



GUIA ARMAZENAMENTO EM BATERIAS · 8 MIN

Barreiras ao nível da célula e do módulo: papel de fibra, laminados microporosos e aerogel em comparação

Que material de barreira impede de forma mais fiável a propagação entre células e módulos? Uma comparação técnica entre papel de fibra, laminados microporosos e compósitos de aerogel para sistemas estacionários de armazenamento de energia em baterias.

Porque é que a primeira linha de defesa começa na célula

Uma fuga térmica começa sempre numa única célula. Se daí resulta um evento localmente limitado ou um incêndio generalizado de todo o contentor de armazenamento, decide-se nos primeiros segundos e minutos, e depende de a célula vizinha ter ou não de absorver o calor transmitido. É precisamente aqui que atuam as barreiras térmicas ao nível da célula e do módulo: camadas separadoras finas entre as células e placas separadoras entre módulos, que limitam o fluxo de calor até que a energia libertada seja dissipada ou distribuída.

Para projetistas e instaladores de sistemas estacionários de armazenamento de energia em baterias, o tema é duplamente relevante. Em primeiro lugar, procedimentos de ensaio como a UL 9540A avaliam o comportamento de propagação desde a célula, passando pelo módulo, até à unidade; uma barreira eficaz ao nível da célula melhora o resultado em todos os níveis superiores. Em segundo lugar, o espaço disponível nos racks modernos é extremamente reduzido: cada milímetro de material de barreira concorre com a densidade energética. A escolha do material é, por isso, sempre um compromisso entre desempenho térmico, espessura, comportamento mecânico e custo.

Nota: Os requisitos de uma barreira entre células — Uma barreira entre células tem de fazer mais do que isolar: tem de resistir durante um curto período às partículas e gases quentes de uma falha de célula, proporcionar isolamento elétrico, acompanhar mecanicamente a «respiração» cíclica das células (swelling) ao longo da vida útil e manter a estabilidade dimensional. Nenhum material cumpre todos estes pontos na perfeição; por isso, na prática, predominam compromissos e estruturas multicamada.

Papel de fibra: o clássico robusto

Os papéis e mantas de fibras de alta temperatura, como a clássica lã de silicato de alumínio ou a lã de silicato alcalinoterroso biossolúvel, estão estabelecidos há décadas na construção de fornos industriais. Os seus pontos fortes: temperaturas de classificação muito elevadas (consoante o tipo de fibra, tipicamente na ordem de 1 100 a 1 400 °C), boa disponibilidade, transformação simples por estampagem ou corte e um preço moderado. Como camada separadora entre módulos ou como revestimento de caixas de módulos, prestam um serviço fiável.

Os seus limites residem na condutibilidade térmica e no comportamento mecânico. Os papéis de fibra isolam claramente pior do que os materiais microporosos ou os aerogéis, pelo que necessitam de mais espessura para o mesmo efeito de proteção. Sob compressão permanente perdem, além disso, capacidade de recuperação; por isso, isoladamente, só são adequados com reservas para posições em que o swelling das células tem de ser absorvido de forma elástica. Nas fibras clássicas de silicato de alumínio deve ainda ter-se em conta a classificação como potencialmente cancerígenas, que implica medidas de proteção especiais na transformação e no desmantelamento; as fibras biossolúveis evitam esta questão.

- Aplicação típica: camadas separadoras entre módulos, revestimento de caixas de módulos e de racks, revestimento de condutas de evacuação de gases
- Pontos fortes: elevada resistência à temperatura, transformação simples, baixo custo
- Pontos fracos: condutibilidade térmica mais elevada, capacidade de recuperação limitada, questão das poeiras de fibras consoante o tipo de fibra

Laminados microporosos: máximo efeito isolante por milímetro de proteção térmica

Os isolantes microporosos são constituídos por sílica pirogénica com opacificantes e atingem dimensões de poro inferiores ao percurso livre médio das moléculas de ar. O resultado é uma condutibilidade térmica que, a altas temperaturas, é inferior à do ar em repouso: nenhum outro material de uso corrente isola melhor por milímetro em contacto com gases quentes. As temperaturas de classificação situam-se, consoante o produto, geralmente na ordem de 1 000 °C. É precisamente esta combinação que torna as placas e laminados microporosos a primeira escolha quando é necessário manter um gradiente de temperatura acentuado num espaço mínimo.

O preço a pagar é a sensibilidade mecânica: o material é sensível à pressão e liberta pó, razão pela qual é praticamente sempre transformado com revestimento, soldado em película, envolvido em tecido de vidro ou como laminado com camadas de cobertura de mica ou folha metálica. Estes laminados combinam o efeito isolante do núcleo microporoso com a rigidez dielétrica e a resistência à erosão por partículas da camada de cobertura. Para posições com compressão cíclica, diretamente entre células que «respiram», o material é, pelo contrário, inadequado, pois sob carga alternada pode compactar-se e perder a sua estrutura.

Nota: A mica como parceira — As placas de mica trazem aquilo que falta aos núcleos microporosos: elevada rigidez mecânica, excelente isolamento elétrico e resistência a fluxos de partículas quentes. Nas barreiras multicamada, a mica assume frequentemente o lado quente e sujeito a partículas, enquanto o núcleo microporoso mantém o gradiente de temperatura.

Compósitos de aerogel: finos, flexíveis e estáveis à compressão

Os aerogéis de sílica estão entre os sólidos com menor condutibilidade térmica que existem; os compósitos de aerogel reforçados com fibras atingem, à temperatura ambiente, condutibilidades térmicas na ordem de 0,015 a 0,02 W/(m·K). Para o nível da célula interessa, porém, sobretudo a combinação de efeito isolante, espessura reduzida e flexibilidade mecânica: almofadas de aerogel com poucos milímetros de espessura podem resistir durante curtos períodos a temperaturas de chama muito elevadas e, ao mesmo tempo, absorver elasticamente

a «respiração» e a dilatação das células ao longo de milhares de ciclos, sem acumular uma deformação permanente por compressão significativa.

Assim, os compósitos de aerogel ocupam a posição que o papel de fibra e os laminados microporosos não cobrem: a barreira direta entre células em módulos prismáticos e entre células pouch, onde a barreira e a almofada de compressão coincidem num único componente. As desvantagens são o preço mais elevado, a temperatura de utilização contínua limitada, consoante o produto, face à fibra cerâmica, e a possível libertação de pó, igualmente controlada através de revestimentos. Para separações de módulos de grande superfície ou revestimentos de caixas, muitas vezes não são a primeira escolha do ponto de vista económico.

- Papel de fibra: grande reserva de temperatura, requer espessura; adequado para separação de módulos e caixas
- Laminado microporoso: melhor efeito isolante por milímetro, sensível à pressão; adequado para barreiras estáticas com falta de espaço
- Compósito de aerogel: isola muito bem e absorve o swelling; adequado para a posição entre células
- Mica: forte mecânica e eletricamente, isola pouco; adequada como camada de cobertura num compósito

Seleção no projeto: do caso de carga à comprovação

A seleção do material não começa na ficha técnica, mas no caso de carga: que quantidade de energia liberta a célula, quanto tempo dura a ventilação, que temperaturas e fluxos de partículas ocorrem na barreira e que temperatura máxima pode atingir o lado frio para que a célula vizinha não entre na zona crítica? Destas condições de contorno resultam a espessura e a estrutura, frequentemente sob a forma de um compósito multicamada que combina núcleo isolante, proteção contra partículas e isolamento elétrico.

A comprovação da eficácia faz-se, em última análise, por ensaio: os ensaios de propagação ao nível da célula e do módulo, normalizados na América do Norte através da UL 9540A, mostram se a barreira trava efetivamente a propagação ou apenas a retarda. Importante para os operadores: uma mudança de material durante a vida do produto, por exemplo por razões de custo ou de fornecimento, pode pôr em causa a validade das comprovações de ensaio existentes. Os materiais de barreira devem, por isso, estar sujeitos ao controlo de alterações do conceito de segurança e não à livre aquisição.

Perguntas frequentes

Uma barreira ao nível da célula é suficiente para dispensar medidas ao nível do contentor?

Não. As barreiras entre células reduzem a probabilidade de propagação, mas não substituem a compartimentação corta-fogo do contentor, nem a deteção de gases, o alívio de pressão ou os sistemas de extinção. Uma proteção eficaz só resulta da interação de todos os níveis: célula, módulo, rack e compartimento.

Porque não se utiliza aerogel em toda a parte, se é o que melhor isola?

Os compósitos de aerogel são consideravelmente mais caros do que o papel de fibra e tiram partido das suas vantagens sobretudo onde se exigem simultaneamente espessura reduzida e bom comportamento à compressão, ou seja, diretamente entre as células. Para separações estáticas de grande superfície, os produtos de fibra ou os laminados microporosos são frequentemente a solução mais económica e igualmente eficaz.

O que significa a «respiração» das células para a seleção da barreira?

As células de íões de lítio dilatam-se durante o carregamento e com o envelhecimento. Uma barreira entre as células tem de absorver elasticamente esta variação de espessura sem se compactar de forma permanente; caso contrário, perde efeito isolante e o conjunto de células perde o seu aperto definido. Os materiais com baixa deformação permanente por compressão têm aqui uma clara vantagem.

Fale connosco sobre o seu projeto

Resposta em 24 horas nos dias úteis.

info@sbs-rs.de**+49 89 541 960 200**Ler online: www.sbs-rs.de/batteriespeicher/ratgeber/barriere-zelle-modul