POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

مواد تغییر فاز دهنده‌ی[1] مغناطیسی با شکل پایدار همراه با مونتاژ مدولار[2] و ویژگی‌های انطباق هندسی

خلاصه

مواد تغییر فاز دهنده به دلیل ارائه‌ی کاربردهای امیدوارکننده در بسیاری از زمینه‌ها مانند انرژی خورشیدی و خنک‌کاری تراشه‌ها، توجه بسیاری را به خود جلب نموده‌اند. با این حال، این مواد در طول فرآیند تغییر فاز دچار نشتی می‌شوند و هدایت حرارتی نسبتا کمی دارند. در این پژوهش، از طریق معرفی ذرات مغناطیسی سخت، نوعی از مواد تغییر فاز دهنده‌ی پایدار و به شکل مغناطیسی سفت شده سنتز شده است. این مواد دارای عملکردهای چندگانه مانند ضد نشتی، مونتاژ دینامیکی و پیکربندی مجدد مورفولوژیکی هستند و هدایت حرارتی (افزایش ٪1400-٪1600) و الکتریکی ($>10^4$ S/m) فوق العاده بالا و استحکام فشاری قابل توجهی را ارائه می‌دهند. علاوه بر این، کنترل دمای مستقل و سیستم‌های تبدیل حرارتی و الکتریکی با کارایی بالا مبتنی بر این مواد توسعه یافته‌اند. این پژوهش روشی کارآمد را برای بهره‌برداری از مواد تغییر فاز دهنده‌ی هوشمند برای مدیریت حرارتی تجهیزات الکترونیکی و استفاده از اتلاف گرمای درجه پایین پیشنهاد می‌نماید.

بحث و نتیجه‌گیری

مغناطیس، اتصال نیرومندی بین ذرات با خاصیت مغناطیسی ایجاد می‌نماید. در پژوهش حاضر، از اعمال این اثر بر PCMها، به منظور حل مشکل نشتی آن‌ها استفاده شده است. بر همین اساس، مواد مغناطیسی سخت، شامل ریزذرات NdFeB، با پارافین ترکیب شدند. با توجه به رسانایی حرارتی پایین پارافین، ریزذرات NdFeB در ابتدا با یک پوسته‌ی نقره‌ای بر روی سطوح خود آبکاری شده و به NdFeB@Ag تغییر یافتند تا هدایت حرارتی آن‌ها

[1] Phase change material (PCM)
[2] Modular

افزایش یابد. در عملیات مغناطیسی‌سازی، ذرات NdFeB@Ag در امتداد میدان مغناطیسی تجمع یافته و هم‌راستا شدند تا یک ساختار متخلخل سه‌بعدی جهت‌دار تشکیل شود. در ادامه، پارافین در حفره‌های ریز بین ذرات قرار گرفت. ذرات مغناطیسی شده که به یکدیگر متصل شده‌اند، منجر به ایجاد نیروی موییینگی قوی خواهند شد. تحت این شرایط، پارافین در ساختار تثبیت شده و بدین‌ترتیب مواد تغییر فاز دهنده‌ی مغناطیسی با شکل پایدار مغناطیسی[۳] (MTPCM) سنتز می‌شوند. در ادامه‌ی پژوهش، ماده‌ی مورد اشاره به طور کامل تعیین مشخصات شده و مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به نتایج، مشخص شده است که کمترین نسبت حجمی ذرات NdFeB@Ag در MTPCMها 15/84٪ است و تا زمانی که مقدار ذرات، بیشتر از این مقدار بحرانی باشند، MTPCMها ضد نشت بوده و شکل پایداری خواهند داشت. هم راستایی جهت ذرات NdFeB@Ag باعث می‌شود که MTPCMها دارای خاصیت مغناطیسی قوی باشند. چگالی شار مغناطیسی سطحی با حضور 15/84٪ از ذرات مغناطیسی در MTPCM، به بیش از 30 mT[۴] می‌رسد و ترکیب می‌تواند مغناطیس خود را در دمای بالا یا برای مدت‌های طولانی حفظ کند. در همین راستا، ماژول‌های استاندارد MTPCM می‌توانند از طریق جاذبه‌ی مغناطیسی، گردآوری شده و به شکل‌های متنوع و مستحکم، پیکربندی شوند. علاوه بر این، از طریق یک فرآیند عملیات گرمایش ساده، MTPCMها نیز می‌توانند به هر شکلی تبدیل شده و توانایی‌های فوق را دست نخورده نگه دارند و این قابلیت دلیلی جز تعامل بین ذرات مغناطیسی نخواهد داشت. در حقیقت، مغناطیس به MTPCMها، مونتاژ مغناطیسی و هندسه‌ی منسجم می‌بخشد.

ساختار سه بعدی ساخته شده توسط ذرات NdFeB@Ag، پایه‌ی MTPCMها است. حضور این ذرات نه تنها به MPTCMها اجازه می‌دهد تا به ظرفیت‌های ضد نشتی و مغناطیسی دست یابند، بلکه عملکرد این مواد را نیز بهبود می‌بخشد. از جنبه‌ی حرارتی، ذرات NdFeB@Ag فقط به عنوان ماده پشتیبان عمل می‌کنند و هیچ تاثیری بر پارافین ندارند. مقادیر شروع ذوب و نقطه‌ی انجماد برای پارافین خالص (38/65 و 36/23 درجه سانتیگراد) و سه نسبت مختلف MTPCM (38/95 و 37/33 درجه سانتیگراد برای نمونه 15/84٪، 39/5 و 37/13 درجه سانتیگراد برای نمونه 19/12٪ و 40/05 و 30/07 درجه سانتیگراد برای نمونه 23/31٪) تقریباً یکسان هستند. در مورد آنتالپی ذوب، به دلیل اثر هم افزایی نسبت اختلاط و افزایش چگالی در MTPCMها، این پارامتر از $J.cm^{-3}$ [3] 163/75 برای پارافین به $J.cm^{-3}$ 178/70، $J.cm^{-3}$ 172/59 و $J.cm^{-3}$ 141/63 برای سه MTPCM تبدیل می‌شود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که MTPCMها تحت تأثیر ذرات مغناطیسی قرار نمی‌گیرند و هنوز نقطه ذوب/انجماد مناسب و گرمای نهان زیادی را حفظ می‌کنند. به جز این که، آنالیز TGA نشان می‌دهد که افزودن

[3] Magnetically tightened form-stable phase change material (MTPCM)
[4] milli Tesla

ذرات NdFeB@Ag دمای کاهش وزن 5 درصدی MTPCMها را 30 تا 65 درجه‌ی سانتی‌گراد به تاخیر می‌اندازد و باعث می‌شود MTPCMها دارای پایداری حرارتی عالی باشند. در مورد چرخه‌های شارژ/دشارژ حرارتی، MTPCMها نرخ ذخیره/انتشار حرارتی کارآمدی را نشان می‌دهند. پس از بیش از 1000 سیکل حرارتی، منحنی شارژ/دشارژ حرارتی MTPCM تقریباً با منحنی چرخه‌ی اول همپوشانی دارد و قابلیت اطمینان حرارتی فوق‌العاده و عمر طولانی آن‌ها را در کاربردهای عملی نشان می‌دهد. علاوه بر این، ساختار به هم پیوسته، مسیرهای انتقال حرارت را فراهم می‌کند و در کنار هدایت حرارتی فوق‌العاده‌ی NdFeB@Ag، رسانایی حرارتی MTPCMها را 14 تا 16 برابر نسبت به پارافین خالص افزایش داده و برای سه نسبت حجمی مختلف MTPCM به $W.m^{-1}.K^{-1}$ 2/97، $W.m^{-1}.K^{-1}$ 3/11 و $W.m^{-1}.K^{-1}$ 3/41 می‌رساند. از جنبه‌ی عملکرد مکانیکی، بر خلاف PCMهای معمولی، ساختار نگهدارنده، استحکام فشاری MTPCMها را تقویت می‌کند. در مقایسه با استحکام فشاری پارافین که تنها 2/1 مگاپاسکال است، این مقدار به حداقل 2/5 برابر افزایش یافته و به 5/19 مگاپاسکال برای MTPCM در دمای اتاق می‌رسد. حتی در دماهای بالاتر از نقطه‌ی ذوب پارافین، MTPCMها همچنان می‌توانند توانایی ضد نشتی را تحت فشار حفظ کنند. علاوه بر این، هم راستایی سر به دم[5] ذرات مغناطیسی باعث ایجاد یک ساختار ناهمسانگرد و در نتیجه ناهمسانگردی جزئی در عملکرد حرارتی و مکانیکی برای MTPCMها می‌شود.

با خواص عالی مورد اشاره، در ادامه، با رویکرد ارزیابی عملکرد، MTPCMها برای تبدیل انرژی و مدیریت حرارتی در کاربردهای عملی به کار گرفته شدند. ساختار سه‌بعدی و پوسته‌های نقره‌ای NdFeB@Ag، مسیرهای رسانایی برای الکتریسیته فراهم نموده و در نتیجه به MTPCMها رسانایی الکتریکی در حد 10^4 $S.m^{-1}$ می‌دهند. در نتیجه، راندمان تبدیل برق به گرما در MTPCM به 78/45٪ می‌رسد و یک بلوک MTPCM با ابعاد 20 × 20 × 10 میلی‌متر می‌تواند انرژی الکتریکی خالص 4/47 J را از گرمای نهان خود به دست آورد. این داده‌ها، راندمان تبدیل انرژی بالا و توانایی برداشت انرژی MTPCMها در تبدیل برق و حرارت را نشان می‌دهند. در حالی که از جنبه‌ی کنترل دما، MTPCMها مزایای منحصر به فرد خود را دارند. ظرفیت ضدنشتی و مغناطیس MTPCMها به آن‌ها اجازه می‌دهد بدون استفاده از محفظه‌ی نگهدارنده و چسب، برای کنترل دما مستقیما به جسم داغ متصل شوند، که مقاومت حرارتی بین PCM و منابع گرما را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. علاوه بر این، MTPCMها در مدیریت حرارتی باتری عملکرد خوبی دارند. هنگامی که باتری با جریان 17 آمپر تخلیه می‌شود، MTPCM نقش مدیریت حرارت خود را انجام داده و افزایش دمای باتری را تا 31/39٪ کاهش می‌دهد. در دمای پایین، MTPCM با تبدیل الکتریسیته به گرما از باتری محافظت می‌کند و دمای آن را از 20- درجه‌ی سانتی‌گراد تنظیم کرده و بالای صفر

[5] Head to tail alignment

درجه‌ی سانتی‌گراد نگه می‌دارد. در نتیجه، افزودن ذرات مغناطیسی سخت به PCMها، یک مسیر کارآمد برای مقابله با نشتی مایع و مسائل مربوط به رسانایی حرارتی کم PCMها پیشنهاد می‌کند و مجموعه‌ای از خواص به PCMها می‌بخشد که کاربردهای عملی شاخصی برای آن‌ها فراهم می‌آورد.

Ref: Lu, Y.; Yu, D.; Dong, H.; Lv, J.; Wang, L.; Zhou, H.; Li, Z.; Liu, J.; He, Z.; Magnetically tightened form-stable phase change materials with modular assembly and geometric conformality features, Nature Communications, 2022, 13, 1397.