



GUIDE STOCKAGE PAR BATTERIES · 8 MIN

Barrières au niveau cellule et module : papier de fibres, laminés microporeux et aérogel en comparaison

Quel matériau de barrière empêche le plus sûrement la propagation entre cellules et modules ? Une comparaison technique du papier de fibres, des laminés microporeux et des composites d'aérogel pour les systèmes de stockage par batteries stationnaires.

Pourquoi la première ligne de défense commence dans la cellule

Un emballement thermique (thermal runaway) commence toujours dans une cellule isolée. Qu'il en résulte un événement localement circonscrit ou un embrasement généralisé de tout le conteneur de stockage se décide dans les premières secondes et minutes — et précisément sur la question de savoir si la cellule voisine doit absorber ou non la chaleur transmise. C'est exactement là qu'interviennent les barrières thermiques au niveau cellule et module : de fines couches de séparation entre les cellules ainsi que des plaques de séparation entre modules, qui limitent le flux thermique jusqu'à ce que l'énergie libérée soit évacuée ou répartie.

Pour les concepteurs et installateurs de systèmes de stockage par batteries stationnaires, le sujet est doublement pertinent. Premièrement, des méthodes d'essai comme UL 9540A évaluent le comportement de propagation de la cellule au module puis à l'unité — une barrière efficace au niveau cellule améliore le résultat à tous les niveaux supérieurs. Deuxièmement, l'espace disponible dans les racks modernes est extrêmement compté : chaque millimètre de matériau de barrière entre en concurrence avec la densité énergétique. Le choix du matériau est donc toujours un compromis entre performance thermique, épaisseur, comportement mécanique et coûts.

Remarque : Le cahier des charges d'une barrière de cellule — Une barrière entre cellules doit savoir faire plus qu'isoler : elle doit résister brièvement aux particules chaudes et aux gaz d'une défaillance de cellule, isoler électriquement, accompagner mécaniquement la respiration cyclique des cellules (gonflement, dit swelling) sur toute la durée de vie et rester dimensionnellement stable. Aucun matériau seul ne remplit parfaitement tous ces points — c'est pourquoi les compromis et les compositions multicouches dominent en pratique.

Papier de fibres : le classique robuste

Les papiers et matelas en fibres haute température — laine de silicate d'aluminium classique ou laine de silicate alcalino-terreux biosoluble — sont établis depuis des décennies dans la construction de fours industriels. Leurs atouts : des températures de classification très élevées (selon le type de fibre, typiquement de l'ordre de 1 100 à 1 400 °C), une bonne disponibilité, une confection simple par découpe ou poinçonnage et un prix modéré. Comme couche de séparation entre modules ou comme revêtement de boîtiers de modules, ils rendent des services fiables.

Leurs limites résident dans la conductivité thermique et le comportement mécanique. Les papiers de fibres isolent nettement moins bien que les matériaux microporeux ou les aérogels et nécessitent donc plus d'épaisseur pour le même effet protecteur. Sous compression permanente, ils perdent en outre leur capacité de reprise élastique — pour les positions où le gonflement des cellules doit être absorbé avec effet ressort, ils ne conviennent donc que partiellement à eux seuls. Pour les fibres de silicate d'aluminium classiques, il faut par ailleurs tenir compte de leur classement comme potentiellement cancérigènes, qui impose des mesures de protection particulières lors de la mise en œuvre et de la dépose ; les fibres biosolubles contournent ce sujet.

- Utilisation typique : couches de séparation entre modules, revêtement de boîtiers de modules et de racks, doublage de canaux d'évacuation des gaz
- Atouts : haute résistance à la température, mise en œuvre simple, économique
- Faiblesses : conductivité thermique plus élevée, reprise élastique limitée, problématique des poussières de fibres selon le type de fibre

Laminés microporeux : effet isolant maximal par millimètre de protection thermique

Les isolants microporeux sont constitués de silice pyrogénée avec des opacifiants et atteignent des tailles de pores inférieures au libre parcours moyen des molécules d'air. Le résultat est une conductivité thermique qui, à haute température, est inférieure à celle de l'air immobile — aucun autre matériau courant n'isole mieux par millimètre au contact de gaz chauds. Les températures de classification se situent, selon le produit, le plus souvent autour de 1 000 °C. C'est précisément cette combinaison qui fait des plaques et laminés microporeux le premier choix lorsqu'un gradient de température abrupt doit être maintenu dans un espace très restreint.

Le prix à payer est une sensibilité mécanique : le matériau est sensible à la pression et poussiéreux, raison pour laquelle il est pratiquement toujours mis en œuvre avec un parement — soudé sous film, gainé de tissu de verre ou en laminé avec des couches de parement en mica ou en feuille métallique. De tels laminés combinent l'effet isolant du cœur microporeux avec la rigidité diélectrique et la résistance à l'érosion par particules de la couche de parement. Pour les positions soumises à compression cyclique — directement entre des cellules qui respirent —, le matériau est en revanche inadapté, car il peut se compacter sous charge alternée et perdre sa structure.

Remarque : Le mica comme partenaire — Les plaques de mica apportent ce qui manque aux cœurs microporeux : une grande rigidité mécanique, une excellente isolation électrique et une résistance aux flux de particules chaudes. Dans les barrières multicouches, le mica prend souvent en charge la face chaude exposée aux particules, tandis que le cœur microporeux maintient le gradient de température.

Composites d'aérogel : minces, flexibles, stables en compression

Les aérogels de silice comptent parmi les solides les moins conducteurs de chaleur qui soient ; les composites d'aérogel renforcés de fibres atteignent à température ambiante des conductivités thermiques de l'ordre de 0,015 à 0,02 W/(m·K). Mais ce qui est surtout intéressant pour le niveau cellule, c'est la combinaison d'effet isolant, de faible épaisseur et de souplesse mécanique : des coussinets d'aérogel de quelques millimètres d'épaisseur peuvent résister brièvement à des températures de flamme très élevées tout en absorbant

élastiquement la respiration et le gonflement des cellules sur des milliers de cycles, sans accumuler de déformation rémanente notable.

Les composites d'aérogel occupent ainsi la position que ni le papier de fibres ni les laminés microporeux ne couvrent : la barrière directe de cellule à cellule dans les modules prismatiques et entre cellules pouch, où barrière et coussin de compression se confondent en un seul composant. Les inconvénients sont le prix plus élevé, la température d'utilisation continue limitée selon le produit par rapport à la fibre céramique, ainsi qu'un dégagement de poussières possible, lui aussi maîtrisé par des parements. Pour les séparations de modules de grande surface ou les revêtements d'enveloppes, ils ne sont souvent pas le premier choix sur le plan économique.

- Papier de fibres : grande réserve de température, exige de l'épaisseur — bon pour la séparation de modules et les enveloppes
- Laminé microporeux : meilleur effet isolant par millimètre, sensible à la pression — bon pour les barrières statiques en espace restreint
- Composite d'aérogel : isole très bien et amortit le gonflement — bon pour la position de cellule à cellule
- Mica : fort mécaniquement et électriquement, isole peu — bon comme couche de parement dans un complexe multicouche

Sélection en projet : du cas de charge à la justification

Le choix du matériau ne commence pas par la fiche technique, mais par le cas de charge : quelle quantité d'énergie la cellule libère-t-elle, combien de temps dure le dégazage, quelles températures et quels flux de particules s'exercent sur la barrière, et quelle température la face froide peut-elle atteindre au maximum pour que la cellule voisine n'entre pas dans la zone critique ? De ces conditions aux limites découlent l'épaisseur et la composition — souvent sous forme de complexe multicouche combinant cœur isolant, protection contre les particules et isolation électrique.

La preuve de l'efficacité s'apporte en dernier ressort par l'essai : les essais de propagation au niveau cellule et module, standardisés en Amérique du Nord via UL 9540A, montrent si la barrière stoppe réellement la propagation ou ne fait que la retarder. Important pour les exploitants : un changement de matériau au cours de la vie du produit — par exemple pour des raisons de coûts ou d'approvisionnement — peut remettre en cause la validité des justifications d'essai existantes. Les matériaux de barrière relèvent donc du contrôle des modifications du concept de sécurité, et non de l'approvisionnement libre.

Questions fréquentes

Une barrière au niveau cellule suffit-elle pour renoncer aux mesures au niveau du conteneur ?

Non. Les barrières de cellules réduisent la probabilité d'une propagation, mais ne remplacent ni le cloisonnement coupe-feu du conteneur, ni la détection de gaz, la décharge de pression ou les moyens d'extinction. Une protection efficace ne naît que de l'interaction de tous les niveaux — cellule, module, rack et local.

Pourquoi l'aérogel n'est-il pas utilisé partout s'il isole le mieux ?

Les composites d'aérogel sont nettement plus chers que le papier de fibres et déploient leurs avantages surtout là où faible épaisseur et comportement en compression sont exigés simultanément — c'est-à-dire directement entre les cellules. Pour les séparations statiques de grande surface, les produits fibreux ou les laminés microporeux sont souvent la solution plus économique et tout aussi efficace.

Que signifie la respiration des cellules pour le choix de la barrière ?

Les cellules lithium-ion se dilatent lors de la charge et avec le vieillissement. Une barrière entre les cellules doit absorber élastiquement cette variation d'épaisseur sans se compacter durablement — sinon elle perd son effet isolant et l'assemblage de cellules sa précontrainte définie. Les matériaux à faible déformation rémanente après

compression sont ici clairement avantageés.

Parlons de votre projet

Réponse sous 24 heures les jours ouvrés.

info@sbs-rs.de

+49 89 541 960 200

Lire en ligne : www.sbs-rs.de/batteriespeicher/ratgeber/barriere-zelle-modul