



# Kerámiák



- A kerámia a görög (kiégetett) szóból ered. Egykor kizárólag az **agyagból**,  $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ -**kaolinból** (porcelánföld) kialakított, majd kiégetett cserépporcelán tárgyakat értették kerámia alatt. Az égetett anyag megjelenése **az i.e. 12-11 évezredre** tekint vissza
- Az ember által készített „nagyteljesítményű kerámiák” szervetlen, nem fémesen viselkedő anyagok (nincs villamos ellenállás és ridegek)
- Atomi kötésük „erős”: ionos vagy kovalens





- kis sűrűség az esetek többségében
- nagy olvadáspont
- nagy rugalmassági határ
- nagy keménység, A kerámiák a legkeményebb szilárd testek, főleg a gyémánt,  $Al_2O_3$ , SiC,  $Si_3N_4$ .
- nagy kopásállóság
- nagy nyomószilárdság
- nagyfokú kémiai stabilitás
- nagy melegszilárdság, nagy korrózióállóság
- nagy villamos ellenállás  $10^7$ - $10^{16}$  W m, ( szigetelők)
- villamos vezetőképesség nő vagy speciálisan változik a hőmérséklettel



- ridegség, törékenység
- mikrorepedések jelenléte
- kis hősokkállóság , de pl. a SiN kivétel
- nehéz gyárthatóság, viszonylag magas ár





- **Alkotók szerint:**
  - Oxidkerámiák (pl.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
  - Vegyületkerámiák (pl. karbid, borid, nitrid)
  - Egyatomos kerámiák (pl. szén – gyémánt)
- **Gyártás szerint**
  - Olvasztás (üveggyártás)
  - Hidrát kötés (cement)
  - Nedves formázás (agyag árúk)
  - Porkohászat (műszaki kerámiák)



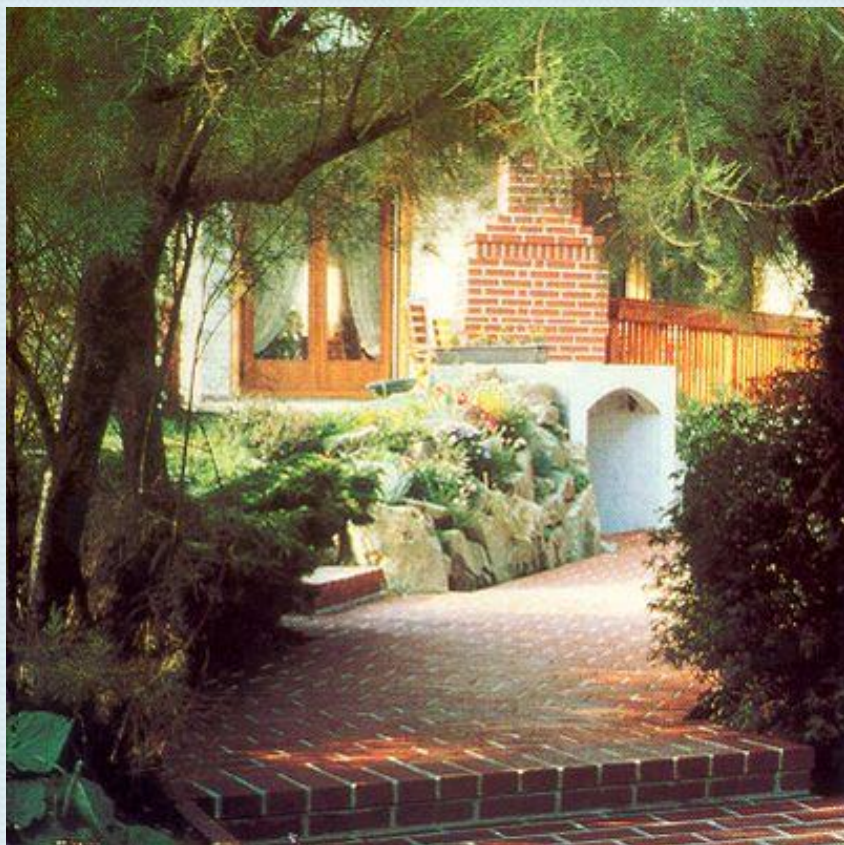
- **Szerkezet szerint:**
  - Amorf (pl. üveg)
  - Kristályos (pl. bórnitrid)
  - Vegyes
- **Eredet szerint:**
  - Természetes anyagok (pl. kő)
  - Mesterséges kerámiák (pl. szilíciumkarbid)





- **Tisztaság szerint:**
  - ***Hagyományos kerámia*** tömegáru (téglától a fajanszig)
    - Jellemző: mérsékelten érzékeny a szennyezésre
  - ***Finomkerámiák*** (porcelánok, szigetelők, speciális üvegek)
    - Jellemző: fokozott tisztasági igények









- **Tisztaság szerint:**

- **Műszaki kerámiák**

- pl. szerszámok, chip gyártás,

**Előírás:** igen nagy tisztaság

- nagy tisztaságban előállított elemekből, alkotókból gyártják
- mivel ridegek nagyon érzékenyek a belső hibákra



# Nagyteljesítményű kerámiák

Alkalmazások	Vágó-, csiszoló-, kenőanyagok, motorok, turbinák, gépelemek, csapágyak	Elektródák, hőcserélők, kemencék	Hordozók, érzékelők, beavatkozók, mágnesek
Tulajdonságok	Szilárdság, merevség, kopásállóság, súrlódás	Hővezetés, hőszigetelés, kis hőtágulás	Villamos vezetés és szigetelés, félvezetés, mágnesesség, szupravezetés
Funkciók	Mechanikai	Termikus	Villamos+ mágneses

Alkalmazások	Vegyberendezések, katalizátorhordozók, fog és csontpótlások	Kábelek, fénycsövek, fénydiódák	Fűtőelemek, moderátorrudak, páncélzat
Tulajdonságok	Biokompatibilitás, korrózió, abszorpció, katalízis	Fénytörés, fényvezetés, fluoreszcencia	Sugárzás, hő és korrózióállóság
Funkciók	Vegybiológiai	Optikai	Atomtechnikai





Tulajdonság	A kerámia típusa	Alkalmazási terület	Biológiai	$Al_2O_3$ , hidroxiapatit	Implantátumok
Mechanikai	$Al_2O_3$ , BN, TiC, TiN	Vágószerszámok	Elektromos	$Al_2O_3$ , BeO, MgO	Szigetelő IC hordozók, tokok
	$Al_2O_3$ , $ZnO_2$	Kopásálló csapágyak, szárvezetők		$BaTiO_3$ , $SrTiO_3$	Kerámiakondenzátorok
	$Al_2O_3$ , SiC, $Si_3N_4$	Turbinalapátok, robbanómotor alkatrészek		$ZrO_2$	Piezoelektronos vibrátorok, szűrők, oszcillátorok
Termikus	$Al_2O_3$ , $ZrO_2$	Infravörös sugárzók		$BaTiO_3$ , $ZnO-Bi_2O_3$ , SiC	Termisztorok, varisztorok, érzékelők, fűtőelemek
Kémiai	$Fe_2O_3$ , $SnO_2$ , ZnO	Gázérzékelők		CdS	Napelem
	$MgCr_2O_4$ , $TiO_2$	Nedvességérzékelők		b - $Al_2O_3$ , $ZnO_2$	Szilárd elektrolitok
	Kordierit	Katalizátorhordozók		$ZrO_2$	Oxigénszenzorok, tüzelőanyag cellák
				Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O	Magas $T_c$ szupravezetők
			Mágneses	Lágy ferritek	Hőérzékelők
				Kemény ferritek	Ferritmágnesek
			Optikai	Áttetsző $Al_2O_3$	Nagynyomású Na-gőz lámpák
				Áttetsző MgO	Fénycsővek, speciális lámpák
				Áttetsző $Y_2O_3-ThO_2$	Lézerablakok
				Szilikátüvegek	Fényvezetők, optoelektronikai eszközök
			Nukleáris	$UO_2$ , $UO_2-ThO_2$	Fűtőelemek
				$B_4C$ , SiC	Beágyazó anyagok



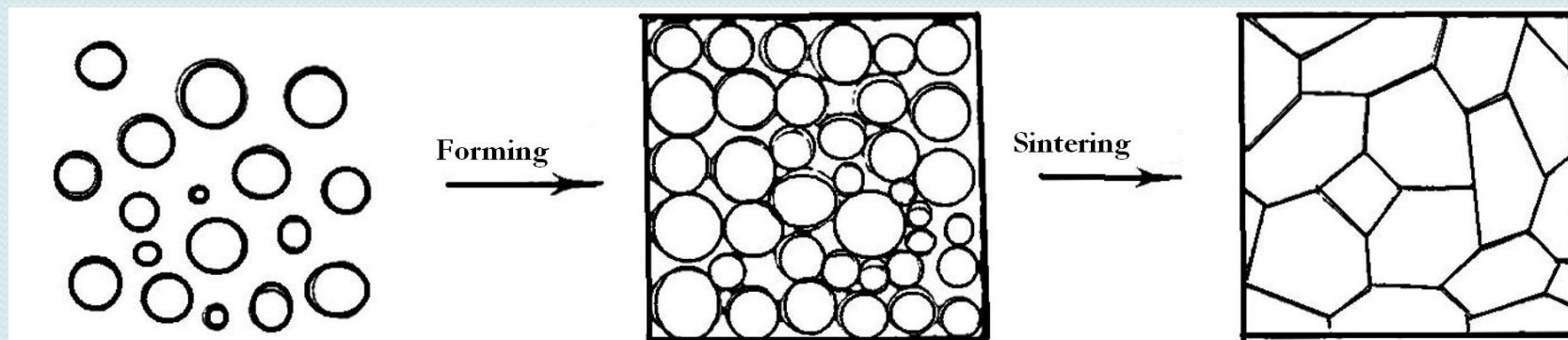
A kerámiák **képlékenyen nem alakíthatók.**  
előállítás általában *porkeohászati* módszerekkel  
(szinterelés).

Az *üvegek* feldolgozása - olvadék állapotban



A **porkohászati eljárásoknál** a terméket **olvasztás nélkül** állítják elő:

1. először finom port készítenek,
2. azt tömörítik (formázzák),
3. végül magas hőmérsékleten izzítják (szinterelik)





## Előnyei:

- Lényegesen **alacsonyabb hőmérsékleten végezhető**, mint az olvasztás. A szinterelés hőmérséklete általában **alacsonyabb az olvadáspont kétharmadánál (K)**. Ez a tény a magasolvadáspontú kerámiáknál és fémeknél, pl. a volfrámnál előnyös.
- A porkohászati eljárások általában **készterméket eredményeznek**, nincs szükség további megmunkálásra. Ezért gazdaságosan használható közepes olvadáspontú fémek és ötvözetek, pl. vas esetében is.
- Lehetővé válik **különleges mikroszerkezetek** (pl. porózus anyagok és szemcsés kompozitok), valamint nem-egyensúlyi összetételű ötvözetek előállítása.

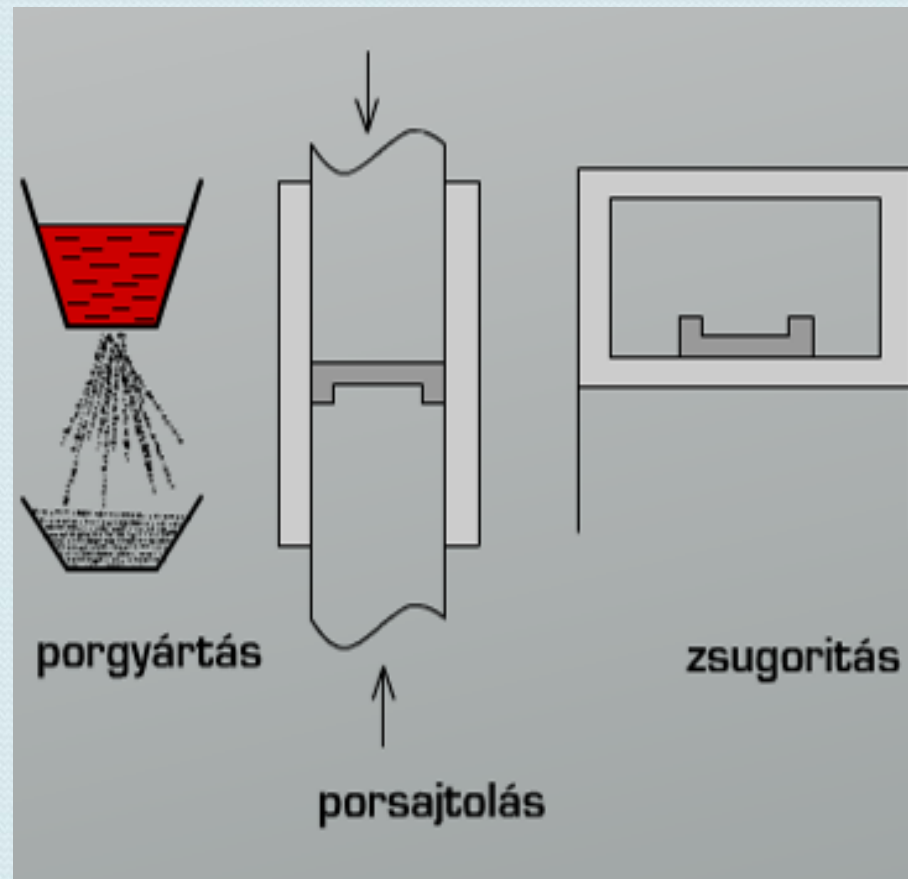




## Hátrányai:

- A formázás általában **drága berendezéseket igényel**, ezért a gazdaságos gyártás csak **nagy sorozatoknál valósítható meg**.
- A **pork előállítása** és kezelése esetenként **költséges**.
- A termék *mérete korlátozott*: technikai okok miatt nem állíthatók elő olyan nagyméretű termékek, mint az olvasztásos technológiák esetében. Legújabbban különösen fontossá vált a nanométeres tartományba eső részecskék előállítása.

1. Fémporok gyártása  
(színfémek, ötvözetek,  
metalloidok)
2. Fémporok osztályozása,  
keverése, adalékolása
3. Porsajtolás
4. Zsugorítás
5. Utókezelés

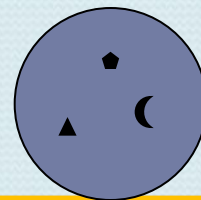






- **Mechanikus aprítás**
  - Örlés
  - Forgácsolás
- **Fémporlasztás**
- **Redukálás gázatmoszférában**
- **Karbonil eljárás**
- **Elektrolízis**

- **Gondosan ellenőrzött körülmények** között történik, a kívánt morfológia, átlagos részecskeméret és megoszlás, valamint összetétel elérése céljából.
- Jellegzetes mérettartomány: **0,1-30  $\mu\text{m}$** .
- A **nagy fajlagos felület** miatt jelentős az **elszennyeződés lehetősége**, szubmikronos poroknál a részecskék összetapadása (agglomeráció).
- A porgyártás módja szerint eltérő alakú és méretű porok keletkeznek
- Alakok: gömbszerű, elnyúlt, szabálytalan, porózus







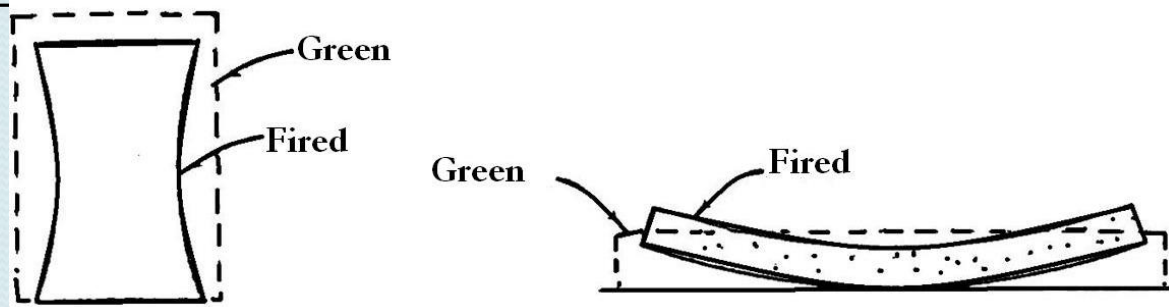
- **Osztályzás (alak és méret szerint)**
- **Keverés (különböző porokat is)**
- **Adalékolás (elsősorban kenőanyagok a kedvezőbb sajtolás miatt)**
- **Cél:**
  - A felhasználás igényeinek megfelelő összetétel
  - Kedvezőbb tulajdonságok a végterméknél

**Formázás:** a porok tömörítése kompakt, de kis szilárdságú terméké (a porozitás: 25-50 térf. %). Eredményül könnyen kezelhető, megmunkálható terméket kapunk (green compact vagy green body).

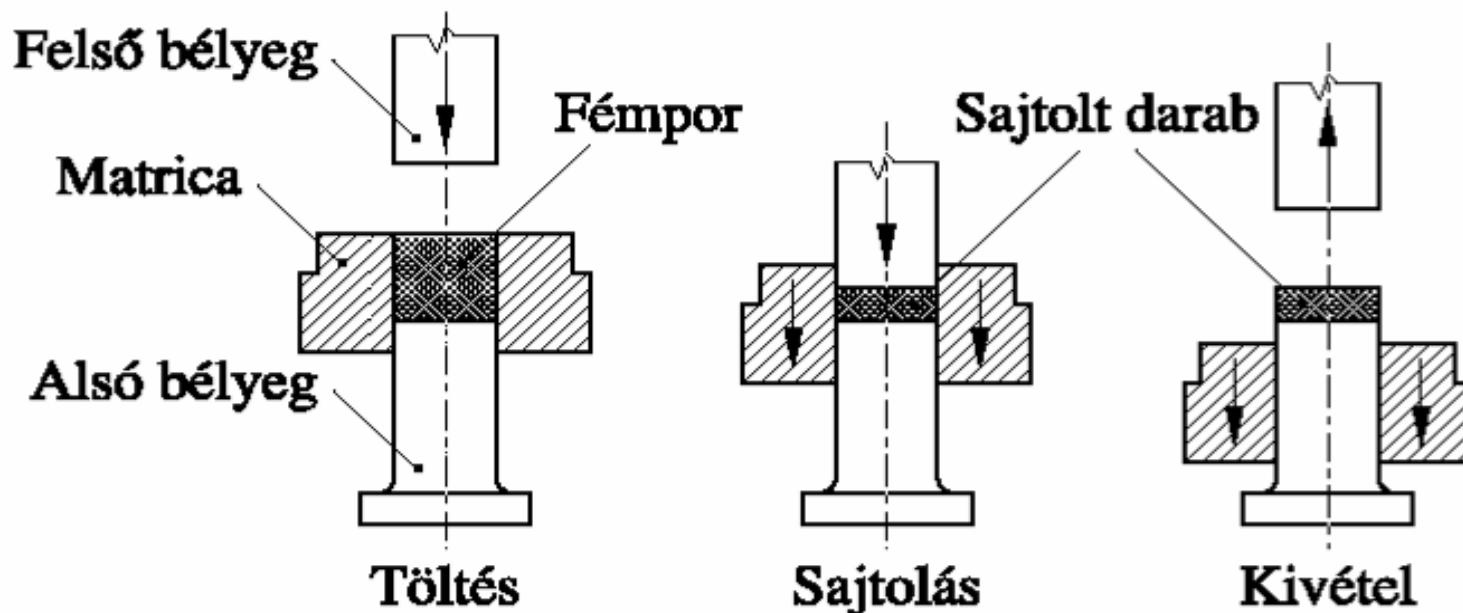
a/ **préselés (die pressing)**

A port szerves **kötőanyaggal** (gyakran polietilén glykollal) 30-40 térf.%-ban **összekeverik**, majd présszerszámban **préselik**. Jellegzetes nyomás: 20-150 MPa. A módszer egyszerű, jól automatizálható. Hátrány: az erőhatás egytengelyű, a por részecskék egymással és fallal történő súrlódása miatt a tömörödés nem egyenletes.

Égetés után alakváltozás következhet be.







- Kétirányú sajtolással a sűrűség eloszlás egyenletesebb, mint egyirányú sajtoláskor
- A keletkezett előgyártmány rideg, törékeny



### **b/ /hideg/ izosztatikus préselés (rubber mold pressing)**

A port gumizacskóba töltik, majd folyadékban préselik (a nyomás tipikusan 100 MPa). Előnye: egyenletes tömörödés.

### **c/ extrudálás (extrusion molding)**

Képlékeny masszát sajtolnak megfelelő nyíláson keresztül. Rudak, csövek, üreges idomok kialakítására használják.

### **d/ öntőpépes öntés (slip casting)**

Vizes szuszpenziót készítenek, majd ezt porózus (gipsz) formába öntik. A forma beszívja a vizet, a szilárd rész kivehető. A porcelán gyártás ősi módszere.

### **e/ fröccsöntés (injection molding)**

**Képlékeny masszát** készítenek szerves kötőanyag (gyakran parafin : viasz 1:1) segítségével (15-20 térf. %), majd ezt a szerszámba nyomják.

Bonyolult alakú termékek is készíthetők. Az eljárást eredetileg műanyagok megmunkálásra használták, ma már elterjedt a kerámiák esetében is.





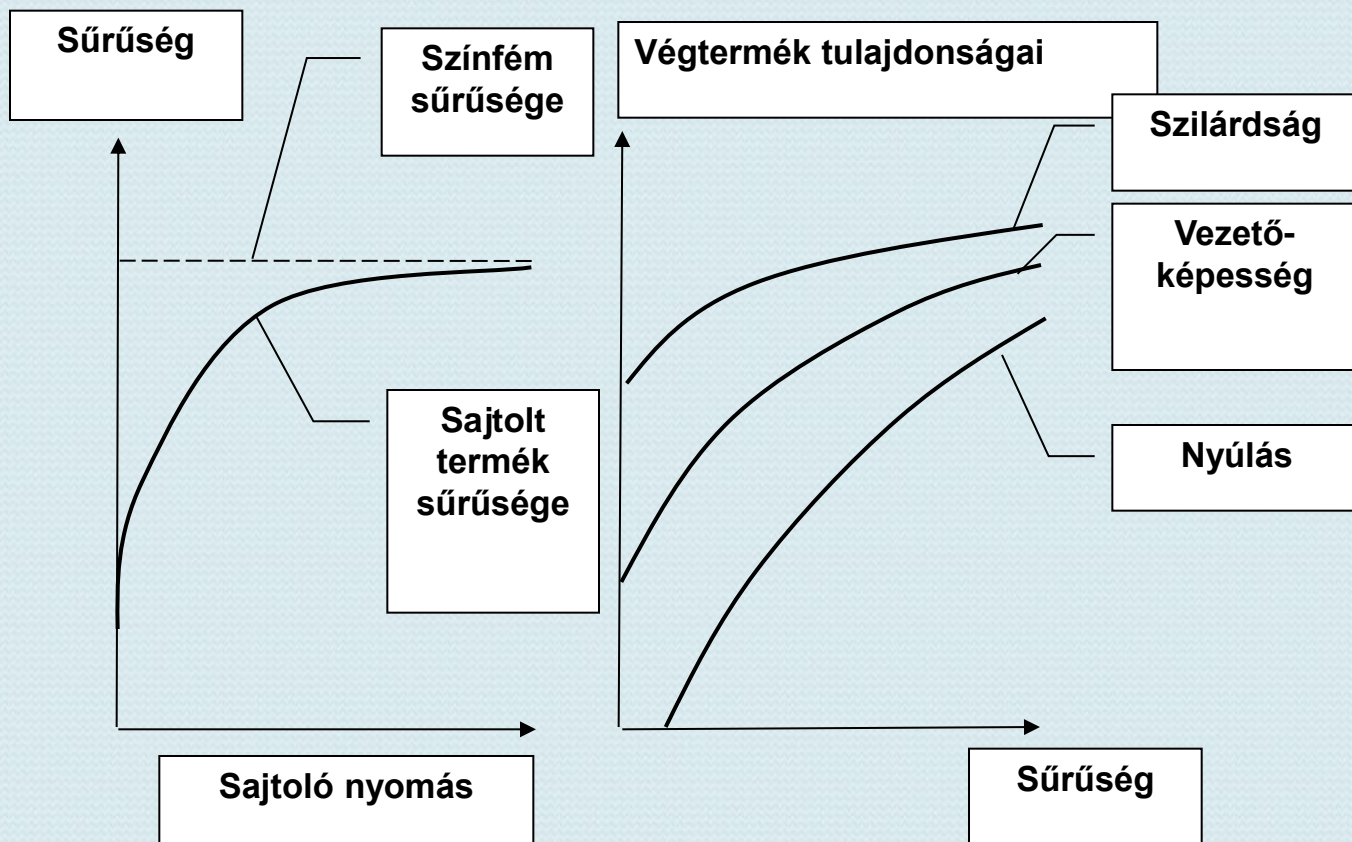
A formázás után a szerves kötőanyagot vagy a vizet szárítással eltávolítják. A végtermék minősége szempontjából a homogenitás biztosítása alapvetően fontos.



Por méret-sűrűség, nyomás-sűrűség függvények:

- a por **optimális méret szerinti eloszlása** növeli a sűrűséget (durva és finom por keveréke)
  - minél **nagyobb a sajtolási nyomás**, annál nagyobb a sűrűség
- > ez növeli a szilárdságot és a rugalmassági modulust











Az **előgyártmányok esztergálhatók, marhatók, fúrhatók**, bár a szerszámokat hamar elkoptatja.

Az így elkészült darabot kemencében **1600°C-on égetik ki (oxidkerámiák, pl. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**. Ekkor történik a nagy átváltozás, mert a sok-sok kis lazán egymáshoz préselt szemcse egyetlen hatalmas kristállyá alakul, miközben **térfogata akár 20-%ot is csökken. Ettől a pillanattól kezdve már csak gyémánt szerszámokkal** lehet méretet változtatni. A porozitás mentessége miatt a műszaki kerámiák felülete tükörfényesre leppelhető, amire a dugattyúk és csúszógyűrűk esetében szükség is van. Termékek pl. dugattyúk, csúszógyűrűk, perselyek, hüvelyek, szelepgolyók, szelepek, kerámia szivattyúk, menetes gépelemek, fúvókák.





- Célja a por szemcsék egyesítése
- Magas hőmérsékleten, speciális atmoszférában, hosszabb ideig tartó folyamat
- Végeredmény: nő a szilárdság, sűrűség (csökken a porozitás), homogén szerkezet alakul ki.







- **Hőmérséklet:**
  - Egykomponensű por:  $T=0,65...0,75 T_{olv}$
  - Többalkotós por: a fő alkotó olvadáspontja szerint számítva
- **Izzítás ideje: 0,5...8 óra**
- **Atmoszféra: vákuum, semleges vagy redukáló**
- **Folyamatok: diffúzió, anyagszerkezeti változások, pórusok összenövése**



• cserép, tégl	700-900 °C
• klinker tégl	1150-1250 °C
• csempe, ipari kőanyag	900-1300 °C
• porcelán	>1300 °C
• WC-Co	1350-1450 °C
• Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , korund	1400-1900 °C
• Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	1700-1850 °C

## ***a/ Hagyományos szinterelés (standard pressure sintering)***

Izzítás magas hőmérsékleten, levegőn vagy védőgáz atmoszférában.

Időtartam: ált. órák.

Tipikus szinterelési hőmérsékletek: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1400 - 1650 C, ZrO<sub>2</sub> 1400 - 1700 C, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 1800 C.



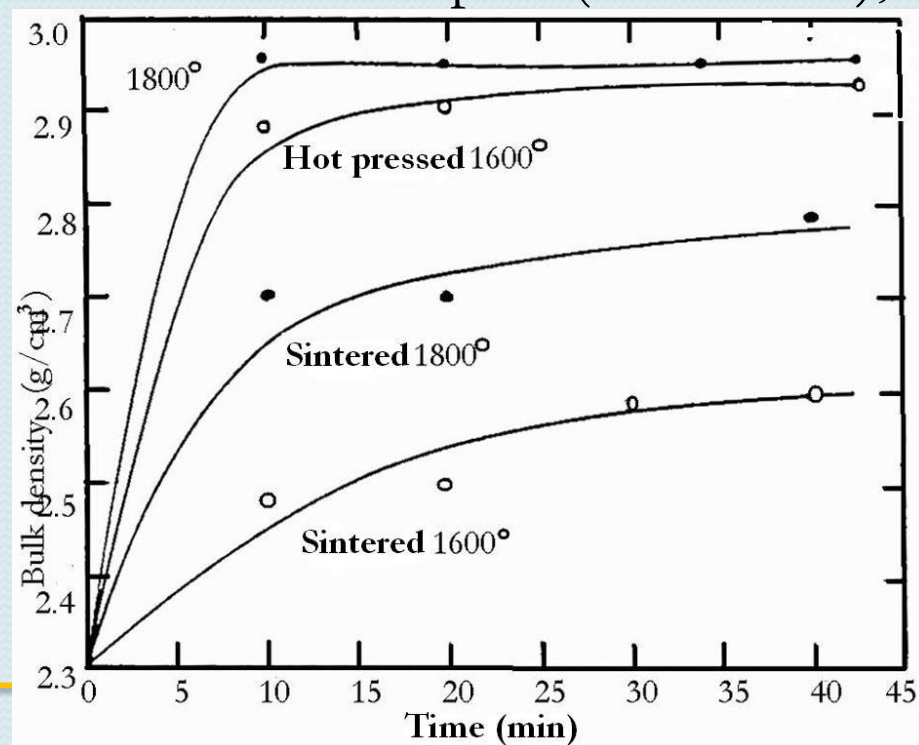


## b/ Meleg préselés (hot pressing, HP)

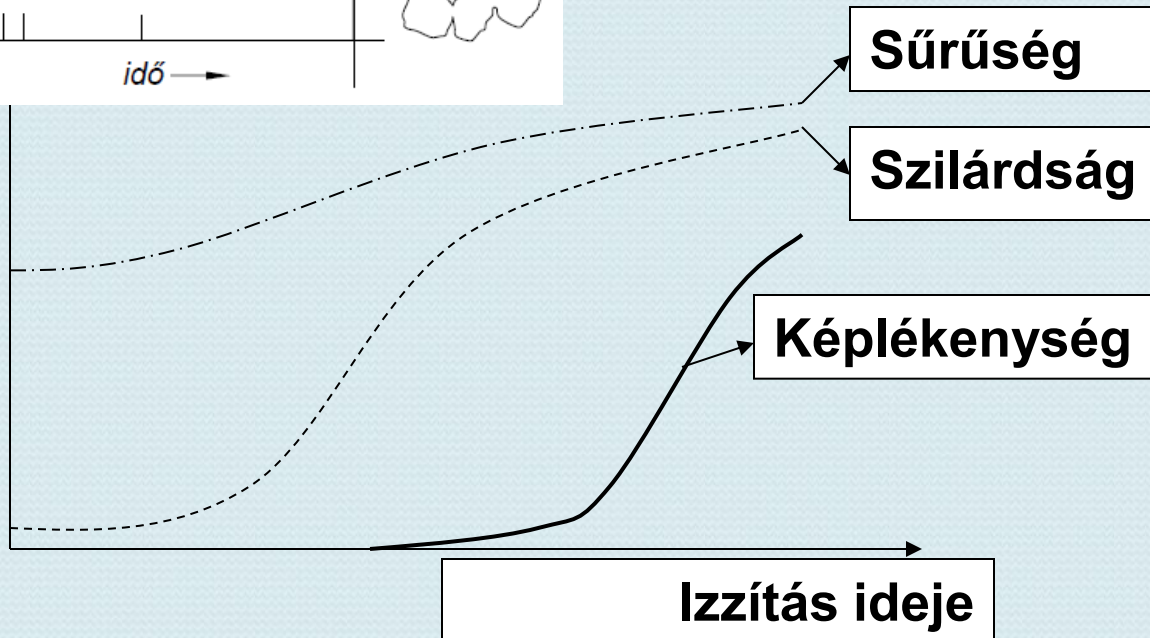
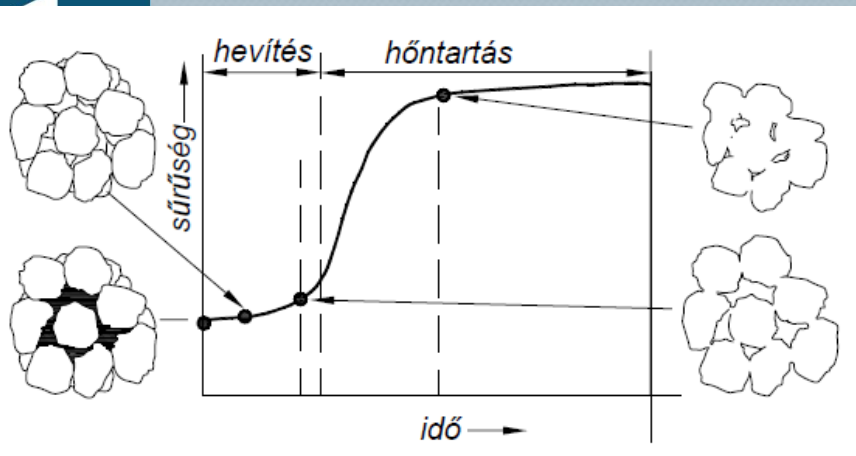
A porok szinterelése egyirányú (egy tengelyű) **nyomás alatt** történik.

Előnyei: a szinterelési hőmérséklet csökkenthető, kis porozitású és finom szemcseszerkezetű termék készíthető. Hátrány: különleges anyagú (hőálló) szerszám szükséges. A berendezés főbb részei: prés (30-50 MPa), présszerszám, fűtés.

A hagyományos és a melegprés összehasonlítása



# A zsugorításkor végbemenő folyamatok



Sajtott darab	Hidak a részecs-kék között	A részecs-kék össze-nőnek	A pórusok eltűnnek
---------------	----------------------------	---------------------------	--------------------

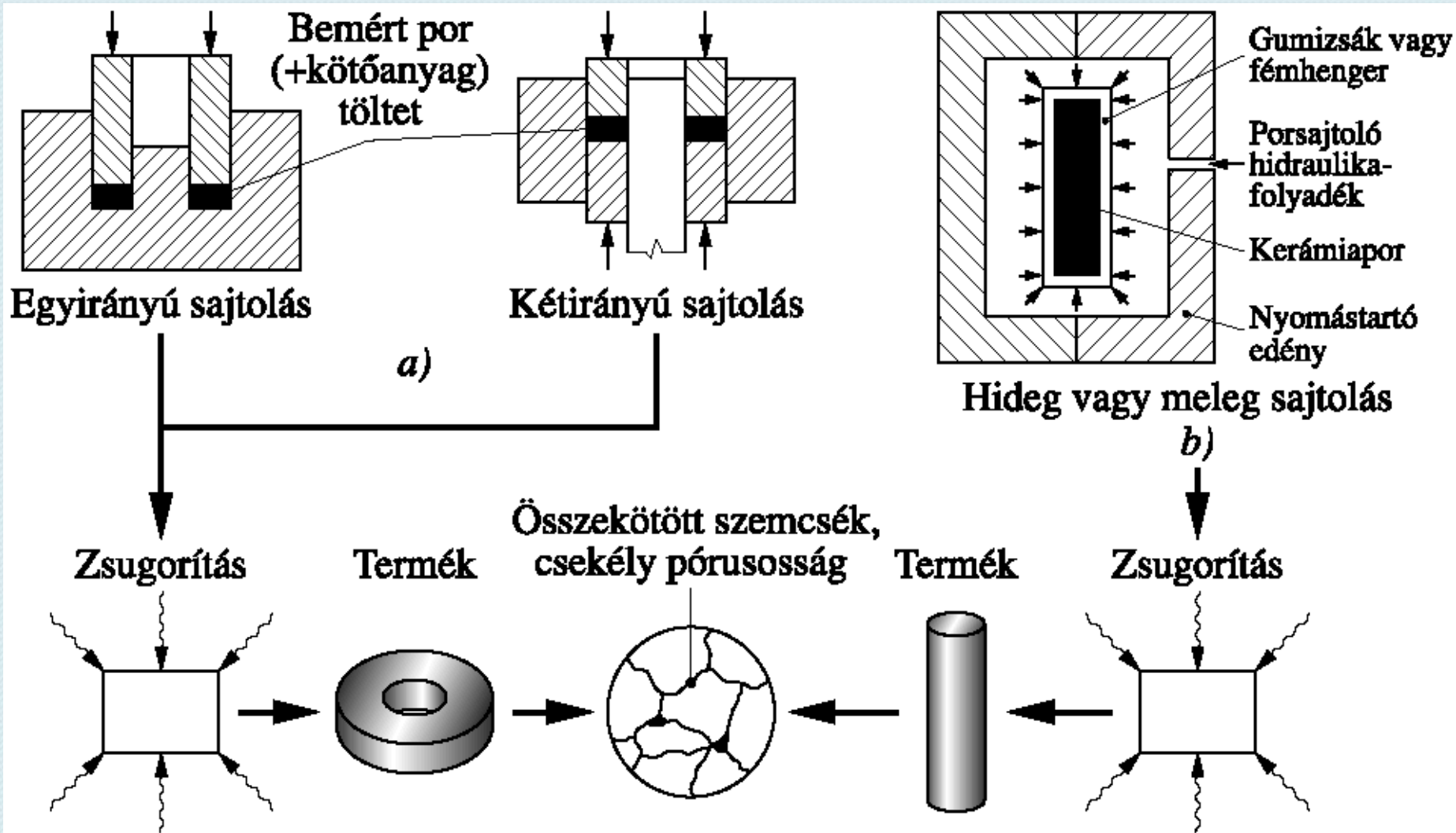




- **Kalibráló sajtolás: növeli a méretpontosságot**
- **Hidegfolyatás, zömítés: módosítja az alakot és növeli a szilárdságot**
- **Porózus alkatrészeknél impregnálás: tömörít, csapágyaknál kenőanyaggal töltik fel a pórusokat**
- **Esetenként forgácsolás**



# Sajtolás és szinterelés







- **Karbon**
- **Szilícium**
- **Germánium**
- **Köbös bór-nitrid**



- **Gyémánt:**
  - Természetes: bányásszák
  - Mesterséges: 3000 C°-on, 7500 MPa nyomáson szénből kristályosítják
- **Köbös bór-nitrid (CBN)**
  - Csak mesterségesen állítható elő bór-nitrid ásványból
  - 1500 C° feletti hőmérsékleten, 8500 MPa nyomással képződik





- **Elektródák, tégelyanyagok**
- **Félvezetők**
- **Húzógyűrűk volfrám és egyéb nagy hőmérsékleten alakítható fémekhez (elsősorban mesterséges gyémántból)**
- **Forgácsoló szerszámok:**
  - A szerszám élére raknak fel vékony rétegben kis szemcséket
  - Nagy sebességű forgácsolás köbös bórnitriddel előnyösebb



## Tulajdonságok:

- nagy keménység
- nagyon magas az olvadáspontjuk.  
Keménységüket magas hőmérsékleten is megtartják.

**Lehetnek:** nitrídek, karbonitrídek, boridok. Ide sorolhatjuk a porkohászati úton előállított keményfémeket is .





## Felhasználás:

- szerszámanyagokként pl.  
Vágóélek
- Bevonatokat is készítenek  
belőlük



- **titánnitrid** (felületi bevonat),
- **köbös bórnitrid** amely nagysebességű forgácsoló szerszámanyag mivel nem lép reakcióba a fémmel.
- **szilícium nitridek**  $\text{Si}_3\text{N}_4$  a legnagyobb szilárdságú, viszonylag ütésálló, kopásálló, **hőszokkálló kerámia**. Ezen tulajdonságai miatt a járműiparban **hengerbélés, dugattyúcsap, turbófeltöltő kerék, előégető-ill. örvénykamra** anyaga lehet.





- **SIALON** (pl.  $\text{Si}_3\text{Al}_3\text{O}_3\text{N}_5$ ) tulajdonságai a szilíciumnitridhez hasonlók (fémoxid (pl.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) adalék hozzáadása), de **alacsonyabb hőmérsékleten szinterelhető**. Többek között izzólámpák szálainak **húzására** alkalmas **szerszámok anyaga**, ill. forgácsoló szerszámok anyagaként.
- A **szilíciumkarbid** ( $\text{SiC}$ ) különlegesen kemény, csiszolóanyag, de készítenek belőle szilitrudakat is.



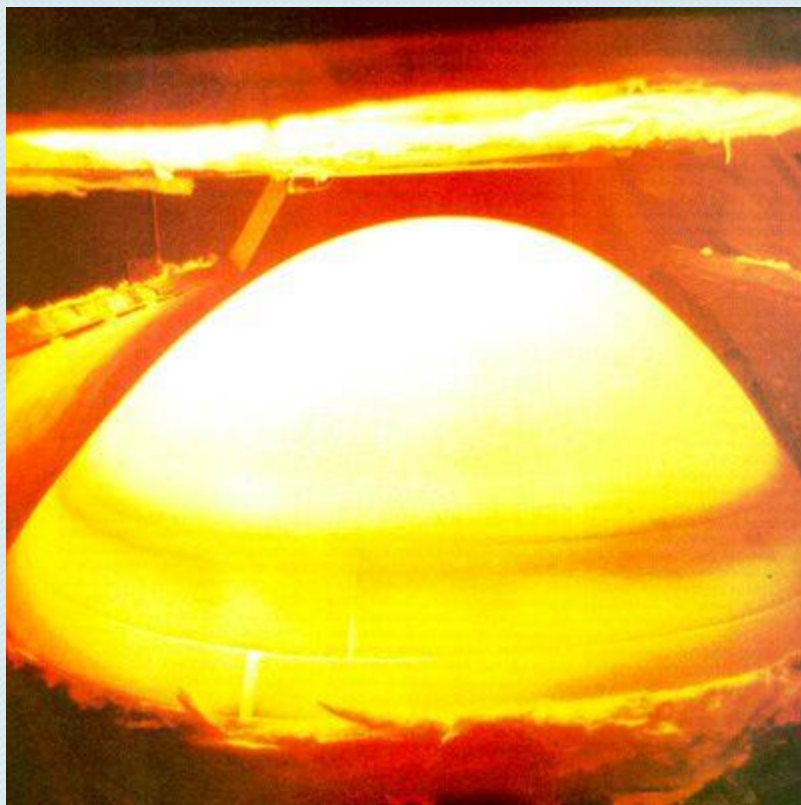
**Alumínium nitrid:** nagyfokú hővezető képesség, jó elektromos szigetelő

- elektrotechnikai ipari alkalmazás
- ideális anyagok a távközlési technológiában
- félvezetőknél hordozóként, nagy teljesítményű elektronikai alkatrészekhez, burkolatokhoz és hőtartályok anyagához használják.













- Az oxidkerámiák **alapanyaga** alumíniumoxid, cirkóniumoxid, titánoxid, magnéziumoxid és berilliumoxid.
- **Alkalmazási területük** a **tűzálló** anyagoktól a kémiai ill. mechanikai hatásnak kitett anyagok, szigetelő anyagok, vágószerszámok, csiszolóanyagok és orvosi implantátumok.



A szinterezett műszaki oxidkerámiák négy csoportba oszthatók:

- **Alumíniumoxid vagy műkorund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).** Nagy keménységű forgácsolószerszámok anyaga, nagy hővezetőképességű és viszonylag olcsó







- **Cirkónia vagy cirkóniumoxid ( $ZrO_2$ ).** Erős **koptatóhatásnak** kitett szelepekhez, fúvókákhoz, csapágyakhoz, szerszámokhoz használják. Termikusan stabil, hősokk álló.





- magnézium oxid  $\text{MgO}$  ( $2800\text{ C}^\circ$ )
- Az  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -hoz  $2050\text{ C}^\circ$  és a  $\text{ZrO}_2$ -hoz ( $2690\text{ C}^\circ$ ) képest még nagyobb olvadási hőmérsékletű),
- a  $\text{MgO}$  a  $\text{ZrO}_2$ -hoz adagolva részleges stabilitást eredményez, azaz akadályozza a  $\text{ZrO}_2$  termékek hőmérséklettől függő átalakulását és az ebből adódó térfogatváltozást.



A **fémoxid** (MeO) tartalmú mágnesezhető, szigetelő tulajdonságú, így kis örvényáram veszteségű *lágymágneses ferritek* ( $\text{MeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ , Me = Mn, Cr, Co, Ni, Cu, Mg, Zn, Cd) ill. *keménymágneses ferritek* ( $\text{MeO} \cdot 6[\text{Fe}_2\text{O}_3]$ , Me = Ba, Sr, Co).



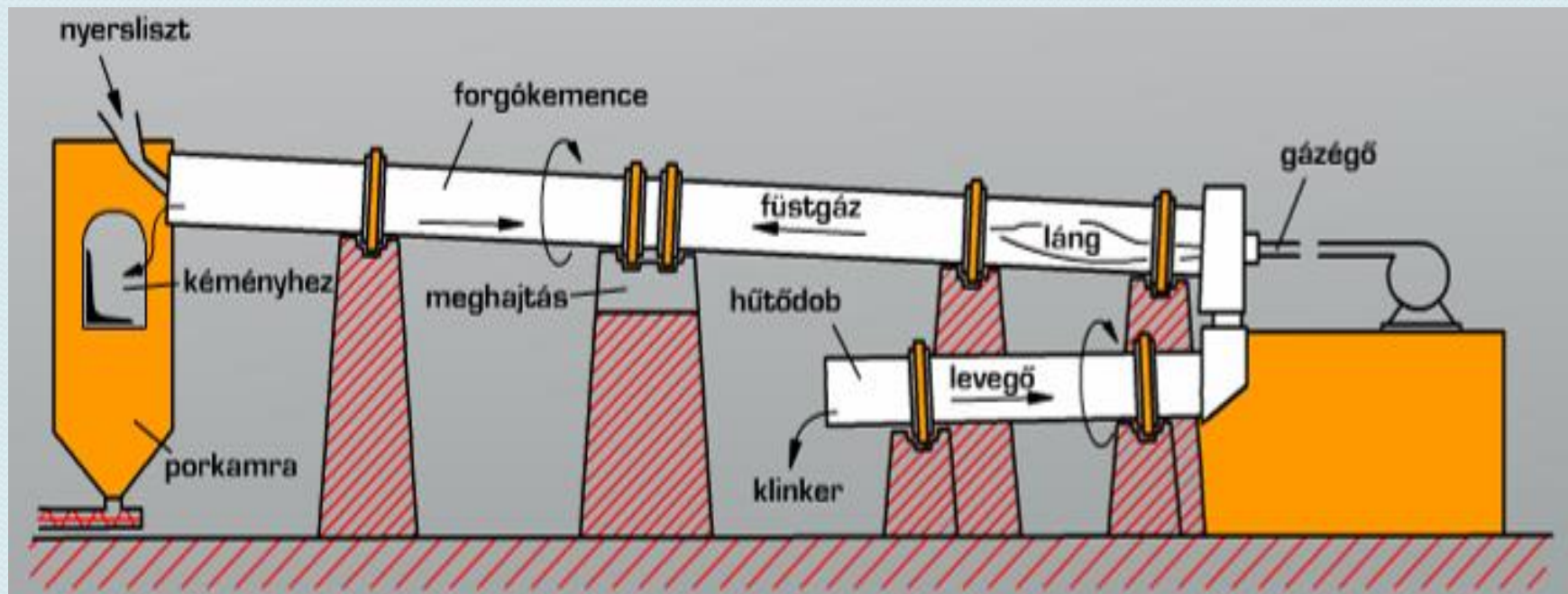


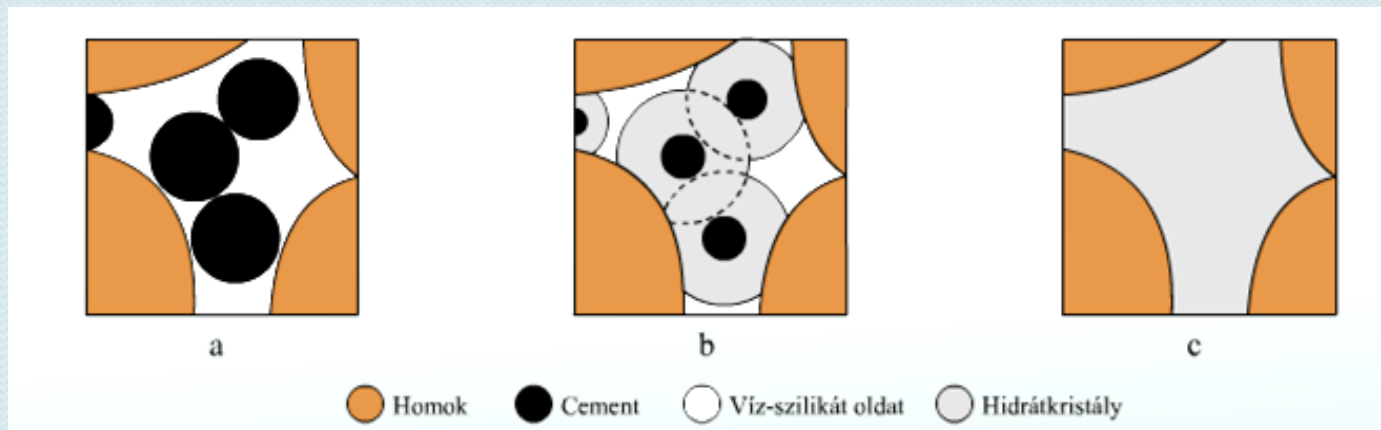
részben polikristályos anyagok, amelyeket amorf üvegmátrix hőkezelésével állítanak elő. A hőkezelés a nagyhőmérsékleten olvadó csiraképzőkkel ( pl  $\text{TiO}_2$  és  $\text{ZrO}_2$ ) adalékolt anyag lehűtés utáni megeresztése. Ilyenkor az üvegmátrixba ágyazott kristályok képződnek, amelyek különleges optikai és elektromos tulajdonságokat, csekély hőtágulást ill. hőingadozás állóságot eredményeznek. A kristályos rész 50-95 % lehet



- Nyersanyag: mészkő és agyag
- Előkészítés: őrlés, keverés
- Kiégetés: 1300...1500 C°-on, forgó kemencében
- Aprítás  $\Rightarrow$  ez a cement
- Felhasználás: a cement vízzel keverve megköt







- A cement és a homok (sóder) víz hatására stabil hidrát-kristállyá alakul át
- A folyamat szobahőmérsékleten megy végbe, végleges kikeményedés 28 nap után









Ahhoz, hogy a kerámiákat különleges szerkezeti anyagként lehessen felhasználni, szívósságuk növelésére volt szükség.

A **szívósság növelésének** legfontosabb módszerei:

a/ a **mikrorepedések számának csökkentése**. Ezt elsősorban finom (szubmikronos) por felhasználásával, adalékokkal, pórusmentes terméket eredményező formázási és égetési eljárásokkal érték el;

b/ a **mikrorepedések terjedésének megakadályozása**:

Fázisátalakulással (transformation toughening). Ebben az esetben a mikrorepedés olyan fázisátalakulást indít el, mely a repedés tovaterjedését gátolja (pl.  $ZrO_2$ -dal szivósított  $Al_2O_3$ );

c / **Erősítőszálak vagy tűkristályok (whiskerek) beépítésével** (kerámia mátrixú kompozitok).





- A kerámiák rideg, kemény, hőálló és korrózióálló anyagok
- Természetes és mesterséges alapanyagokból állíthatók elő
- A mindennapi alkalmazásuk széleskörű (üveg, téglá, cserép, beton)
- A műszaki kerámiák a nagy terhelésnek kitett szerkezetekben használatosak (pl. jármű motorok)



**KÖSZÖNÖM A  
FIGYELMET!**