POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

مواد تغییر فازدهنده میکروکپسول‌ها/نانوکپسول‌ها بر پایه فلز (PCM): ساخت، خصوصیات ترموفیزیکی و کاربرد

چکیده

ذخیره سازی انرژی حرارتی با تغییر فاز جامد-مایع یکی از روش‌های اصلی ذخیره‌سازی انرژی است و مواد تغییر فاز دهنده (PCM) بر پایه فلز در سال‌های اخیر به دلیل چگالی ذخیره انرژی بالا و هدایت حرارتی بالا و نشان دادن مزایای منحصر به فرد در سیستم ذخیره‌سازی انرژی حرارتی و تنظیم دما، توجه را به خود جلب نموده‌اند. اما مشکلاتی را مانند نشتی، خوردگی، تغییر حجم و ... نیز دارند. مطالعات اخیر نشان داده که انتظار می‌رود فناوری میکروکپسوله‌سازی مشکلات فوق را حل نماید و چشم‌انداز کاربردی بسیار خوبی را نشان دهد. در این مقاله ابتدا، طبقه‌بندی و فرآیند توسعه میکروکپسول‌های PCM بر پایه فلز را مرور می‌نماییم. سپس، سه روش اصلی آماده‌سازی شامل خود اکسایش آسان، پلیمریزاسیون سل-ژل و پلیمریزاسیون درجا خلاصه و تحلیل می‌شوند. ویژگی‌های ترموفیزیکی مانند گرمای نهان، فرا سرمایش و پایداری چرخه مقایسه شده است. علاوه بر این، برنامه‌های کاربردی در زمینه ذخیره انرژی حرارتی، افزایش انتقال حرارت و کاتالیست به طور مفصل معرفی شده است. در نهایت، مشکلات موجود، راه‌حل‌ها و جهت‌گیری‌های تحقیقاتی مطرح می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: مواد تغییر فاز دهنده بر پایه فلز (PCM)، میکروکپسوله‌سازی، میکروکپسوله‌ها، ویژگی‌های حرارتی، ذخیره انرژی حرارتی.

نتیجه‌گیری و چشم اندازها

POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

این مقاله روش‌های تهیه میکروکپسول‌های PCM بر پایه فلز و پیشرفت‌های تحقیقاتی مهم آن‌ها را در زمینه‌های ذخیره‌سازی گرما، استفاده از انرژی خورشیدی، استفاده از گرمای اتلاف، کاتالیست و غیره خلاصه می‌نماید. در میان آن‌ها، روش خود اکسیداسیون آسان کامل‌ترین است و میکروکپسول ساخته شده توسط آن عملکرد چرخه حرارتی خوبی دارد و می‌تواند تا 3000 سیکل حرارتی را بدون کاهش عمده عملکرد مقاومت نماید. اما این برای فلزات کمتر مناسب است و عمدتاً برای تهیه میکروکپسول‌های آلیاژ Al و Al-Si برای فشردگی لایه آلومینا استفاده می‌شود. همچنین، به دلیل این که میکروکپسول تهیه شده با این روش دارای ساختار ثابت و تغییرپذیری ضعیفی است، عملکرد نسبتاً منفرد است و بارگذاری سایر ذرات عامل‌دار دشوار است. در مقابل، روش "پوشش‌دهی دولایه، لایه داخلی قربانی" بر پایه پلیمریزاسیون سل-ژل ممکن است در حال حاضر موثرترین و امیدوارکننده‌ترین روش برای تهیه میکروکپسول‌های بر پایه فلز باشد. با توجه به فضای خالی موجود در میکروکپسول‌ها، تغییر حجم مواد هسته در طول تغییر فاز را می‌توان به طور موثر حل نمود، به طوری که نشت را کاهش داد و پایداری حرارتی میکروکپسول‌ها را افزایش داد. همچنین، این روش از انعطاف‌پذیری خوبی در فرآیند بهره‌برداری برخوردار است. ذرات عامل‌دار را می‌توان به مواد هسته یا پوسته دوپ کرد، که می‌تواند رسانایی حرارتی میکروکپسول‌ها را بهبود بخشد و میکروکپسول‌ها را قادر سازد تا برچسب‌گذاری شوند یا باعث شده تا میکروکپسول‌ها اثر کاتالیزوری خاصی داشته باشند که کاربرد میکروکپسول‌های PCM بر پایه فلز را بیشتر گسترش می‌دهد. میکروکپسول‌های PCM بر پایه فلز به طور موثر مشکلات اصلی نشت و خوردگی مواد خود را حل می‌نماید، به‌طوری که می‌توان مزایای عملکرد منحصر به فرد آن‌ها را به کار برد تا پایه‌ای برای کاربرد آن‌ها در زمینه انرژی مدرن ایجاد شود. بنابراین، میکروکپسوله‌سازی سطح ویژه هسته PCM را توسعه داده و سپس سرعت کلی انتقال حرارت مواد را بهبود می‌بخشد. از نظر مواد پوسته، اگرچه میکروکپسول PCM بر پایه فلز تهیه شده از مواد پوسته معدنی رسانایی حرارتی بهتری نسبت به مواد پوسته آلی دارد، اما رسانایی حرارتی به طور

کلی هنوز نسبتاً پایین است. به منظور بهبود بیشتر رسانایی حرارتی میکروکپسول‌های PCM بر پایه فلز، در تحقیقات آینده می‌توان مواد نانو با رسانایی حرارتی بالا مانند نانولوله‌های کربنی، گرافن و نانو ذرات فلزی را در مواد پوسته دوپینگ کنند تا آن‌ها را برای افزایش رسانایی حرارتی اصلاح نمایند. با تحقیق در مورد مواد هسته و پوسته و توسعه فرآیند آماده‌سازی، چرخه‌های حرارتی اندازه‌گیری‌شده از ده‌ها تا هزاران بار متفاوت است و پایداری حرارتی برخی از میکروکپسول‌ها می‌تواند نیازهای اولیه کاربرد را برآورده کند. علیرغم بهبود پایداری میکروکپسول‌های PCM بر پایه فلز آماده شده، نقطه ذوب هسته PCM تاخیر یافته و گرمای نهان به دلیل اثر مسدود کننده مواد پوسته در انتقال حرارت هسته به ناچار کاهش می‌یابد. بنابراین، آماده‌سازی شرایط فرآیند برای بهبود پایداری حرارتی و گرمای نهان میکروکپسول‌های PCM بر پایه فلز بسیار مهم است. نسبت جرم مواد هسته و پوسته، دما و زمان واکنش، سرعت هم‌زدن، آغازگر، پراکنده‌کننده، مقدار pH و سایر پارامترها را می‌توان بهینه نمود. همچنین، توسعه میکروکپسول‌های PCM بر پایه فلز چند کاره، دامنه کاربرد آن را تا حد زیادی گسترش می‌دهد و به آن فرصت ورود به حوزه کاربردهای پیشرفته را می‌دهد. عملکرد حرارتی میکروکپسول‌ها باید با تغییر مواد و بهینه‌سازی شرایط آماده‌سازی، بیشتر بهبود یابد. استفاده از میکروکپسول‌های PCM بر پایه فلز هنوز در مراحل ابتدایی خود است و برای توسعه سناریوهای کاربردی بیشتری باید ایجاد شود. بهینه‌سازی روش‌های آماده‌سازی می‌تواند به گسترش حوزه کاربرد کمک نماید و ارزش میکروکپسول‌های PCM بر پایه فلز را به‌طور کامل نشان دهد. تا به امروز، روش‌های زیادی برای آماده‌سازی میکروکپسول‌های PCM بر پایه فلز وجود دارد. روند توسعه و چالش‌های فنی در فرآیند آماده‌سازی و صنعتی‌سازی به شرح زیر است:

(1) درجه فراسرمایش بزرگ: در حال حاضر، گزارش شده است که میکروکپسول‌های آلی PCM با نانو ذرات در مواد پوسته و هسته برای کاهش فراسرمایش دوپ شده، اما بیشتر میکروکپسول‌های بر پایه دیواره فلز مواد معدنی هستند، به ویژه میکروکپسول‌هایی که به روش خود اکسیداسیون تهیه می‌شوند، بنابراین اصلاح مواد

هسته و پوسته آن‌ها کار دشواری است. کاهش فراسرمایش برای افزایش نرخ پاسخ حرارتی و راندمان آزادسازی گرمای میکروکپسول‌ها مساعد خواهد بود.

(2) انبساط حرارتی: با انبساط حرارتی فلز مواد پوسته فشرده شده و باعث شکستن آن می‌شود. با روش روکش مستقیم معمولی مواد معدنی پوسته (مانند سیلیس) نمی‌توان این مشکل را حل نمود. روش "پوشش دو لایه، لایه داخلی قربانی" روش اکسایش فلزات ارائه شده در سال‌های اخیر می‌تواند یک حفره انبساط حرارتی در داخل میکروکپسول تشکیل داده که می‌تواند این مشکل را به خوبی حل نماید. با این حال، نحوه آماده‌سازی حفره با اندازه قابل کنترل هنوز باید عمیقاً بررسی شود.

(3) پایداری حرارتی: برخلاف میکروکپسول‌های PCM آلی که بیشتر در این زمینه در دمای پایین استفاده شده، میکروکپسول‌های پایه فلزی بیشتر برای دمای متوسط و بالا استفاده می‌شوند. ذخیره‌سازی گرما، الزامات بالایی را برای پایداری حرارتی مواد پوسته در دمای بالا مطرح می‌نماید.

(4) تنوع PCM بر پایه فلز: میکروکپسول‌های پایه فلزی موجود عمدتاً آلومینیوم و آلیاژهای مربوط به آلومینیوم هستند، که عمدتاً به لایه اکسید متراکم روی سطح آلومینیوم برای تشکیل مواد پوسته متکی هستند، اما استفاده از فلزات دیگر (مانند قلع) برای تشکیل فیلم‌های اکسیدی متراکم دشوار است. روش "پوشش دو لایه، لایه درونی قربانی" سازگاری بالایی دارد و انتظار می‌رود برای حل این مشکل، توسعه و استفاده از میکروکپسول‌های متنوع بر پایه فلز که به دمای متفاوت متوسط و بالا در دماهای انتقال فاز نیازمند است.

(5) عامل‌دارسازی میکروکپسول‌های PCM پایه فلزی: استفاده از مواد پوسته عامل‌دار مانند TiO_2 نه تنها می‌توانند پاسخگو نیاز ذخیره‌سازی گرما باشند، بلکه نیازهای کاربردی مانند فوتوکاتالیزر را نیز برآورده می‌نماید، که می‌تواند باعث بهبود ارزش کاربرد میکروکپسول‌های بر پایه فلز شود.

(6) میکروکپسوله‌سازی: سه روش اصلی کپسوله‌کردن خلاصه شده است، میکروکپسوله‌سازی بر اساس ذرات جامد فلزی که به اندازه و مورفولوژی ذرات فلزی بستگی دارد. اگر بتوان فلز را پراکنده نمود و پس از ذوب

پوشش داده شود، اندازه ذرات و مورفولوژی میکروکپسول‌ها را می‌توان به طور مستقل با بهینه‌سازی شرایط آماده‌سازی کنترل شود.

در مقایسه با PCM معمولی، میکروکپسول PCM پایه فلزی مزایای بی‌نظیری داشته و به عنوان یک ماده کاربردی جدید، فضای توسعه گسترده و چشم‌اندازهای کاربردی در آینده را خواهد داشت.

Reference:

Wang, S., Lei, K., Wang, Z., Wang, H., & Zou, D. (2022). Metal-based phase change material (PCM) microcapsules/nanocapsules: Fabrication, thermophysical characterization and application. ***Chemical Engineering Journal, 438,*** **135559.**

https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.135559

ترجمه و ویرایش: دانیال ابراهیم زاده