FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 1998. március 20-21.

Porózus Gradiens Anyagok Vizsgálata

Bacsán Norbert, Bárczy Pál, Csontos Attila, Jónás Zsolt

Investigation on Porous Gradient Materials

The properties of the gradient materials are described by the monotone changes of the characteristic physical parameter in the function of the distance and by the strongly direction dependence. Demanding on the development of the Universal Multizone Crystallisator (UMC) a new investigation was started on the field of the controlled heat conductivity insulation materials. The UMC could be controlled better if the heat conductivity is higher in radial than axial direction. The value and the direction of the heat conductivity is mainly depends on the shape and the quantity of the pores or the holes. For better understanding the gradient materials it is necessary to investigate the relationship between the structure of the porous materials and the heat conductivity.

A hővezetési tényező anyagszerkezet függése

A felhasználás szempontjából ideális hővezetési paraméterekkel rendelkező anyag tervezésénél három anyagi méretskálát kell figyelembe venni.

Az *atomi szinten* a hővezetést a kristályszerkezet és az anyag elektronszerkezete szabja meg. Így például a fémek anyagoknál az elektronok, a szigetelő anyagoknál a fononok játsszák a döntő szerepet. Mielőtt a fémek anyagokat jó hővezetőnek a kerámiákat rossz hővezetőnek könyvelnénk el megemlítenéd, hogy a kerámiák avagy fononvezetők közül kerül ki a legjobb hővezető a gyémánt (2000 W/mK amíg a réz 403 W/mK).

A hővezetés irányfüggősége atomi szinten is megvan a pirolitikus bórnitrid esetében a különbség a párhuzamos és a merőleges irányok között két nagyságrend. A különböző kristálytani irányokban más és más. A fémek hővezetésénél mind a fononvezetés mind az elektronvezetés szerepet játszik, általában az elektronvezetés a domináns. A fononvezetőknél és az elektronvezetőknél a szennyező- vagy ötvöztartalommal egyaránt változtatható a hővezetés. Szilárd oldat esetében a függvény konvex vagyis az ötvöző növekedésével csökken és minimuma van. Az amorf tartalom növekedésével azonban monoton csökkenő függvény. A kristályos anyagokhoz képest a hővezető képesség akár egy nagyságrenddel is csökkenhet.

Al_2O_3 hővezetési tényezője viszonylag nagy, magas hőmérsékletű szigetelőnek mégis használnak szálas Al_2O_3 -ot. A 3 nagyságrend eltérést a *mikroszerkezet* adja [1]. Az anyagban lévő pórusok, szálak, zárványok és a szemcseszerkezet erősen megváltoztatják nemcsak a hővezetés nagyságát, hanem a hővezetés irányára is befolyással bírnak. Például szálas kompozit anyagnál, ha a szál jó hővezető, a szál irányában több hő távozik el mint arra merőlegesen. Ugyanez tapasztalható textúrás szerkezet esetében is. Hosszúaként elnyújtott szemcsék esetében a hővezetés a szemcsére merőleges irányban akár a fele is lehet a szemcsével párhuzamos irányban mért értéknek. A több fázisú anyagok hővezetése sorosan és

párhuzamosan kapcsolt vezetők (nem ellenállások) analógiáját felhasználva vezethető le. Párhuzamosan kapcsolt vezetőknel a hővezetést egyszerűen összeadódik. Sorosan kapcsolt vezetőknel az eredő vezetés reciproka lesz egyenlő a komponensek hővezetésének a reciprokösszegével.

A szemmel látható tartományban, a *makroszinten* a gradiens szerkezetet lényegében egymásra helyezett rétegekkel lehet elérni. Axiális irányban a probléma a kemencetérben belül, a kemencetérben és a kemencefalazatban egyaránt megfogalmazható és ha nem is folyamatosan, de kis lépcsők alkalmazásával technikailag megoldható. Európaszerte mégis megindult a kísérletezés abban az irányban, hogy egyetlen anyagon belüli tulajdonságváltoztatással az építés és szerelés teljesítőképességét fokozni lehessen. Az anyagtudomány magát az anyagot kívánja céljainknak megfelelővé tenni.

A modellanyag

A modellanyag kiválasztásánál elsődleges szempont volt az anyag formálhatósága és szeletelhetősége. Az előbbi a hővezetési tényező meghatározásához szükséges próbatestek kialakításánál az utóbbi a mikroszkópiai vizsgálatoknál volt fontos. A műanyaghabok megfelelnek ezeknek a kritériumoknak ráadásul a pórusszerkezetük és a hővezetési tényezőjük típusonként és fajtánként különböző. A kiválasztott extra nagy porozitású lemezekből gradiens anyag építhető.

A modellanyag szerkezete

A műanyag habok szemmel látható szemcsékből ún. habosított polimer gyöngyökből állnak. Ez alkotja a hab *makroszerkezetét*. A gyöngyök finom összepréselésével állítják elő magát a műanyag hab lemezeket. A préselés azonban sohasem lehet tökéletes ezért a gyöngyök között nyílt makropórusok maradnak (1.a. ábra). A hab *mikroszerkezete* (1.b. ábra) poliéderekből (pentagonális dodekahedron) áll amelyek vékony hárták (vastagságuk kb. 1 μm) választják el egymástól.

1.ábra. A modellanyag (a) makropórusainak (képszélesség 7,5 mm) és (b) mikropórusainak (képszélesség 0,6 mm) fényképe

Több hártá érintkezésénél az úgynevezett csomóvonalaknál a réteg megvastagszik (2.ábra). Vékony rétegeknél nem számolhatunk a tömb anyag hővezetési tényezőjével [2] itt a hővezetési tényező már arányos lesz a rétegvastagsággal ezért valószínűsíthető, hogy a hő nagyrészt a csomóvonalak mentén áramlik.

2.ábra. A mikropórus szerkezete

Anizotróp póruseloszlás és orientáció a hővezetési tényező orientálódását vonja maga után. Egy heterogén anyag, a mi esetünkben pórus-mátrix, esetében az egész test effektív hővezetésében a mátrix hővezetési tényezőjének van döntő szerepe.

1.táblázat. A vizsgált műanyaghabok hővezetésének és porozitásának értékei (külső forrásból). A műanyag valódi sűrűsége $\rho_t = 1040-1090 \text{ kg/m}^3$.

Hővezetési képesség $\lambda, \text{ W/mK}$	Sűrűség $\rho, \text{ kg/m}^3$	Porozitás $\Pi, (\rho_t - \rho)/\rho_t$
0.0411	10	0.990826
0.0369	15 kisebb páradiffúziós tényező, kevesebb nyitott pórus	0.986239
0.0339	20	0.981651
0.0329	25	0.977064
0.0331	30	0.972477
0.0366	15 nagyobb páradiffúziós tényező, több nyitott pórus	0.986239

2.táblázat. A műanyaghabok mért értékei

Mintaj	Mért sűrűség $[\text{kg/m}^3]$	Makro-pórusok mennyisége képlemmző-vel tf%	Mért hődiffúziós tényező $[\text{m}^2/\text{s}]$	Mért hővezetési tényező $[\text{W/mK}]$	Páradiffúziós tényező $[\text{g/msMPa}]$
1	$11,9 \pm 0,3$	3,56	$5 \cdot 10^{-6}$	0.0563	0,0052
2	$13,5 \pm 0,4$	4,79 zárt pórusok is	$2,7 \cdot 10^{-6}$	0.0407	0,0050
Ap	25	7,03	$1 \cdot 10^{-6}$	0.0377	
Na	14	2,42	$2 \cdot 10^{-6}$	0.0380	

A porozitás és a hővezetési tényező kapcsolata

Egy összetett anyag úgynevezett effektív hővezetési tényezője (λ_{eff}) vezetési, sugárzási és konvekciós tagból tevődik össze. Számszerű értékét a külső, környezet hőmérséklete és nyomása, és belső, anyagszerkezettel összefüggő paraméterek (porozitás mértéke; pórus illetve szemcse alak és méret; makro és mikro repedések geometriája) határozzák meg. Az effektív hővezetési tényező a döntően sűrűnek tekintett mátrix hővezetési tényezőjének, a pórusok emissziós tényezőjének, és természetesen ezen utóbbiak méretének, alakjának és eloszlásának függvénye.

3.ábra. A hővezetési tényező porozitás függése

Az 1.táblázat és a 3.ábra a porozitás függvényében ábrázolja különböző műanyaghabok hővezetését. A hővezetési tényezőt tranziens módszerrel 4 különböző makro- és mikroporozitású műanyaghabon mértük meg. A mért értékeket a 2.táblázat tartalmazza

A 4. ábra az elkészült gradiens anyagban található rétegek hővezetési tényezőjét tartalmazza.

4. ábra. Az általunk mért hővezetési tényező és látszólagos sűrűség kapcsolata

Értékelés

A téma, pórusos szerkezetű anyagok irányfüggő hővezetésének vizsgálata, napjainkban reneszánszát éli, amit az irodalom jegyzék bizonyít. Az anyagok hővezetési tényezőjének porozitásuk, pórusszerkezetük függvényében adódó első, alapvető matematikai összefüggéseit már századunk 30-as 40-es éveiben felismerték. Ezek pontosítására, kiegészítésére azonban csak a modern szerkezetvizsgálat, a számítógépes kiértékelő rendszerű képelemzésnek alávetett SEM (Scanning Electron Microscopy) felvételek, alapján vált, válik napjainkban lehetővé. Ezen munka fő célja a bevezetőben említett USK fejlesztés keretein belül csatlakozás ehhez a nemzetközi kutatási irányvonalhoz. Véleményünk szerint ennek első, sikeres lépését tettük meg a fentebb vázolt vizsgálatokkal, mikor is megmértük a homogén póruseloszlású minták porozitás függő hővezetését. Az adatokat felhasználva egyszerű gradiens anyagot kaptunk mikor egy szendvicsszerkezetet állítottunk össze a fenti anyagokból úgy, hogy a kemence tengelyétől távolodva az egyre kisebb hővezetési tényezőjű anyagrétegeket fektetjük egymásra a kemence falával párhuzamosan. Ez a szerkezet egyre erősebb gátat vet a hőáramnak a kemencétől távolodva, miközben az egyes rétegeken belül a hő terjedése könnyebben megy végbe. Ez a megoldás, a határfelületi jelenségektől eltekintve, egyenértékű egy olyan pórusos anyag használatával, melynek porozitása a vizsgált irányban változik.

Irodalomjegyzék

1. A.L.Loeb, A Theory of Thermal Conductivity of Porous Materials. J. Am. Ceram. Soc. Vol. 37, no.2. 1954
2. Gliksman, L.R., Stewart, J., Insulation Materials: Testing and Application: Third Volume, ASTM STP 1320, p. 307-334.

Babcsán Norbert / egyetemi tanársegéd
Nemfémek Anyagok Tanszéke / Miskolc-Egyetemváros 3515 Hungary
T./F.: 36-46-365-924, e-mail: femnorbi@gold.uni-miskolc.hu