

بررسی پیشرفت‌های اخیر در مواد تغییر فاز دهنده برای تقویت فرآیند کاتالیزوری

چکیده

کاتالیزور تقریباً در هر فرایند صنعتی نقش مهمی ایفا می‌نماید و توسعه کاتالیست با عملکرد بالا یکی از کارآمدترین استراتژی‌ها برای تقویت فرآیند کاتالیزوری است. با این حال، بیشتر فرایندهای کاتالیزوری شامل اثر آزادسازی یا جذب گرما است که می‌تواند بر کارایی کاتالیزوری تأثیر بگذارد و حتی منجر به غیرفعال شدن کاتالیست شود. اخیراً، مواد تغییر فاز دهنده (PCM^1) پتانسیل منحصربه‌فردی را برای افزایش فرایند کاتالیزوری در زمینه‌های ترموکاتالیستی، فوتوکاتالیستی، بیوکاتالیستی و الکتروشیمیایی به دلیل عملکردهای مدیریت حرارتی و ذخیره‌سازی انرژی نشان داده‌اند. ادغام نوآورانه PCM ها و کاتالیست‌ها می‌تواند به‌طور همزمان کارایی انرژی را افزایش داده و فرآیند کاتالیزوری را افزایش دهد. فناوری کپسوله‌سازی، اتصال درجا PCM ها را در کاتالیزورها امکان پذیر می‌نماید و معرفی پوسته‌ها یا نانوذرات کپسوله‌شده با اثرات کاتالیزوری، پایداری شیمیایی خوب، پایداری چرخه حرارتی و همچنین هدایت حرارتی بالا را به PCM ها می‌بخشد. مکانیسم هم‌افزایی بین کاتالیست‌ها و PCM ها در سیستم‌های مختلف را می‌توان به‌عنوان کاتالیزور حرارتی خود ذخیره شده، تنظیم دمای درجا و اثر هم‌افزایی جریان گرما/الکترون خلاصه نمود. علاوه بر این، ارتباط بین ریزساختار و عملکرد مدیریت کاتالیزوری/حرارتی کامپوزیت‌های $PCMs@Catalysts$ به‌طور سیستماتیک مورد بحث قرار گرفت. در نهایت، چالش‌های فعلی و روند توسعه کامپوزیت‌های $PCMs@Catalysts$ چند منظوره نیز ارائه شده است. هدف این بررسی، برجسته

¹ phase change material

نمودن پیشرفت‌های اخیر در مواد تغییر فاز دهنده برای تقویت فرآیند کاتالیزوری و ارائه بینشی در مورد طراحی منطقی و آماده‌سازی قابل کنترل کامپوزیت‌های PCMs@Catalysts است.

کلمات کلیدی: مواد تغییر فاز دهنده، کاتالیست، میکرو کپسوله‌سازی، عملکرد کاتالیزوری، مکانیسم هم‌افزایی.

Keywords: Phase change materials, Catalyst, Microencapsulation, Catalytic performance, Synergistic mechanism.

نتیجه‌گیری و چشم‌انداز

این مطالعه استراتژی سنتز و کاربرد کامپوزیت‌های PCMs@Catalysts را در زمینه‌های کاتالیزور حرارتی، فوتوکاتالیز، الکتروشیمی و بیوکاتالیز خلاصه می‌نماید. توسعه کامپوزیت‌های PCMs@Catalysts به بهبود فرایند کاتالیزوری و حل مشکلات کاتالیست‌ها در زمینه‌های مختلف، از جمله غیرفعال‌سازی آسان، عمر عملکردی کوتاه و عملکرد ضعیف چرخه کمک می‌نماید. فناوری میکرو کپسوله‌سازی به‌طور موثری اتصال درجا مواد کاتالیزوری و PCM‌ها را محقق می‌نماید، در حالی که از نشت آسان جلوگیری نموده و ویژگی حرارتی PCM‌ها را بهبود می‌بخشد. ترکیب هسته‌های PCM با رفتارهای تغییر فاز مختلف و پوسته‌های آلی/غیرآلی چند منظوره، کاربرد کامپوزیت‌های PCMs@Catalysts را در زمینه‌های کاتالیزوری گسترش می‌دهد. در حال حاضر، فوتوکاتالیز پرکاربردترین زمینه PCMs@Catalysts است. انتظار می‌رود که ادغام PCM‌های آلکانی با کاتالیست‌ها (مانند MOF²، COF) چشم انداز خوبی را در سایر واکنش‌های فوتوکاتالیستی نشان دهد. واکنش تکامل هیدروژن (HER³) و واکنش کاهش CO₂ (CO₂RR⁴) واکنش‌های فوتوکاتالیستی رایج هستند. با این حال، استفاده ناکافی از نور خورشید و راندمان کوانتومی پایین به شدت سرعت انتقال جریان نوری واکنش‌های HER و CO₂RR را محدود می‌نماید، بنابراین کاربردهای صنعتی آن‌ها را دشوار می‌سازد. عملکرد تبدیل فوتوترمال PCM‌ها به حل مشکلات تابش ناپیوسته و کم شدت نور خورشید در تولیدات صنعتی کمک می‌نماید. گرمای آزاد شده از PCM‌ها

² metal-organic frameworks

³ Hydrogen evolution reaction

⁴ CO₂ reduction reaction

می‌تواند حرکت حرارتی را تسریع نماید و توزیع بارهای نوری را روی سطح کاتالیزور بهبود بخشد، بنابراین نرخ مهاجرت جریان نوری و راندمان کوانتومی را افزایش می‌دهد. به‌طور خلاصه، پیش‌بینی می‌شود که PCM‌ها در آینده نزدیک چشم‌انداز روشن‌تری را در زمینه‌های مختلف کاتالیزوری نشان خواهند داد. این مطالعه پیشرفت‌های تحقیقاتی اخیر در PCMs@Catalysts را بررسی نمود و مکانیسم‌های هم‌افزایی بین اجزای تغییر فاز دهنده و اجزای کاتالیزوری را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد که در نکات زیر خلاصه شد:

(۱) کاتالیزور حرارتی خود ذخیره شده: PCM‌ها می‌توانند انرژی را از منبع گرما در واکنش کاتالیزوری یا انباشت گرما با جذب نور خورشید قبل از واکنش ذخیره نمایند. پس از حذف گرما یا منبع نور، PCM‌ها به‌طور پیوسته و مرتباً گرمای نهان را برای هدایت واکنش کاتالیزوری آزاد می‌نمایند. برای کاتالیزور حرارتی، کامپوزیت‌های PCMs@Catalysts معمولاً برای ذخیره‌سازی مقادیر زیادی گرمای نهان برای ایجاد واکنش‌های بسیار گرمازا مانند احتراق سوخت مورد نیاز هستند. در واکنش‌های فوتوکاتالیستی، PCMs@Catalyst باید دارای قابلیت جذب فوتوثرمال برای تبدیل نور خورشید به گرمای مورد نیاز باشد.

(۲) تنظیم دمای درجا: ادغام درجا هسته‌های PCM و لایه‌های پوسته کاتالیزوری می‌تواند گرما را در طی واکنش ردوکس جذب نموده و دمای میکرو محیط‌زیست را تنظیم نماید. در کاتالیزور حرارتی، اثر درجا از غیرفعال شدن مکان‌های فعال به دلیل دمای بالا جلوگیری می‌نماید، در حالی که دمای بستر کاتالیست را برای جلوگیری از فرار حرارتی تنظیم می‌نماید. برای واکنش‌های الکتروشیمیایی، اثر سرمایش درجا PCM‌ها به‌طور موثر دمای محیط ابرخازن‌ها را کاهش می‌دهد تا عمر مفید را افزایش دهد. اثر بافر حرارتی درجا PCM‌ها همزمان با واکنش بیوکاتالیستی رخ می‌دهد و از دنا توره شدن بیوکاتالیست‌های آنزیمی روی سطح پوسته‌های چند منظوره جلوگیری می‌نماید.

(۳) اثر هم‌افزایی جریان گرما/الکترون: جریان گرمایی آزاد شده توسط هسته‌های PCM می‌تواند برای غلبه بر سد انرژی برای تبدیل واکنش‌دهنده‌ها، تسریع حرکت حرارتی و تبدیل مستقیم فتوشیمیایی واکنش‌دهنده‌ها بر روی سطح کاتالیست اعمال شود. الکترون‌ها و حفره‌های ایجاد شده در CB^5 و VB^6 به ترتیب با O_2 و H_2O واکنش می‌دهند و رادیکال‌های سوپراکسید و هیدروکسیل را برای اکسید نمودن بسترها تولید می‌نمایند. اثر هم‌افزایی جریان‌های گرما و الکترون‌های فوتو مولد در کامپوزیت‌های PCMs@Catalysts به افزایش استفاده از انرژی خورشیدی و تبدیل واکنش‌دهنده‌ها در واکنش‌های فوتوکاتالیستی کمک می‌نماید.

به‌طور کلی، عملکرد کاتالیزوری و ظرفیت ذخیره‌سازی حرارتی کامپوزیت‌های PCMs@Catalysts تحت تاثیر ضخامت لایه پوسته، ویژگی‌های سطح، سطح ویژه، توزیع اندازه منافذ و مقدار اجزای فعال است. پوسته‌های چند منظوره رشد نموده روی سطح PCM‌ها به‌طور اجتناب‌ناپذیری ضخامت کامپوزیت‌های PCMs@Catalysts را افزایش می‌دهند و در نتیجه آنتالپی تغییر فاز را کاهش می‌دهند. اما لایه‌های پوسته بسیار نازک منجر به کاهش قابل توجهی در خواص مکانیکی می‌شود. بنابراین، دستیابی به افزایش همزمان عملکرد کاتالیزوری و رفتار تغییر فاز با حصول اطمینان از خواص مکانیکی، کلید تحقیقات فعلی در مورد کامپوزیت‌های PCMs@Catalysts است.

این مطالعه بر اثرات PCM‌ها در افزایش نرخ واکنش شیمیایی و بهبود دمای میکرو محیط‌زیست متمرکز شد و راهنمایی تئوری خوبی برای کاربرد PCM‌ها در کاتالیز ارائه نمود. اما ریزساختار PCMs@Catalysts، مانند اندازه منافذ، گروه‌های عاملی سطح، ضخامت پوسته و بلورینگی هنوز در معرض بررسی بیشتر در مورد مکانیسم‌های مؤثر بر عملکرد کاتالیزوری و ذخیره‌سازی انرژی است. در نهایت، ادغام درجا PCM با سایر کاتالیست‌ها (مانند کاتالیزورهای پایه آلی، کاتالیست‌های قلیایی کمیاب، کاتالیست‌های زئولیت و غیره) کاربرد گسترده PCMs@Catalyst را در زمینه‌های صنعتی و خانگی به‌طور قابل توجهی تسهیل می‌نماید. با این حال،

⁵ conduction band

⁶ valence band

چالش‌های زیادی از جمله طراحی منطقی و ساخت دقیق برای این موضوع وجود دارد. بنابراین انتخاب معقول PCM ها و کاتالیست‌ها و ساخت کامپوزیت‌های PCMs@Catalysts با ساختار سلسله مراتبی برای حل مشکلات فوق ضروری هستند.

Reference

Ouyang, Y., Luo, Y., Gao, X., Gao, H., Wang, G., & Shu, X. (2024). Review on recent advances in phase change materials for enhancing the catalytic process. *Chinese Journal of Catalysis*, 60, 128-157.

DOI: [https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(24\)60016-1](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(24)60016-1)

ترجمه و ویرایش: دانیال ابراهیم‌زاده



