

مروری بر جداکننده‌های باتری لیتیوم یون به سمت عملکردهای ایمنی پیشرفته و رویکردهای مدل‌سازی

چکیده

در سال‌های اخیر، کاربردهای باتری‌های لیتیوم یونی به دلیل استفاده گسترده از آن در وسایل نقلیه الکترونیکی قابل حمل و الکتریکی به سرعت ظهور نموده است. با این وجود، ایمنی سیستم‌های باتری همیشه نگرانی جهانی برای کاربران نهایی بوده است. جداکننده جزء ضروری باتری‌های لیتیوم یونی است زیرا به عنوان مانع فیزیکی برای الکتروود و همچنین مخزن الکترولیت برای انتقال یونی عمل می‌نماید. ویژگی‌های جداکننده‌ها تأثیر مستقیمی بر عملکرد باتری‌های لیتیوم یونی دارد، بنابراین جداکننده‌ها نقش مهمی در مسئله ایمنی باتری ایفا می‌نمایند. با پیشرفت سریع مواد کاربردی، تلاش‌های گسترده‌ای برای استفاده از این مواد جدید به عنوان جداکننده باتری با عملکردهای الکتریکی، آتش‌سوزی و پیشگیری از انفجار افزایش یافته است. در این بررسی، هدف ارائه مرور کلی از پیشرفت‌های اخیر در مدل‌های عددی در جداکننده‌های باتری می‌باشد. علاوه بر این، ویژگی‌های فیزیکی جداکننده‌ها خلاصه شده و شاخص‌های عملکرد کلیدی انتخابی را به عنوان معیاری قرار گرفته است. تصویر وسیعی از مطالعات شبیه‌سازی اخیر بر روی جداکننده‌ها ارائه شده است و چشم‌انداز کوتاهی برای جهت‌های آینده نیز پیشنهاد گردیده است.

کلمات کلیدی: باتری لیتیوم یون، جداکننده، مدل‌سازی عددی، ایمنی باتری.

خلاصه و دورنمای پیش‌بینی شده

تماس فیزیکی بین الکترودهای مثبت و منفی باتری و اتصال کوتاه داخلی در حین کار به عنوان مخزن الکترولیت جهت فعال نمودن انتقال یونی صورت می‌گیرد. جداکننده ایده آل نه تنها باید دارای جذب الکترولیت زیاد برای کاهش مقاومت داخلی سلول باشد، بلکه دارای ضخامت بسیار نازک با استحکام مکانیکی قوی، پایداری الکتروشیمیایی و ساختاری و همچنین دارای ساختار بسیار متخلخل با پیچ خوردگی زیاد جهت جلوگیری از رشد درختی¹ نیز باشد. علاوه بر این، جداکننده باید بتواند باتری را در هنگام گرم شدن بیش از حد برای ایمنی باتری خاموش نموده و همچنین در فرآیند تولید، مقرون به صرفه باشد. با این حال، داشتن همزمان این ویژگی‌های ایده‌آل برای جداکننده‌های عملی چالش برانگیز است و بنابراین تعادل ویژگی‌های

¹ growth of dendritic

جداکننده مختلف برای دستیابی به باتری‌هایی با کارایی بالا ضروری است. علاوه بر این، مسئله ایمنی همچنان مانع دیگری برای کاربردهای جداکننده باتری و لیتیوم یون می‌باشد.

در این پژوهش، پیشرفت‌های مدل عددی اخیر برای جداکننده‌های باتری لیتیوم یون بررسی شده است.

این موارد شامل رویکردهای شبیه‌سازی تحلیلی برپایه ریاضی و مکانیکی مانند مدل‌های ^۲FEA، ^۳CFD و ^۴MD می‌باشد. از این طریق خلاصه شبیه‌سازی عددی می‌تواند در بررسی ویژگی‌های جداکننده و پیش‌بینی عملکرد جداکننده‌ها استفاده گردد. در همین حال، مطالعات عددی نه تنها راه کارآمد و مقرون به صرفه را ارائه می‌دهند، بلکه درک جامعی از مکانیسم اولیه عملکرد جداکننده را نشان می‌دهند. مدل‌های ریاضی پارامترهای خاصی را توصیف می‌نمایند که به‌طور تجربی شناخته شده نیستند و ظرفیت تنظیم پارامتر را فراهم نموده است.

مدل‌های مکانیکی ساختار دقیق جداکننده‌ها و ترکیب با FEA و CFD را نشان می‌دهند. در مدل‌ها، خواص جداکننده‌ها را می‌توان شبیه‌سازی و پیش‌بینی نمود. مدل‌های MD نمای دقیق تری از مکانیسم‌ها، مانند انتشار حرارتی، انتقال یون، و تخریب را نشان می‌دهند.

علاوه بر این، پارامترهای کلیدی طراحی مکانیکی مانند مدول یانگ و نرخ کرنش متوسط برای انواع مختلف مواد جداکننده (به‌عنوان مثال، پلی‌الفین، ^۵PVDF، ^۶PP، ^۷PE، سلولز/ لیگنین، محیط جامد همگن) از طریق روش‌های شبیه‌سازی عددی و خصوصیات تجزیه و تحلیل شدند. توسعه ابزارهای عددی قوی و موثر جهت رفع نیازهای ایمنی از سوختن جداکننده‌ها برای صنعت باتری مفید خواهد بود و ابزار طراحی مکمل برای طراحی مهندسی ایمنی و مطالعات عملکردی را ارائه می‌نماید.

با افزایش تقاضا برای باتری‌های لیتیوم یونی با راندمان شارژ/دشارژ بالا و چگالی انرژی در آینده، جداکننده‌های باتری با عملکرد بالا برای هر دو اهداف صنعتی و تحقیقاتی مورد نیاز هستند. در حال حاضر، بررسی مواد جداکننده و عملکردها عمدتاً بر اساس تجربی است. شبیه‌سازی‌های عددی می‌توانند نتایج قابل اعتمادی را در مقایسه با نتایج تجربی ارائه دهند و به مطالعه مکانیسم برخی اثرات کمک نمایند، در همین حال، شبیه‌سازی‌های عددی به‌عنوان راهی کارآمد و اقتصادی برای توسعه سیستم جداکننده و باتری ارائه گردید.

² finite element analysis

³ fluid dynamic computational

⁴ molecular dynamic

⁵ Polyvinylidene fluoride

⁶ polypropylene

⁷ Polyethylene

جهت ارائه جداکننده‌های ایمن‌تر، کاربردی‌تر و قدرتمندتر، توسعه باتری جدید لیتیوم یونی یا سیستم باتری و بهینه‌سازی فرآیند تولید امری بحرانی است.

بررسی‌های عددی و توسعه مدل‌ها در آینده در زیر اشاره می‌گردد:

(الف) ابزار عددی موثر پیش از خرابی سیستم که قادر به تشخیص انتشار حرارتی، اتصال کوتاه، تخریب جداکننده است. (ب) مدل فرار حرارتی جدید برای سیستم‌های باتری لیتیوم یونی که قادر به ترکیب چندین جداکننده باتری با خواص مکانیکی و فیزیکی مختلف است. (ج) جفت نمودن مدل‌های شبیه‌سازی چند مقیاسی برای مطالعه پدیده‌های داخلی/خارجی جفت‌شده همه جانبه آتش‌سوزی باتری لیتیوم یون و (د) یافته‌های شبیه‌سازی را می‌توان به‌عنوان پارامترهای مفید برای الگوریتم‌های یادگیری ماشین وارد نمود.

Reference

Li A, Yuen AC, Wang W, De Cachinho Cordeiro IM, Wang C, Chen TB, Zhang J, Chan QN, Yeoh GH. A review on lithium-ion battery separators towards enhanced safety performances and modelling approaches. *Molecules*. 2021 Jan 18;26(2):478.

DOI:10.3390/ molecules26020478