POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

مروری‌بر جداکننده‌های نانوالیافی جهت بهبود خواص مکانیکی به‌منظور استفاده در باتری‌های لیتیوم-یون

چکیده

جداکننده‌ها به‌عنوان یکی از اجزای ضروری در باتری‌های لیتیوم یون[1] (LIBs)، نقش مهمی در عملکرد باتری و مسائل ایمنی دارند. جداکننده‌های نانوالیافی[2] در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب نموده‌اند، نه تنها به‌دلیل ویژگی‌های برجسته مانند کاربرد گسترده مواد و فرآیند آماده‌سازی کامل، بلکه به‌دلیل مزایایی از جمله تخلخل بالا[3] و رسانایی یونی بالا[4] که می‌تواند LIBها را با کارایی الکتروشیمیایی عالی اعطا نمایند. با این حال، استحکام مکانیکی نسبتاً ضعیف جداکننده‌های نانوالیافی نمی‌تواند نیاز ایمنی مونتاژ باتری را برآورده نماید و همچنین این ویژگی می‌تواند باعث بروز حوادث ایمنی شود، که به‌مانعی جهت توسعه جداکننده‌های نانوالیافی تبدیل شده است. در واقع، کارهای قابل توجهی در بهبود خواص مکانیکی موفقیت‌آمیز بوده است، اگرچه اکثر آنها در نظر گرفته نشده‌اند. بنابراین، در این بررسی، بر روی استراتژی‌های بکار گرفته شده برای افزایش خواص مکانیکی جداکننده‌های نانوالیافی، مانند استفاده از مزایای چند جزیی متمرکز شده است. پلیمرهای عملکردی[5]، نانوذرات[6]، افزودنی‌ها[7] و پست-فرآوری[8]، با روش‌های مختلف با برجسته نمودن دستاوردهای اخیر در جداکننده‌های قوی ساخته شده است. جهت‌گیری‌ها، چالش‌ها و دیدگاه‌های آینده در بهبود عملکرد مکانیکی جداکننده‌های LIB نیز ارائه شده است. همچنین امید است که چنین بررسی بتواند به تحقیقات جداکننده اختصاص یافته به تولید صنعتی، ایمنی بالا و عملکرد بالا برای پیشرفت‌های باتری آینده کمک شایانی نماید.

کلمات کلیدی:

باتری‌های لیتیوم-یون، جداکننده‌های نانوالیافی، خواص مکانیکی، روش‌های ساخت[9]، ایمنی و عملکرد بالا[10].

نتیجه گیری و دیدگاه:

[1] lithium-ion batteries
[2] Nanofibrous separator
[3] high porosity
[4] high ionic conductivity
[5] high-performance polymers
[6] nano-particles
[7] additives
[8] post-treatment
[9] Fabrication methods
[10] High safety and performance

خواص مکانیکی جداکننده نقش مهمی در ایمنی و عملکرد LIBها و خواصی از این دست دارد، به‌ویژه برای جداکننده نانوالیافی، نیاز به بهبود فوری نیز دارند. تعدادی از کارهای تحقیقاتی که قبلاً صورت گرفته است جداکننده‌های نانوالیافی را برجسته نموده و کسب موفقیت این نوع جداکننده در افزایش استحکام کششی مشاهده گردید. در این بررسی، استراتژی‌های اعمال شده به‌منظور بهبود خواص مکانیکی جداکننده‌های نانوالیافی خلاصه شده است که به‌عنوان استفاده از مواد پلیمری با کارایی بالا، تقویت ذرات معدنی و افزودنی‌های آلی و پست-فرآوری با اعمال نیرویی یا حرارتی یا به صورت بایندری می‌توان طبقه‌بندی می‌شوند.

به‌ویژه، این عملکرد در مقایسه با جداکننده‌های معمولی نانوالیافی مواد پلیمری، از طریق فرآیند مستقیم مواد با استحکام و مدول بالا و استانداردهای بالا (یعنی مواد با کارایی بالا) بسیار بهبود می‌یابد. اما بخش زنجیره‌ای این مواد دارای استحکام بالایی است و فناوری فرآیند پیچیده آن عمدتاً شامل اسید و قلیای قوی است که جهت تولید تمیز و ایمن مناسب نیست. با ترکیب مزایای مواد پلیمری مختلف و ابداع روش‌های الکتروریسی[11] مانند ریسندگی لایه-به-لایه[12]، ریسندگی مرحله-به-مرحله[13] و الکتروریسی هم محور[14] و غیره، می‌توان در نهایت آلیاژهای پلیمری را به جداکننده کامپوزیتی نهایی با انواع ساختارهای ویژه تبدیل نمود. به‌عنوان ساختار شبکه سه بعدی نه تنها خود مواد می‌توانند به مزایای تکمیلی دست یابند، بلکه شایستگی ساختار نیز می‌تواند نقش کاملی داشته باشد که منجربه بهبود خواص مکانیکی و الکتروشیمیایی جداکننده کامپوزیتی شود. مشابه با آلیاژهای پلیمری، معرفی ذرات معدنی و افزودنی‌های مولکولی کوچک آلی نه تنها خواص مکانیکی مواد پلیمری را افزایش می‌دهد، بلکه پیشرفت‌های زیادی در عملکردهای حرارتی، رطوبت‌پذیری[15] و الکتروشیمیایی دارد. در همین حال، شایان ذکر است که استحکام غشای نانوالیافی را می‌توان به‌طور موثری با پست- فرآوری از طریق ایجاد پیوند بین الیاف[16] بهبود بخشید. با این حال، چنین عملیاتی با اعمال نیرو یا حرارت به‌احتمال زیاد باعث کاهش منافذ و از دست دادن تخلخل بالای اولیه جداکننده می‌گردد.

همانطور که در بالا گفته شد، فعالیت‌های صورت گرفته و نتایج موثر زیادی در بهبود خواص مکانیکی جداکننده نانوالیاف حاصل گشته است. در آینده، محققان می‌توانند به پیشرفت خواص مکانیکی جداکننده‌های نانوالیافی با دیدگاه‌های زیر ادامه دهند:

(1) مواد مستحکم‌تر و ساختارهای خلاقانه‌تر به‌منظور بهبود بیشتر خواص مکانیکی جداکننده‌های نانوالیافی باقی مانده‌اند.

---

[11] electrospinning methods
[12] layer-by-layer spinning
[13] side-by-side spinning
[14] coaxial electrospinning
[15] wetting
[16] bonding between fibers

از نظر مواد اولیه، موادی با کارایی، استحکام و استاندارد بالا مانند الیاف کربن[17]، الیاف شیشه[18] باید فرصت بیشتری برای استفاده در جداکننده‌های نانوالیافی داشته باشند که با درک بهینه‌سازی فرآیند و اجتناب از شرایط سخت فرآوری به همان اندازه ممکن امکان‌پذیر است. البته، اختلاط پلیمری معمولی با موادی با کارایی بالا نیز انتخاب خوبی برای ساخت جداکننده‌های ابداعی است که می‌تواند ویژگی‌هایی از جمله عملکرد مکانیکی، حرارتی و باتری را با هم ادغام نماید. در مورد ساختار جداکننده نانوالیافی، می‌توان آن را از منظر بیونیک[19] مانند تقلید از تار عنکبوت و پیله کرم ابریشم طراحی نمود که قبلاً گفته شده است که به‌دلیل ساختار منحصر به فرد خود دارای استحکام مکانیکی برتری هستند. تجزیه و تحلیل عمیق ساختار آنها و ساخت چنین ساختاری با کمک فناوری‌های مدرن می‌تواند پیشرفت جداکننده‌های نانوالیافی را ارتقا دهد. علاوه‌بر این، طراحی غشای نانوالیافی با تغییرات سطح شیب‌دار در جهت ضخامت از نظر آرایش، جهت‌گیری، توزیع و ابعاد به‌منظور بهبود خواص مکانیکی استراتژی امیدوارکننده‌ای است. تغییر مستمر شیب ساختاری می‌تواند به طور موثر تنش بین‌سطحی[20] را کاهش دهد، بنابراین استحکام نهایی و ظرفیت جذب انرژی را بهبود می‌بخشد.

(2) مقاومت در برابر سوراخ شدن[21] و کشش‌پذیری[22] جداکننده‌های نانوالیافی باید در پاسخ به تقاضای فزاینده برای LIBها تحت تنش قرار گیرد.

می‌توان دریافت که استحکام کششی یکی از مشکلات اصلی است و بیشتر تحقیقات برای بهبود آن انجام می‌شود. با این حال، جداکننده دچار سوراخ شدن به سبب وجود ساختارهای درختی یا خار مانند لیتیومی[23] می‌شود، که ممکن است در فرآیند مونتاژ و عملکرد باتری‌ها مشکلات جدی ایجاد نماید. بنابراین، افزایش مقاومت در برابر سوراخ شدن می‌تواند یک روند جدید در طراحی جداکننده باشد. علاوه‌بر این، ازدیاد طول یا تغییر شکل جداکننده نیز می‌تواند پررنگ‌تر باشد. باتری‌های قابل کشش و انعطاف‌پذیر با توسعه الکترودهای الاستیک و الکترولیت‌هایی با ماهیت ژل به بازار عرضه شده‌اند و در نتیجه جداکننده‌های کششی مورد نیاز بوده و قابلیت کشش بالای آن‌ها از اهمیت حیاتی برخوردار می‌نماید. مسلماً برخی از پلیمرهای دارای ویژگی «چسبندگی»[24] مانند PU یا ژل‌های پلیمری می‌توانند جایگزینی برای جداکننده‌ها در LIBهای قابل کشش باشند.

---

[17] carbon fiber
[18] glass fiber
[19] bionics
[20] interfacial stress
[21] Puncture resistance
[22] stretchability
[23] bur or lithium dendrite
[24] sticky

(3) استانداردهای آزمون و کاربرد برای خواص مکانیکی جداکننده‌های نانوالیافی باید یکپارچه شوند یا برای بازار عملی ایجاد شوند.

فناوری‌های مختلف آزمون پیشرفته مانند ارتباط تصویر دیجیتال، تحلیلگر مکانیکی دینامیکی[۲۵] و آزمون ضربه ساچمه[۲۶] به‌منظور مشخص نمودن خواص مکانیکی جداکننده‌های پلی‌الفین تجاری استفاده شده‌اند و استانداردهای آزمون و کاربرد مربوطه نیز ایجاد شده است. با این حال، از آثار فوق باید توجه داشت که روش‌های آزمایشی که برای ارزیابی خواص مکانیکی جداکننده نانوالیاف استفاده می‌شود یکسان نبوده و بین پژوهش‌های مختلف قابل مقایسه نیست. بنابراین، استانداردهای آزمایش مربوطه برای جداکننده‌های نانوالیافی به فوریت مورد نیاز است. علاوه‌بر این، هنوز هیچ استانداردی برای اینکه جداکننده‌های نانوالیافی چقدر باید در کاربردهای عملی باتری قوی و انعطاف‌پذیر باشند، وجود ندارد، بنابراین می‌توان بر تنظیم استانداردهای کاربردی نیز تمرکز نمود.

آنچه باید مورد توجه قرار گیرد این است که هنگام کاوش در مواد جدید، ساختارها یا روش‌های جدید بکار رفته برای بهبود خواص مکانیکی جداکننده‌های نانوالیاف، امکان تجاری‌سازی وجود دارد. جداکننده‌های پلی-اولفین ریز متخلخل[۲۷] به‌دلیل تعادل بین هزینه و خواص ناشی از مواد و روش‌های فرآوری می‌توانند به‌طور گسترده در بازار استفاده شوند. همچنین، این مواد نباید اثرات جانبی بر روی سایر خواص به خصوص عملکرد باتری ایجاد نمایند. این روند می‌تواند با بهینه سازی قوام مواد[۲۸]، کنترل ضخامت و تخلخل جداکننده[۲۹] یا ساخت منافذ جداکننده یکنواخت[۳۰] ارتقا یابد. به‌عبارت دیگر، هزینه و خواص باتری را باید در نظر گرفت و بهمبود خواص مکانیکی جداکننده‌های نانوالیافی را نباید از این موضوع جدا نمود.

Reference

Xing J, Li J, Fan W, Zhao T, Chen X, Li H, Cui Y, Wei Z, Zhao Y. A review on nanofibrous separators towards enhanced mechanical properties for lithium-ion batteries. Composites Part B: Engineering. 2022 Jul 8:110105.

DOI: 0.1016/j.compositesb.2022.110105

[25] dynamic mechanical analyzer
[26] ball impact test
[27] Microporous polyolefin separators
[28] material consistency
[29] controlling the thickness and porosity of the separator
[30] Fabricating uniform separator pores