

ÚTMUTATÓ AKKUMULÁTOROS ENERGIATÁROLÓK · 8 PERC · 2026. AUGUSZTUS 24.

Tűzgátak cella- és modulszinten: szálas papír, mikropórusos laminátumok és aerogél összehasonlítása

Melyik gátanyag akadályozza meg legmegbízhatóbban a továbbterjedést a cellák és a modulok között? A szálas papír, a mikropórusos laminátumok és az aerogél kompozitok műszaki összehasonlítása helyhez kötött akkumulátoros energiatárolókhoz.

Miért a cellában kezdődik az első védelmi vonal

A hőmegfutás mindig egyetlen cellában kezdődik. Hogy ebből helyileg behatárolt esemény vagy az egész tárolókonténer teljes leégése lesz, az az első másodpercekben és percekben dől el – mégpedig azon, hogy a szomszédos cellának fel kell-e vennie a bevitt hőt vagy sem. Pontosan itt lépnek be a cella- és modulszintű termikus gátak: vékony elválasztó rétegek a cellák között, valamint elválasztó lapok a modulok között, amelyek addig korlátozzák a hőáramot, amíg a felszabadult energia el nem vezetődik vagy szét nem oszlik.

A helyhez kötött akkumulátoros energiatárolók tervezői és kivitelezői számára a téma kétszeresen is fontos. Egyrészt az olyan vizsgálati eljárások, mint az UL 9540A, a továbbterjedési viselkedést a cellától a modulon át az egységig értékelik – egy hatékony cellaszintű gát minden felette lévő szinten javítja az eredményt. Másrészt a korszerű rackekben rendkívül szűkös a beépítési hely: a gátanyag minden millimétere az energiasűrűséggel versenyez. Az anyagválasztás ezért mindig kompromisszum a termikus teljesítmény, a vastagság, a mechanikai viselkedés és a költségek között.

Megjegyzés: A cellagáttal szembeni követelmények listája — A cellák közötti gátnak többet kell tudnia a hőszigetelésnél: rövid ideig ellen kell állnia egy cellahiba forró részecskéinek és gázainak, villamosan szigetelnie kell, az élettartam során mechanikusan követnie kell a cellák ciklikus „lélegzését” (duzzadását), és közben meg kell őriznie alaktartását. Egyetlen anyag sem teljesíti tökéletesen az összes szempontot – ezért a gyakorlatban kompromisszumok és többrétegű felépítések dominálnak.

Szálas papír: a strapabíró klasszikus

A magas hőmérsékletű szálakból – klasszikus alumínium-szilikát gyapotból vagy bioszolúbilis alkáliföldfém-szilikát gyapotból – készült papírok és paplanok évtizedek óta bevált anyagai az ipari kemenceépítésnek. Erősségeik: nagyon magas osztályozási hőmérséklet (száltípustól függően jellemzően mintegy 1100–1400 °C), jó beszerezhetőség, egyszerű konfekcionálás stancolással vagy vágással, valamint mérsékelt ár. Modulok közötti elválasztó rétegként vagy modulházak béléseként megbízhatóan teljesítenek.

Korlátaik a hővezető képességben és a mechanikai viselkedésben rejlenek. A szálas papírok lényegesen gyengébben szigetelnek, mint a mikropórusos anyagok vagy az aerogélek, így ugyanakkora védőhatáshoz nagyobb vastagság kell. Tartós összenyomás alatt ráadásul veszítenek visszarugózó képességükből – olyan helyekre, ahol a cellák duzzadását rugalmasan kell felvenni, önmagukban ezért csak korlátozottan alkalmasak. A klasszikus alumínium-szilikát szálaknál emellett figyelembe kell venni a potenciálisan rákkeltő besorolást is, amely különleges védőintézkedéseket von maga után a feldolgozás és a bontás során; a bioszolúbilis szálaknál ez a kérdés nem merül fel.

- Jellemző alkalmazás: modulok közötti elválasztó rétegek, modul- és rackházak bélése, gázelvezető csatornák háttérrétege
- Erősségek: magas hőállóság, egyszerű feldolgozás, kedvező ár
- Gyengeségek: nagyobb hővezető képesség, korlátozott visszarugózó képesség, száltípustól függően szálporprobléma

Mikropórusos laminátumok: maximális szigetelőhatás milliméterenként

A mikropórusos hőszigetelő anyagok homályosítóval kevert pirogén kovasavból állnak, és pórusméretük kisebb a levegőmolekulák szabad úthosszánál. Ennek eredménye olyan hővezető képesség, amely magas hőmérsékleten a nyugvó levegőénél is alacsonyabb – forró gázzal érintkezve egyetlen más, a gyakorlatban szokásos anyag sem szigetel jobban milliméterenként. Az osztályozási hőmérséklet terméktől függően többnyire 1000 °C körül van. Éppen ez a kombináció teszi a mikropórusos lapokat és laminátumokat az első számú választássá, ha a legszűkebb helyen kell meredek hőmérséklet-gradienst fenntartani.

Ennek ára a mechanikai érzékenység: az anyag nyomásérzékeny és porzik, ezért szinte mindig kasírozva dolgozzák fel – fóliába hegesztve, üvegszövettel burkolva vagy csillám- vagy fémfólia fedőrétegű laminátumként. Az ilyen laminátumok a mikropórusos mag szigetelőhatását a fedőréteg átütési szilárdságával és részecskeerózióval szembeni ellenállásával egyesítik. Ciklikus összenyomással terhelt helyekre – közvetlenül a „lélegző” cellák közé – viszont az anyag alkalmatlan, mert váltakozó terhelés alatt tömörödhet, és elveszítheti szerkezetét.

Megjegyzés: A csillám mint társ — A csillámlapok (mica) azt nyújtják, ami a mikropórusos magokból hiányzik: nagy mechanikai merevséget, kiváló villamos szigetelést és ellenállást a forró részecskeáramokkal szemben. Többrétegű gátakban a csillám gyakran a forró, részecskékkel terhelt oldalt veszi át, miközben a mikropórusos mag tartja a hőmérséklet-gradienst.

Aerogél kompozitok: vékonyak, rugalmasak, összenyomásnak ellenállók

A szilika-aerogélek a legrosszabb hővezető szilárd anyagok közé tartoznak; a szálerősítésű aerogél kompozitok szobahőmérsékleten 0,015–0,02 W/(m·K) nagyságrendű hővezető képességet érnek el. Cellaszinten azonban mindenekelőtt a szigetelőhatás, a kis vastagság és a mechanikai engedékenység kombinációja érdekes: a néhány milliméter vastag aerogél betétek rövid ideig nagyon magas lánghőmérsékletnek is ellenállnak, és közben a cellák lélegzését és duzzadását több ezer cikluson át rugalmasan felveszik, számottevő maradó alakváltozás nélkül.

Ezzel az aerogél kompozitok azt a pozíciót töltik be, amelyet a szálas papír és a mikropórusos laminátumok nem fednek le: a közvetlen cella–cella gátat prizmatikus modulokban és tasakcellák (pouch) között, ahol a gát és a kompressziós betét egyetlen alkatrészben egyesül. Hátrányuk a magasabb ár, a kerámiaszálhoz képest terméktől függően korlátozott tartós alkalmazási hőmérséklet, valamint az esetleges porkibocsátás, amelyet szintén kasírozással kezelnek. Nagy felületű modulelválasztásokhoz vagy házbélésekhez gazdaságilag gyakran nem ezek az elsők a választásban.

- Szálas papír: nagy hőmérsékleti tartalék, vastagságot igényel – modulelválasztáshoz és házakhoz jó
-

Mikropórusos laminátum: milliméterenként a legjobb szigetelőhatás, nyomásérzékeny – helyszűke esetén statikus gátakhoz jó

- Aerogél kompozit: nagyon jól szigetel és rugalmasan felveszi a duzzadást – a cella–cella pozícióhoz jó
- Csillám: mechanikailag és villamosan erős, alig szigetel – társított felépítésben fedőrétegként jó

Kiválasztás a projektben: a terhelési esettől az igazolásig

Az anyagválasztás nem az adatlapnál kezdődik, hanem a terhelési esetnél: mekkora energiát szabadít fel a cella, meddig tart a gázkiáramlás (venting), milyen hőmérsékletek és részecskeáramok lépnek fel a gátnál, és legfeljebb milyen hőmérsékletet érhet el a hideg oldal, hogy a szomszédos cella ne jusson kritikus tartományba? Ezekből a peremfeltételekből adódik a vastagság és a felépítés – gyakran többrétegű társított szerkezetként, amely hőszigetelő magot, részecskevédelmet és villamos szigetelést egyesít.

A hatékonyság igazolása végső soron kísérlettel történik: a cella- és modulszintű továbbterjedési vizsgálatok – Észak-Amerikában az UL 9540A szerint szabványosítva – megmutatják, hogy a gát ténylegesen megállítja-e a terjedést, vagy csak késlelteti. Fontos az üzemeltetőknek: ha a termék életciklusa közben anyagot cserélnek – például költség- vagy beszerzési okokból –, az megkérdőjelezheti a meglévő vizsgálati igazolások érvényességét. A gátanyagok ezért a biztonsági koncepció változáskezelésébe tartoznak, nem a szabad beszerzésbe.

Gyakori kérdések

Elegendő-e egy cellaszintű gát ahhoz, hogy a konténerszintű intézkedések elmaradhassanak?

Nem. A cellagátak csökkentik a továbbterjedés valószínűségét, de nem helyettesítik sem a konténer tűzvédelmi elhatárolását, sem a gázérzékelést, a nyomásmentesítést vagy az oltástechnikát. Hatékony védelem csak az összes szint – cella, modul, rack és helyiség – együttműködéséből jön létre.

Miért nem alkalmaznak mindenhol aerogélt, ha az szigetel a legjobban?

Az aerogél kompozitok jóval drágábbak a szálas papírnál, és előnyeiket elsősorban ott tudják kihasználni, ahol egyszerre van szükség kis vastagságra és megfelelő összenyomódási viselkedésre – vagyis közvetlenül a cellák között. Nagy felületű, statikus elválasztásokhoz a száltermékek vagy a mikropórusos laminátumok gyakran gazdaságosabb és ugyanolyan hatékony megoldást jelentenek.

Mit jelent a cellák „lélegzése” a gát kiválasztására nézve?

A lítiumion-cellák töltéskor és az öregedés során kitágulnak. A cellák közötti gátnak ezt a vastagságváltozást rugalmasan kell felvennie anélkül, hogy tartósan tömörödne – különben elveszíti szigetelőhatását, a cellaköteg pedig a meghatározott előfeszítését. Itt egyértelmű előnyben vannak a kis maradó alakváltozású anyagok.

Beszéljünk az Ön projektjéről

Munkanapokon 24 órán belül visszajelzünk.

info@sbs-rs.de

+49 89 541 960 200

Online olvasható: www.sbs-rs.de/batteriespeicher/ratgeber/barriere-zelle-modul