

2. MODUL: Műszaki kerámiák

A műszaki kerámiák különböző fajtáival, tulajdonságaival és alkalmazásaival ismerkedünk meg. A tudásanyag segítséget nyújt abban, hogy képesek legyünk meghatározni a műszaki kerámiák helyét a többi szerkezeti anyag között. Látni fogjuk, hogy szerkezeti anyagként való alkalmazás mellett sok speciális célra is alkalmazhatók az egyes kerámiafajták.

2. modul 1. lecke: Kerámiák tulajdonságai, szilikátkerámiák

A **lecke célja** az, hogy mechanikai és termikus viselkedés szerint általánosan jellemezzük a kerámiákat. Foglalkozunk az általános csoportosítással, továbbá terjedeleme szerint az első nagyobb csoportnak, a szilikát kerámiáknak a tárgyalása is ehhez a leckéhez tartozik.

Ön akkor sajátította el a tananyagot, ha képes;

- meghatározni a műszaki kerámiák helyét a többi anyag között mechanikai és termikus viselkedés alapján,
- jellemezni a hősokk állósági tulajdonságot diagram és formulák segítségével
- megkülönböztetni a különböző műszaki kerámia csoportokat
- bemutatni az egyes szilikát kerámia fajtákat

Időszükséglet: előadás időtartama 1,5 óra. Otthoni, egyéni tanulásban kb. +2 óra az elsajátítás ideje.

Kulcsfogalmak:

- műszaki kerámia
- sűrűség, hajlító szilárdság, keménység, rugalmassági modulusz,
- hővezetés, hőtágulás
- hősokk állóság
- szilikát kerámiák
- műszaki porcelánok
- szteatitok, kordieritok, mullitok

Tartalom:

Tevékenység: A lecke áttanulmányozása után, a követelményekben meghatározottak alapján rögzítse, majd foglalja össze a lecke tartalmát, készítsen feljegyzéseket (pl. a kulcsfogalmakról)

1. Definíció



1. ábra: Műszaki kerámiákból készült termékek

A kerámiák szervesetlen, nemfémes anyagok. A nyersanyagból általában szobahőmérsékleten alakítják ki a termék formáját, amely azt követően hőkezelés (égetés) során nyeri el a végleges fizikai, mechanikai stb. tulajdonságokat.

A német kerámiaiparban megkülönböztetnek *durva és finomkerámiákat*, a nyersanyag szemcseméretétől függően. 0,1 mm jellemző szemcseméret a két csoport közötti határérték, mivel az ennél kisebb méretek szabad szemmel már nem láthatóak.

Műszaki kerámiák elnevezéssel foglalják össze a különböző műszaki alkalmazásokban előforduló kerámia termékeket.

2. Műszaki kerámiák mechanikai és hővezetési tulajdonságai

Az 1. táblázatban a jellemzőbb kerámiafajták néhány tulajdonságát hasonlíthatjuk lágyacélok és öntöttvasak tulajdonságaihoz. Általánosságban azt lehet mondani, hogy a kisebb sűrűség ellenére a szilárdsági tulajdonságok jobbák a kerámiák esetében, mint az acéloknál és öntöttvasaknál, és ezt a jó szilárdságot a kerámiák magas hőmérsékleten is sok esetben képesek megtartani. A rugalmassági modulusz is azonos nagyságrendbe esik, vagy nagyobb, mint az acélok és öntöttvasak esetében. Kiseb a hőtágulásuk, a sok jó tulajdonságok mellett azonban a törési szilárdság az, amely lényegesen elmarad a lágyacélok törési szilárdságától.

1. táblázat: Kerámiák tulajdonságai

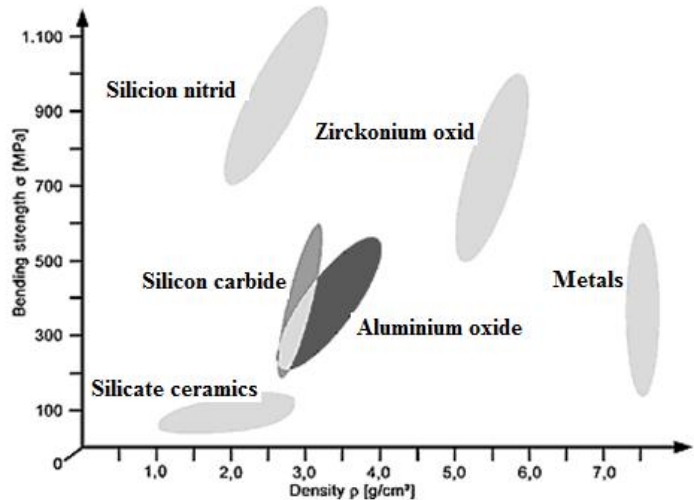
tulajdonság	por- ce- lán	szte- atit	aluminium oxid	cirkóni- umoxid	szilícium- nitrid			SIALON	szilícium- karbid			lágy- acél	öntött- vas	
			(> 99%)	PSZ	SSN	HPSN	RBSN		SSIC	RSIC	SISIC			
sűrűség	g/cm ³	2.3	2.7	3.94	6	3.3	3.4	2.5	3	3.15	2.8	3.12	7.85	7.3
hajlító- szilárdság 25 °C	MPa	110	140	520	1000	1000	900	330	355	600	120	450	300 - 450	95 - 170
hajlító- szilárdság 1000 °C	MPa	-	-	-	-	-	-	300	355	650	130	450	-	-
rugalmas- sági modulusz	GPa	70	110	360	210	330	800	180	231	450	280	350	200 - 210	70 - 130
törési szilárdság	MNm ^{-3/2}	-	-	5.5	> 8	8.5	8.5	4	2.2	5	3	5	140	-
lineáris hőtágulási együttható	10 ⁻⁶ K ⁻¹	8	8.5	8	5	3.5	3.28	3	3	4.8	4.8	4.8	10	12

A műszaki kerámiák sűrűsége 20-70%-át teszi ki az acélok sűrűségének. Ez jelentős tömegcsökkentést hozhat, amely különösen előnyös lehet a gépszerkezetek mozgó alkatrészeinél.

A 2. ábra a hajlítószilárdság és a sűrűség szerint mutatja a kerámiák és a fémek kapcsolatát.

Azt látjuk, hogy sűrűség szerint az összes kerámia alkalmazása kedvezőbb a fémeknél

A hajlítószilárdságot tekintve a szilíciumkarbid és az alumíniumoxid kerámiák kb. azonos teherbírásúak, mint a fémek, míg a szilíciumnitrid és a cirkóniumoxid kerámiák hajlítószilárdsága lényegesen nagyobb a fémekénél.

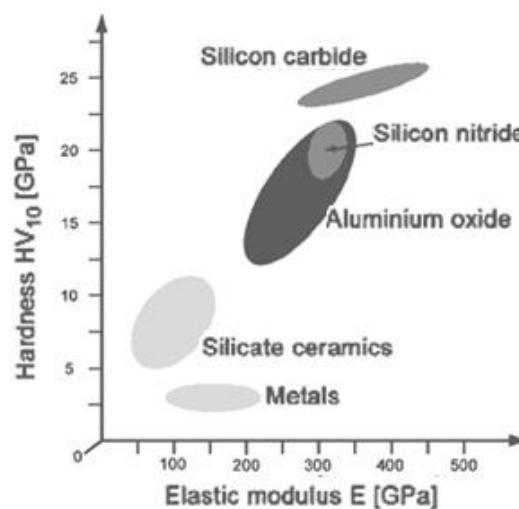


2. ábra: Kerámiák és fémek sűrűsége és hajlítószilárdsága

A táblázatban és az ábrán a hajlítószilárdságok vannak feltüntetve, az erre vonatkozó tendenciák azonban érvényesek a szakítószilárdságra is, mivel a szakítószilárdság általában kb. 20%-kal kisebb a hajlítószilárdságnál.

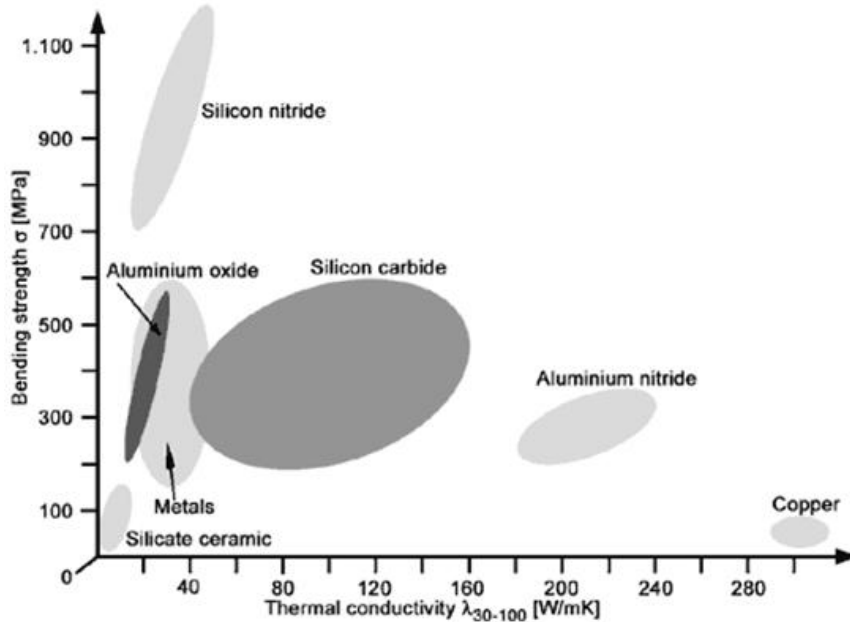
A 3. ábrán a rugalmassági modulusznak és a keménységnek az összehasonlítását látjuk.

Keménység szerint az összes kerámia lényegesen jobb tulajdonságokat mutat, mint a fémek. A szilkátkerámiák kivételével a rugalmassági modulusz is nagyobb a kerámiák esetében.



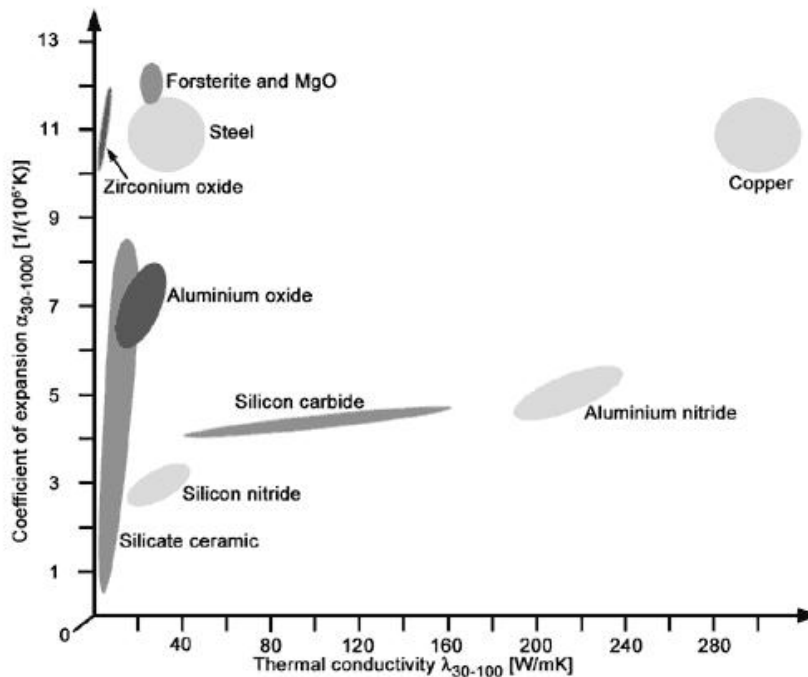
3. ábra: Kerámiák és fémek rugalmassági modulusza és keménysége

Hővezetés szempontjából a kerámiák rendkívül változó tulajdonságot mutatnak. Találunk közöttük a fémeknél rosszabb, de sokkal jobb hővezetési tényezővel rendelkező fajtát, 4. ábra. Ennek megfelelően a műszaki területen találunk hőszigetelőként és hővezetőként alkalmazott kerámiákat is.



4. ábra: Kerámiák és fémek hővezetési tényezője és hajlítószilárdsága

A hőtágulás majdnem minden fajtánál kisebb, mint a fémek esetében, 5. ábra. A hőtechnikai tulajdonságok között hangsúlyozandó, hogy a kerámiák jó része a kedvező mechanikai és korrózióálló tulajdonságait magas hőmérsékleten is megtartja.



5. ábra: Kerámiák és fémek hővezetési tényezője és hőtágulási együtthatója

A kerámiák nagy része érzékeny a hősokk hatásra, amely azt jelenti, hogy a hirtelen hőmérsékletváltozás tönkremenetelhez vezethet. Az alumíniumtitanátoknak, a szinterezett szilikátoknak és a kordieriteknek azonban jó a hősokk állósága.

A hősokk hatással szemben való érzékenység a hőmérsékleti gradiensekből származó belső feszültségekből, valamint a kerámiáknak a rendkívül rideg természetéből ered. Amíg a hősokk hatás a fémek szerkezetében többnyire képlékeny alakváltozást okoz, addig a kerámiákban repedéseket vált ki.

A hősokkkal szemben való viselkedést befolyásolják többek között az alábbi tulajdonságok:

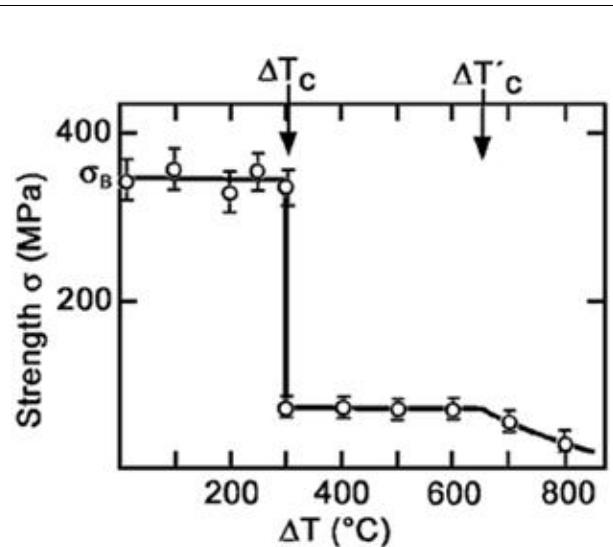
- geometriai határfeltételek,
- hőhatások nagysága,
- fizikai tulajdonságok:
 - hőtágulási tényező: α
 - rugalmassági modulusz: E ,
 - hővezetési tényező: λ ,
 - szilárdság: σ .

A hősokk hatással szemben való érzékenységet Hasselmann által ajánlott módszerrel határozzák meg.

A vizsgált mintát először magas, T_0 majd alacsony T_u hőmérsékleten tartják. A lehűtés után mérik a szilárdságot.

A feszültségnek a $\Delta T = T_0 - T_u$ függvényében felvett görbéjét mutatja az 6. ábra. ΔT_C hőmérsékletkülönbségig a feszültség nem változik. ΔT_C hőmérsékletkülönbségnél a feszültség hirtelen lecsökken.

Ez a csökkent érték azután újra változatlan marad $\Delta T'_C$ hőmérsékletkülönbségig, azután ennél nagyobb hőmérsékletkülönbségeknél fokozatosan csökkenni kezd.



6. ábra: A hősokk hatásnak kitett minta feszültséggörbéje, Hasselmann módszere szerint

A hősokk-ellenállást (R_S) a szakirodalom a következőképpen definiálja:

$$R_S = (\lambda * \sigma_B) / (\alpha * E)$$

ahol: σ_B a hajlítószilárdság,
 α a hőtágulási együttható,
 E a rugalmassági modulusz,
 λ a hővezetési tényező.

A fenti paraméterek mellett a geometria is erősen befolyásolja a hősokkal szemben való ellenállást. Az anyag táblázatokban R_S értékét különböző geometriai alakzatokra külön táblázatokban tüntetik fel.

3. Csoportosítás

A műszaki kerámiák három csoportba sorolhatók:

- szilikát kerámiák
- oxid kerámiák
- nem oxid kerámiák

A **szilikátkerámiák** a legrégebben ismert kerámiák, ebbe a csoportba tartozik a legtöbb kerámiafajta, mint a porcelánok, szteatitok, kordieritok, mullitok.

Az **oxidkerámiák** általában döntően fémoxidokból állnak. A nyersanyagok nagytisztaságú szintetikus alapanyagok. Magas hőmérsékleten való szinterezés után ezek a kerámiák jó mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek. Léteznek egyetlen fém oxidjából álló kerámiák, mint az alumínium-, magnézium-, cirkónium és titánoxid kerámiák, valamint többoxidos szerkezetek, mint az alumíniumtitanátok, cirkóniumtitanátok (piezo-kerámiák), vagy cirkóniumoxiddal erősített alumíniumoxid kerámiák. Gyakorik az elektromos vagy elektronikai alkalmazások, de használják őket szerkezeti anyagként is.

A **nem-oxid kerámiák** bór, szén, nitrogén és szilícium vegyületekből álló anyagok. A vegyületekre legtöbbször a kovalens kémiai kötés jellemző, ezért ezek a kerámiák magas hőmérsékleten is alkalmazható, nagy rugalmassági modulusszal rendelkező, nagy szilárdságú, kemény, korrózió- és kopásálló anyagok. Ide tartoznak a szilíciumkarbid, szilíciumnitrid, alumíniumnitrid, bórnitrid és borkarbid kerámiák.

4. Szilikát kerámiák

4.1 Műszaki porcelánok

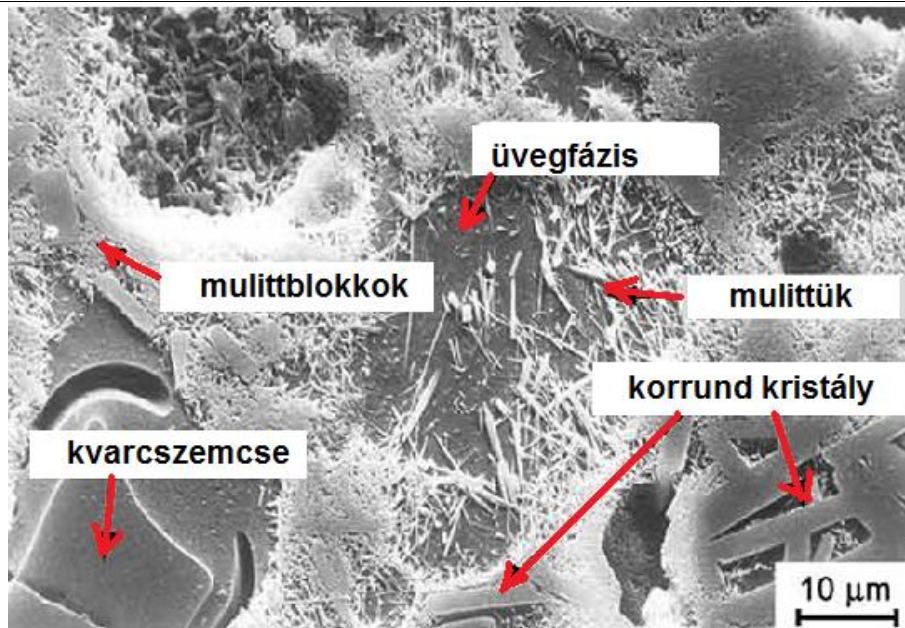
Az elektromos iparban gyakran alkalmazott anyagok. Mivel az elektromosságot régóta használják mind az iparban, mind pedig a háztartásokban, a műszaki porcelánok is régóta megtalálhatók ezen a területen, mivel kiváló tulajdonságokkal rendelkeznek:

- nagy szilárdság,
- kiváló elektromos szigetelő tulajdonság,
- kiemelkedően erős ellenállás a korrózióval szemben.

Az elektromos ipar, növekvő igényeivel párhuzamosan a műszaki porcelánok előállítására egyre nagyobb szükség van, a mennyiség növekedésével együtt azonban folyamatosan javul

ezen anyagok minősége is. A mai kereskedelmi forgalomban kapható alumínium porcelánok jól bírják a hirtelen hőmérsékletváltozásokat (-50 °C to 550 °C között) és jelentősen megnőtt a szilárdságuk is a régóta ismert kvarc porcelánokéhoz képest. A nagy mechanikai és hőterheléseket hosszú ideig képesek elviselni szabad levegőn is, és ezért a nyitott kapcsolóállomásokon szigetelőként jól bevált anyagok.

A legújabb kutatási eredmények azt jelzik, hogy a hidrofób tulajdonságú felületek javítják a külső rétegnek az elektromos tulajdonságait. Új innovációs terület az alumíniumnak bauxittal való helyettesítése, amely lényegesen olcsóbb, de hasonlóan jó tulajdonságokkal rendelkező anyagot jelent.



7. ábra: Alumínium porcelán mikroszerkezetéről készült pásztázó elektronmikroszkópos felvétel

A kvarc kerámiák (SiO_2) olcsóbbak, mint az alumínium kerámiák (Al_2O_3), ezért kisebb mechanikai és hőigénybevételek esetében még ma is kvarc kerámiákat használnak, tehát mindkét fajta porcelánnal gyakran találkozunk a műszaki alkalmazásokban.

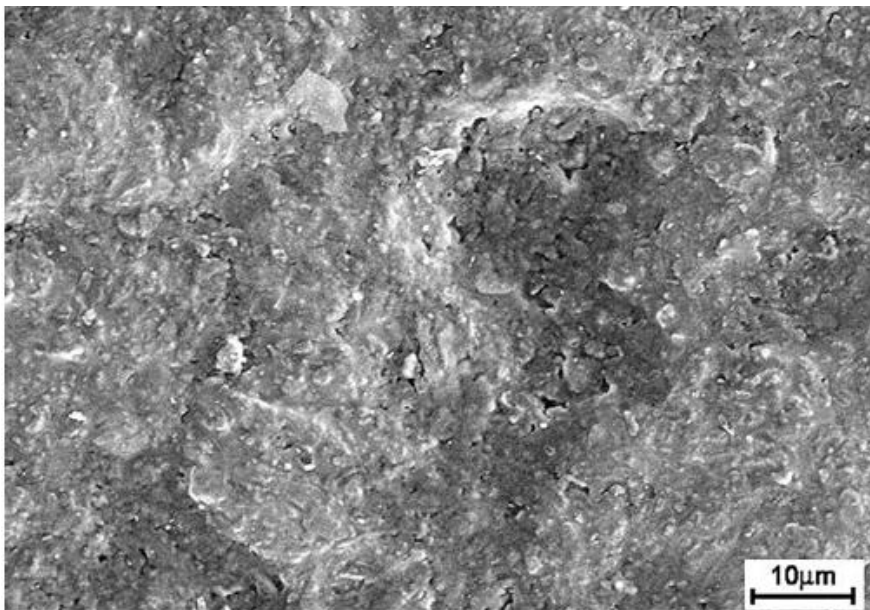
4.2 Szteatitok

A szteatitok természetes nyersanyagokon alapuló kerámiák, amelyek főképpen magnéziumszilikátból, az ún. szappankőből ($\text{Mg}(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$) állnak, valamint agyag, földpát vagy báriumkarbonát adalékokat tartalmaznak. Szinterezés után nagy sűrűségű anyagok.

Az adalékanyag típusa befolyásolja ezeknek a kerámiáknak az elektromos (szigetelő és dielektromos) tulajdonságait, ez alapján megkülönböztetünk közönséges és különleges vagy más néven nagy-frekvenciás szteatiteket.

A különleges szteatiteket a nemzetközi szabványokban úgy definiálják, mint alacsony dielektromos veszteségfaktorral rendelkező anyagok, amelyeket nemcsak nagyfrekvenciás alkalmazásoknál használnak, hanem a kiváló megmunkálhatóságuk miatt kicsi, egyenletes falvastagsággal rendelkező termékek előállításánál is, ahol a hőterhelés által kiváltott mechanikai feszültségek jól kontrollálhatóak. Ehhez járul még a gazdaságos gyártástechnológia, amely során kis zsugorodás mellett kis túrések megvalósítása jól megoldható. Kevésbé veszik igénybe (koptatják) a szerszámot, mint a többi kerámia.

Megtaláljuk ezeket a kerámiákat tipikusan különböző foglalatokban, konnektorokban, szigetelő anyagokban, biztosítékokban, akkulemezekben, hőpalackokban, hőtartályokban, valamint a porózus szteatit az az anyagok, amelyekkel erős hősokk állóságot igénylő alkalmazásokat készítenek.



8. ábra: Szteatit kerámia felülete

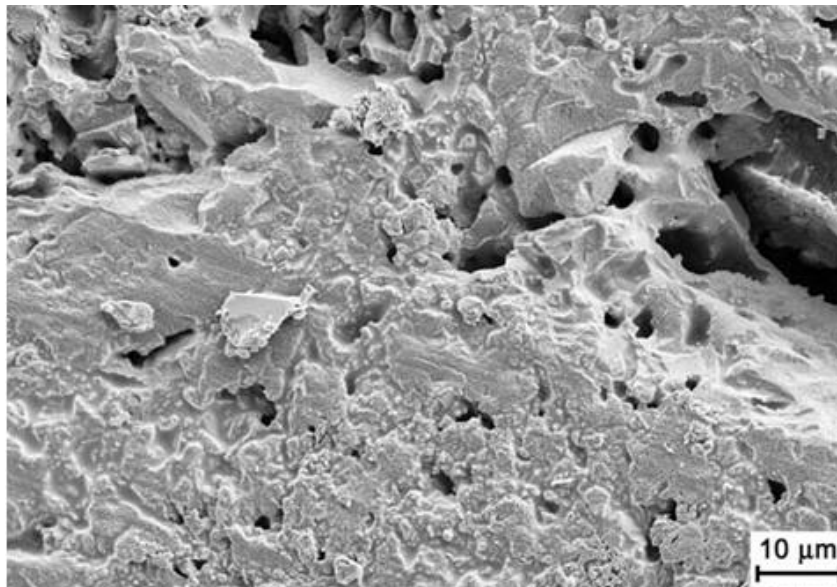
4.3 Kordieritek

A kordieritek szappankövekből előállított magnézium-alumínium-szilikátok, vagy kaolinnal, agyaggal, korunddal és mullittal adalékolt talkumok. Egy nagyon egyszerű közelítő leírása a kordieritek kémiai összetételének: 14 % MgO, 35 % Al₂O₃ and 51 % SiO₂.

A kordieriteknek kicsi a hőtágulási együtthatójuk. Ezért alkalmazzák őket olyan műszaki alkalmazásokban, ahol a kiváló hőszigetelési követelmények mellett nagy szilárdság is szükséges. Megkülönböztetünk porózus és tömör kordieriteket. A porózus kordieriteknek alacsony a kötőszilárdsága, de a hőszigetelési képessége jobb, mint a tömör kordieriteknek, mivel a hőmérsékletváltozás okozta mechanikai terheléseket a porózus szerkezet el tudja nyelni.

A kordieritek semlegesülnek a fűtőelemként használt ötvözetekkel 1000-1200°C alatt, azaz nincs kémiai reakció az ötvözet és a kerámia anyaga között. Emiatt gyakran használják őket elektromos fűtéshez kapcsolódó műszaki anyagokhoz. Például szigetelő anyagként elektromos vízmelegítőknél, csövek vagy a fűtő elem rögzítésénél, fűtőszálak csatlakozásainál, forrasztópáka hőtartályok anyagaként, gáz hőszigetelő betétekben, autók katalizátor tartójában.

Magasabb hőmérsékleten működtetett műszaki alkalmazásoknál kordierit, mullit és alumíniumoxid speciális keverékét használják.



9. ábra: Porózus kordierit mikroszerkezete

4.4 Mullit kerámiák

Az alumíniumoxid, szilíciumoxid, az $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ rendszer egy speciális kémiai összetétel arányánál beszélünk mullitokról. A tiszta mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) 82,7 % alumíniumoxidot és 17,3 % szilíciumoxidot tartalmaz. Hagyományos szinterezési technológiákkal nem lehet előállítani tömör, tiszta mullitot.

A szinterezett mullitok max. 10 % üvegfázisú anyagot tartalmaznak. Az átlagos porozitásuk is 10 % körüli. A következő összefoglaló táblázat (1. táblázat) mutatja a kémiai összetételeket, az M72 és M85 jelű anyagok tipikus mullit kerámiák.

2.táblázat: Mullitok kémiai összetétele

<i>Anyag</i>		<i>M 72</i>	<i>M 85</i>
Al ₂ O ₃	tömeg%	72	85,5
SiO ₂	tömeg%	26,5	13,5
Mullit	tömeg%	90 - 95	50 - 55
Korund	tömeg%	1	45 - 50
üvegfázis	tömeg%	5 - 10	0,5
sűrűség	g/cm ³	2,85	3,2
porozitás	térfogat%	9	10

A kevés üvegfázist tartalmazó mullit kerámiáknak viszonylag magas a szilárdsága, ezzel párhuzamosan kicsi a hőtágulása, ezért a hősokk ellenállása is magas. A kúszással szembeni ellenállásuk jobb, mint az alumíniumoxid kerámiák esetében.

Égető kemencék vagy más magas hőmérsékletű kemencék belső berendezéseikhez 1700^oC-ig még oxidáló közegben is jól megfelelnek. A rossz hővezetés és a jó korrózióállóság miatt a porózus mullitokat általában hőálló, tűzálló anyagként alkalmazzák az iparban.

A porozitás mértékét az üvegfázis arányának a növelésével (> 10 %) jelentősen csökkenteni lehet. Az ilyen mullitokban egyidejűleg teljesülnek a nagy szilárdsági, a jó hősokk állósági és a jó kúszással szemben való ellenállási tulajdonságok. Fontos alkalmazás például termoelemek védőcsöveinek az anyagaként való felhasználás.

Irodalom:

1. Műszaki kerámiák információs weboldala, német szakirodalom gyűjtemény:
http://www.keramverband.de/brevier_engl/brevier.htm
2. David Stienstra: Introduction to design of structural ceramics, Rose-Hulman Institution of Technology, 2004
3. F. Fishel, L.J. Gauckler: Ceramic Materials, ETH-Zürich, Department Materials, 2007

Önellenőrző kérdések:

1. Az alábbi felsorolásból milyen komponenseket tartalmazhatnak a kerámiák?
 - a) vas, vasoxid,
 - b) alumínium, alumíniumcarbíd,

- c) vasoxid, polivinilklorid
 - d) vasoxid, alumíniumnitrid (x)
2. Mely tulajdonságok szerint jobbak a kerámiák az öntöttvasaknál és az acéloknál?
- a) nagyobb hajlítószilárdság, nagyobb törési szilárdság
 - b) nagyobb keménység, jobb szívósság
 - c) nagyobb szilárdság, nagyobb rugalmassági modulusz (x)
 - d) nagyobb rugalmassági modulusz, nagyobb hőtágulás
3. Mely kerámiafajták szakítószilárdsága haladja meg a fémekét?
- a) szilíciumnitridek (x)
 - b) alumíniumoxidok
 - c) szilikát kerámiák
 - d) cirkóniumoxidok (x)
 - e) szilíciumkarbidok
4. Mely kerámiafajták keménysége rosszabb, mint a fémeké?
- a) szilíciumnitridek
 - b) alumíniumoxidok
 - c) szilikát kerámiák
 - d) cirkóniumoxidok
 - e) szilíciumkarbidok
 - f) egyik sem (x)
5. Milyen hőtechnikai tulajdonságok jellemzőek általában a kerámiákra?
- a) kicsi hővezetési tényező
 - b) kicsi hőtágulási tényező (x)
 - c) kiváló hőszigetelés
 - d) magas hőmérsékleten kicsi hővezetési tényező
6. Milyen jellemzők javítják a hősokk állóságot?
- a) nagy szilárdság, jó hővezetés (x)
 - b) nagy szilárdság, nagy hőtágulás
 - c) kis rugalmassági modulusz, jó hővezetés
 - d) kis rugalmassági modulusz, nagy hőtágulás
7. Mely meghatározások igazak a műszaki porcelánokra az alábbiak közül?
- a) nagy szilárdság, hősokk állóság, elektromos vezető
 - b) nagy szilárdság, korrózió állóság, elektromos szigetelő (x)
 - c) bauxit tartalom rontja a korrózió állóságot
 - d) SiO₂ porcelánok alkalmazásai kiszorították az alumínium kerámiák
8. Mely alkalmazások jellemzőek a szteatitknél?
- a) nagy zsugorodás miatt nehezen sajtolhatóak
 - b) kis túréssel rendelkező, egyenletes falvastagságú termékek
 - c) nagy-frekvenciás alkalmazásokban, akkulemezekben (x)
 - d) kis fajsúly miatt szigetelő burkolatokban
9. Mely tulajdonságok jellemzőek a kordieritknél?
- a) kis hőtágulási együttható, rossz hősokk állóság, tömör szerkezet

- b) erős hajlam kémiai reakciókra a fémötvözetek komponenseivel
- c) hőszigetelő anyagként alkalmazhatóak hőszigetelő betétekben (x)
- d) kis hőtágulási együttható, jó hőszigetelő képesség, jó hővezetés

10. Milyen fajta mullitok alkalmazhatók a termoelemek védőcsöveiben?

- a) kis porozitású, kevés üvegfázis tartalmú
- b) nagy porozitású, jelentős üvegfázis tartalmú
- c) nagy porozitású, kevés üvegfázis tartalmú
- d) kis porozitású, jelentős üvegfázis tartalmú (x)