POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

تأثیر PCM بر کاهش انتشار فرار حرارتی در ماژول‌های باتری لیتیوم یونی

چکیده

مسئله مهم ایمنی باتری‌های لیتیوم یونی (LIB[1]) فرار حرارتی (TR[2]) است که تا حد زیادی مانع از کاربرد LIBها شده است. مواد تغییر فاز دهنده (PCM[3]) در ماژول‌های باتری به عنوان روش مدیریت حرارتی به دلیل عملکرد جذب گرما در طول فرآیند تغییر فاز استفاده شده است. با این حال، نقش PCM در کاهش انتشار TR به دقت مورد بررسی قرار نگرفته است. در این مطالعه، مدل انتقال حرارت یک بعدی برای پیش‌بینی اثر کاهشی PCM بر انتشار TR آرایه باتری ایجاد شد که برتری سرعت و دقت بالای شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. اثرات پارامترهای حرارتی-فیزیکی PCM بر رفتار انتشار فرار حرارتی سلول به سلول آبشاری مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این، محدوده بهینه‌ای از پارامترهای کلیدی PCM را بر اساس مقررات ایمنی در چین و سازمان ملل در رابطه با TR در خودروهای الکتریکی LIB ارائه شد. مشخص شد که گرمای نهان، چگالی و ظرفیت حرارتی PCM اثرات مشابهی بر رفتار انتشار TR دارد. با افزایش این سه پارامتر PCM، مدت زمان بین انتشار شکست سلول به سلول به صورت خطی افزایش می‌یابد که نرخ انتشار TR کندتر را نشان می‌دهد. محدوده بهینه برای چگالی، ظرفیت گرمایی و گرمای نهان PCM به ترتیب بیش از $2150\ kg{\cdot}m^{-3}$، $4100\ J{\cdot}kg^{-1}{\cdot}K^{-1}$ و بیشتر از $9\times10^{5}\ J{\cdot}kg^{-1}$ است. علاوه بر این، انتشار TR با افزایش هدایت حرارتی PCM تشدید می‌شود، که یادآوری نموده تعادل بین مدیریت حرارتی و کاهش TR در سیستم مدیریت حرارتی مبتنی بر PCM مشاهده می‌شود. به طور کلی، از طریق تجزیه و تحلیل اثر انتشار حرارتی PCM در مهار TR، دریافت شد که انتشار حرارتی بالاتر، انتشار TR را سرعت می‌بخشد و سرعت انتشار TR نسبت به تغییر چگالی PCM حساس‌تر است. انتشار حرارتی PCM باید کمتر از $9\times10^{-7}\ m^{2}{\cdot}s^{-1}$ باشد تا استانداردهای ایمنی را برآورده نماید. PCM عملکرد بسیار خوبی در به تاخیر انداختن انتشار TR با دمای انتقال فاز در محدوده 318.15 K تا 518.15 K نشان می‌دهد. با افزایش ضخامت باتری از 8.8 به 56.5 میلی‌متر، ضخامت بحرانی PCM روند تغییرات غیر یکنواخت را نشان می‌دهد (در ابتدا افزایش می‌یابد و

[1] lithium-ion batteries
[2] thermal runaway
[3] Phase change materials

بعد کاهش می‌یابد). این مطالعه امکان استفاده از PCM را به عنوان استراتژی کاهش فرار حرارتی نشان می‌دهد و دستورالعملی برای بهینه‌سازی پارامترهای فیزیکی PCM ارائه می‌نماید.

کلمات کلیدی: فرار حرارتی، باتری لیتیوم یونی، مواد تغییر فاز دهنده، ایمنی، جلوگیری از انتشار.

Keywords: Thermal runaway, Lithium-ion battery, Phase change material, Safety, Propagation prevention.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مدل TR 1D ساده شده ایجاد و با آزمایش اعتبار سنجی شد. با این مدل، اثر کاهنده لایه‌های PCM در انتشار TR مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه‌ای که پس از افزودن لایه‌های PCM در LIBها منعکس می‌شود، TR برای هر باتری را 82 ثانیه به تعویق انداخته است و موضوع شتاب انتشار TR در هنگام استفاده از PCM ذکر شده است. سپس از طریق بررسی اثر چگالی، گرمای نهان، ظرفیت حرارتی، دمای انتقالی، نفوذ حرارتی و هدایت حرارتی PCM در فرآیند TR، رابطه بین اثر بازدارندگی انتشار TR و پارامترها بررسی شد. علاوه بر این، ضخامت بحرانی PCM مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج مطالعات پارامترها توسط نمودارهایی که اثر به تعویق انداختن انتشار TR را منعکس می‌نماید، ارائه شد. سپس محدوده بهینه پارامترها با توجه به استانداردهای ایمن مرتبط LIB در این کار مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج نشان داد که چگالی و ظرفیت حرارتی PCM با تأثیر به تعویق انداختن انتشار TR خطی هستند. این معمولی برای گرمای نهان PCM نیز مناسب است. دمای انتقال نامناسب PCM ممکن است منجر به ذوب ناقص PCMشود که عملکرد تاخیری PCM در فرآیند TR را مختل می‌نماید. علاوه بر این، قبل از اینکه هدایت حرارتی PCMبه $4\ W/(m\cdot K)$ برسد، اثر مهار انتشار TR به سرعت در حال کاهش بود. به طور کلی، دریافت شد که عملکرد منظم PCM در به تعویق انداختن انتشار TR با افزایش انتشار حرارتی ضعیف می‌شود و با توجه به روش محاسبه نفوذ حرارتی، چگالی در مقایسه با ظرفیت گرمایی در مهار انتشار TR حساس‌تر است. در مورد ضخامت PCMنیز شکل منظم مشابهی را با تأثیر چگالی PCM قبل از رسیدن به 12 میلی‌متر نشان داد. در همین حال، در بررسی حداقل ضخامت PCM به سری سلول‌های ضخامت مختلف، نمودار ضخامت بحرانی PCM را به سری‌های ضخامت مختلف باتری‌ها نشان داد که در محدوده 12 تا 18 میلی‌متر است.

با توجه به استانداردهای مربوطه، در این پژوهش، چگالی و ظرفیت حرارتی PCM بهتر از $2150\ kg\cdot m^{-3}$ و بیشتر از $4100\ J\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}$ است. در مورد انتشار حرارتی و گرمای نهان، PCM باید به ترتیب کمتر از $m^2.s^{-1}$

9×10^{-7}و بیشتر از 9×10^{5} $J\cdot kg^{-1}$ باشد. در مورد دمای انتقال PCM ، معتبرترین محدوده از 318.15 K تا 518.15 K است. زمانی که ضخامت باتری 26.5 میلی‌متر باشد، لایه‌های PCM 5 میلی‌متری می‌توانند استانداردهای ایمنی را برآورده نمایند. علاوه بر این، ضخامت لایه‌های PCM می‌تواند با بهبود سایر پارامترهای PCM نازک‌تر شود.

بر اساس تمام یافته‌ها، TR در LIB را می‌توان با افزودن لایه‌های PCM مناسب بین سلول‌ها مهار و به تعویق انداخت. انتخاب و سنتز PCM می‌تواند به تحقیق پارامترهای این مطالعه اشاره داشته باشد و مدل در این مطالعه را می‌توان به انواع دیگر LIBها تعمیم داد. بنابراین، انتخاب مناسب PCM می‌تواند هزینه را کاهش دهد و همچنین کارایی کاهش انتشار TR را بهبود بخشد. با این حال، مدل یک بعدی فقط انتشار TR را در راستای ضخامت در نظر گرفت و رسانایی گرمایی LIBها باید خلاف جهت باشد، اما در مدل مورد نظر فقط هدایت گرما را در راستای ضخامت در نظر گرفته شد. بنابراین، نتایج ممکن است فقط برای باتری‌های کوچک قابل اجرا باشد. برای باتری‌های سایز بزرگ، مدل سه بعدی شاید در مدت واقعی معقول‌تر باشد. علاوه بر این، مدل مورد نظر فرایندهای نشت الکترولیت و گاز زدایی را نادیده گرفت که ممکن است باعث شود نتایج پیش‌بینی در مقایسه با واقعیت دارای انحرافاتی باشد.

Reference

Luo, Weiyi, Luyao Zhao, and Mingyi Chen. "The effect of PCM on mitigating thermal runaway propagation in lithium-ion battery modules." *Applied Thermal Engineering* 236 (2024): 121608.

DOI: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121608

ترجمه و ویرایش: دانیال ابراهیم‌زاده