



RÁDCE BATERIOVÁ ÚLOŽIŠTĚ · 8 MIN

Bariéry na úrovni článku a modulu: srovnání vláknitého papíru, mikroporézních laminátů a aerogelu

Který bariérový materiál zabrání šíření mezi články a moduly nejspolehlivěji? Technické srovnání vláknitého papíru, mikroporézních laminátů a aerogelových kompozitů pro stacionární bateriová úložiště.

Proč první obranná linie začíná v článku

Tepelný lavinový jev (thermal runaway) začíná vždy v jediném článku. Zda z něj vznikne místně omezená událost, nebo plný požár celého akumulčního kontejneru, se rozhoduje v prvních sekundách a minutách – a to na otázce, zda musí sousední článek vnesené teplo přijmout, nebo ne. Právě zde nastupují tepelné bariéry na úrovni článku a modulu: tenké dělicí vrstvy mezi články a dělicí desky mezi moduly, které omezují tepelný tok tak dlouho, dokud není uvolněná energie odvedena nebo rozložena.

Pro projektanty a zhotovitele stacionárních bateriových úložišť je toto téma relevantní dvojnásob. Zprv zkušební postupy jako UL 9540A hodnotí chování při šíření od článku přes modul až po jednotku – účinná bariéra na úrovni článku zlepšuje výsledek na všech nadřazených úrovních. Zadruhé je zástavbový prostor v moderních racích krajně omezený: každý milimetr bariérového materiálu konkuruje hustotě energie. Volba materiálu je proto vždy kompromisem mezi tepelným výkonem, tloušťkou, mechanickým chováním a náklady.

Poznámka: Seznam požadavků na bariéru mezi články — Bariéra mezi články musí umět více než jen izolovat: musí krátkodobě odolat horkým částicím a plynům při selhání článku, elektricky izolovat, mechanicky snášet cyklické „dýchání“ článků (swelling) po celou dobu životnosti a přitom zůstat tvarově stálá. Žádný jednotlivý materiál nesplňuje všechny body dokonale – v praxi proto převládají kompromisy a vícevrstvé skladby.

Vláknitý papír: robustní klasika

Papíry a rohože z vysokoteplotních vláken – klasická hlinitokřemičitá vlna nebo biorozpustná vlna z křemičitanů kovů alkalických zemin – jsou v konstrukci průmyslových pecí etablovány po desetiletí. Jejich silné stránky: velmi vysoké klasifikační teploty (podle typu vlákna typicky v rozmezí přibližně 1 100 až 1 400 °C), dobrá dostupnost, snadné zpracování vysekáváním nebo řezáním a umírněná cena. Jako dělicí vrstva mezi moduly nebo jako obložení skříní modulů odvádějí spolehlivou službu.

Jejich meze leží v tepelné vodivosti a v mechanickém chování. Vláknité papíry izolují výrazně hůře než mikroporézní materiály nebo aerogely, pro stejný ochranný účinek tedy potřebují větší tloušťku. Při trvalém

stlačení navíc ztrácejí schopnost návratu do původního tvaru – pro pozice, v nichž musí být swelling článků zachycen pružně, jsou proto samy o sobě jen podmíněně vhodné. U klasických hlinitokřemičitých vláken je dále nutné zohlednit zařazení mezi potenciálně karcinogenní látky, které s sebou nese zvláštní ochranná opatření při zpracování a demontáži; biorozpustná vlákna se tomuto tématu vyhýbají.

- Typické použití: dělicí vrstvy mezi moduly, obložení skříní modulů a racků, podložení kanálů pro odvod plynů
- Silné stránky: vysoká teplotní odolnost, snadné zpracování, příznivá cena
- Slabiny: vyšší tepelná vodivost, omezená schopnost návratu do tvaru, problematika vláknitého prachu podle typu vlákna

Mikroporézní lamináty: maximální izolační účinek na každý milimetr tepelné ochrany

Mikroporézní izolační materiály sestávají z pyrogenní kyseliny křemičité se zákalotvornými přísadami a dosahují velikosti pórů pod střední volnou dráhou molekul vzduchu. Výsledkem je tepelná vodivost, která při vysokých teplotách leží pod hodnotou klidného vzduchu – žádný jiný v praxi běžný materiál neizoluje při kontaktu s horkými plyny lépe na milimetr tloušťky. Klasifikační teploty leží podle výrobku většinou v oblasti kolem 1 000 °C. Právě tato kombinace činí z mikroporézních desek a laminátů první volbu tam, kde je nutné udržet strmý teplotní gradient na nejmenším prostoru.

Cenou za to je mechanická citlivost: materiál je citlivý na tlak a práší, proto se prakticky vždy zpracovává kaširovaný – zavařený do fólií, opláštěný skelnou tkaninou nebo jako laminát s krycími vrstvami ze slídy či kovové fólie. Takové lamináty kombinují izolační účinek mikroporézního jádra s průrazovou pevností a odolností krycí vrstvy proti erozi částicemi. Pro pozice s cyklickým stlačováním – přímo mezi dýchajícími články – je naproti tomu tento materiál nevhodný, protože se může při střídavém zatížení zhroutit a ztratit svou strukturu.

Poznámka: Slída jako partner — Slídové desky (mica) přinášejí to, co mikroporézním jádrům chybí: vysokou mechanickou tuhost, vynikající elektrickou izolaci a odolnost proti proudům horkých částic. Ve vícevrstvých bariérách přebírá slída často horkou stranu zatíženou částicemi, zatímco mikroporézní jádro drží teplotní gradient.

Aerogelové kompozity: tenké, pružné, stabilní v tlaku

Silikátové aerogely patří k vůbec nejhůře tepelně vodivým pevným látkám; vlákna vyztužené aerogelové kompozity dosahují při pokojové teplotě tepelných vodivostí řádově 0,015 až 0,02 W/(m·K). Pro úroveň článku je však zajímavá především kombinace izolačního účinku, malé tloušťky a mechanické poddajnosti: aerogelové podložky o tloušťce několika milimetrů mohou krátkodobě odolat velmi vysokým teplotám plamene a současně pružně zachycovat dýchání a bobtnání článků po tisíce cyklů, aniž by vznikala významná trvalá deformace tlakem.

Aerogelové kompozity tak obsazují pozici, kterou vláknitý papír ani mikroporézní lamináty nepokrývají: přímou bariéru mezi článkem a článkem v prizmatických modulech a mezi pouch články, kde bariéra a kompresní podložka splývají v jeden díl. Nevýhodou je vyšší cena, podle výrobku omezená teplota trvalého použití oproti keramickému vlákně a rovněž možné uvolňování prachu, které se opět zvládá kaširováním. Pro velkoplošná oddělení modulů nebo obložení skříní často nejsou ekonomicky první volbou.

- Vláknitý papír: velká teplotní rezerva, potřebuje tloušťku – vhodný pro oddělení modulů a pro skříně
- Mikroporézní laminát: nejlepší izolační účinek na milimetr, citlivý na tlak – vhodný pro statické bariéry při nedostatku místa
- Aerogelový kompozit: izoluje velmi dobře a odpruží swelling – vhodný pro pozici mezi článkem a článkem
- Slída: mechanicky a elektricky silná, téměř neizoluje – vhodná jako krycí vrstva ve skladbě

Výběr v projektu: od zatěžovacího případu k průkazu

Výběr materiálu nezačíná u katalogového listu, nýbrž u zatěžovacího případu: jaké množství energie články uvolní, jak dlouho trvá venting, jaké teploty a proudy částic na bariéru působí a jaké teploty smějí studená strana nejvýše dosáhnout, aby se sousední články nedostaly do kritické oblasti? Z těchto okrajových podmínek vyplývá tloušťka a skladba – často jako vícevrstvý kompozit, který kombinuje izolační jádro, ochranu proti částicím a elektrickou izolaci.

Průkaz účinnosti se nakonec provádí zkouškou: zkoušky šíření na úrovni článku a modulu, v Severní Americe standardizované prostřednictvím UL 9540A, ukazují, zda bariéra šíření skutečně zastaví, nebo je pouze zpozdí. Pro provozovatele je důležité: záměna materiálu za běhu životního cyklu výrobku – například z nákladových nebo dodavatelských důvodů – může zpochybnit platnost stávajících zkušebních průkazů. Bariérové materiály proto patří do řízení změn bezpečnostní koncepce, nikoli do volného nákupu.

Časté dotazy

Stačí bariéra na úrovni článku k tomu, aby bylo možné upustit od opatření na úrovni kontejneru?

Ne. Bariéry mezi články snižují pravděpodobnost šíření, nenahrazují však ani požárně technické oddělení kontejneru, ani detekci plynů, odlehčení výbuchu či hasicí techniku. Účinná ochrana vzniká teprve součinností všech úrovní – článku, modulu, racku a prostoru.

Proč se aerogel nepoužívá všude, když izoluje nejlépe?

Aerogelové kompozity jsou výrazně dražší než vláknitý papír a své přednosti uplatní především tam, kde je současně požadována malá tloušťka a příznivé chování v tlaku – tedy přímo mezi články. Pro velkoplošná statická oddělení bývají vláknité výrobky nebo mikroporézní lamináty hospodárnějším a stejně účinným řešením.

Co znamená dýchání článků pro výběr bariéry?

Lithium-iontové články se při nabíjení a v průběhu stárnutí roztahují. Bariéra mezi články musí tuto změnu tloušťky pružně zachytit, aniž by se trvale ztuhlila – jinak ztrácí izolační účinek a svazek článků své definované předpětí. Materiály s malou trvalou deformací tlakem jsou zde jednoznačně ve výhodě.

Promluvme si o vašem projektu

Odpověď do 24 hodin v pracovních dnech.

info@sbs-rs.de

+49 89 541 960 200

Číst online: www.sbs-rs.de/batteriespeicher/ratgeber/barriere-zelle-modul