POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

طراحی، توسعه و بررسی عملکرد ذخیره‌سازی گرمای نهان با کپسوله‌سازی PCM

چکیده

با کپسوله نمودن مواد تغییر فاز دهنده (PCM[1]) در کپسول‌های استوانه‌ای ثابت شده است که یکی از تکنیک‌های امیدوارکننده برای بهبود ویژگی‌های انتقال حرارت در سیستم‌های ذخیره‌سازی گرمای نهان (LHS[2]) است. توزیع کپسول‌ها تاثیر زیادی بر عملکرد حرارتی سیستم‌های LHS دارد. بنابراین، در مطالعه حاضر، واحد LHS با کپسوله‌سازی PCM استوانه‌ای با استفاده از نرم افزار COMSOL Multiphysics به صورت عددی توسعه داده شده است. مدل‌های مختلف (مدل A، مدل B، مدل C و مدل D) با فاصله‌های متفاوت بین کپسول‌ها برای بهینه‌سازی توزیع کپسول در داخل پوسته استوانه‌ای مدل‌سازی می‌شوند. برای این بررسی در دمای بالا، نیترات سدیم با دمای انتقال فاز 305 °C به عنوان PCM انتخاب می‌شود و هوای محیط به عنوان سیال انتقال حرارت (HTF[3]) استفاده می‌شود. عملکرد این مدل‌ها با مقایسه تغییرات زمانی دما، کسر فاز در PCM و سرعت HTF در پوسته بیرونی ارزیابی می‌شود. مشاهده شده است که توزیع کپسول‌ها به شدت بر دینامیک جریان HTF تأثیر می‌گذارد که عملکرد حرارتی مدل‌های LHS را به شدت تغییر می‌دهد. مدل C پیکربندی بهینه با حداقل زمان شارژ/دشارژ 364/337 دقیقه است. ماژول LHS با توزیع بهینه کپسول‌ها ساخته شد و عملکرد شارژ و تخلیه آن در محدوده دمایی 330-270 درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. رفتار انتقال حرارت در PCM با ترسیم تکامل دما در مکان‌های مختلف کپسول مورد مطالعه قرار می‌گیرد. مشاهده شد که ماژول LHS با تقریباً 14 کیلوگرم جرم PCM، گرمای کل. 3.97/3.94 MJ را در محدوده دمایی داده شده ذخیره/تخلیه می‌نماید.

کلمات کلیدی: کپسوله‌سازی استوانه‌ای، کاربرد در دمای بالا، ذخیره انرژی حرارتی، انجماد و ذوب، دینامیک جریان HTF.

[1] phase change material
[2] latent heat storage
[3] heat transfer fluid

Keywords: Cylindrical encapsulation, High-temperature application, Thermal energy storage, Solidification and melting, HTF flow dynamics.

نتیجه‌گیری

استفاده از تکنیک کپسوله‌سازی PCM در سیستم‌های LHS در مطالعه حاضر برای کاربردهای با دمای بالا مورد بررسی قرار گرفته است. مدل عددی از سیستم ذخیره‌سازی با هفت کپسول PCM استوانه‌ای توسعه داده شده است و اثر توزیع آن‌ها در پوسته بیرونی در طی فرآیندهای شارژ و تخلیه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. علاوه بر این، ماژول LHS با ویژگی‌های بهینه در مدل C برای انجام تحقیقات آزمایشی طراحی شد و برای ویژگی‌های انتقال حرارت در طول شارژ و تخلیه مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس بررسی‌های عددی و تجربی، نتایج زیر را می‌توان بدست آورد:

۱. فاصله بین کپسول‌ها نقش مهمی در دستکاری دینامیک جریان سیال انتقال حرارت دارد. با استفاده از فاصله داخلی و فضای بیرونی بهینه ، مدل C بهترین عملکرد را با زمان‌های شارژ و دشارژ به ترتیب 364 دقیقه و 337 دقیقه نشان داد.

۲. آغاز ذوب و انجماد نشان داد که انتقال حرارت در جهات محوری و شعاعی انجام می‌شود و فاصله داخلی و خارجی بهینه برای مدل C جریان کافی سیال انتقال حرارت را برای سرعت‌های سریع‌تر شارژ و تخلیه تضمین می‌نماید.

۳. دینامیک انتقال حرارت در ماژول LHS توسعه یافته به صورت آزمایشی در محدوده دمایی 330-270 °C مورد مطالعه قرار گرفت. تکامل زمانی دما در مکان‌های مختلف در کپسول نشان داد که انتقال حرارت در جهت محوری توسط جهت جریان HTF کنترل می‌شود.

۴. عدم یکنواختی حاشیه‌ای در افزایش/کاهش دما در کپسول‌های محیطی در حین شارژ/تخلیه حاکی از وجود جریان غیریکنواخت HTF در سطح مقطع پوسته بیرونی است.

۵. در محدوده دمایی داده شده، در گرمای کلی (~ 1.1 kWh) 3.97 MJ و (~ 1.1 kWh) 3.94 MJ، در جرم تقریبا 14 کیلوگرم نیترات سدیم به ترتیب در 147 دقیقه و 121.5 دقیقه شارژ و تخلیه ذخیره و بازیابی شد. چنین زمان‌های شارژ و دشارژ اندک برای سیستم ذخیره‌سازی انرژی حرارتی در زمان واقعی مناسب هستند.

بنابراین، مطالعه حاضر سازه ساده‌ای از سیستم LHS را ارائه نموده که می‌تواند برای کاربرد در دمای بالا مقیاس‌پذیرتر شود.

Reference

Tat, S. A., Muthukumar, P., & Mondal, P. K. (2023). Design, development and performance investigations of a latent heat storage with PCM encapsulation. *Journal of Energy Storage*, *72*, 108695.

DOI: https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108695

ترجمه و ویرایش: دانیال ابراهیم‌زاده