



GUIA ARMAZENAMENTO EM BATERIAS · 18 MIN

Compartimentação térmica em sistemas de armazenamento em baterias: materiais refratários contra a fuga térmica

Como projetistas e operadores de sistemas de armazenamento de energia em baterias (BESS) limitam a propagação térmica entre célula, módulo, rack e contentor: regulamentação, seleção de materiais, montagem, ensaios e manutenção na perspetiva da construção refratária.

O que acontece numa fuga térmica e porque é que o tempo é o fator decisivo

Uma fuga térmica (thermal runaway) começa numa única célula: devido a um curto-circuito interno, a danos mecânicos, a sobrecarga ou a um defeito de fabrico, a temperatura da célula sobe até ao ponto em que a decomposição do eletrólito se acelera por si própria. Em poucos segundos geram-se várias centenas de graus Celsius, gases inflamáveis (hidrogénio, monóxido de carbono, hidrocarbonetos) e um jato de partículas incandescentes. Neste estado, a célula já não pode ser extinta: a reação prossegue até a energia armazenada se esgotar.

O perigo para a instalação não é a célula isolada, mas sim a propagação: o calor da primeira célula aquece as células vizinhas até que também nelas o limiar seja ultrapassado. Sem compartimentação, a reação em cadeia percorre o módulo, o rack e, por fim, o contentor. Cada nível que atrasa a transmissão em alguns minutos dá tempo ao sistema de gestão da bateria para desligar, à extração de gases para ventilar e aos bombeiros para chegarem.

Nota: A função essencial dos materiais refratários — Não extinguir, mas separar: uma barreira térmica entre os níveis mantém a temperatura na face não exposta abaixo do limiar de ignição das células vizinhas durante tempo suficiente para que a propagação pare ou se torne controlavelmente lenta. O critério é o tempo até à passagem da temperatura, e não apenas a temperatura de classificação do material.

- Nível da célula: temperaturas na superfície da célula acima de 600 °C, jato de partículas acima de 1 000 °C
- Nível do módulo: libertação de várias centenas de litros de gás por kWh, aumento de pressão no invólucro
- Nível do rack e do contentor: acresce a carga de incêndio de plásticos, cabos e eletrónica
- Janela temporal: sem barreira, a propagação entre células vizinhas ocorre tipicamente em minutos; com uma barreira eficaz, é consideravelmente retardada ou interrompida

Regulamentação: o que é exigido e o que tem de ser comprovado

Na Alemanha não existe uma lei única e exaustiva para os sistemas estacionários de armazenamento em baterias: os requisitos resultam de normas de produto, métodos de ensaio, diretrizes das seguradoras e da legislação da construção. Para a seleção de materiais no contentor, são sobretudo determinantes os métodos de ensaio com os quais se comprova a segurança contra a propagação.

A UL 9540A é o método de ensaio difundido a nível internacional que analisa a propagação de uma fuga térmica por etapas, ao nível da célula, do módulo, da unidade e da instalação. Muitos concursos e seguradoras exigem hoje um relatório UL 9540A; as temperaturas e os tempos nele documentados são os dados de entrada para o dimensionamento da compartimentação. A NFPA 855, enquanto norma de instalação, regula distâncias, compartimentos corta-fogo e conceitos de extinção e ventilação. Na Europa, a IEC 62933-5-2 descreve os requisitos de segurança para sistemas de armazenamento eletroquímico ligados à rede. A diretriz VdS 3103 resume as expectativas das seguradoras alemãs de danos patrimoniais relativamente aos sistemas de armazenamento de iões de lítio.

Aos próprios materiais refratários aplicam-se as classificações segundo a DIN EN 13501-1 (reação ao fogo, classe A1 para produtos incombustíveis) e os ensaios de resistência ao fogo segundo a DIN EN 1363 e a DIN EN 1364. No caso dos materiais fibrosos, acresce a segurança no trabalho: a lã de silicato de alumínio (ASW) está sujeita à TRGS 558 (regra técnica alemã para trabalhos com lãs de alta temperatura), a lã AES biossolúvel não. É um ponto que, nos sistemas de armazenamento em baterias, é quase sempre decisivo.

Nota: Nota prática — Antes de falar de materiais, peça ao fornecedor do sistema o relatório UL 9540A ao nível do módulo e da unidade. As temperaturas de superfície aí medidas e a duração do evento determinam o efeito de barreira necessário; tudo o resto é dimensionar às cegas.

O conceito de compartimentação: quatro níveis, quatro funções

Uma compartimentação eficaz segue a estrutura do sistema de armazenamento de dentro para fora. Cada nível tem uma função própria, uma carga térmica própria e, por isso, um material próprio adequado. Quem aplica o mesmo material em todos os níveis paga demasiado ou protege de forma insuficiente o ponto crítico.

- Célula—célula: camadas intermédias finas de 1 a 3 mm que retardam a transferência de calor para a célula vizinha, em papel de fibra cerâmica de qualidade biossolúvel ou laminados microporosos; o decisivo é a espessura reduzida e a baixa condutibilidade térmica a alta temperatura
- Módulo—módulo: placas de 5 a 25 mm entre os módulos no rack; placas microporosas, com o maior efeito isolante por milímetro, onde o espaço é escasso; placas de silicato de cálcio, onde é também necessária resistência à compressão
- Rack—rack e rack—parede: paredes divisórias e revestimentos com resistência ao fogo, em placas de silicato de cálcio ou de fibra em várias camadas, com juntas desencontradas e ligações vedadas com cordão de fibra
- Revestimento interior do contentor: revestimento de paredes e teto em manta ou placa de fibra biossolúvel, que mantém a carcaça de aço abaixo da temperatura crítica e impede a propagação do incêndio aos contentores vizinhos

A isto acrescem os atravessamentos: cabos, tubagens de refrigeração, barramentos (busbars) e aberturas de ventilação atravessam todos os níveis. Uma parede divisória vale o que vale o seu atravessamento mais fraco; aqui, os cordões de fibra, as juntas de papel e as mangas corta-fogo passam a fazer parte do conceito e não são meros acessórios.

Seleção de materiais: bioisoláveis, microporosos, sem fibras, e porque é que a ASW raramente é a resposta certa num sistema de armazenamento

No forno industrial, é a temperatura que determina o material. No sistema de armazenamento em baterias acrescem três requisitos que condicionam mais a seleção: o espaço disponível, a segurança no trabalho e a lista de materiais do cliente.

A lã AES bioisolável (SOLUT BW Blanket, BW Board, BW Paper) está isenta da classificação como cancerígena ao abrigo da nota Q do Regulamento CLP e não está abrangida pela TRGS 558. Para os fabricantes de sistemas de armazenamento, isto significa: sem categorias de exposição na montagem, sem obrigação de rotulagem no produto e sem notificação de SVHC ao abrigo do artigo 33.º do REACH. Com uma temperatura de classificação de 1 200 °C, cobre as temperaturas que ocorrem nas paredes e no teto durante uma fuga térmica. O seu limite prático de utilização contínua, abaixo de cerca de 900 °C, não é relevante neste caso: a situação de carga é um evento de minutos e não um funcionamento contínuo.

As placas microporosas (SOLUT MP Board) oferecem a mais baixa condutibilidade térmica de todos os isolantes, cerca de 0,02 a 0,03 W/mK a 200–400 °C, e, por conseguinte, o maior efeito de barreira por milímetro. São o material de eleição entre módulos, onde cada milímetro de espaço custa densidade energética. Não contêm fibras, são incombustíveis (A1) e podem ser fornecidas revestidas com folha de alumínio, tecido de vidro ou película de PE, para não libertarem pó durante o manuseamento.

As placas de silicato de cálcio (SOLUT CAL Board) aplicam-se onde a barreira tem de suportar cargas: sob os racks, como parede divisória com fixações, como base de apoio para componentes. Resistências à compressão de 13 a 27 N/mm² com uma temperatura de classificação de 1 000 °C, sem fibras e trabalháveis com ferramentas para madeira.

Nota: Porque não ASW? — A lã de silicato de alumínio suporta 1 260 a 1 430 °C, mas está classificada como cancerígena da categoria 1B. Num produto que os fabricantes fornecem para muitos países e que os técnicos de assistência abrem, isso implica obrigações de rotulagem, de informação e de segurança no trabalho que quase nenhum fabricante de sistemas de armazenamento quer assumir. A reserva de temperatura da ASW não é necessária num sistema de armazenamento: a alternativa bioisolável é suficiente para a situação de carga.

- Camadas intermédias entre células: SOLUT BW Paper 1–3 mm ou laminado microporoso
- Separação de módulos: SOLUT MP Board 5–25 mm, revestida
- Paredes divisórias estruturais e bases de apoio: SOLUT CAL Board 12,7–50 mm
- Revestimento de paredes e teto do contentor: SOLUT BW Blanket 25–50 mm ou BW Board
- Atravessamentos e juntas: cordão de fibra e BW Paper, combinados com sistemas de selagem homologados nos compartimentos corta-fogo

Comparação de materiais: os quatro materiais de barreira em resumo

A tabela seguinte compara os quatro principais materiais de barreira, com os valores característicos que são realmente decisivos num sistema de armazenamento: condutibilidade térmica em caso de evento, espaço necessário, resistência mecânica e estatuto regulamentar.

Nota: Regra prática — Onde o espaço é o fator mais escasso: microporoso. Onde há cargas ou aparafusamento: silicato de cálcio. Onde se revestem superfícies: fibra bioisolável. Onde tem de ser fino: papel de fibra. ASW apenas quando se isola permanentemente acima de 900 °C, o que num sistema de armazenamento praticamente nunca acontece.

Montagem e ensaios: onde a barreira falha na prática

A melhor seleção de materiais de nada serve se a barreira tiver falhas. Das nossas montagens conhecemos quatro pontos fracos recorrentes: juntas de topo abertas entre placas, atravessamentos não vedados, fixações de aço que atravessam o isolamento como ponte térmica e camadas isolantes esmagadas durante a montagem, que assim perdem espessura e efeito isolante.

- Desencontrar as juntas das placas em duas camadas ou executá-las com macho e fêmea; em camada única, reforçar as juntas de topo por trás com cordão de fibra
- Desenhar cada atravessamento como pormenor próprio: cordão, papel ou manga, com um comprimento de vedação pelo menos igual à espessura da placa
- Separar termicamente as fixações, com ancoragens cerâmicas ou de aço inoxidável com base isolante em vez de parafusos de aço passantes
- Verificar a espessura do isolamento no estado montado e não no estado de fornecimento; documentar o aperto e a compressão
- Avaliar os revestimentos e as películas na face exposta ao evento: protegem durante o manuseamento, mas não contribuem em caso de incêndio

A comprovação faz-se em duas etapas: os valores característicos dos materiais provêm das fichas técnicas e das classificações de reação ao fogo; o efeito de barreira do sistema resulta de um ensaio de propagação ao nível do módulo ou da unidade, de preferência segundo a UL 9540A, porque os resultados passam então a ser utilizáveis também por seguradoras e entidades licenciadoras. Fornecemos os dados dos materiais e acompanhamos o fabrico dos provetes, para que o sistema ensaiado corresponda ao que será montado posteriormente.

Lista de verificação para o planeamento: o que tem de estar definido antes do concurso e da proposta

A maioria dos atrasos em projetos de armazenamento não surge na montagem, mas antes dela, por faltarem as bases no momento de comparar propostas. Estes doze pontos devem estar esclarecidos antes de enviar o primeiro pedido:

- Existem relatórios UL 9540A do fornecedor das células/módulos ao nível do módulo e da unidade? Que temperaturas e tempos foram medidos?
- O objetivo de proteção está definido: impedir a propagação célula–célula, retardar a propagação módulo–módulo ou apenas separar contentor–contentor?
- O orçamento de espaço está definido para cada nível (mm entre células, módulos, racks)?
- Foram obtidos os requisitos da seguradora (VdS 3103 e eventuais exigências próprias)?
- A reação ao fogo dos materiais é exigida como classe A1 segundo a DIN EN 13501-1?
- É exigida uma lista de materiais sem fibras, ou a fibra biossolúvel (nota Q) é admissível?
- Os atravessamentos foram contabilizados e foi definido um pormenor de vedação por tipo (cabo, tubagem de refrigeração, barramento, ventilação)?
- O conceito de fixação foi planeado sem pontes térmicas passantes?
- A compressão das camadas isolantes na montagem foi calculada? Qual é a espessura no estado montado?
- Foram previstos provetes para o ensaio de propagação (material, data, laboratório de ensaio)?
- Produção em série: corte como kit ou peças individuais? Tolerâncias definidas?
- Conceito de desmontagem e de peças de substituição: como é restabelecida uma barreira após uma intervenção de manutenção?

Nota: A nossa oferta para projetistas — Envie-nos os dados UL 9540A e o orçamento de espaço: propomos a

estrutura de camadas para cada nível, fornecemos os valores característicos dos materiais para a demonstração de segurança e, se pretender, fabricamos provetes e kits de série.

Funcionamento, manutenção e desmantelamento

Em funcionamento normal, uma barreira térmica não trabalha: espera. É precisamente por isso que é facilmente danificada durante a manutenção e as modificações: as placas são retiradas para dar acesso e recolocadas de forma incompleta, as vedações dos atravessamentos perdem-se na substituição de cabos, as camadas isolantes são esmagadas por componentes instalados posteriormente. Por isso, a documentação de manutenção deve incluir um plano de compartimentação que identifique cada barreira, cada atravessamento e cada vedação.

- Após cada intervenção: inspeção visual da barreira afetada face ao plano de compartimentação, com fotografia arquivada no processo
- Anualmente: verificação por amostragem das vedações dos atravessamentos e da compressão das camadas isolantes
- Após um evento térmico: renovar integralmente as barreiras afetadas; também a lã biossolúvel e as placas microporosas perdem as suas propriedades após a passagem da temperatura
- Na desmontagem: separar os materiais de acordo com a rotulagem; os materiais biossolúveis e sem fibras não são resíduos perigosos, o material de ASW usado corresponde ao código LER 170603*

Nota: Tudo num único fornecedor — Fornecemos os materiais com fichas técnicas em sete línguas, cortamos placas e mantas segundo desenho, montamos com técnicos próprios e, em caso de modificação ou desativação, encarregamo-nos do desmantelamento, incluindo o comprovativo de eliminação. Para fabricantes que produzem sistemas de armazenamento em série, pré-fabricamos kits de compartimentação.

Normas e regulamentos

UL 9540A

Método de ensaio para avaliar a propagação da fuga térmica ao nível da célula, do módulo, da unidade e da instalação (Fornecer temperaturas e tempos para o dimensionamento das barreiras; cada vez mais exigido por seguradoras e concursos)

NFPA 855

Norma de instalação para sistemas estacionários de armazenamento de energia: distâncias, compartimentos corta-fogo, conceitos de extinção e ventilação (Enquadramento para a disposição de paredes divisórias e distâncias entre unidades)

IEC 62933-5-2

Requisitos de segurança para sistemas de armazenamento de energia eletroquímicos ligados à rede (Base europeia para a demonstração de segurança do sistema completo)

VdS 3103

Diretriz das seguradoras alemãs de danos patrimoniais para baterias e sistemas de armazenamento de iões de lítio (Expectativas das seguradoras quanto à instalação, compartimentação e proteção contra incêndio)

DIN EN 13501-1

Classificação da reação ao fogo de produtos de construção (classe A1: incombustível) (Comprovação da incombustibilidade dos materiais isolantes e de separação utilizados)

DIN EN 1363-1 / EN 1364

Ensaio de resistência ao fogo em geral e para elementos não estruturais (Comprovação da resistência ao fogo de paredes divisórias e revestimentos)

TRGS 558

Regra técnica alemã para trabalhos com lãs de alta temperatura: categorias de exposição e medidas de proteção (Aplica-se à ASW, não à lã AES biossolúvel; decisiva para a seleção de materiais)

Regulamento CLP, nota Q

Isenção das lãs minerais bioisoláveis da classificação como cancerígenas (Base para materiais fibrosos sem rotulagem obrigatória em sistemas de armazenamento)

Perguntas frequentes

A lã bioisolável de 1 200 °C é suficiente se numa fuga térmica ocorrerem mais de 1 000 °C?

Para esta situação de carga, sim: a temperatura de classificação descreve a retração após 24 horas de exposição contínua. Uma fuga térmica é um evento de minutos, durante o qual a barreira tem de retardar o calor e não suportá-lo de forma permanente. O decisivo é a espessura e a condutibilidade térmica, bem como a comprovação no sistema ensaiado.

Porquê um material microporoso em vez de simplesmente uma manta de fibra mais espessa?

Porque, num sistema de armazenamento, espaço é densidade energética. Uma placa microporosa consegue com 10 mm o que uma manta de fibra só consegue com o dobro ou o triplo da espessura. Entre módulos, isso é a diferença entre ter um rack a mais ou a menos no contentor.

Os próprios materiais têm de ser homologados?

Os materiais necessitam de classificações (reação ao fogo A1, valores das fichas técnicas). A homologação diz respeito ao sistema: a segurança contra a propagação é ensaiada no módulo ou na unidade, e não apenas no material. Fornecemos os dados dos materiais para essa comprovação.

O que acontece à compartimentação após um evento?

As barreiras afetadas são integralmente renovadas. Os isolantes que sofreram uma passagem de temperatura ficam frágeis ou compactados e deixam de atingir os seus valores característicos, mesmo que pareçam intactos por fora.

Fale connosco sobre o seu projeto

Resposta em 24 horas nos dias úteis.

info@sbs-rs.de

+49 89 541 960 209

Le online: www.sbs-rs.de/batteriespeicher/ratgeber/thermische-abschottung-batteriespeicher