POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

# مواد تغییر فاز دهنده کپسوله‌شده مبتنی بر روش میکرو سیال: مبانی، پیشرفت و چشم‌اندازها

## چکیده

کپسوله‌سازی مواد تغییر فاز دهنده (PCM[1]) در پوسته‌های محافظ می‌تواند به طور برگشت‌پذیر مقادیر زیادی گرما را در محدوده باریکی از دمای عملیاتی جذب و آزاد نماید و نشت را در طول فرآیند انتقال فاز برطرف نماید. بنابراین، PCMهای کپسوله‌شده توجه زیادی را در مدیریت حرارتی به خود جلب نموده‌اند. با این حال، خواص حرارتی ضعیف، خواص فیزیکی ناپایدار و خواص شیمیایی غیرقابل تنظیم، کاربردهای آن‌ها در دنیای واقعی را محدود می‌نماید. روش میکرو سیال کنترل دقیق و قابل تنظیم کپسوله‌سازی را ارائه می‌دهد و امکان ساخت PCMهای کارآمد و تثبیت شده با خواص مطلوب را فراهم می‌نماید. این بررسی به طور جامع پیشرفت‌های اخیر در PCMهای کپسوله‌شده مبتنی بر روش میکروسیال (ME-PCM[2]) را خلاصه می‌نماید. فناوری‌های مبتنی بر روش میکروسیال برای ساخت کپسول‌های ME-PCM و الیاف ME-PCM برجسته شده‌اند و کاربردهای ME-PCM در تنظیم حرارتی، پاسخ حرارتی و لوازم الکترونیک پوشیدنی مورد بررسی قرار می‌گیرند. علاوه بر این، دیدگاه‌هایی در مورد جهت‌گیری‌های آینده برای برنامه‌های کاربردی در مقیاس بزرگ ارائه شده و معتقدیم که این بررسی می‌تواند الهام‌بخش محققان برای ابداع روش‌های کپسول‌سازی جدید و مؤثر برای ME-PCM باشد.

[1] phase change material
[2] microfluidic method-based encapsulated PCM

POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

کلمات کلیدی

مواد تغییر فاز دهنده، میکرو سیال، کپسوله‌سازی، مدیریت حرارتی، کپسول‌های تغییر فاز دهنده، الیاف تغییر فاز دهنده.

## نتیجه‌گیری و چشم‌انداز

در نتیجه، کپسوله‌سازی PCMها از طریق روش میکروسیال نه تنها مدیریت موثر انرژی حرارتی و کاهش نشت را امکان‌پذیر می‌نماید، بلکه پتانسیل ساخت PCM با خواص حرارتی، فیزیکی و شیمیایی مورد نظر را نیز دارد. بنابراین، ME-PCMها برای ذخیره‌سازی حرارتی، تنظیم حرارتی و تثبیت دما امیدوار کننده هستند. در این بررسی، توسعه ME-PCMها خلاصه شده و تحقیقات از هندسه دستگاه میکروسیال و تولید ME-PCM تا کاربردهای پاسخگو به حرارت و تنظیم حرارت را پوشش می‌دهد. ME-PCMها، از جمله کپسول‌ها و الیاف، می‌توانند از نظر اندازه، مواد، خواص حرارتی و مکانیکی و غیره سفارشی شوند. مروری بر نسبت جرم و CV[3] کپسوله‌های ME-PCM و راندمان کپسوله‌سازی الیاف ME-PCM ارائه شده است. مطالعات نسبت کپسوله‌سازی الیاف و کپسول‌های ME-PCM را به ترتیب بیش از 90٪ و 70٪ به دست آورده‌اند.

اگرچه ME-PCMها در تئوری و فناوری پیشرفت‌های زیادی را تجربه نموده‌اند، اما همچنان چالش-هایی در بهبود عملکرد و تجاری‌سازی آن ها وجود دارد. در ادامه مسیرهای بالقوه برای طراحی ME-PCMها

[3] coefficient of variation

را از نظر سه جنبه مهم مورد بحث قرار گرفته می‌شود: (1) افزایش هدایت حرارتی ME-PCMها، (2) بهبود خواص مکانیکی پوسته و غلاف و (3) تولید ME-PCMها با توان عملیاتی بالا.

(1) افزایش هدایت حرارتی ME-PCMها

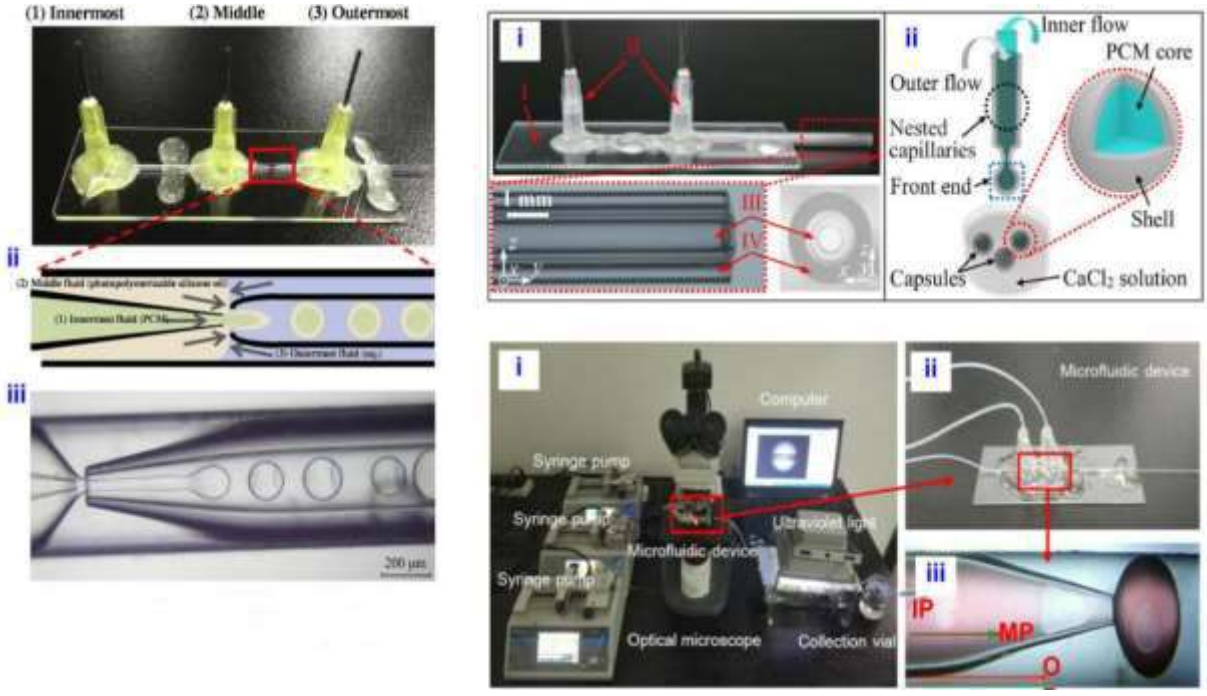
اگرچه ME-PCM گرمای نهان بالایی دارند، اما رسانایی حرارتی آن‌ها به دلیل پوسته اطراف آن پایین است. دوپینگ نانومواد با رسانایی حرارتی بالا مانند گرافن و نانوذرات به PCM یا مواد پوسته، می‌تواند هدایت حرارتی کلی را افزایش دهد. بیشتر نانومواد دوپینگ شده حاضر به دلیل اختلاف چگالی زیاد به سختی در PCMها برای درازمدت پراکنده می‌شوند که منجر به عدم یکنواختی ME-PCMها می‌شود. بنابراین، توسعه روش‌های مؤثر برای ساخت ME-PCM برای افزایش رسانایی حرارتی با طراحی دستگاه‌های میکروسیال و بهینه‌سازی پراکندگی نانومواد ضروری است.

(2) بهبود خواص مکانیکی پوسته و غلاف

برای گسترش کاربرد ME-PCMها، پوسته‌ها و غلاف‌ها به استحکام و چقرمگی بالایی نیاز دارند. اگرچه MEPCMهای ساخته‌شده در حال حاضر پیشرفت‌هایی را در خواص مکانیکی تجربه نموده‌اند، اما پوسته کپسول‌ها و غلاف الیاف هنوز به اندازه کافی قوی نیستند تا در برابر تنش‌های مکانیکی شدید مقاومت نمایند. به عنوان مثال، الیاف ME-PCM، که به صورت منسوجات ساخته شده است باید ضد خستگی باشد تا با حرکت انسان سازگار شود. بنابراین، یک روش پوشش پایدار و قابل اعتماد را می‌توان برای افزایش خواص مکانیکی، در نتیجه مقاومت و جلوگیری از شکستگی و نشت ناشی از نیروهای خارجی مورد بررسی قرار داد.

(3) تولید ME-PCMها با توان عملیاتی بالا

این مزایای اقتصادی مهم می‌تواند به تجاری‌سازی ME-PCM کمک نماید. کاربردهای مقیاس صنعتی مانند ذخیره‌سازی انرژی حرارتی با ظرفیت بالا، تنظیم دما، و انتشار انرژی حرارتی طولانی مدت، به مقادیر زیادی کپسول و الیاف ME-PCM نیاز دارند. روش‌های میکروسیال با توان بالا برای تولید مقادیر کافی ME-PCM حیاتی هستند. یک انتخاب ممکن اینست که هندسه‌های موازی‌پذیر برای تهیه کپسول‌های ME-PCM یا توسعه چرخش دمشی قابل کنترل برای تهیه الیاف ME-PCM ساخته شود. علی‌رغم دستاوردهای قابل توجه اخیر ME-PCM با افزایش تقاضا برای مدیریت حرارتی در مناطق وسیع، توسعه ME-PCM هنوز در مرحله اولیه است. محققان هنوز نیاز به بررسی بیشتر PCMها و مواد پوسته مناسب و همچنین بهینه‌سازی توسعه و کاربردهای آتی آن‌ها برای تجاری‌سازی دارند. امیدواریم که این بررسی بتواند به ایجاد یک راهنمای استاندارد برای فرآیندهای میکروسیال و ابداع روش‌های کپسول‌سازی جدید و مؤثر برای ME-PCM کمک نماید.



POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

Reference:

**Gao, Wei, et al. "Microfluidic method–based encapsulated phase change materials: Fundamentals, progress, and prospects."** ***Renewable and Sustainable Energy Reviews*** **171 (2023): 112998.**

**https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112998**

ترجمه و ویرایش: دانیال ابراهیم زاده