

# SZILIKÁTTECHNIKA

## Szilika tűzálló anyagok használata üvegolvasztó kemencékben Gyártás, mineralógia és alkalmazás közbeni viselkedés

F. Brunk

Dr. C. Otto Feuerfest GmbH, Bochum



1. ábra. Dr. C. Otto Feuerfest GmbH

### 1. Bevezetés

Az 1872-ben alapított és jelenleg a Preussag csoporthoz tartozó Dr. C. Otto Feuerfest GmbH évi 130 000 tonna jó minőségű,  $\text{SiO}_2$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{ZrO}_2$ - $\text{MgO}$  összetételű tűzálló terméket állít elő Bochum-Dahlhausenben, Arloffban (Köln és Aachen között) és Breitscheidben (Köln és Frankfurt között) található gyáraiban. A Dr. C. Otto Feuerfest<sup>1</sup> 1994 óta a DIN ISO 9001 szerint minősített vállalat.

A társaság bochumi telepe Nyugat-Európa legnagyobb szilikaüzeme: havi háromezer tonna szilikátégla-gyártó kapacitással rendelkezik. Nem utolsósorban rendkívüli gyártásbeli rugalmasságának köszönhetően a Dr. C. Otto Feuerfest GmbH különféle téglatípusok és habarcsok széles körét ajánlja a felhasználó igényeinek megfelelően.

A tömör szilika idomtégla általában több mint 93%-ban  $\text{SiO}_2$ -ot tartalmaz. Az üvegolvasztó kemencékben használt téglák esetében (elsősorban mésznátronüveg gyártásánál) a  $\text{SiO}_2$ -tartalom 95% fölött van. A megkülönböztető kritérium a folyósítószer ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  és alkáliák) mennyisége és a

mésztartalom (CaO). A szilikátégla ideális termomechanikai tulajdonságokkal rendelkezik azon hőmérséklet-tartományokban, amelyek alapvető fontosságúak az ipari üvegyártásban. Használják továbbá azért is, mert kicsi a meghibásodási aránya és kedvező a költsége.

A hőveszteség csökkentése érdekében a kemenceboltozatokat könnyű szilikátéglával ( $\text{SiO}_2$ -tartalom  $\geq 91\%$ , teljes porozitás  $> 45\%$ ) bélelik. Olvasztva öntött szilika idomtéglat főleg a keverékadagoló zónában használnak a hőárnyékoló falaknál, de használják melegjavításnál is. A szilikátéglákat alkalmazástól függően különféle típusú habarcsokkal rögzítik. A boltozat gázzáró lekenéséhez, a dilatációs hézagokhoz, melegjavításnál vagy a kemenceboltozat hőszigeteléséhez különféle masszákat használnak.

### 2. Tömör kristályos szilikátéglák

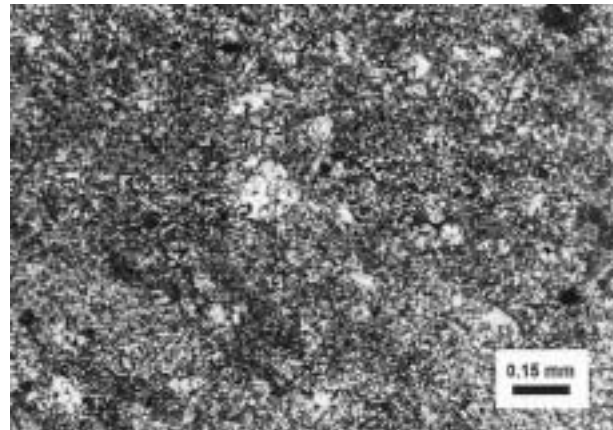
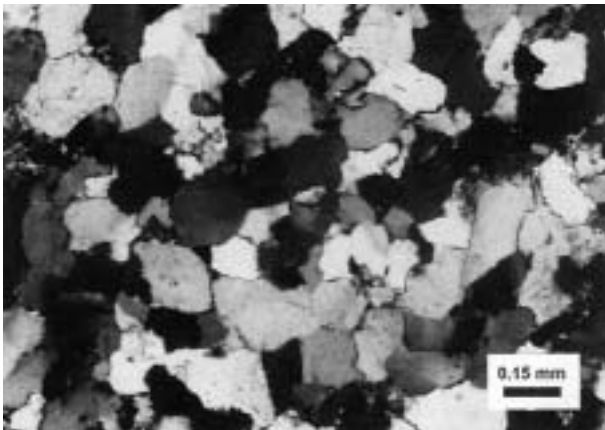
#### 2.1. Gyártás

A szilikátéglák gyártása a tűzállóanyag-iparban szokásos általános műveleti lépések szerint zajlik, vagyis előkészítés, formázás, szárítás, kiégetés...

Az ipari téglagyártásban a legfőbb **alpanyagok** a világ minden részén a természetes, jó minőségű kvarcitok, melyek  $\text{SiO}_2$ -tartalma 97% fölött van. Az elsődleges megkülönböztetést a durvakristályos, nem cementálódott kvarcit és a finomkristályos (kriptokristályos) kvarcit között tehetjük (2. ábra). A további szilikátégla-jellemzők ezzel összefüggésben kerülnek meghatározásra. A kvarcit ásványtani szempontból  $\beta$ -kvarcból (az  $\text{SiO}_2$  kis hőmérsékletű módosulásából) áll, a szilikátégla pedig elsősorban tridimitet és krisztobalitet tartalmaz.

Az átmosott, őrölt kvarcitokhoz, melyeket meghatározott szemcsefrakció szerint osztályozták (szemcseméret

<sup>1</sup> A Feuerfest tűzállót jelent.



2. ábra. A durvakristályos és a finomkristályos kvarcit mikroszkópos képe (keresztezett nikoloknál)

< 4 mm), a vízen, valamint a préselésnél adalékanyagként használt kis mennyiségű szulfitoldaton kívül (~0,5–1,5%) kötőanyagként mintegy 1–4%-nyi oltott meszet  $\text{Ca(OH)}_2$ , valamint a kvarc átalakulását segítő mineralizátort adagolnak keverés közben. A CaO 600 °C fölött reakcióba lép az  $\text{SiO}_2$ -dal, és közbenső fázisokon keresztül mintegy 1000 °C-on pszeudowollastonitá ( $\alpha\text{-CaSiO}_3$ ) alakul, a kötőfázis összetevőjeként. Ez jelentősen befolyásolja az égetett szilikátégla szilárdságát, miközben nem csökkenti észrevehetően tűzálló képességét. A kvarc átalakulását vas-oxid adalékkal ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 1,5\%$ ) is segíteni lehet. A szilikátégla-gyártásban tiszta kvarchomokot is használnak az alapanyag részeként.

Az előkészített összesülő masszát hidraulikus préselen formázzák (fajlagos préselési erő kb. 80–100 MPa). A nagy homogenitással és méretpontossággal rendelkező préselt nyers darabokat az öntőforma egyenletes kiöntésével, valamint speciális préselési technológia alkalmazásával nyerik. A nagyon komplikált alakú, illetve nagyon kis szériában készülő téglákat gazdasági megfontolásokból a mai napig kézzel döngölik. A kifejezetten kézi döngölésre kifejlesztett keverék, valamint a nagy tapasztalattal rendelkező szakmunkások alkalmazása garantálja, hogy az elérhető téglajellemzők egyenrangúak legyenek a mechanikusan préselt téglákéval.

A nem szárított téglák mechanikai szempontból rendkívül érzékenyek, ezért nagyon gondosan kell velük bánni.

A **szilikátégla-égetés** kb. 1420–1480 °C közötti hőmérsékleten történik. Ez a folyamat legbonyolultabb lépése. A nyersanyagban található  $\beta$ -kvarc kiégetés közben irreverzibilisen krisztobalittá és tridimitté alakul. Az  $\text{SiO}_2$  polimorf viselkedésének köszönhetően a folyamat nagy változásokkal jár az anyagban (1. táblázat). A tömör szilikátéglák az égetés folyamán ennek következtében mintegy 4-5%-os lineáris növekedést mutatnak, és a szerkezetük is ennek megfelelően megváltozik. Emiatt a szilikátéglákat óvatosan kell égetni, hogy el lehessen kerülni a megrepedésüket, főként nagy idomok esetében. A kiégetendő idom függvényében az égetés 1–3 hétig

1. táblázat

**A  $\text{SiO}_2$  módosulása és térfogatváltozása**

Módosulás ↔ reverzibilis → irreverzibilis	Átalakulási hőmérséklet, °C	Térfogatvált., %
$\beta \leftrightarrow \alpha$ -kvarc	573	0,8–1,3
$\alpha$ -kvarc → $\alpha$ -krisztobalit	1250 (≈ 1050*)	17,4
$\beta \leftrightarrow \alpha$ -krisztobalit	≈ 260	2–2,8
$\alpha$ -kvarc → $\alpha$ -tridimit*	≈ 870	14,4
$\gamma \leftrightarrow \beta \leftrightarrow \alpha$ -tridimit*	117–163	0,5
$\alpha$ -tridimit → $\alpha$ -krisztobalit*	1470	0
$\alpha$ -krisztobalit → olvadék	1713 ± 10	–
$\alpha$ -tridimit → olvadék**	1670 ± 10	–
öntött szilika → $\alpha$ -krisztobalit	± 1150 fölött*	0,9

\* szennyező anyagok jelenlétében, \*\*gyors hevítésnél

tart. Ahhoz, hogy megérthessük a későbbi használat közbeni viselkedést, ismernünk kell bizonyos részleteket a téglá ásványi összetevőinek kialakulási és stabilitási kritériumairól.

Tridimit csak szennyezőanyagok jelenlétében jön létre. Képződése már a krisztobalitinál alacsonyabb hőmérsékleten megkezdődik (~ 870 °C és ~ 1250 °C). Az égetés közben uralkodó körülmények mellett (hőmérsékleti görbe) a kvarcátalakulás sebessége elsősorban a használt kvarcit típusától (a cementálódott kvarcitok gyorsabban alakulnak át, mint a nem cementálódottak), valamint a természetes nyersanyagban található szennyeződések típusától, mennyiségétől és megoszlásától függ. Az alkalmazott égetési feltételek függvényében a stabil fázist a tridimit képviseli. A kiégetett téglák azonban nagyrészt krisztobalitból állnak, mert a kvarc krisztobalittá való átalakulásának sebessége nagyobb, mint a tridimitté történőé. Az utóbbi képződését a hosszú égetési idő és a mineralizátorok jelenléte segíti elő. A tridimit és krisztobalit  $\text{SiO}_2$ -módosulatok mellett a szilikátéglák kis mennyiségben nem átalakult  $\beta$ -kvarcot (ún. maradvány vagy reziduális kvarcot) is tartalmaznak.

Ahhoz, hogy biztosítható legyen az egyenletes átalakulás (tridimit/krisztobalit arány, reziduális kvarctartalom), az égetési ciklusokat és a töltőanyagokat össze kell hangolni a termék formájával. A pontos égetési hőmérséklet-szabályozás és folyamatirányítás mellett homogén hőmérséklet-megoszlásra kell törekedni a megszilárduló keresztmetszet egészében. Elengedhetetlen a félkész és a késztermékek gondos ellenőrzése.

## 2.2. A szilikatégla ásványi összetételétől függő jellemzői

Az új üvegyipari kemencék bélelésére használt szilikatéglák ásványi összetételében átlagosan 35–50% a tridimit, 40–65% a krisztobalit, 4–8% a röntgen-amorf fázis (elsősorban rendezetlen  $\text{SiO}_2$ -fázisok), és mintegy 5% a pszeudowollastonit ( $\alpha\text{-CaSiO}_3$ ) részaránya, továbbá található bennük valamennyi maradék kvarc is.

Gyakran félreértések adódnak a maradék kvarctartalommal kapcsolatban. Mekkora lehet annak maximális részaránya<sup>2</sup>, ha el akarjuk kerülni az üzemi körülmények között kb. 1300 °C fölött jelentkező kritikus utótágulást? Egyes téglagyártók azon a véleményen vannak, hogy a 0% felé tendáló maradék kvarctartalom abszolút szükséges olyan munkahőmérsékleten, amely közel van a téglák állandó terhelési határához. Ez a kijelentés csak részben igaz, így fontosságára való tekintettel részletesen is foglalkozunk vele. Neves szilikatégla-gyártó cégekkel együtt végzett kiterjedt vizsgálatok egyértelműen bizonyították, hogy a maradék kvarc irreverzibilis utótágu-

lásra gyakorolt hatása a használt kvarcit nyersanyag típusától függ. Azonos maradék kvarctartalmat feltételezve a finomkristályos kvarcitoknál megjelenő utótágulás sokkal nagyobb, mint a durvakristályos nyersanyagbázis esetében (3. ábra). Következésképpen, a maradék kvarctartalomtól függő értékelést kell végezni. Amennyiben az üvegyipari kemencékben alkalmazott téglák gyártásához durvakristályos kvarcitot használnak, nagyobb – de meghatározott maximumot meg nem haladó – maradék kvarctartalom is teljesen megengedett (javasolt max. arány: 3%). Ezt a kijelentést számos, a gyakorlatban szerzett tapasztalat is alátámasztja. Az üveglasztó kemencék boltozatának felhevítésekor a téglák anyagszerkezetében található pórusoknak elegendő idejük van arra, hogy tökéletesen kompenzálják azt a nagyon kicsi térfogat-növekedést, amit a maradék kvarc átalakulása okoz. Ez a viselkedés pozitív befolyást gyakorol a boltozat tömitettségére.

Nyilvánvaló, hogy meghatározott maradék kvarctartalmú téglát (keverékösszetétel és égetési technológia szempontjából) nehezebb gyártani, mint ún. „erősen vagy teljesen kiégetett” téglát, amely majdnem teljesen mentes a maradék kvarctól. Megemlítendő, hogy a *Dr. C. Otto Feuerfest* képes olyan téglák gyártására, ahol a maradék kvarctartalom a megrendelő igényei szerint szabályozzák.

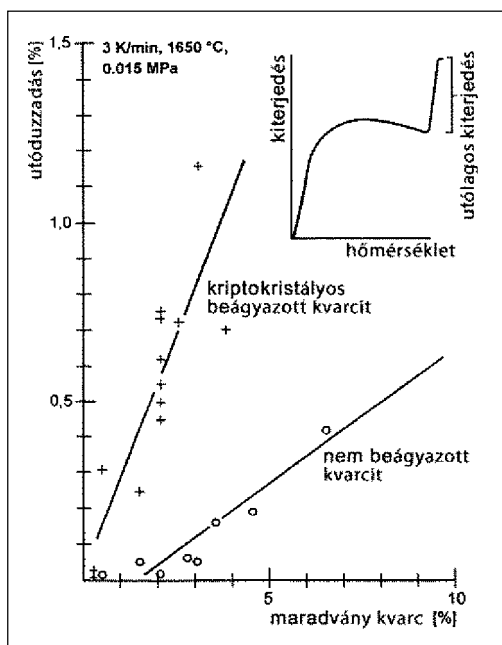
2. táblázat

Szilikatégla-márkák jellemzői

Jellemző	Egység	GEH	GES	GC
$\text{SiO}_2$	%	96	96,7	97
Folyási tényező*	%	0,85	0,45	0,85
CaO	%	2,3	2,5	1,0
Látsz. porozitás	%	21	20	21
C.C.S.	MPa	32	40	32
R.U.L. <sub>ta</sub>	°C	1690	1695	1680
Hőtágulás 1000 °C-on	%	1,35	1,45	1,5

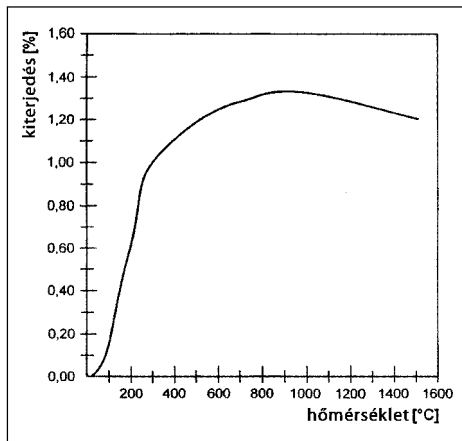
\* ASTM:  $\text{Al}_2\text{O}_3 / 2(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$

A 2. táblázat egyes, a *Dr. C. Otto Feuerfest* által gyártott szilikatéglák jellemző értékeit mutatja be. Hevítéskor kb. 600 °C-ig a kristályos szilikatégla erős tágulást mutat (4. ábra). A max. tágulási értéket, amely kb. 1,2% (sok) tridimit, ill. akár 1,5% (sok) krisztobalit, 800–1000 °C között érik el. Ennél nagyobb hőmérsékleteken reverzibilis negatív tágulás lép fel, melynek oka a tridimit rácsszerkezetének összehúzódása. Mivel a szilikatéglák hőtágulás-változása nagyon kicsi, különlegesen jól ellenállnak a 600 °C fölötti ciklikus hőmérséklet-változásoknak. Kisebb hőmérsékleten megfelelő gondosság szükséges a repedés elkerüléséhez. Ezért a kemencéket szabályozottan, lassan kell felfűteni, hogy a későbbi károsodásoknak elejét vehessük (pl. túl széles dilatációs hézagok, vagy elősszenyomódás üvegyipari kemencék boltozatánál).



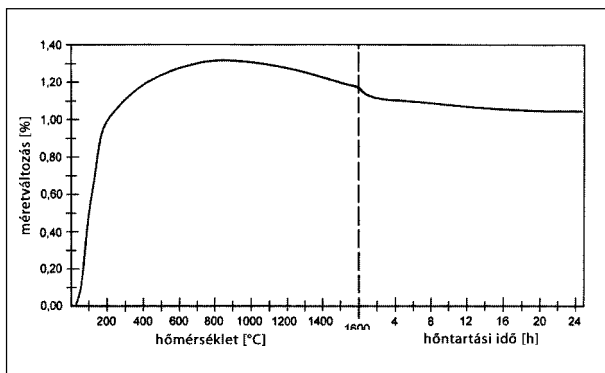
3. ábra. Különböző szilikatéglák utóduzzadása a maradvány kvarc mennyiségének függvényében

<sup>2</sup> A teljes fajlagos tömörség mérését a maradék kvarc röntgendiffraktométeres meghatározása váltotta fel.



4. ábra. Szilikatéglák hőtágulása  
5 K/min felfűtési sebességnél

A szilikatéglát nem csupán a nagyszerű termomechanikai jellemzők miatt használják üvegipari kemencékben 1300–1650 °C között. A szilikatégla kiváló terhelés alatti lágyulási tulajdonságokkal rendelkezik a nagy hőmérsékletű tartományokban (5. ábra). Ennek oka a nagyon kis mennyiségű olvadék-fázis.



5. ábra. Üvegolvasztó kemencéhez használt szilikatégla terhelés alatti csúszása 1600 °C teszthőmérsékleten, 0,2 MPa terhelésnél, 5 K/min felfűtési sebességnél, hűtési idő 25 h

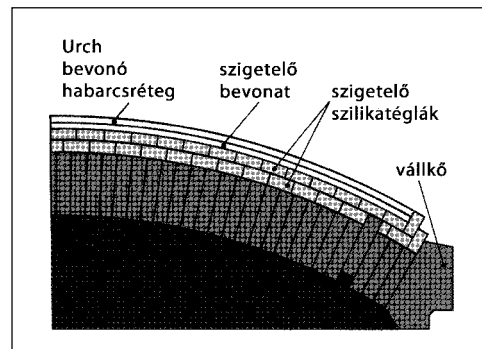
### 3. Szilika szigetelőtéglák, gyártásuk és jellemzőik

A könnyű szilikatéglák klasszikus alkalmazási területe az üvegolvasztó kemencék boltozatának hőszigetelése. A gyártás folyamán a szilika alapanyagokhoz keverés közben meghatározott százalékban pórusképző éghető anyagokat (finoman őrölt fűrészpórt vagy kokszot) adagolnak. Így akár 72%-os porozitású téglát is lehet gyártani. A kvarchomok és az őrölt kvarcit mellett  $\text{SiO}_2$  forrásként esetenként régi őrölt szilikatéglát is használnak. Kötőanyagként mésztej is alkalmazható (~ 3,5–4,5%). A standard idomokat mechanikusan formázzák alacsony nyomáson. Az égetési hőmérséklet ugyanannyi, mint a tömör szilikatéglák

Hőszigetelő szilikatéglák jellemzői

Jellemző	Egység	OFL Si 8	OFL Si 6
$\text{SiO}_2$	%	92,5	92
$\text{Al}_2\text{O}_3$	%	1,8	1,5
CaO	%	4,0	5,2
Térfogatsűrűség	g/cm <sup>3</sup>	0,84	0,64
C.C.S.	MPa	4,5	1,1
Alkalmazási hőmérséklet határa	°C	1600	1600
Hővezetés 1000 °C-on	W/(m•K)	0,55	0,45

esetében. A keverék összetételétől függően az 1–2,5%-os lineáris hőtágulás az égetés során kisebb, mint a tömör téglák esetében a pórusok nagyobb összehúzódásának köszönhetően. A maradék kvarctartalom általában jóval 1% alatt van. A fő ásványi összetevők a tridimit és krisztobalit, míg a röntgen-amorf fázistartalom kissé nagyobb, mint a tömör téglák esetében. A maximális hőtágulás 1,2–1,3%. A hőszigetelés fokozása érdekében különleges, egészen kis térfogat-sűrűségű hőszigetelő téglák alkalmazása célszerű (3. táblázat). OFL Si 6-os téglák használatával ugyanazt a hőszigetelést egy sor téglával is el lehet érni (6. ábra).



6. ábra. Üvegolvasztó kemenceboltozat szigetelése, kétrétegű boltozat, speciális hőszigetelő szilikatéglákkal (térfogattömeg 0,64 g/cm<sup>3</sup>)

### 4. Öntött szilikatéglák, gyártásuk és különleges jellemzőik

Az öntött szilika üvegesen megszilárdult  $\text{SiO}_2$ . Tiszta kvarchomok ( $\text{SiO}_2 > 99,5\%$ ) elektromos olvasztásával gyártják 1800–2000 °C-on, majd gyorsan lehűtik. Tűzálló szilikatermék-nyersanyagok jellemző sajátossága a különlegesen kis hőtágulási együttható, kb.  $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Ezért az öntött szilika nem reped meg a nagy vagy hirtelen hőmérséklet-változás hatására.

Az akár 2 m hosszú kompakt öntött idomokat vagy téglákat olvasztott nyersblokkokból vágással és köszörüléssel vagy marással, gyémánt+eszközök használatával gyártják. Jellemzőjük a nyitott pórusok nélküli tö-

mőr szerkezet (elméleti tömörségük akár 97%-ig is terjedhet). A nagy idomtéglat a kis alkálitartalmú vagy alkálimentes, nagy SiO<sub>2</sub>-tartalmú üveglvadékok esetén használják (pl. bórszilikátüvegeknél), 1470 °C fölötti hőmérsékleten. Használat folyamán az öntött szilika 1200 °C fölött először krisztobalittá alakul. Idővel a szilika reagál idegen anyagokkal, ~ 1470 °C alatti hőmérsékleten megindul a krisztobalit tridimitté alakulása. Nagyobb hőmérsékleteken krisztobalit a SiO<sub>2</sub> stabilis módosulata. Ezért, ha a téglát változó hőmérsékleten használják, helyi szerkezeti változások indulnak meg. Ha a terhelés alatti fel-fűtés túl gyors, a tökéletlen krisztobalitalakulás miatt 1350 °C körül lágyulás léphet fel. Az öntött Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>-tartalmú anyagokkal való összehasonlításban az öntött szilika könnyebben feltárodik üveglvadék hatására. Miután krisztobalittá vagy tridimitté alakult, az öntött szilikatermék elveszti előnyös jellemzőit.

Kerámiagyártás esetében a speciális kötőanyagokat tartalmazó, szemcsés, öntött szilikamasszákat uniaxiális vagy izosztikus sajtolással, ill. iszapöntéssel formázzák. Az utóbbit elsősorban bonyolultabb idomok előállításánál használják (pl. öblösüveggyártásban csatornához és gyűrűkhöz, síküveg esetében tolórudakhoz és görgőkhöz). Iszapöntésnél a ~ 90%-os szilárdanyag-tartalmú (deflokkulánsok adagolásával) meghatározott viszkozitású iszapot a kívánt formájú porózus öntőformába öntik (idomtól függő megszilárdulási idő: néhány órától néhány hétig). A kiszáradt öntvények nagy nyersszilárdsággal rendelkeznek, így végső méretük vágással és fűrassal alakítható ki. A szilárdságot 1100 °C alatti hőmérsékleten történő égetéssel növelik (lineáris égetési zsugorodás 0,05%).

4. táblázat

Öntött szilikatégla jellemző adatai

Jellemző	Egység	Q 98 X
SiO <sub>2</sub>	%	97–98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0,7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	1,5
Látszólagos porozitás	%	21
C.C.S.	MPa	20
R.U.L. <sub>ta</sub>	°C	1680*
Reverzibilis hőtágulás 1000 °C-on	%	< 0,2

\* > 1000 °C visszakristályosodás krisztobalittá

A téglák kerámiai formázása általában uniaxiális (mechanikus vagy manuális) sajtolással vagy vibrációs öntéssel történik. Vegyi vagy hidraulikus kötőanyagként P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>- vagy CaO-tartalmú adalékokat használnak (tartalmuk a keverékben 1–7,5%). A nyers darabokat szükség esetén 150–1000 °C közötti hőmérsékleten hőkezelik, hogy a szilárdságukat növeljék és eltávolítsák a hidratációs vizet. Ezeket a téglákat pl. a doghouse-nál használják hőárnyékoló falakhoz, vagy pl. melegjavitásnál alkalmazzák őket. A Dr. C. Otto foszfáttal kötött, öntött szilikatéglijának jellemzőit a 4. táblázat mutatja.

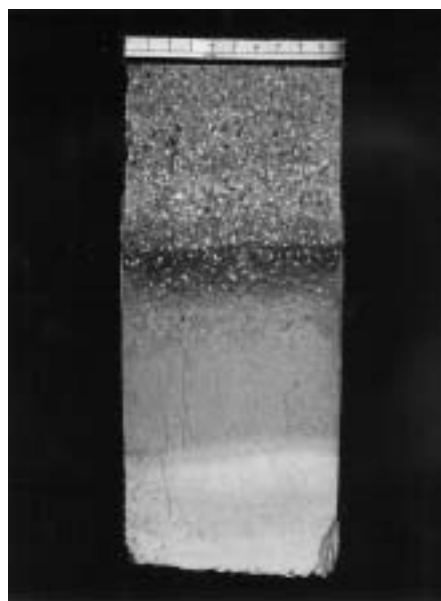
## 5. Szilikahabarcok és -masszák

Az üvegyiparban használt (levegőn szilárduló) masszák SiO<sub>2</sub>-tartalma a későbbi felhasználás függvényében változik ~ 95% és 99% között. A boltozatban használt masszák kötőanyag- és folyósítószer-tartalma nagyon alacsony. A nyersanyagok kvarchomok, szilikaliszt, kötőanyag és esetleg szerves lágyítószer. A szemcseméret 0,6 mm alatti.

A szilikamasszákat (SiO<sub>2</sub> ≥ 90%) melegjavitáshoz vagy tömítéshez (pl. dilatációs hézagok tömítéséhez) használják. A nyersanyagok kvarciszemese (< 6 mm) és kvarchomok vagy olvasztva öntött szilika. Kötőanyagként hidraulikus, vegyi vagy zselés kötőanyagokat használnak.

## 6. A boltozatoknál alkalmazott szilikatégla szerkezeti változásai mésznátronüveg kemencékben való használatkor

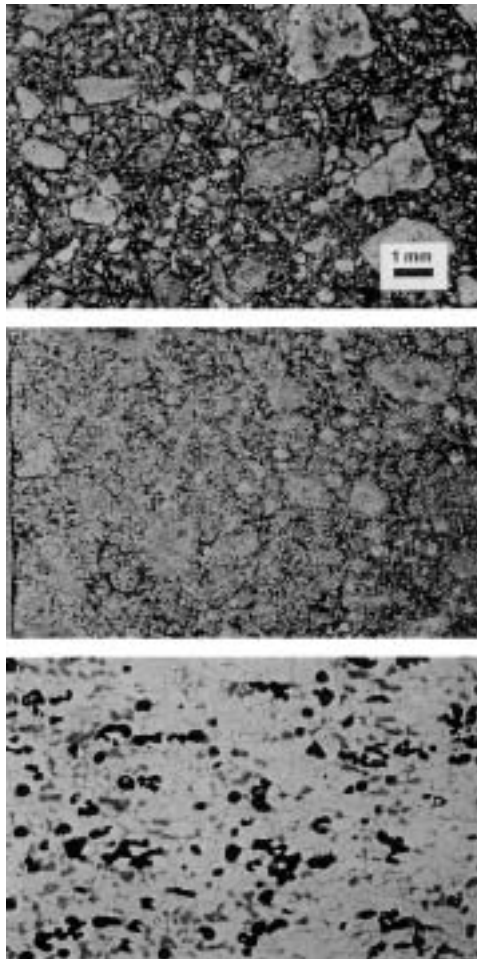
Az üvegyipari kemencék boltozatához használt szilikatéglnál a hő- és korróziós feszültségek miatt használat közben eltérő mértékű szerkezeti változásokat mutató, több-kevésbé hangsúlyos zónák alakulnak ki (7. ábra). A szilikatégla anyagának korróziós viselkedését a kemence kialakítása, annak működtetési módja, a keverék elemeiből felszabaduló porral és párolgási termékekkel keveredett gázok vegyi összetétele és koncentrációja, valamint az uralkodó hőmérsékleti viszonyok befolyásolják. A téglagyártó szemszögéből a szállított téglák szerkezeti minőségének van különleges fontossága. Az olyan adatok, mint a kémiai elemzés, tömegsűrűség és porozitás önmagukban nem adnak megnyugtató magyarázatot a használat közben történt viselkedésre. Ennek oka, hogy a terhelés alatt lévő szilikatégla korróziós vi-



7. ábra. TV-képcsőüveg-olvasztó kemence boltozati szilikatéglijának metszete, a mintavevő hely munkahőmérséklete kb. 1550 °C, 3,5 éves folyamatos üzem után (felül a hideg oldal)

selkedését a benne zajló komplex, részben egymást átfedő egyedi folyamatok határozzák meg.

Mésznátronüveg kemencékben az – elsősorban  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  és  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  formájában jelen lévő – alkáliák okoznak korróziót. A boltozatban hosszú ideig használt szilikatéglák egyes zónáinak vizsgálata azt mutatja, hogy a megjelent idegen összetevők, valamint a téglá összetevői  $\text{SiO}_2$ - $\text{CaO}$ - $\text{Na}_2\text{O}$  olvadék formájában átvándorolnak a téglá forró felületéről annak hidegebb oldalára. Amint a hőfeszültség növekszik, a  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  és  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  oxidok maximális koncentrációs értékei egyre beljebb tolódnak a téglá belsejébe (ugyanaz vonatkozik a habarccsal kitöltött dilatációs hézagokra is). Ezen migrációval párhuzamosan – és részben pontosan emiatt – jelentős, mik-rostrukturális változásokkal kísért kristályátalakulások következnek be a téglá forró zónáiban (8. ábra). Az uralkodó hőmérséklet függvényében az egyes  $\text{SiO}_2$  módosulatok 1450 °C fölött teljesen krisztobalittá, 1300-1400 °C között pedig tridimitté alakulnak. Külön figyelmet érdemel az a tény, hogy ez a kristálynövekedéssel járó folyamat térfő-



8. ábra. 3,5 éven át folyamatosan működő TV-képcsőüveg-olvasztó kemence boltozati szilikatéglájának metszete, a mintavevő hely munkahőmérséklete 1550 °C. Felül: hideg oldal, szállításkori szerkezet (24,1% porozitás); közepen: kőzetes zóna (12,5% porozitás) penetrált üvegolvadék pontokkal; alul: meleg oldal (16,9% porozitás)

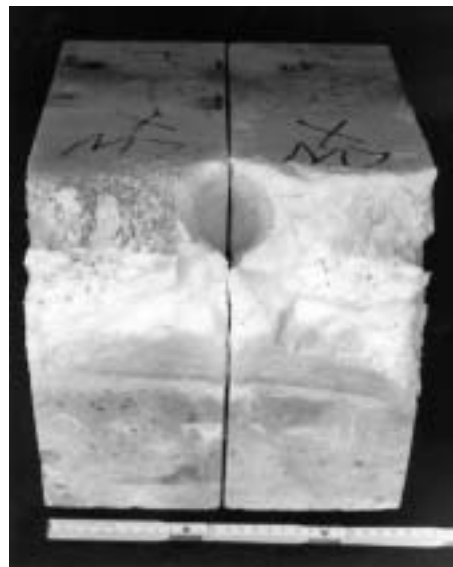
gátváltozás nélkül zajlik le. Ugyanakkor az olvadékokból újra kristályosodó  $\text{SiO}_2$ -nak köszönhetően az olvadék viszkozitása csökken. Az  $\text{SiO}_2$ -ban szegényebb „maradék olvadékoknak” a téglá hidegebb oldala felé történő vándorlása olyan mértékben folytatódik, amennyire ezt az adott hőmérséklet-grádiens által meghatározott viszkozitásuk, valamint a kapilláris és határfelületi erők lehetővé teszik.

Esetenként, ha az anyag szerkezetében nem oszlik el elég mélyen a kritikus vagy nagy mennyiségű olvadék, lokálisan előfordulhat a boltozattéglá szilikaanyagának olvadása is. Ennek oka a kis hőfeszültség (1300 °C alatt), amikor is a szilikatéglá felületén kialakult olvadék viszkozitása nagyobb, és a behatolási sebesség ennek megfelelően csökken. Következésképp az olvadék lefolyik, és így a téglá egyre vékonyabbá válik.

A forró téglázónák az alkáliák felvétele és az olvadási fázisok feldúsulása ellenére sem veszítik el kiváló hőstabilitásukat. A még nem használt szilikatéglával való összehasonlításban a legmagasabb hőterhelésnek kitett zóna jobb termomechanikai jellemzőkkel rendelkezik. A krisztobalitt-zóna jelentős (kétszeres) hővezetőképesség-javulást mutat, mely előnyös az olvadt fázisoknak a hidegebb zónákba való „beolvadása” szempontjából.

**Patkányjáratosodás.** A boltozatoknál esetenként túl korai korrózió figyelhető meg (9. ábra). Ennek oka gyakran az, hogy hőkezelési hiba miatt „nyitva” maradnak dilatációs hézagok. Ezen hézagok turbulens, gyors gázáramláshoz, valamint egy elsősorban alkáliás lecsapódás megjelenéséhez vezetnek, melyhez  $\text{Na}_2\text{O}$ -ban gazdag olvadék kialakulása társul. A korróziós folyamat kis hőmérsékleten fokozatosan felgyorsul.

Az olyan üvegolvasztó kemencék, melyeket nagy hőmérsékleten működtetnek, hajlamosabbak a patkányjáratosodásra. A téglák szoros mérettűrése (### 1 mm), a pontos falazás, a szűk (kisebb, mint 1 mm-es) dilatációs hézagok és az üzembe helyezéskor történő szabályozott felhevítés általában csökkentik a kopást.



9. ábra. Két szilikatéglá érintkező felülete, üreg az érintkező felületeknél (becsült hőmérséklet 1300 °C)

**Boltozatszigetelés.** A hőveszteség csökkentése mellett a boltozat szigetelése csökkenti a kopást is, mivel ha a szilikatéglában lapos hőmérséklet-grádiens uralkodik, az lehetővé teszi az olvadékok mélyebb behatolását és egyenletesebb eloszlását, így azok nem okozhatnak komolyabb problémát. A szigetelést általában mésszel kötött könnyű szilikatéglák alkotják, melyek  $\text{SiO}_2$ -tartalma magasabb mint 91% (lásd feljebb). A hőszigetelés optimalizálásához nagyon kis térfogat-sűrűségű szigetelőtéglák használata ajánlott. A porbehatolás megelőzése érdekében a szigetelőréteg fölél  $\text{SiO}_2$ -ban gazdag zárómasszát hordanak fel.

**Oxigéntüzelés.** Az olvasztási technológiában jelentkező számos előny mellett az oxigéntüzelés az emissziós értékek ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ) nagymérvű csökkenését eredményezi az üvegyártók számára. Az ezzel együtt járó, a működési feltételekben végrehajtandó változtatás miatt nagyobb feszültség nehezedik a boltozatra, elsősorban a kemence légkörében feldúsuló alkáli- és vízgőz-koncentráció miatt. A szilikaanyagoknál leírt korróziós mechanizmusok általánosságban az oxigéntüzelésre is igazak.

Különleges figyelmet kell fordítani a felépítmény hőmérséklet-eloszlására, mely rendkívül fontos paraméter a használatban lévő szilikatéglák esetében. A boltozat esetleges túlhevülését, ill. az alacsony hőmérsékletű területek ( $< 1300^\circ\text{C}$ ) kialakulását konstruktív ellenlépésekkel lehet megakadályozni. A megfelelő tűztér-kialakítás mellett az égőfejek kiválasztása és elhelyezése a legfontosabb tényező. A jó hőszigetelés, kombinálva a vastagabb szilikatéglák használatával, optimális hőmérséklet-eloszlás biztosítása a boltozat egészében előnyös az olvadék migrációjára.

**Alacsony folyási tényező?** Az alacsony folyási tényező-

vel rendelkező szilikatéglákra vonatkozó ASTM-szabvány szerint az  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -tartalom és az alkálitartalom kétszerese együttesen 0,5%, ill. annál kevesebb kell hogy legyen. A komplex olvadékvándorlás és a téglá szerkezetének használat közbeni átalakulása miatt még nem világos, hogy ezekkel mennyivel jobb korrózióállósági viselkedést lehet elérni a hagyományos, üvegyipari kemencékben használatos szilikatéglákkal szemben. A nagy kémiai terhelés elsősorban a mátrixot támadja meg. A CaO, mint a túlnyomórészlet nem kristályos mátrix legfontosabb alkotóeleme, nagyon fontos szerepet játszik az olvadék migrációjában. Következésképpen a mészszegevényebb, tehát nagyobb kristálytartalmú szilikatéglá kedvezőbb kopási tulajdonságokat mutat. A kis mésztartalmú, kifinomult gyártási technológiát igénylő téglá már rendelkezésre áll a piacon (2. táblázat).

## 7. Összefoglalás

A szilika tűzálló anyagok viselkedésének kielégítő magyarázatát nem lehet csupán adatlapokból és/vagy standardizált követelményprofilokból megkapni. Ezt a szilikaanyag és a habarccsal kitöltött dilatációs hézagok hőmérsékleti és korróziós zónáihoz kapcsolódó szerkezeti változások is alátámasztják.

Különleges fontosságú a csökkentett kristályosanyag-tartalmú téglá ásványi összetétele. Az alkalmazási célra optimalizált téglatípus ásványi összetételét elsősorban a nyersanyagok gondos kiválasztásával és a gyártás folyamán pontosan szabályozott égetési eljárással lehet biztosítani. Ezt bizonyítja azon üvegyipari kemencék hosszú élettartama, melyeket Dr. C. Otto-termékekkel béleltek és a világ minden részéről származó referencia.

\* \* \*

## ÜVEGYIPARI SZAKMAI KONFERENCIA

*Budapest, 2004. április 20.*

Az SZTE Üvegyipari Szakosztálya által rendezett nagy sikerű konferenciát *Tóthné Kiss Klára*, az üvegszakosztály elnöke nyitotta meg.

Elsőként *Lukács Péter* előadása hangzott el „Az AIR LIQUIDE Ipari Gáztermelő Kft. és üvegyipar kapcsolata, technológiai fejlesztések az üvegyipar számára” címmel. A céget 1902-ben alapították Franciaországban, és az eltelt több mint 100 év alatt már 65 országban van jelen. 8,4 milliárd euró volt a cég tavalyi árbevétele. 550 kutatómérnökkel és kb. 120 nemzetközi partnerrel, kutatóhellyel dolgoznak együtt, és mintegy 200 találmányuk van. Legfőbb tevékenységük az ipari gáztermelés, a műszaki-kereskedelmi szaktanácsadás, a logisztika. Az ipari gáztermelés ( $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , gázkeverékek, argon stb.) és értékesítés minden formáját magukénak tudják. Az üvegyipar és fémkohászat területén az oxigéntüzelés kapcsán érdekeltek. A cég magyarországi tevékenysége az Orosházi Síküvegyár privatizációjával (1990) egyidejű.

*Sándor Szabolcs* és *dr. Szabó István* előadásából a hőszí-

getelő üvegszálak biológiai oldékonyságáról kaptunk információt. A különböző összetételű üvegszálak oldódását  $37^\circ\text{C}$ -on, 25 napos kvázifolyamatos kezelés során a vezetőképesség változása, Na és K kioldódás, valamint a morfológiai változás (SEM) alapján vizsgálták. A vizsgálat célja az emberi szervezetbe (tüdőbe) belégzés útján bekerülő szálak oldódásának a modellezése volt.

*Michael Coxon* az „EWK cég elektrosztatikus szűrőinek előnye kemencék füstgázának  $\text{NO}_x$  és porleválasztásánál” témakörben tartott érdekes előadást. A Zschocke Umwelttechnik néven alapított cég 1886-ban került bejegyzésre. 1968 óta EWK Umwelttechnik néven működik. A gyár fő profilja elektrofilterek, textilszűrők és szorpciós rendszerek gyártása. A cég kén-dioxid, nitrogén-oxidok, szénhidrogének, szén-monoxid, sósav, hidrogén-fluorid, szelén-oxid, korom és porrészecskék kiszűrésére szövetszűrőket és elektrofiltereket kínál az üvegyipar számára. Kompakt reaktor alkalmazásával, a beépített szűrőkkel a 0,5 mikronnál kisebb szemcseméretű porszemcsék is kiszűrhetők a TA Luft 2002 emissziós előírásoknak megfelelően.

A több mint 60 fő részvételével tartott konferencia *Lipták Györgynek*, a szakosztály titkárnak zárszavával és ezt követő vitával, hozzászólásokkal ért véget.