از جنس سیمهای NiTi_ ظروف ترموستاتیک قهوه_ stentهای جراحی_ نگهدارنده ها (clamps)_ مجسمه ها_ اجزای دمپرهای سازه ها برای جلوگیری از خسارات ناشی از زلزله_ اتصال تاندون به استخوان در پزشکی_ پینها و سیمهای راهنما در پزشکی_ root canal files_ ابزارهای جراحی خمشو (foldable)-آنتن ماهواره ها_ کنترل تعادل تیغه های روتور هلی کوپترها و... بکار روند.

شکل ۵ (انتهای متن) تغییرات تنش آلیاژ حافظه دار بر اثر گرم کردن و سرد کردن را نشان میدهد.

۳- کریستالهای پیزوالکتریک

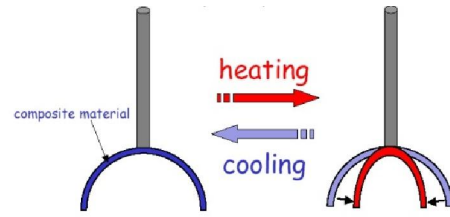
یکی از رایجترین مواد هوشمند کریستالهای پیزو هستند. آنها این خاصیت را دارند که به هنگام قرار گیری در معرض ارتعاشات، ولتاژ تولید کنند ضمن اینکه اگر ولتاژی از آنها عبور داده شود، تولید ارتعاش میکنند. کریستالهای بر مبنای دو اثر زیر کار میکنند:

اثر مستقیم پیزوالکتریک (direct piezoelectric effect)_ زمانیکه ماده پیزوالکتریک بواسطه تنش مکانیکی وارده، ایجاد جریان الکتریکی مینماید. این خصلت میتواند برای تشخیص کرنش، حرکت، نیرو و فشار از طریق ارسال پاسخهای الکتریکی مناسب در سنسورهای نیرو، آکوستیک و اولتراسونیک بکار گرفته شود.

اثر معکوس پیزوالکتریک (converse piezoelectric effect)_ زمانیکه ماده بواسطه قرار گیری در میدان الکتریکی، کرنش میکند. این خصلت میتواند برای ایجاد کرنش، حرکت، نیرو، فشار و ارتعاش از طریق بکار گیری میدان الکتریکی بکار برده شود.

استفاده توأم از این خصلتها بسیار مفید است، چرا که همان کریستال هم می تواند بعنوان حسگر (sensor) عمل نماید و هم بعنوان محرک کننده (actuator) خواص پیزوکریستال این امکان را بوجود می آورد که حسگری و تحریک کنندگی روی محیط پیرامون، هر دو با یک کریستال صورت بگیرد. یک کریستال که برای حس کردن ارتعاشات مورد استفاده قرار گرفته است میتواند برای تولید ارتعاش نیز مورد استفاده قرار بگیرد. محصولاتی که مصرف کننده انرژی هستند به نوعی منبع انرژی احتیاج دارند این بدان معناست که باید باتریهایی به آنها اضافه شود که وزن و حجم را زیاد کرده و به شارژ مجدد نیز نیاز دارد. در این قبیل کاربردها میتوان از پیزوکریستالها بعنوان منبعی برای ذخیره انرژی الکتریکی بدست آمده از حرکت و یا ارتعاشات بدنه استفاده کرد.

در جدول ۲ (انتهای متن) تعدادی از مواد پیزوالکتریک معرفی شده اند. شکل ۶ تغییرات یک پیزوسرامیک را بر اثر جریان الکتریکی نشان میدهد (شکل ذیل)



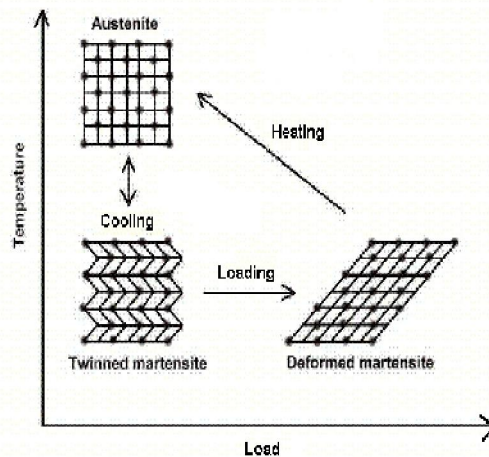
شکل ۲ تغییر شکل آلیاژ حافظه دار بر اثر اعمال تغییرات دما

برای مثال یک سیم صاف میتواند پیچیده و یا خم شود، و بعد از اینکه به آن حرارت داده شد به شکل اولیه اش باز گردد. بعضی نمونه های آلیاژهای حافظه دار شامل عناصری است که در جدول شماره ۱ آورده شده اند.

جدول ۱ آلیاژهای حافظه دار

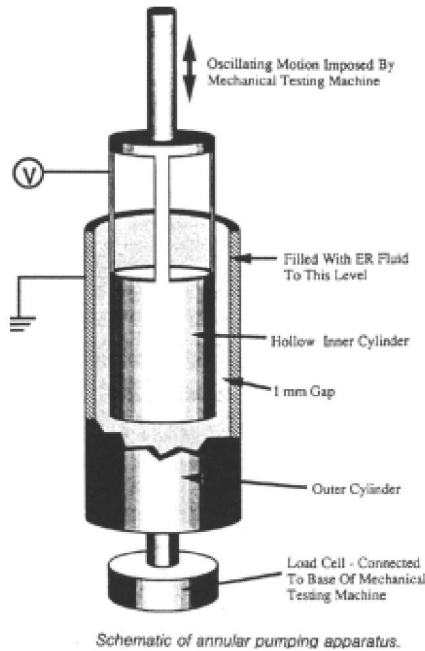
انواع دیگر آلیاژ	آلیاژهای پایه مس	آلیاژهای پایه آهنی
Mn-Si-Cr-Ni	Cu-Al-Zn	Fe-Ni-Co-Ti
		Fe-Pt
		Fe-Pd
Ni-Ti	Cu-Al-Ni	Fe-Ni-C
		Fe-Mn-Si

این آلیاژ در سال ۱۹۳۲ کشف شد. در سال ۱۹۶۲ محققین در یافتند که نیتینول یا همان آلیاژ نیکل-تیتانیوم بوضوح چنین مشخصاتی را از خود به نمایش میگذارد. نوع شبکه کریستالی در هر یک از فازها تفاوت دارد و از همین رو تغییر فاز میتواند موجب تغییر شکل شود. شکل ۳ منحنی تغییر فاز را بر اساس بار و حرارت اعمالی نشان میدهد (ذیل)



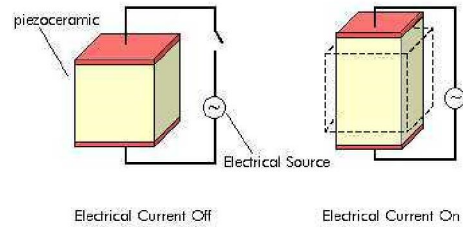
شکل ۳ منحنی تغییر فاز بر اساس بارگذاری و اعمال حرارت

زمانیکه آلیاژ NiTi بشکل سیمهای نازکی در بیاید میتواند بعنوان "فیبر عضلانی" (muscle fiber) مورد استفاده قرار بگیرد. ناسا از سیمهای عضلانی در ماهواره هایش استفاده میکند. زمانیکه نور خورشید سیمها را گرم میکند آنها وارد عمل شده و آنها و آنتنها و سایر تجهیزات را بدون استفاده از موتور و الکتریسیته جمع میکنند. زمانیکه بخواهیم از آنها در تجهیزات الکترونیکی استفاده کنیم بهترین راه برای کوتاه کردن طول سیمها عبور جریان از داخل



شکل ۸ یک پمپ ER

سیال MR طبقه ای از مواد هوشمند است که خواص رئولوژیکی آن با اعمال یک میدان مغناطیسی بسرعت تغییر میکند. این ماده عموماً از ذرات آهن در ابعاد میکرون تشکیل شده است که در یک سیال یا الاستومر پراکنده اند. زمانیکه سیال MR در معرض میدان مغناطیسی قرار گیرد حالت مایع آن میتواند به یک حال نیمه مایع و یا جامد تغییر کند. زمانیکه میدان مغناطیسی برداشته شود حالت آن بار دیگر به مایع بازمی گردد. شرکتها و دانشگاههای بسیاری بر روی این مواد تحقیقات انجام داده اند بعنوان مثال شرکت لرد امریکا، دمپرهایی از سیال MR طراحی کرده است که در کنترل ارتعاشات خودرو و بهینه سازی سیستم تعلیق آن و نیز کنترل لرزه (seismic) کاربرد دارد. دانشگاه رجستر در مورد نوعی از این سیال تحقیقات انجام داده است که برای فینیشینگ (finishing) و پولیش اجزای نوری (optical) بکار می رود. دانشگاه inha و دانشگاه duke در مورد رفتارهای دمپرهایی MR بررسیهایی را انجام داده اند. تحقیقات بی شماری برای استفاده از سیالات MR و ER در شیرهای فشارشکن صورت گرفته است. شکل ۹ (ذیل) سیال MR را قبل و بعد از اعمال میدان مغناطیسی نشان می دهد.

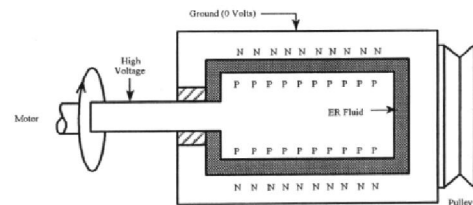


شکل ۶ تغییرات پیزوسرامیک بر اثر اعمال جریان الکتریکی

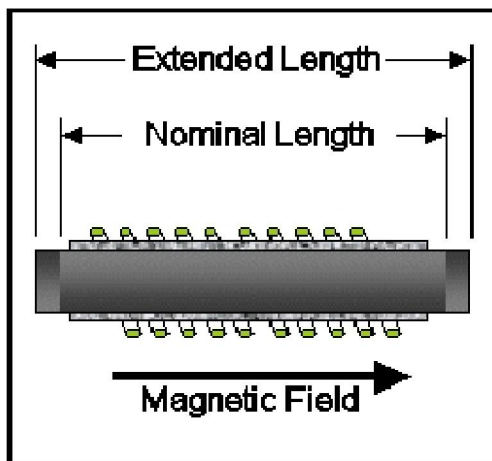
۴- سیال MR و ER

رئولوژی (rheology) علم جریان و تغییر شکل ماده است (science of the flow & deformation of matter). بعنوان مثال در پاسخ به یک نیرو یا تنش. مشخصه های لزجت یا مقاومت یک سیال در برابر جریان می تواند با بکارگیری یک میدان الکتریکی در سیال ER تغییر داده شود. مواد ER در گستره وسیعی از مخلوطهای معلق کلوئیدی ناشی از تعلیق مواد جامد دی الکتریک در سیالات نارسانا وجود دارند. در غیاب میدان الکتریکی سیال از ذرات ریزی (در حد ۰.۱ تا ۱ میکرون) که بصورت نامنظم در مخلوط پخش شده اند تشکیل شده است. وقتی میدان الکتریکی اعمال شده، خواص دی الکتریک ذرات باعث جهت گیری (alignment) آنها در میدان الکتریکی و چسبیدن ذرات همجوار به یکدیگر میشود که این امر باعث نزدیک شدن آنها و شکل گرفتن فیبریلها (fibrills) میشود. وجود فیبریلها تا حد زیادی در تعیین لزجت سیال نقش دارد. جهت گیری ذرات با برداشتن میدان الکتریکی از میان میرود.

بعضی کاربردهای این مواد شامل کلاچ و پمپ، وسایل مستهلک کننده نظیر کمک فنر خودرو، ضربه گیرها و کنترل کننده جریان است. شکل ۷ یک کلاچ ER و شکل ۸ یک پمپ ER را نمایش می دهند. (اشکال ذیل)



شکل ۷ یک کلاچ ER



شکل ۱۰ افزایش طول ماده سخت شونده بر اثر اعمال میدان مغناطیسی

سخت شوندگی یک تغییر ابعاد در ماده هوشمند مغناطیسی است که از تغییر در حالت مغناطیسی حاصل میشود. این سخت شوندگی مغناطیسی در اثر جهت گیری مجدد (re orientation) در ممان مغناطیسی اتمی (atomic magnetic moment) بوجود می آید. زمانیکه ممانهای اتمی کاملاً ردیف شدند (align)، از آنجاییکه افزایش میدان مغناطیسی اعمالی سخت شوندگی بیشتری ایجاد نمیکند حالت اشباع پیش می آید. اندازه گیری میزان سخت شوندگی در حالت اشباع یکی از اساسی ترین اندازه گیری ها در مواد هوشمند مغناطیسی است.

برای میدانهای مغناطیسی اعمال شده در حالت زیر اشباع، سخت شوندگی تقریباً خطی است. وسایلی که با مواد هوشمند مغناطیسی کار میکنند زمانی برای علم و صنعت ارزشمند خواهند بود که بتوان از آنها با تolerانس کم و با دقت زیاد و قابل اطمینان استفاده کرد. رفتار خطی این مواد پایه و اساس پیشرفت ابزارهای MSM شامل تحریک کننده ها، موتورهای پله ای (stepper motor)، حسگرهای موقعیت (positioning sensors) و شیرها و مبدلهای صوتی (acoustic transducers) بوده است.

یکی از مزایای وسایل MSM قابلیت ایجاد یک نیروی بزرگ از طریق یک جابجایی اندک است. قابلیت اعمال نیروی چنین وسیله ای به مدول یانگ ماده سخت شونده و مساحت سطح مقطع آن بستگی دارد. یک مزیت دیگر ماده MSM اینست که برخلاف سولونوئید که تنها در یک جهت اعمال نیرو میکند (و از این رو احتیاج به مکانیزم برگشت جداگانه دارد) می تواند در هر دو جهت حرکت نماید. افزون بر این یک وسیله MSM بواسطه نداشتن قطعات متحرک ذاتاً مطمئن تر است و وسیله تعیین مکان (positioning device) دقیقتری به حساب می آید. شکل ۱۱ (ذیل) یک تحریک کننده خطی (linear actuator) را نشان میدهد که با این مواد کار میکند.



شکل ۹ سیال MR قبل (سمت چپ) و بعد (سمت راست) اعمال میدان مغناطیسی

۵- پلیمرهای هوشمند

بخش مهم دیگری از مواد هوشمند، پلیمرهای هوشمند هستند (مثلاً ژلهای جدیدی که در واکنش به میدان الکتریکی تغییر شکل میدهند). از پلیمرهای الکترواکتیو در ساخت ماهیچه های مصنوعی استفاده شده است. پلیمرهای موجود کنونی قدرت مکانیکی محدودی دارند اما حوزه پلیمرها حوزه تحقیقاتی بسیار پویایی است و کاربردهای بالقوه ای را در روبانهای کاوشگر فضایی و ماموریتهای بسیار خطرناک و تجسس، نوید می دهد. همچنین می توان هیدروژل هایی ساخت که در واکنش به تغییرات pH و دما منبسط و منقبض شوند. این هیدروژل ها (بشکل کپسول) قادر خواهند بود در واکنش به تغییرات شیمیایی داروهایی در بدن ترشح کنند (مثلاً ترشح انسولین بر پایه تمرکز گلوکز).

در ساخت محصولات جدید، استحکام، سختی و مقاومت در برابر خستگی از جمله مسایلی هستند که می بایست مورد توجه قرار بگیرند. روشهای مرسوم نظیر روش اجزای محدود (finite element) می توانند برای ایجاد یک مدل کامپیوتری از تنشها و کرنشهای موجود در جسم بکار برده شوند. اما بعضی اوقات این ابزارها وقت گیر هستند و دنبال کردن مسئله بدین طریق نیز در بسیاری موارد مشکل است. یکی از روشهایی که ثابت شده بسیار سودمند است ریختن مدلی از محصول بصورت ماده پلیمریک است (optical polymer). این پلیمرها خواصی دارند که موجب میشود در اثر اعمال تنش تغییر رنگ بدهند. این بدان معناست که می توان مدلی از جسم ریخت و از آن برای دیدن نقاطی که در آن تنش حداکثر است استفاده نمود.

۶- مواد سخت شونده مغناطیسی (Magnetostrictive)

این مواد گونه ای از مواد هوشمند مغناطیسی (MSM) هستند که وقتی در میدان مغناطیسی قرار بگیرند تغییر شکل میدهند. این تغییر شکل سخت شوندگی مغناطیسی نام دارد (magnetostriction). شکل ۱۰ (ذیل) تغییرات ماده سخت شونده را بر اثر اعمال میدان مغناطیسی نشان میدهد.

تداوم کار روی حسگرهای بیومتریک پنهان و ریز همراه با تحقیق پیرامون شناسایی صدا و خط و اثر انگشت، به اثر بخشی سیستمهای فردی می انجامد. این سیستمها می توان برای مقاصد پلیسی، نظامی، سازمانی، شخصی و تفریحی استفاده نمود.

کاربردهایی برای ایمن سازی اسلحه کمری و دزدگیر وسایط نقلیه (با نصب قفلهای تشخیص مالک حقیقی) ایجاد خواهد شد.

لباسهایی که به شرایط مختلف آب و هوایی حساسند و با سیستمهای اطلاعات تعامل دارند، علائم حیاتی را کنترل میکنند، قادر به ترشح مواد دارویی هستند و جراحات را بطور خودکار محافظت میکنند.

و بلاخره اینکه ساخته خواهند شد:

ایرفیلپهایی که خود را با شرایط آب و هوا سازگار میکنند

ساختمانهایی که خود را با شرایط آب و هوا سازگار میکنند

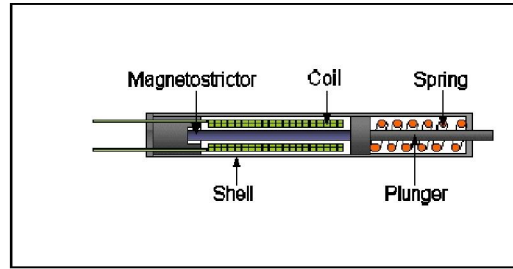
پل ها و جاده هایی که ترک را احساس و آن را مرمت میکنند.

۸- نتیجه گیری

دنیای مواد امروزه بسرعت در حال تغییر و دگرگونی است و محققین به دنبال خصلتهای جدید در مواد هستند مزیتهای فراوانی که مواد هوشمند به همراه خود دارند عرصه را روز به روز به مواد سنتی و قدیمی تنگ تر خواهد کرد. مواد هوشمند به جهت تنوع ساختاری زیادی که دارند می توانند بسرعت خود را جایگزین سایر مواد کنند. مصارف جدیدی برای این نوع مواد تعریف شده و مصارف بیشتری نیز تعریف خواهند شد. از این رو لازم است که در کشور ما نیز از هم اکنون تحقیقات جدی تری در این مورد انجام شود و این مواد و قابلیت‌هایی که برای طراحی در اختیار مهندسی قرار میدهند به آنها معرفی شود.

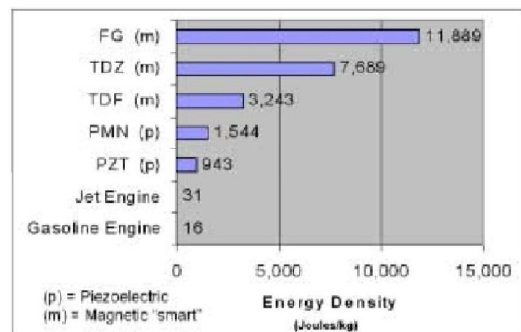
۹- مراجع

- [1] مواد هوشمند، حسین صالحی وزیري، شبکه تحلیلگران تکنولوژی ایران ۸۱/۱۰/۱۲
- [2]- Otsuka, K. and Wayman, C. M.: Shape Memory Materials, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.
- [3]- Piedboeuf, M. C., Gauvin, R. and Thomas, M.: Damping behavior of shape memory alloys: strain amplitude, frequency and temperature effects, Journal of Sound and Vibration 214, 5 (1998), 885-901.
- [4]- <http://mrsec.wisc.edu/EETC/memmetal/index.html>
- [5]- http://www.cs.ualberta.ca/~database/MEMS/sma_mems/smr.html
- [6]- Lhermet N., F.Claeyssen, L.Sandlung, Brite Euram. BRE2-CT94-0914. Ecamma/G.2: Appli. of bulk magnetostrictive mat. to resonant devices - Final Rep. 1998.
- [7]- V.F. Janas, A. Safari, "Overview of Fine-Scale Piezoelectric Ceramic/Polymer Composite Processing", J. Am. Ceram. Soc., 78, pp 2945-2955, 1995
- [8]- Flatau, A.B., Hall, D.L. & Schlesselman, J.M., "Magnetostrictive Active Vibration Control Systems", 30th Aerospace Sciences Meeting & Exhibit, Reno Nevada, January 6-9, 1992
- [9]- Rossi, D.D, et al. Pseudo-muscular Gel Actuators for Advanced Robotics; Journal of Intelligent Materials and Structures. Vol. 3 (1992) 75 - 93.
- [10]- www.translogic-corp.com (13/03/2003)
- [11] کاربرد مواد هوشمند در صنایع - حمیدرضا بهلولی



شکل ۱۱: هنده یک تحریک کننده خطی که با ماده سخت شونده کار میکند.

یکی دیگر از مزیت‌های این مواد چگالی انرژی (energy density) بالایی آنها نسبت به سایر مواد است. شکل ۱۲ (ذیل) مقایسه ای است بین این مواد و سایر مواد هوشمند و نیز موتور جت و موتور بنزینی.



شکل ۱۲: مقایسه چگالی انرژی ماده هوشمند مغناطیسی و سایر مواد و نیز موتور جت و موتور بنزینی

بعضی کاربردهای این مواد در شیرهای هیدرولیکی_sonar transducer_روتور هلی کوپترو inchworm motor می باشد.

۷- مواد هوشمند: حال و آینده

محققین در مرکز مواد دانشگاه ویرجینیا و مهندسی ارتش آمریکا هم اکنون بطور مشترک روی پروژه ای برای نیروی دریایی این کشور کار می کنند. آنها قسمتهای خورده شده ای را که موجب خرابی یک ناو شده ست را جدا خواهند کرد و صفحات کامپوزیتی را که دارای حسگر هستند جایگزین آن خواهند نمود. این سیستم مهندسی نگرهداری را در مواقعی که به تعمیرات نیاز است باخبر خواهد کرد.

آینده صدای استریو تغییر خواهد کرد. محققین دانشگاه ویرجینیا در حال کار روی یک سیستم فوق العاده دقیق بلندگوهای استریو هستند. این بلندگوها از تحریک کننده های پیزوالکتریکی استفاده میکنند که بر اثر ولتاژ اعمالی هزاران بار در ثانیه مرتعش میشوند. هدف، تبدیل دیواره فضای داخلی خوردها به بلندگو از طریق کارگذاری تحریک کننده های بسیار کوچک در آنهاست.

جهانی که از تحریک کننده ها و حسگرهای مرتبط بهم (مثلا روی دیوارها، لباسها، لوازم منزل، وسایط نقلیه و محیط پیرامونی) اشباع شده باشد، نوید دهنده بهبود، بهینه سازی و مشتری گرای سیستمهای حسگر از طریق دسترسی بیشتر به اطلاعات و تحریک پذیری هر چه مستقیم تر است.