

Név: Tréfás Tamás Zsolt

Neptun kód: SEUWME

Tárgy: Pórusos anyagok

## 13. Pórusos kerámiák

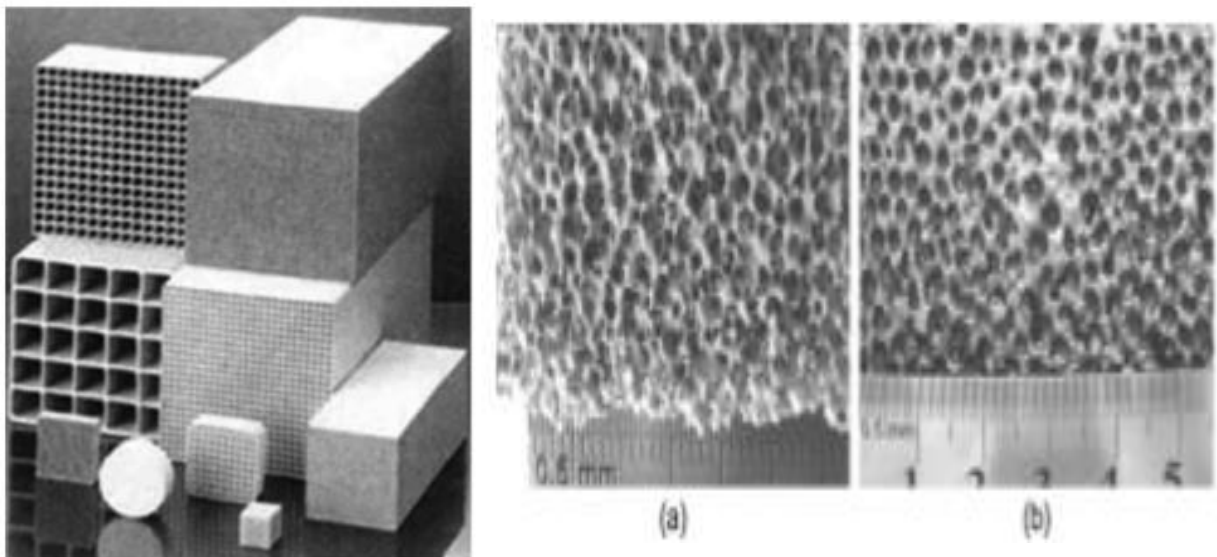
### 1. Bevezetés

A pórusos kerámiákat az 1970-es években kezdték el kifejleszteni. A pórusos kerámiákat a porozitás érték alapján kategorizáljuk, aminek értéke 20-95% között lehet. Ez az anyag két fázisból áll: egy kerámia szilárdfázisból és a gáz fázisból, ami a pórusokat tölti ki [1]. A pórusok mérete az egy Angströmtől milliméteres tartományig terjed. A pórusos kerámiák széles hőmérsékleti tartományon alkalmazhatók szobahőmérséklettől 1600°C-ig [1,2].

### 2. A pórusos kerámiák csoportosítása

Két nagy csoportra oszthatók strukturálságuk szerint:

- méhkaptár elrendezésű kerámiák
- kerámiahabok, más néven üreges kerámiák (cellular ceramics)



1-2. kép méhsejtes kerámiák, kerámiahabok nyitott (a,) és zárt (b,) pórusú habok [1]

A méhkaptáros elrendezésnél a pórusok egy sokszög alapú oszloposak (1. kép), míg a haboknál poliéderek határolják a pórust, ami háromdimenziósan rendezi a pórusokat. A kerámia habokat tovább lehet csoportosítani:

- nyitott pórusú hálószerű habok (2.kép a,)
- zárt pórusú buborékszerű habok (2. kép b,)

A nyitott pórusokat úgy alakítjuk ki, hogy a szilárd szerkezetet csak annyira nyomjuk össze az előállítás során, hogy a pórus falak éppen, hogy kialakuljanak, amik így hálószerű szerkezetet adnak. Ha a

szilárd fal elszeparálja a pórusokat teljesen, akkor kapunk zárt szerkezetet. Ezeket a különbségeket könnyen észrevesszük, ha vizsgáljuk a folyadék penetrációs eljárással a kerámiákat. Ezen két típus mellett van egy köztes állapotú, félig nyitott pórusú rendszer. A pórusok szerkezete meghatározza azok folyadék penetrációs hajlamát és hővezetését [2].

A pórusos kerámiákat hasonlóan a pórusos anyagokhoz pórusméret alapján csoportosítjuk:

- 2nm alatt mikropórusos
- 2-50nm között mezopórusos anyagok
- 50nm fölött makropórusos kerámiák.

A pórusos kerámiák anyagi összetevője lehet: szilika, aluminoszilika, szén, korund, szén-szilika, diatómit. Az anyagi összetételt a felhasználás szabja meg, például koderitet használva lehet csökkenteni a hővezetési képességet és alumínátot használva erősebb lesz az anyag és annak termikus stabilitása. A legjobb termikus stabilitással a szilícium nitrid és szilícium karbid kerámiák rendelkeznek [4].

### **3. A pórusos kerámiák tulajdonságai**

A pórusos kerámiák tulajdonságai a pórusos anyagok és a kerámiák tulajdonságainak kombinációból vezethetők le [3]. A pórusos kerámiáknak sok közös tulajdonságuk van, ezek közül az alábbi három a legfontosabb:

- Jó kémiai stabilitás, ebből következően korrózióálló.
- Szilárdak és merevek. Az alakjuk és a pórusméretük nem változik a gáz és folyadék nyomás, vagy egyéb feszültségek hatására.
- Jó termikus stabilitás. Így lehet égő gázokat vagy olvadt fémet elhelyezni bennük.

Ezen elmondható, hogy dielektromos állandójuk és a sűrűségük kicsi, hővezetési tényezőjük alacsony, továbbá jellemzi őket a magas permeabilitás, valamint kopásálló. Ezen tulajdonságok alapján sokféleképpen tudjuk alkalmazni a pórusos kerámiákat, filteráló anyagként, metallurgiában, vegyiparban, energiatároló egységeknél, elektronikában. A felhasználást az anyag összetétele és szerkezete határozza meg.

A pórusméretet nagyban befolyásolja az előállítás módja, a kiindulási kerámia részecskék mérete és eloszlása. A végtermék pórusméret eloszlása akár kétszöröse is lehet mint a nyers terméké. A porozitást a nyomás, a hőmérséklet és a folyamatok időtartama befolyásolja, míg a kialakuló szerkezetre az előállítási eljárás van hatással [5,6].

A pórusos kerámiák mechanikai tulajdonságai szoros összefüggést mutatnak a pórusszerkezet tulajdonságaival (porozitás mértéke, pórusok alakja).

### **4. A pórusos kerámiák előállítása**

A pórusos kerámiák előállítása sokféleképpen történhet. A kétdimenziós méhsejtes kerámiákat extrúziós formázással állítják elő. A háromdimenziós kerámiahabokat pedig részecskeszintereléssel, pórus habképző adalék hozzáadásával, habbal, szerves hab impregnálással és szol-gél eljárással állítják elő. A háromdimenziós kerámia előállítására további módszerek is léteznek: gélöntés, fagyasztva szárítás, fa kerámiák, önrendeződés, magas hőmérsékletű eljárás. Az előállítás módja nagymértékben meghatározza a mikroszerkezetet, a pórusméretet és tartományt [2], és a pórus tulajdonságait, például vékony membránokat, amiknek kicsi a pórus méret eloszlása és vastagsága, csak meghatározott szol-

gél eljárással állítunk elő. Szerves hab impregnálásával pedig nyitott pórusú szerkezet makropórusokkal és nagy porozitással állítható elő, ami alkalmas különféle olvadt fémek szűrésére. A következőkben ismertetek néhány előállítási módszert.

- **Részecske szinterelés:** Ezen eljárás során a hasonló méretű részecskéket szintereljük, ez azért jó, mert a hasonló méretű részecskéket könnyebb szinterelni. Emellett adalékoljuk a rendszert olyan anyagokkal, amik reagálnak a szilárd fázisban az aggregált részecskékkal. Olyan adalékanyagokat is adunk hozzá, amik növelik a szilárd fázis nedvesítését, aminek az a kritériuma, hogy összevethető legyen az adalék hőtágulási együtthatója az aggregátum hőtágulási együtthatójával [1].

A szinterelés azért valósulhat meg, mert minden aggregált részecske limitált számban tud kötődni egymáshoz és így jön létre a három dimenziós szerkezet. Ha az aggregált részecskék mérete nagy, akkor nagy átlagos pórus méret lesz, ha kicsi, akkor széles lesz a pórusméret eloszlás. Ezen kerámiáknak porozitása 20-30%, szénporral és fűrészporral növelhető ez az érték, magas hőmérsékleten kiégetés esetén akár 70%-os. Ezzel az eljárással készítenek  $Al_2O_3$  kerámiákat, és szilícium-karbid és nitrid kerámiákat, amiknél kisebb lesz a porozitás, mert a gyártás során alkalmaznak többlet nyomást is [1].

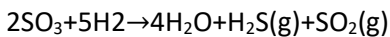
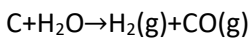
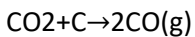
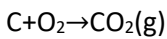
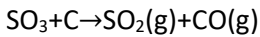
- **Habképző anyag hozzáadásával gyártott pórusos kerámiák:** itt általában illékony vagy éghető pórushabképző anyagot adunk a kerámia porhoz, ilyenkor a pórusok habképző égésével illetve párolgásával képződnek magas hőmérsékleten. Az így kapott terméknek komplex alakja van és a pórus szerkezetek is nagyon különbözőek. Ennél az eljárásnál a leglényesebb tényező a pórushabképző anyag és annak tartalma, ugyanis ezen anyag minősége befolyásolja a pórus térfogatot, méretet és annak eloszlását, a pórusok átjárhatóságát és a porozitást. Habképzőként adhatók a kerámia porhoz szerves sók, amik nehezen olvadnak. Ezeket a szinterelés után egyszerűen kioldják [1].

Ennél az eljárásnál a szinterelés körülményei is befolyásolják az anyag tulajdonságait. Ha hosszabb a szinterelés, nő a sűrűség és csökken a porozitás, ezzel párhuzamosan a pórusfalak erősebbek lesznek, így jobbak lesznek a mechanikai tulajdonságai a kapott terméknek. Ugyanezt a hatást érzük el a hőmérséklet növelésével is. Ezzel az eljárással makropórusú szigetelőanyagokat lehet gyártani, amiknek 7-80%-os a porozitása. Ezeknél az eljárásoknál ronthatja a termék mechanikai tulajdonságait, hogy a hőmérsékletváltozással változik az adalék hőtágulási együtthatója és így az eljárás során különféle repedések, törések keletkeznek a pórusos kerámiákban [1].

A habképző eljárást nem csak kerámia porok esetén alkalmazzák, hanem szuszpenziók esetén is. Ugyanúgy illékony vagy kiégethető anyagot használunk pórushabképzőként. Ilyenkor a kerámiapor vizes szuszpenzióját beleöntjük a formába átszivárgás nélkül és ezt melegítjük 50-70 °C-ra. Ezen a hőmérsékleten vizet abszorbeál az anyag és megnő a térfogata, míg végül a folyékony szuszpenzió átalakul kemény test alakúvá, mint a forma. Végül eltávolítjuk a mintát, szárítjuk, szintereljük és kiégetjük a pórusokat [1].

- **Polimer szivacs impregnálás technika:** Ez az egyik legszélesebb körben elterjedt technika pórusos kerámiák gyártására. Ezzel a módszerrel 3D-s nyitott hálós szerkezetű pórusokat tudunk előállítani. Az így előállított kerámiák olcsók és porozitásuk 70-95% közötti lehet. Az eljárás során a kerámia szuszpenziót impregnáljuk polimer habbal, majd eltüntetjük a fölösleges szuszpenziót, ami marad az aggregálás után. A közti terméket szárítjuk, majd eltávolítjuk a szerves habot és szintereljük az anyagot [1].
- **Habképzés:** előgyártmány képzésénél kalcium-karbonátot, kalcium-hidrátot és alumínium-szulfátot alkalmazunk, itt a pórusokat hidrogén-peroxid segítségével alakítjuk ki. Az előkezelt nyersanyagot formába kell helyezni és felmelegíteni 900-1000 °C-ra. Nyomás alatt oxidáló

atmoszféra jelenlétében a por összeköt. A felszabaduló gázok kitöltik a formát és a hűtés során kialakulnak a pórusok. Hagyományosan  $\text{CaCO}_3$ -ból és kerámiaporból készül az előkezelt nyersanyag, aminél már szinterelés közben alakulnak ki pórusok  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  felszabadulása miatt. Az így kapott termék gazdaságos előállítására érdekében a kerámia porhoz még plasztizáló adalékot és kámfort adnak. A keveréket csővé extrudálják, majd kialakítják a tömbi formát és azután szinterelik. A szén alapú habképzőnél a szén redukálja a bázist ( $\text{SO}_3$ ) és így kapunk olyan gázokat, amik pórusokat képeznek. A redukció az alábbiak szerint megy végbe:



A pórusok kialakulásához szükséges gázok kialakulása a karbonátos anyagok szétesésével magas hőmérsékleten is végbemegy [1].



Ennél az eljárásnál is képezünk szuszpenziós eljárással kerámiahabokat. Ezzel az eljárással erős kerámiákat lehet készíteni. Ez az eljárás gázfázison keresztül megy végbe a szuszpenzióban, ami tartalmaz kerámiaport, vizet, gélt, szurfaktánsokat. A habot gáz beinjekciózásával képezzük, vagy exoterm gázképződéssel, az oldószer és a gázképző elpárologtatásával. A kémiai habképző anyagok itt lehetnek: kalcium-karbid, kalcium-hidroxid, alumínium-szulfát, hidrogén-peroxid, alumíniumpor és szulfidok, szulfátok keveréke, illetve szimultán módon képezhetünk habot poliuretán hab segítségével a kerámia szuszpenzióban.

- Szol-gél eljárás: A szol-gél eljárással képezhetünk a nanoméretű tartományban mikropórusú membrán kerámiákat. Ezzel az eljárással szabályos anyagokat tudunk csinálni. Az eljárás a következő alaplépésekből áll:
  - fém oxid szol előállítása: fémaloxid hidrolízisével alkohol víz elegyben
  - amorf gél előállítása: a fémoxidok polikondeznzációja szabályozott pH-n
  - pórusos kerámia előállítása: szárítás majd hőkezeléssel a szerves anyagok eltávolítása

A habok képződésénél a buborékok méretét stabilizálja a viszkozitás növekedése. A hőmérséklet beállításával el lehet érni, hogy gyorsan menjen végbe a szol-gél átalakulás. Fontos ennél az eljárásnál a megfelelő templátméret kiválasztása, mert ezzel tudjuk szabályozni a pórusok méreteit [5].

- Gélöntéssel eljárás: Ezzel a módszerrel hálós szerkezeteket tudunk kialakítani. Az így kapott előgyártmány szerkezete egységes. A sűrűséget az in situ lejátszódó oldódás határozza meg a kémiai reakciókon keresztül. A szuszpenzióban a habképződés az in situ oldódás során történő polimerizációval történik. Az így kapott előgyártmánynak jó a szilárdsága. Az eljárás során először összekeverik a kerámiaport, a monomert és a diszperz rendszert, ezután hozzáadják a szurfaktánsokat, ami beindítja a habképződést, majd iniciátort és katalizátort adnak a rendszerhez, hogy promótálják a polimerizációt. Ezt követően kiszárítják az anyagot és kiégetik a polimert. Ezzel az eljárással hibamentes anyagot tudunk létrehozni, ami azt jelenti, hogy nagyon jók lesznek a mechanikai tulajdonságai, mert kevés lesz a hibahely benne, mert a

rendszerben képzett gél megakadályozza, hogy széteszen a hab test. Ezzel az eljárással lehet előállítani a legjobb porozitás-szilárdság arányt [1].

- **3D-s nyomtatás:** ez egy additív technológia, ami sokkal gyorsabb és anyagtakarékosabb és szoftveresen vezérelhető. Az eljárás során rétegről rétegre építjük fel az anyagot kerámia por és módszertől függően egyéb segédanyagok segítségével. Ezzel az eljárással könnyen előállíthatunk biokompatibilis és nyitott pórusú kerámiákat is. Az eljárással homogén anyagokat tudunk gyártani. Ennél az eljárásnál nagyobb szemcsékkel kicsi fajlagos felületet tudunk elérni térfogatra nézve, de ha kisebb szemcséket használunk, ez az arány jobb lesz. A módszer alapvető előnye, hogy mikropórusokat tudunk vele előállítani [7].

## 5. Tipikus jellemzési módszerek

A sűrűséget Archimédész eljárással határozzák meg. Megméri a tömegét a mintának levegőn és vízben és a víz és a levegő sűrűsége segítségével meghatározzák a sűrűséget. A pórusos kerámiák porozitását kémiai összetételét sűrűségét meg lehet határozni röntgendiffrakciós technikával és SEM elektro pásztázó elektromikroszkópos eljárással. A minta előkészítéshez tartozik a minta polírozása[8].

Frekvencia-válasz eljárás: Ennél az eljárásnál azt használjuk ki, hogy különböző polarizációk jönnek létre az alternáló elektromos térben. A következő típusú polarizáció típusok találkoznak a kerámiákban: ionos, elektromos, dipólus és Maxwell, Wagner, Sillars. Richelson szerint az atomoknak és kötéseiknek hatásuk van az anyagi rendszer polarizációra való érzékenységére és annak intenzitására. Ezen fizikai jelenség alapján a fázishatáron zavaros lesz a minta polaritás jele. Így a porozitás meghatározható a permitivitásból és a dielektromos veszteségből. Ennek az eljárásnak számos előnye van flexibilis, gyors, nem destruktív. A készülék kalibrálását Archimédész eljárás segítségével végzik[9].

A porozitást még lehet vizsgálni higany porozimetriával is, aminek lényege, hogy higanyt jutattunk a nyitott pórusokba bizonyos nyomáson és ebből a nyomás értékből, amellyel ellehet érni, hogy bekerüljön a nyitott pórusokba higany következtetünk a pórusméretre a Washburn egyenlet segítségével. A nyitott pórusok összterfogatára a tömegváltozásból határozzuk meg. ezzel az eljárással a 500 µm-3,5nm átlagos átmérőjű pórusokat tudjuk vizsgálni. Azokat a pórusokat, amik nem a a felszínen vannak azoknak kisebb pórus átmérőt határoz meg. A nagy felszínnel rendelkező pórusos anyagokat elő kell kezelni a méréshez, mert a vízgőz vagy a víz, ami a pórusokban van megzavarja mérést. Ez az eljárás destruktív a higany miatt[10].

A termikus stabilitását a mintának lehet vizsgálni TG-DSC módszerekkel illetve szokták még kvantitatív röntgenfluoreszcenciával vizsgálni az elem összetételét[11].

## 6. Alkalmazások

Az első alkalmazásuk a 70-es években történt, amikor baktériumok szűrésére és uránium tisztítására alkalmazták. Pórusos kerámiákat sok területen alkalmazák: vegyiparban, élelmiszeriparban, környezetvédelemben, metallurgiában, energiaiparban, gyógyszeriparban és egyéb biológiai alkalmazásai is vannak. Funkciójukban lehetnek szűrők, szeparátorok, katalizátor hordozók, biológiai vagy kémiai szenzorok, zaj szűrők, hőszigetelők, töltőanyagok, tűzállóanyagok, gáz égő fej stb. . Ez mind

a korábban említett sok előnyös tulajdonságból következik. A következőkben ismerteteném pár alkalmazást[1].

- Szűrők és szeparálók: A szűrőknek planáris turbidimetrikus szerkezettel és nagy szűrő térfogattal kell rendelkeznie. A szűrők alkalmazása nagyon széles körű, mint víztisztítás, égés gázok tisztítása, szerves folyadékok szűrése és még számos más esetben. Mivel a kerámiáknak nagy hő és korrózióállóságuk van, ezért alkalmasak olvadt fémek, savak, korrózív és sugárzó anyagok szeparálására és szűrésére.[1]
  - Olvadt fém szűrés: Ezt az eljárást az űr rakétatechnika és az elektronika számára fejlesztették ki. Az olvadt fém szűréssel kerámia habokon eltávolíthatjuk a nem fémes elemeket, az olvadékból. Ennek az eljárásnak nagy előnye, hogy nincs korrózió és nem reagál el a kerámia mátrix az olvadt fémmel. Emellett elvárás a kerámiával szemben, hogy az erózióknak, hő sokknak is ellen álljon, és kellően erős legyen. Erre a célra alapvetően nyitott pórusú kerámiákat használunk.
  - A makropórusú kerámiákat alapvetően részecskék szűrésére alkalmazzák. Ezeknek a szűrőknek minimálisan ellen kell tudnia állni az áramlásnak. A méhkaptár szerkezettel rendelkező anyagokat és a hálózatszerű pórusos kerámiákat, a makropórusos nyitott zigzag szerkezetű kerámia habokat transzport és diffúziós folyamatokra szokták alkalmazni. A hálózatszerű pórusok alkalmasak fémöntésnél szilárd részecskék szűrésére, mint a salak, salakhab és a nem fém részecske szűrésére. Az Al olvadásánál keletkeznek inhomogenitások az oxigén abszorpció miatt, amiket remekül kiszűr a pórusos kerámia.
  - Forró gázok szeparációja: A pórusos kerámiáknak nagy adszorpciós kapacitással kell rendelkezniük, amely folyamat során képesek kiszűrni a forró füstgázokból a részecskéket. A legismertebb alkalmazása diesel motoroknál a kipufogó gáz szűrésére nyitott pórusú kerámiákkal. Tehát ezt az alkalmazást leginkább fosszilis tüzelőanyagok égéstermékének tisztítására és szemét égetésnél szokták alkalmazni. Az erre a célra alkalmazott kerámiáknak kémiaiilag, termikusan és mechanikusan stabilnak kell lennie. Ezen tulajdonságoknak a terméknek az életciklusának a végéig meg kell maradnia. A szűrőknek ellen kell tudni állni a gázok nyomásnak és magas hőmérsékletnek, a kémiai hatásoknak. A mechanikai vibrációknak és a termikus feszültségeknek. Hátrányuk, hogy az alkáli tartalmú gázok képesek hamar tönkre tenni őket idő előtt.
  - Mikro szűrés: Ennél az eljárásnál a pórusméret kisebb, mint 100nm. Erre a célra használt kerámiák szol-gél eljárással készülnek és alumina, cirkóna, mullit és kordierit tartalmúak. Ezzel a szűrővel makromolekulákat és biológiai sejteket is tudunk szűrni. Ezt a gyógyszer- és élelmiszeripar és biológia terén használják. Ezzel csökkenti a reaktánsok számát és növeli az anyagok migrációját a reakciók során. Másik alkalmazása a mikro szűrőknek biológiai fermentáció. Amely során csökkenti a reakció időt, mert segítik az enzimek diffúzióját a pórusok.
  - Fluidum szeparáció: A szervesetlen szeparáló membrán egy fajta pórusos kerámia nyitott pórusokkal, amik közel rendeződnek egymáshoz. Ennek a membránnak számos előnyös tulajdonsága van, mint hogy kicsi az energia felhasználása, nagy a kapacitása, könnyű a felhasználása, újrahasznosítható, , könnyen tisztítható. Számos tudományos és ipari célra alkalmazzák, mint visszatartó ozmózis, gél kromatográfia, dialízis. Víz és oldószer tisztításra. Földgáznál leválasztani a hidrogént a szénhidrogénektől.

- **Funkcionális anyagok:** Ebbe a csoportba két nagy csoport tartozik a biológiai anyagok és az öko anyagok.

- **A biológiai anyagok** alapvetően fontos a biológiai és funkcionális összeférhetőség, és hogy ne legyenek toxikusak. Nagy kereslet van rájuk. A pórusos kerámiákat alapvetően csont és fogpótlásra alkalmazzák. Nagyon fontos a pórusok strukturáltsága, alakja, térfogata és a pórusokat összekötő csatorna összeköttetése. Fogpótlásra alkalmazzák a hidroxapatidot, ami nem csak biokompatibilis, hanem bioaktív is egyben. Ha a hidroxapatid pórusa össze van kötve a fog pórusaival, akkor a sejtek behatolnak az apatidba és a sejtközi folyadék is. Az implantátumoknak meg kell felelniük a követelményeknek. A mechanikai erőssége az implantátumnak a biokompatibilitás szintjének növekedésével nő. A pórusos anyagok hatékonyan tudják csökkenteni az illeszkedésből származó összeférhetlenséget azzal, hogy a körülöttük lévő szövetbe különböző pórusméretekkel csatlakoznak és így növelik a biokompatibilitást. Ezeket a kerámiákat nehéz előállítani, de nagy lehetőségek vannak ezen kerámiák fejlesztésében. Vannak kerámiák, amik jól tűrik a kopást és kémiai ellenállóak, amikor összekapcsolódnak a szövettel és a test folyadék nedveivel. Vannak olyan kerámiák, amik reaktívak és adszorpciós folyamatait az újonnan létrejövő szövet kontrollálja[1].

A pórusok ezekben az anyagokban fontos szerepet töltenek be, mert ide be tud hatolni a csontszövet és helyreállhat ezen a részen a vérér, így gyorsabb gyógyulást lehet elérni. A pórusméretének kisebbnek kell lennie 100  $\mu\text{m}$ -nél ezeknél az anyagoknál és alapvetően ez határozza meg, hogy milyen előállítási eljárást szeretnénk használni. Tehát ha nanoméretű pórusokat szeretnénk kapni, akkor szol-gél eljárással állítják elő, ha szub  $\mu\text{m}$ -est, akkor habbal, szerves hab másolás módszerével, vagy illékony anyag segítségével kialakított hab módszerrel állítjuk elő.

- **Öko anyagok:** Ebbe a csoportba azok a pórusos kerámiák tartoznak, ami környezetbarátok, vagyis megtisztítják a szennyezéseket és csökkentik a kibocsátást. Ilyen anyagok a pórusos kerámia katalizátorok, amik képesek oxidálni a szerves oldószereket, úgy, hogy szag mentesítik őket. Illetve ilyen anyag még az azok a kerámiák, amik toxikus fémeket tudnak megkötni, mint a Cr ion. Ehhez az anyag családhoz tartozik még a katalitikus konverterek is, amik a kocsikban vannak, amik teljesebbé teszik az oxidációt. Erre a feladatra extrúzióval gyártott méhkaptár elrendezésű pórusos kerámiát használunk, aminek alapanyaga kordierit és a felületén Pt-val adalékolt.
- **Hőszigetelő anyagok:** A kerámia haboknak ez a legfőbb alkalmazása. A korábbiakban említett általános tulajdonságokon kívül ezeknek rossz az abszorpciós képességük, mert zártak a pórusok. Könnyen előállíthatóak különböző méretű és alakú pórusok. Ezeknek az anyagoknak az alkalmazásával az üzemanyag fogyasztást 20-70%-al le lehet csökkenteni. Jellegzetes példa rájuk az üveghab, amit üvegporból habképzővel és más segédanyagokból állítanak elő[1].
- **Hangszigetelőanyagok:** Erre a célra 3D hálózatos kerámia habokat használunk. A hanghullámhatására a pórusok berezonálnak, amik repedéseket hoznak létre a pórus falban. A viszkózus hatásnak köszönhetően a hang hullámok átalakulnak hővé és abszorbeálódnak. Ezeknek az anyagoknak kis pórusméretű(20-150 $\mu\text{m}$ ) nagy porozitású(60% fölötti) anyagnak kell lennie. Ezeknek az anyagoknak nagy előnye, hogy tűzállóak is, ezért alkalmazzák őket magasépítésű házakban, mozikban, csatornáknak, metrók falában[1].
- **Vegyiparban:** A pórusos kerámiákat katalizátor szállítóként alkalmazzák. Ezek a reakciók többnyire több fázisú reakciók. A kerámiák itt a fém katalizátort hordozzák. A pórus mérete 6nm 500  $\mu\text{m}$  terjed. Pórusos kerámia itt a víz gőzt is tudja hordozni és megakadályozza, hogy párolgó halogén tartalmú oldószer kerüljön a levegőbe[1].

- Pórusos elektróda vagy membránként: Szilárd oxid üzemanyag celláknak alacsony a kénoxid és nitrogénoxid emissziójuk, de magas a munka hatékonyságuk, és tudjuk úgy használni mint hagyományos energia átalakító rendszereket. A pórusos membránok olyan kerámiák, amikben nagy felületen kapcsolódik a kerámia folyadékhoz, gázhoz, és a cella feszültség még kisebb, mint más anyagoknál, ezért ezeket az anyagokat lehet használni elektrolízisnél, mert jelentősen tudjuk csökkenteni velük a cella feszültséget, és így energiát és anyagot takarítunk meg[1].

## 7. Összefoglalás

A pórusos kerámiák a kerámiákon belül olyan anyagok, amik remekül kombinálják a kerámiák és a pórusos anyagok tulajdonságát. Rendkívül sok fajta képen tudunk előállítani pórusos kerámiákat. A tulajdonságaikból kifolyólag rendkívül széles körű a felhasználási lehetősége a pórusos kerámiáknak.

## 8. Feldolgozást segítő kérdések:

Mi a lapján csoportosítaná a pórusos kerámiákat?

Mi befolyásolja a pórusméretet a pórusos kerámiák esetén?

Mi a 3 meghatározó tulajdonsága a pórusos kerámiáknak?

Hogyan állítják elő a méhkaptár struktúrájú kerámiát és milyen felhasználási lehetőséget tudnál hozzá mondani?

A hangszigetelő pórusos kerámiák milyen más tulajdonsággal rendelkeznek?

### Hivatkozások:

1. P. S.Liu, G. F. Chen. Porous Materials. Elsevier, 2014.
2. Scheffler M, Colombo P. Cellular ceramics. Weinheim; Wiley-VCH; 2005
3. A. R. Studart, U. T. Gonzenbach, E. Tervoort, and L. J. Gauckler, "Processing Routes to Macroporous Ceramics: A Review," *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 89, no. 6, pp. 1771–1789, Jun. 2006.
4. T. Ohji and M. Fukushima, "Macro-porous ceramics: processing and properties," *International Materials Reviews*, vol. 57, no. 2, pp. 115–131, Mar. 2012.
5. U. M. B. Al-Naib, "Introductory Chapter: A Brief Introduction to Porous Ceramic," in *Recent Advances in Porous Ceramics*, InTech, 2018.
6. M. S. Ali et al., "Factors Affecting the Porosity and Mechanical Properties of Porous Ceramic Composite Materials," in *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, Elsevier, 2017.
7. L. C. Hwa, S. Rajoo, A. M. Noor, N. Ahmad, and M. B. Uday, "Recent advances in 3D printing of porous ceramics: A review," *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, vol. 21, no. 6, pp. 323–347, Dec. 2017.



8. M. Amin and M. Subri, "Preparation and Characterization of Porous Ceramic Membranes for Micro-Filtration from Clay/CuZn Using Extrusion Methods," MATEC Web of Conferences, vol. 156, p. 8015, 2018.
9. M. Järveläinen et al., "Characterizing Porous Ceramics by Frequency-Response Method," IFAC Proceedings Volumes, vol. 47, no. 3, pp. 10012–10017, 2014.
10. M. Hasanuzzaman, A. R. M. Harunur Rashid, and A.-G. Olabi, "Characterization of Porous Glass and Ceramics by Mercury Intrusion Porosimetry," in Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, Elsevier, 2017
11. L. Hao, W. Gao, S. Yan, M. Niu, G. Liu, and H. Hao, "Preparation and characterization of porous ceramics with low-grade diatomite and oyster shell," Materials Chemistry and Physics, vol. 235, p. 121741, Sep. 2019.