

SZILIKÁTTUDOMÁNY

A heterogén cementek diszperzitásának optimalizálása

Révay Miklós, CEMKUT Kft.

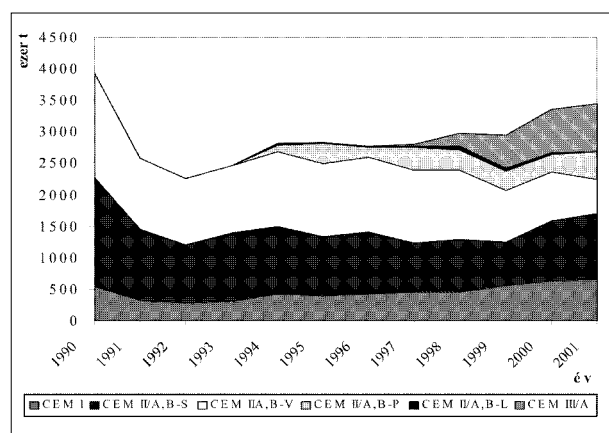
Bevezetés

Az európai cementszabványok honosításával párhuzamosan és részben ennek hatására jelentősen megváltozott a hazai cementválaszték (1. ábra), és különösebb kockázat nélkül megjósolható ennek további bővülése. Fő iránya a kisebb klinkertartalmú és több alkotót tartalmazó kompozit portlandcementek megjelenése lehet. E folyamatokban az önköltségsökkentés és a széleskörűen értelmezett környezetvédelem (hulladékhasznosítás, emissziócsökkentés, tájvédelem) továbbra is meghatározó szerepe mellett egyre nagyobb tere lesz a cementtulajdonságok tudatos befolyásolásának, ami óhatatlanul hatást gyakorol a gyártástechnológiára is. A klinkermennyiség csökkenésének tendenciáját figyelembe véve például máshová kerülhetnek a hangsúlyok az alkalmazandó őrlési és homogenizálási technológiánál. Míg a fő tömegében klinkerből álló cementeknél logikus a klinker, a másik főalkotó és a gipsz együttőrlése, a kiegészítő anyagok túlsúlya esetén ezek egyedi tulajdonságai oly mértékben meghatározóvá válhatnak, hogy megfontolandó lehet az őrlési és homogenizálási technológia gyökeres megváltoztatása is. Ugyanis, hogy egy szemléletes példával éljünk, nem mindegy, hogy mondjuk egy 50% kohósalakot és klinkert tartalmazó cement 4000 cm²/g fajlagos felülete úgy jön létre, hogy a klinkeré

5000 cm²/g és a salaké pedig 3000 cm²/g, vagy éppen fordítva. E kérdések tisztázása volt az egyik célkitűzése a mintegy hároméves kutatómunkánknak. (A másik megválaszolandó kérdés a heterogén cementek használati élettartamának becslésére irányult, ezzel kapcsolatos eredményeinkről egy későbbi közleményben számolunk be.)

Előzmények

A szakirodalom áttekintését, kísérleti programunk megtervezését és végrehajtását jelentősen megkönnyítette számunkra, hogy a heterogén cementek s főleg ezek őrléstechnológiájával kapcsolatos kutatások társaságunknál, illetve annak jogelődjénél a múlt század ötvenes éveitől, kezdetben Beke Béla, majd Opczky Ludmilla irányításával évtizedek óta, így napjainkban is folynak. Elég, ha az utóbbi hetekben, hónapokban elhangzott előadásokra, megjelent publikációkra utalunk. Nem véletlen tehát, ha e közlemény szerzője a nagy kiegészítőanyag-tartalmú cementek optimális gyártástechnológiájának kérdéseit vizsgálva különös jelentőséget tulajdonított a felmerülő őrléstechnológiai kérdések tanulmányozásának, hisz az ebben a környezetben eltöltött évtizedek nem múlhattak el nyomtalanul, és óhatatlanul hatást gyakoroltak gondolkodásmódjára, tudományos érdeklődésére. Ezért tekintsek e dolgozatot az említettek munkássága előtti tiszteletadásnak, egyes eredményeik logikus folytatásának, továbbgondolásának.

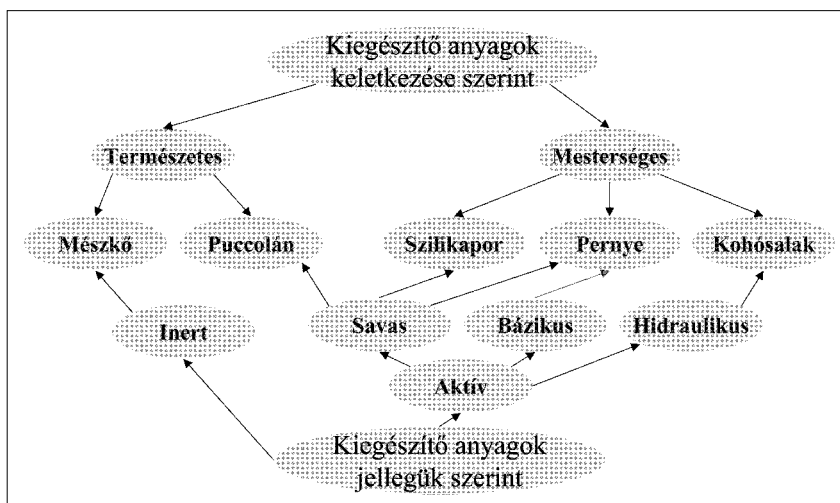


1. ábra. A hazai cementválaszték alakulása, 1990-2001

Irodalom

A cement kiegészítő anyagai

Az európai cementszabványban engedélyezett kilenc kiegészítő anyag közül a hazai cementipari gyakorlatban négyet használnak, és ezek a leggyakoribb anyagok világszerte is (talán a szilikapor sorolható még ide). Keletkezésük szerint lehetnek természetes és mesterséges eredetűek, a szilárdulási folyamatban betöltött szerepük szerint pedig inert és aktív anyagok. Ez utóbbiak kémiai tulajdonságuk szerint lehetnek bázikus, hidraulikus és savas (puccolános) jellegűek (2. ábra).



2. ábra. A fontosabb cementkiegészítő anyagok felosztása

A cementek diszperzitása

A cement szilárdulása bonyolult heterogén reakciók következménye, melyekben a klasszikus reakciókinetika törvényszerűségei szerint döntő szerepe van szilárd fázis fajlagos felületének. Ezért a cementalkotók finomörlésre vonatkozó elméleti és gyakorlati kutatások meghatározó jelentőségűek. A következőkben ezekről elsősorban Opoczky és szerzőtársai munkái alapján adunk rövid áttekintést.

Mint legutóbbi publikációikban is leszögezték, a cementek diszperzitásának jellemzésére helyesebb a fajlagos felület mellett a szemcseméret-eloszlást, illetve az ennek leírására legjobban elterjedt Rosin-Ramler-Sperling-Benett (RRSB) egyenlet állandóit is figyelembe venni. Az egyenlet szerint az őrleményekben egy adott méretnél (x) nagyobb szemcserészarány az (1) képlettel számítható, melynek gyakran alkalmazzák logaritmizált alakját is [(2) képlet].

$$R_{(x)} = e^{-\left(\frac{x}{x_0}\right)^n} \quad (1)$$

$$\ln \ln \frac{1}{R} = n \cdot \ln \frac{x}{x_0} \quad (2)$$

Ahol

R_x – az x -nél nagyobb méretű szemcsék mennyisége (%);

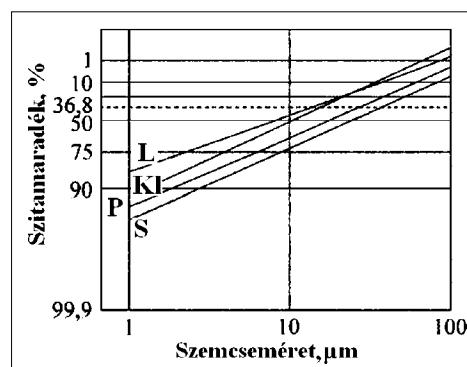
x_0 – a jellemző szemcseméret, melynél a nagyobb méretű szemcsék részaránya: $100/e \sim 36,8\%$

n – egyenletességi tényező.

A szemcseméret-eloszlást a (2) egyenletnek megfelelő koordináta-rendszerben ábrázolva egyenest kapunk, melynek meredeksége az n egyenletességi tényező, ami a szemszerkezet szórásáról ad felvilágosítást.

A tapasztalatok szerint összefüggés van az anyagok őrlhetősége, valamint jellemző szemcsemérete és egyen-

letességi tényezője között. A cementgyártásban használt anyagok közül külön őrlésnél azonos ideig tartó őrlés után a legnehezebben őrlhető kohósalak jellemző szemcsemérete (x_0) és egyenletességi tényezője (n) a legnagyobb, a legkönnyebben őrlhető mészke pedig legkisebb (3. ábra).

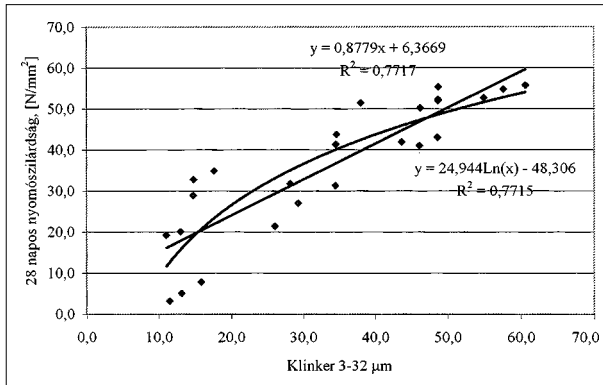


3. ábra. Azonos ideig őrlött cementalkotók szemcseméret-eloszlása
KI-klinker; S-kohósalak; P-puccolan; L-mészke

A diszperzitásnak a cement számos tulajdonságára gyakorolt sokrétű befolyása közül a szilárdsággal és a vízigénnyel kissé részletesebben foglalkozunk.

Diszperzitás – szilárdság

Egyébként azonos összetételű cementeknél a szilárdságot alapvetően a diszperzitásjellemzők határozzák meg. Ebben kitüntetett, de nem kizárólagos a fajlagos felület szerepe. Ugyanis, mint erre már utaltunk, a cementhidratáció sebessége arányos a szilárd fázis fajlagos felületével, de azonos mértékű hidratációhoz nem feltétlenül tartozik azonos szilárdság. Régi megfigyelés például, hogy minden olyan beavatkozás, ami gyorsítja a hidratációt (fajlagosfelület-növelés, gőzkezelés stb.), csökkenti az



4. ábra. A 3–32 μm -es klinkertartalom és a 28 napos nyomószilárdság összefüggése a heterogén cementeknél

utószilárdulást és a maximális szilárdságot. (A jelenség a keletkező hidratvegyületek morfológiájával van összefüggésben.) Ennek figyelembevételével tehát nem meglepő Beke Bélának az a megállapítása, hogy homogén portlandcementek szabványos (28 napos) szilárdsága szorosabb korrelációt mutat a közepes méretű szemcsék (3–30 μm) rézsarányával, mint a fajlagos felülettel. Természetesen, heterogén cementek esetén az összefüggés jóval árnyaltabb, ugyanis itt az egyes komponensek diszperzitásának is jelentős szerepe van. E szempontból döntőek Opoczky megfigyelései, melyek szerint az aktív kiegészítő anyagok (kohósalak, pernye stb.) esetén nemcsak a klinkert, hanem a kiegészítő anyagot is célszerű finomra őrlni. Rámutat arra is, hogy különösen a kohósalak-tartalmú heterogén cementeknél a szilárdság szempontjából optimális salakfinomság – a salak nehezebb őrlhetőségét figyelembe véve – csak külön őrléssel biztosítható. A kohósalak-tartalmú cementeknél több más kutató is hangsúlyozza a kiegészítő anyag finomabbra és „szórtabb” (kisebb egyenletességi tényezőjű) szemszerkezetűre való őrlésének előnyeit. Évekkel ezelőtt mi is igazoltuk, hogy a külön őrléssel előállított aktív kiegészítő anyagoknál (kohósalak, pernye) kedvezőbb, ha ezeket a klinkernél nagyobb finomságúra őrljük. Arra is rámutattunk, hogy a külön őrléssel előállított heterogén cementeknél Bekének a közepes szemcsefrakciók szerepére vonatkozó megfigyelése annyiban módosul, hogy nem a 3–30 μm -es frakció összmenyisége, hanem a bennük lévő klinkerhányad ad szoros korrelációt a szabványos szilárdsággal (nevezzük ezt módosított Beke-szabálynak) (4. ábra). Ez a megfigyelésünk egyébként összhangban van Ehrengbergnek és szerzőtársainak azzal a javaslatával, hogy gyártsanak olyan cementet, amelyben a salak „bimodális” szemszerkezetű. Ennek a lényege az, hogy a cementben lévő salak elsősorban a 2 μm körüli finom és a 20 μm körüli durva frakcióban, a klinker pedig a közepes frakciókban legyen gazdagabb.

(E technológia hazai előfutárának tekinthető a Gottlieb István javaslatára a múlt század 40-es, 50-es éveiben meg-

valósított „Sigmacement”-gyártás, melynek lényege az volt, hogy a cement 60 μm fölötti frakcióját inert mészkőliszttal helyettesítve minőségromlás nélkül jelentős klinkermegtakarítást lehetett realizálni.)

Diszperzitás – vízigény

Közismert, hogy a betonszilárdság növelésben alapvető fontosságú víz-cement tényező csökkentésnek határt szab a bedolgozhatóság, illetve az ezzel szoros összefüggésben lévő konzisztencia. Ez viszont összefügg a cementpor térkitöltésével (a nemrég elhunyt Juhász Zoltán megfogalmazása szerint hézagosságával). Ugyanis minél kevesebb a szemcsék közötti hézag, annál kevesebb víz szükséges egy bizonyos folyósság biztosításához.

A diszperz rendszerek térkitöltésével foglalkozó tanulmányok, attól függően, hogy milyen modellt választanak a legkisebb hézagosságot adó szemcseméret-eloszlás leírására, számszerűleg kissé eltérő értékeket adnak meg. Így Andreasen és Andrensen szerint a „tömörödési sűrűség” („packing density”) akkor maximális, ha az RRSB formula egyenletességi tényezője: $n = 1/3$, Dilinger és Funk számítógépes szimulációt alkalmazva ugyanerre $n = 0,37$ értéket kapott. Mindkét érték lényegesen kisebb, mint a klinker, illetve a cementkiegészítő anyagok őrlése során keletkező őrleményeké ($n \sim 0,7-1,2$). Mivel, mint erre utaltunk, adott őrléstechnológia esetén a szemszerkezeti szórás annál kisebb, minél nehezebben őrlhető az anyag, azonos őrléstechnológia esetén a nehezebben őrlhető anyagok nagyobb hézagterefogatát némileg csökkenteni lehet könnyebben őrlhető anyagokkal történő együttőrléssel, vagy a külön őrlött anyag hozzákeverésével. Ezért, mint Opoczky rámutat, a nehezebben őrlhető kohósalak-őrlemény nagyobb egyenletességi tényezője ($n \sim 1$) által okozott nagyobb hézagterefogat kedvezőtlen hatása némileg kompenzálható könnyebben őrlhető, szórtabb szemszerkezetű mészkővel ($n \sim 0,6-0,8$). Így csökkenteni lehet egy adott konzisten-

1. táblázat

Az egyedi, parciális és összes fajlagos felület alakulásának illusztrálása egy CEM II/A-M (V, L) 32, 5 N cement példáján

Egyedi fajlagos felület:		
Az egyes komponensek fajlagos felülete.		
$F_{ke} = 3000 \text{ cm}^2/\text{g}$	$F_{ve} = 6000 \text{ cm}^2/\text{g}$	$F_{le} = 9000 \text{ cm}^2/\text{g}$
Parciális fajlagos felület:		
Az összes fajlagos felületnek a komponensre jutó hányada.		
$a_k = 80\%$	$a_v = 10\%$	$a_l = 10\%$
$F_{kp} =$	$a_k \cdot F_{ke} = 0,8 \cdot 3000 =$	2400 cm^2/g
$F_{vp} =$	$a_v \cdot F_{ve} = 0,1 \cdot 6000 =$	600 cm^2/g
$F_{lp} =$	$a_l \cdot F_{le} = 0,1 \cdot 9000 =$	900 cm^2/g
$F_0 =$		3900 cm^2/g

A cementalkotók egyedi szemcseméret-eloszlásának jellemzői különböző típusú cementeknél

	Cement (C)			Klinker (K)			Puccolán (P)			Salak (S)			Mészke (L)		
	x_o	n	Ff.	x_o	n	Ff.	x_o	n	Ff.	x_o	n	Ff.	x_o	n	Ff.
	μm	-	cm^2/g	μm	-	cm^2/g	μm	-	cm^2/g	μm	-	cm^2/g	μm	-	cm^2/g
CEM II 42,5 N	22	0,85	3250	25	0,95	2559	7	0,61	17655	-	-	-	12	0,91	6389
CEM II/A-P 42,5 N	25	0,94	3700	23	0,99	2759	11	0,76	9321	-	-	-	9	0,67	6610
CEM II/A-P 32,5 R	21	0,96	3320	23	1,01	2402	9	0,95	10145	-	-	-	15	0,86	5489
CEM II/A-S 32,5 R	25	0,85	3750	27	0,93	3105	9	0,64	16783	58	1,24	1180	12	0,78	9516
CEM II/B-S 32,5 N	26	0,95	3770	25	0,88	3424	9	0,83	11171	48	1,22	1219	10	0,98	5706
CEM II/A-M (S-P) 32,5 N	21	0,82	3390	18	0,96	2537	9	0,83	7276	48	1,22	813	10	0,98	5137

ciához szükséges víz-, illetve adalékszer-mennyiséget. Ugyanígyen hatást lehet elérni az Ehrenberg által javasolt bimodális salak szemszerkezettel is, és nyilván ezt a hatást használják ki a nagy mézsköliszt-tartalmú öntömörödő betonok készítésénél.

Néhány fogalom meghatározása

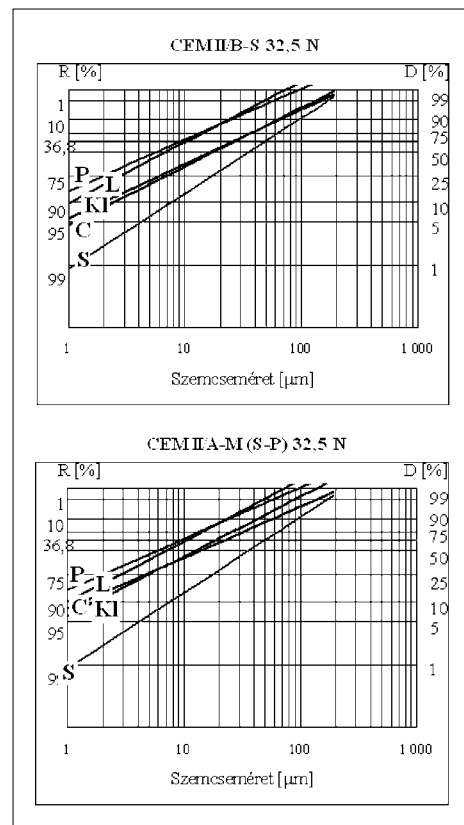
Kísérleti eredményeink ismertetése előtt definiáltuk a heterogén cementek különböző diszperzitásjellemzőit. Így a továbbiakban megkülönböztetünk *egyedi*, *parciális* és *összes diszperzitást*. Ezek értékeit egy CEM II/A-M (V, L) cement fajlagos felület jellemzőinek példáján az 1. táblázatban szemléltetjük. (Hasonló logikával megkülönböztethetünk egyedi, parciális és összes szemcseméret-eloszlást, jellemző szemcseméretet vagy egyenletességi tényezőt is.)

Kísérletek

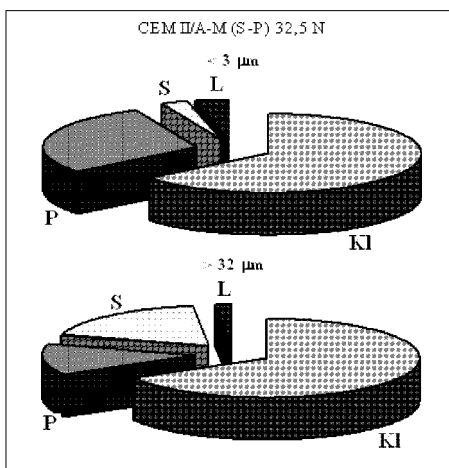
Az alkotók egyedi diszperzitásjellemzői együttörélnél

Kísérleteink során a jelenlegi helyzet felmérése érdekében először néhány együttörélnél gyártott hazai cement diszperzitásjellemzőit vizsgáltuk. Mindenekelőtt szelektív oldásos módszerrel meghatároztuk az egyes komponensek mennyiségét valamennyi cementben, majd légáram-osztályzóval elválasztottuk a 10 μm feletti és ez alatti frakciókat, és ezekben is megmértük a cementalkotók mennyiségét. Az adatokat az RRSB egyenletbe helyettesítve meghatároztuk valamennyi komponens egyedi szemcseméret-eloszlását, beleértve az Anzelm szerinti fajlagos felületek arányainak megfelelő Blaine-számokat is. Mint a 2. táblázatban és az 5. ábrán megfigyelhető, a cementalkotók diszperzitása és szemszerkezeti szórása ($1/n$) az irodalmi adatokkal összhangban növekvő őrlhetőségük sorrendjében nő. Ennek következménye, hogy a „puhább” komponensek a finom, a „keményebb” összetevők pedig a durva frakcióban dúsulnak fel. Ezt szemléltetjük a 6. ábrán, amelyen egy kompozit portlandcement 3 μm alatti és 32 μm feletti frakcióinak összetételét mutatjuk be. Jól látható a „puhább” anyag dúsulása a finom frakcióban, a „keményebb” anyagoké pedig a durva részben. A fentiek következménye, hogy a heterogén cemen-

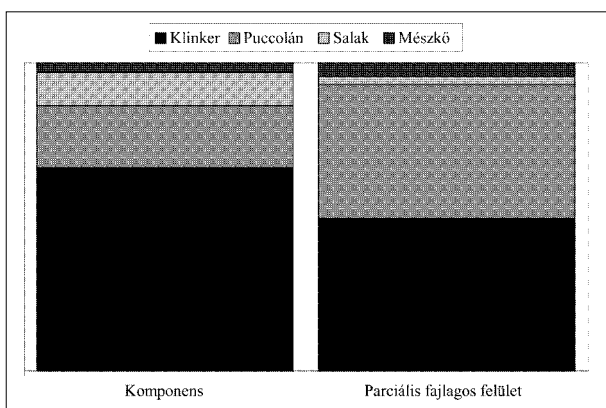
vők pedig a durva frakcióban dúsulnak fel. Ezt szemléltetjük a 6. ábrán, amelyen egy kompozit portlandcement 3 μm alatti és 32 μm feletti frakcióinak összetételét mutatjuk be. Jól látható a „puhább” anyag dúsulása a finom frakcióban, a „keményebb” anyagoké pedig a durva részben. A fentiek következménye, hogy a heterogén cemen-



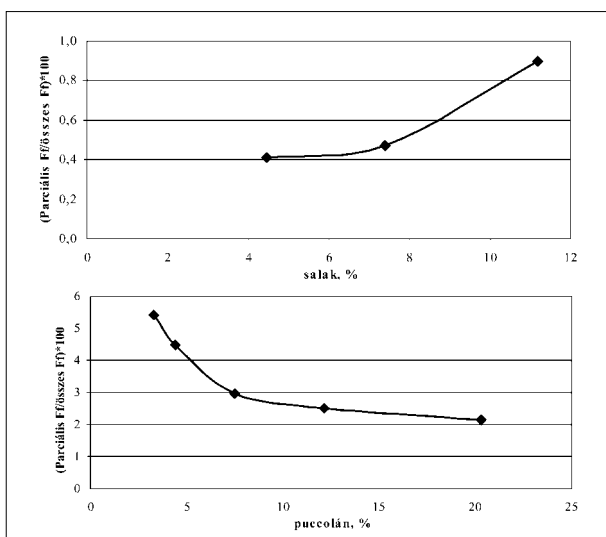
5. ábra. Egy kohósalak-portlandcement (CEM II/B-S 32,5 N) és egy kompozit portlandcement (CEM II/A-M (S,P) cementalkotóinak egyedi szemcseméret-eloszlás jellemzői
C-cement; K-klinker; S-kohósalak; P-puccolán; L-mészke



6. ábra. Az egyes komponensek mennyisége egy kompozit portlandcement jellemző frakcióiban (CEM II/A-M (S,P) 32,5 N) KI-klinker; S-kohósalak; P-puccolán; L-mészke



7. ábra. A komponensek és a parciális fajlagos felületek részaránya egy kompozit portlandcementben



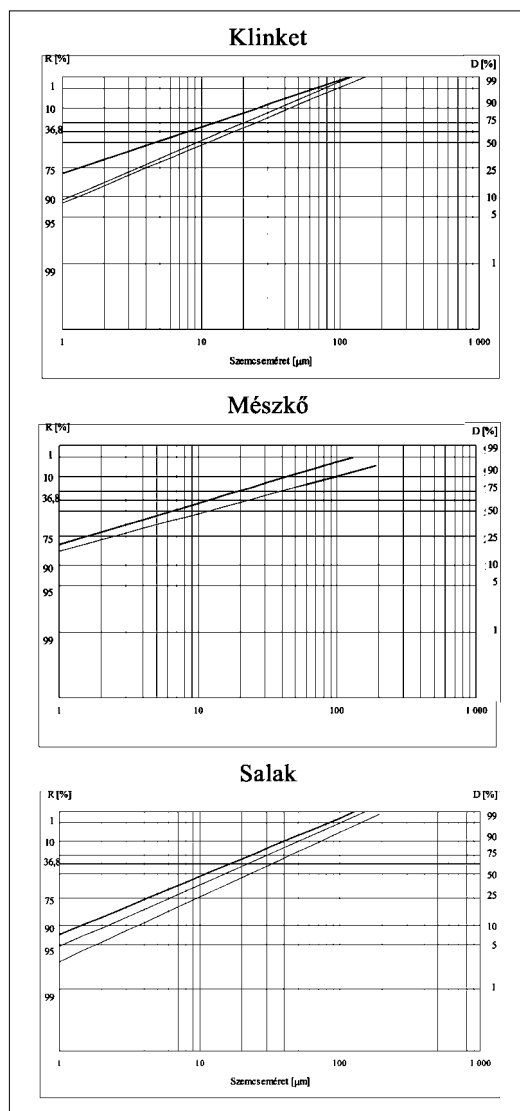
8. ábra. A parciális fajlagos felület részarány (parciális Ff / összes Ff)·100 és a mennyiségi részarány hányadosának változása a kiegészítőanyag-mennyiség függvényében a puccolán és a kohósalak esetében

tekben a parciális fajlagos felületek részaránya jelentősen eltérhet a komponensek részarányától (7. ábra).

Ez utóbbit a komponens anyagi minőségén kívül annak a cementben lévő mennyisége is befolyásolja. A 8. ábrán például látható, hogy a parciális fajlagos felület részarányának (parciális Ff / összes Ff) és az adott komponens mennyiségi részarányának a hányadosa a puccolán esetében annak mennyiségével növekszik, a kohósalak mennyiségével pedig csökken. (Talán úgy lehetne szemléletesen magyarázni, hogy a könnyen őrlhető anyaghoz képest a „keményebb” szemcsék „miniőrölttestként” viselkedve tovább őrlik a puhább anyagot.)

A komponensek külön őrlésével készített cementek vizsgálata

Ahhoz, hogy a cementalkotók egyedi és parciális diszperzitásának a cement tulajdonságaira gyakorolt hatását



9. ábra. Külön őrléssel előállított cementalkotók szemcseméret-eloszlása (finom-közepes-durva)

3. táblázat

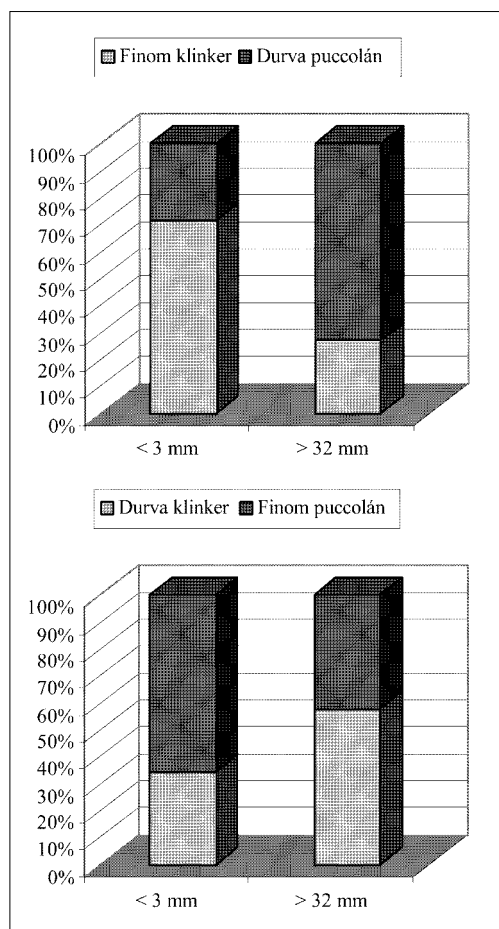
Külön őrölt komponensek egyedi diszperzítási jellemzői

		Jelölés	Fajlagos felület Blaine cm ² /g	RRSB állandók	
				n	x _p
Klinker	Finom	Kf	4500(7500)	0,78	16
	Közepes	Kk	3500	0,85	18
	Durva	Kd	2500	1,03	30
Mészke	Finom	Lf	4500	0,67	26
	Közepes	Lk	3500	0,6	61
	Durva	Ld	2500	0,89	218
Puccolán	Finom	Pf	3000	1,01	22
	Durva	Pd	5000	0,99	39
Kohósalak	Finom	Sf	4500	0,94	16
	Közepes	Sk	3500	0,99	22
	Durva	Sd	2500	1,03	32

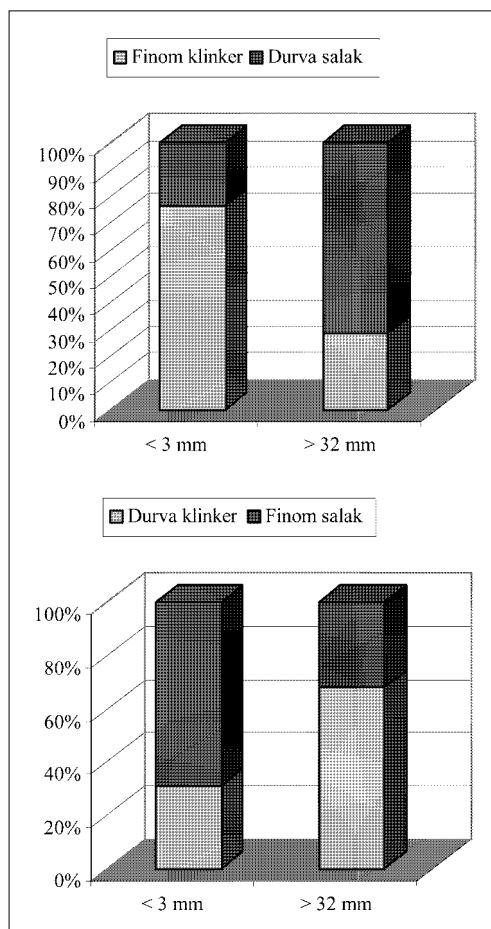
vizsgáljuk, laboratóriumi körülmények között a hazai gyakorlatban alkalmazott kiegészítő anyagokból olyan azonos összes fajlagos felületű (Ff ~ 4000 cm²/g) heterogén cementeket készítettünk, amelyekben váltakozva egyszer a klinker, egyszer pedig a kiegészítő anyagok diszperzitása volt az átlagértéknél nagyobb. A laboratóriumi golyósmalomban őrölt különböző diszperzitású őr-

lemények szemcseméret-eloszlását a 3. táblázatban és a 9. ábrán mutatjuk be. Az alapanyagokból megfelelő gipszadagolással laboratóriumi keverőben készített homogén keverékek (összesen mintegy ötvenféle) összetételének és az ezekkel elvégzett kb. 250 szilárdságvizsgálat eredményeinek közlésétől hely hiányában eltekintünk, de a tendenciák érzékeltetésére a 10-11. ábrán bemutatjuk két-két 50% klinkert tartalmazó kohósalak- és puccoláncement keverék összetételét a jellemző szemcsetartományokban (< 3 μm; > 30 μm). Különösen figyelemre méltóak a kohósalakcementeknél kialakuló viszonyok. Itt a bal oldali oszlopdiagram szerinti parciális diszperzítási viszonyok közelítőleg olyanok, mint amilyenek a nagyüzemileg együttőrléssel gyártott cementnél kialakulnak, ugyanis a 3 μm alatti frakcióban a klinker parciális részaránya jóval nagyobb, a kohósalaké viszont lényegesen kisebb 50%-nál. A jobb oldali oszlopdiagramnál – amit a szakirodalom szerint „ideális közeli”-nek tekinthetünk – a 3 μm alatti részben mintegy 80% a kohósalak részaránya.

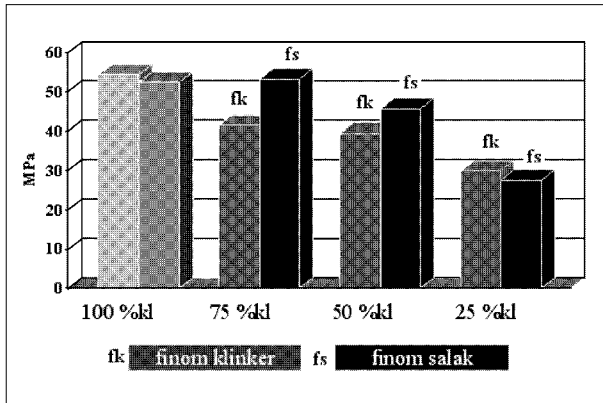
A komponensek parciális diszperzítésének a 28 napos szilárdságra gyakorolt hatását a 12. ábrán szemléltetjük. Ezen a 25, 50 és 75% salaktartalmú cementek szilárdságát egy kiegészítő anyag nélküli cementével hasonlítot-



10. ábra. Külön őrléssel előállított puccoláncement jellemző frakcióinak összetétele (50% klinker, 50% puccolán)



11. ábra. Külön őrléssel előállított kohósalakcement jellemző frakcióinak összetétele (50% klinker, 50% kohósalak)



12. ábra. A különböző parciális diszperzitású klinkert és kohósalakot tartalmazó azonos összes diszperzitású kohósalak-tartalmú cementek 28 napos szilárdsága

tuk össze. Megállapítható, hogy a 25% finom salakot tartalmazó cement nagyobb szilárdságú, mint a „tisztá” portlandcement, és mintegy 30%-kal nagyobb szilárdságú, mint az együttőrléses technológiát modellező „durva” salakot tartalmazó párja.

A különböző mennyiségű kohósalak és mészkő kiegészítő anyaggal készült azonos összes fajlagos felületű cementek nyomószilárdságának alakulását egyéves korig olyan ábrázolásban láthatjuk a 12. ábrán, amelynél az ugyanolyan összetételű és összes fajlagos felületű cementek szilárdsági adatai egymás mellett helyezkednek el. Az egyik esetben a klinker (világosszürke), a másik esetben a kiegészítő anyag (sötétszürke) egyedi fajlagos felülete nagyobb ugyanolyan összes fajlagos felület mellett. Az ábra alapján is megállapítható, hogy a kohósalak-tartalmú cementeknél a szilárdságra a kohósalak egyedi fajlagos felületének növelése előnyösebb.

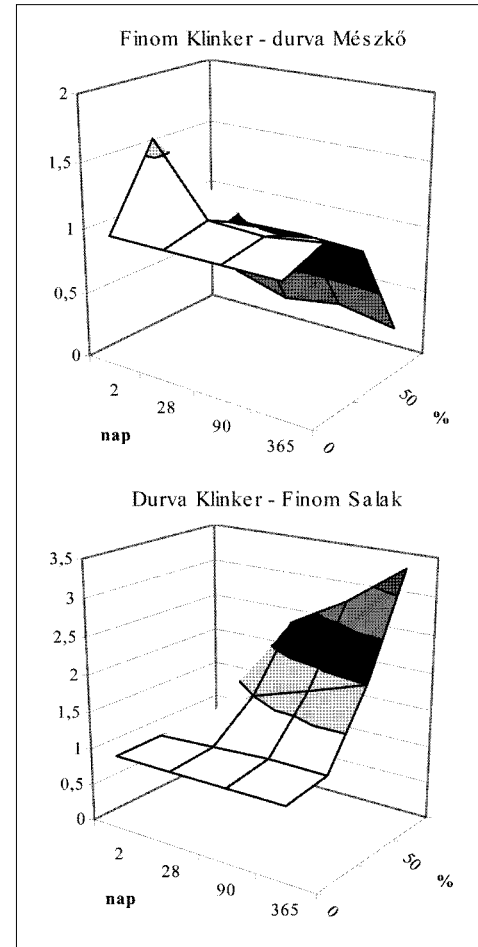
A kiegészítő anyagok „klinkerhelyettesítő” hatásának szemléltetésére bevezettük a klinkeregyenérték fogalmát, ami a heterogén és a homogén portlandcement szilárdságának hányadosa osztva a heterogén cement klinkertartalmának részarányával:

$$K_e = \frac{\left(\frac{R_c}{R_k}\right)}{\left(\frac{a_k}{100}\right)} \quad (3)$$

Ahol

- K_e – a kiegészítő anyag klinkeregyenértéke;
- R_c – a heterogén cement szilárdsága, MPa;
- R_k – a homogén portlandcement szilárdsága, MPa;
- a_k – a klinker mennyisége a heterogén cementben, (%).

(A klinkeregyenérték fogalmát legegyszerűbben a következő gondolati kísérlettel szemléltethetjük: egy homogén portlandcementből „kiveszünk” 100-($a_k/100$) % mennyiségű klinkert, és azt olyan anyaggal helyettesítjük, amelynek hatására a szilárdság nem változik, pl.



13. ábra. A kohósalak- és mészkő-tartalmú cementek klinkeregyenértékének („ K_e ”) változása a kiegészítőanyag-tartalom és a szilárdulási idő függvényében

„visszatesszük” a kivett klinkert. Ekkor $K_e = 1$; ha a helyettesítés után a szilárdság nagyobb lesz, $K_e > 1$; ha pedig kisebb a szilárdság, $K_e < 1$.)

Ennek mészkőre és a kohósalakra kiszámított értékeit mutatjuk be a 13. ábrán közölt felületdiagramokon. Szembetűnő, hogy az inaktív mészkőnél a kiegészítő anyag mennyiségével és a szilárdulási idővel csökken a klinkeregyenérték, az aktív kohósalaknál pedig növekszik. Általánosságban is kimondható, hogy a kisebb aktivitású anyagoknál (pl. mészkő, egyes puccolánok) azonos összes diszperzitás esetén a klinker egyedi diszperzitásának nö-

4. táblázat

Néhány klinkeregyenérték („ K_e ”) 28 napos korban együtt és külön őrlött cementeknél

	Együttőrlés	Különőrlés
CEM II/A-P 42,5 N	1,11	1,05
CEM II/A-S 32,5 R	1,18	1,36
CEM II/B-S 32,5 N	1,09	1,36
CEM II/B-M(S-P) 32,5 N	0,94	1,77

velése előnyösebb, nagyobb aktivitású anyagoknál (pl. kohósalak, pernye) pedig ezeknek az őrlési finomságát célszerű növelni.

Ilyen számításokat együttőrléssel készült üzemi cementekkel is végeztünk. Néhány ilyen eredményt mutatunk be a 4. táblázatban, összehasonlítva a közel azonos összetételű és összes diszperzitású cementek eredményeivel. Mint látható, a könnyen őrlhető puccolánnal készült portlandcementeknél a külön őrlés nem eredményez kedvezőbb értékeket. A kohósalak-tartalmú cementeknél viszont jelentős előnyökkel jár a salak finomra őrlése külön őrléssel, vagy amennyiben ez műszakilag egyáltalán lehetséges, olyan speciális őrléstechnológia kiválasztásával, amellyel biztosítható a salakkomponens nagyobb egyedi diszperzitása.

Összefoglalás

Együttőrléssel gyártott nagyüzemi heterogén cementek összetevőinek spontán kialakuló diszperzitásjellemzőit és szilárdulását összehasonlítottuk olyan közel azonos összetételű cementek jellemzőivel, amelyeket külön őrléssel előállított különböző egyedi diszperzitású komponensekből szintetizáltunk. Megállapítottuk,

hogy aktív cementkiegészítő anyagok (kohósalak, pernye, természetes puccolán) esetén előnyösebb, ha azok egyedi diszperzitása nagyobb, mint a klinkeré, inaktív kiegészítő anyagoknál (mészke, kis aktivitású puccolán) viszont kedvezőbb, ha a klinker egyedi diszperzitása nagyobb. A megfelelő őrlési és homogenizálási technológia megválasztásánál célszerű e tapasztalatokat figyelembe venni.

Irodalom

- Feige, F.*: Építőanyag. 54, 1. 7. (2002).
Feige, F.: Zement-Kalk-Gips. 51, 11. (1998).
Révay M.: Építőanyag. 54, 2. 54. (2002).
Révay M.: Építőanyag. 54, 1. 15. (2002).
Révay M.: Beton. 9, 7-8. 7. (2001).
Ujhelyi J.: Beton. 9, 1. 3. (2002).
Beke B.: Principles of Communion. Hung. Acad. of Sc. Bp. (1964).
Opoczky L.– Gável V.: 10 th Europ. Symp. on Communion. Heidelberg (2002).
Opoczky L.– Gável V.: Építőanyag. 55, 1. 2. (2003).
Opoczky L.: Optimális összetételű és minőségű kompozitcementek. T 014872. (OTKA) Zárójelentés (1998).
Révay M.– Opoczky L.: Beton. 7, 1. 3. (1999).
Ehrenberg, A.– Lang, E.: Cement International. 1, 2. 89. (2003).
Opoczky L.: Építőanyag. 48, 2. 55. (1996).
Révay M.: Beton. 3, 9. 4.; 10. 3; 11. 3. (1996).
Révay M.: Beton. 3, 12. 3.

* * *

RENDEZVÉNY

Nemzetközi Betonút Szimpózium Budapest, 2004. március 11.

A hazai gyorsforgalmú utak építési programjának előtérbe kerülésével nálunk is felvetődtek az útépités aktuális kérdései. A gyorsan növekvő forgalom és a nagyobb terhelést okozó közlekedési eszközök fokozott követelményeket támasztanak az útburkolatokkal szemben. Megnőtt az igény a nagy terhelést és igénybevételt bíró, megbízható és tartós, gazdaságosan megépíthető burkolatok iránt.

A nemzetközi tapasztalatok azt mutatják, hogy nagy forgalmú és igénybevételű utak burkolataként növekvő mértékben alkalmaznak betont. A gyorsközlekedési utak, a repülőtéri kifutópályák mellett egyre többször betonburkolattal látják el a lakott területeken kívüli utakat vagy az autóbusz-megálló területét. A betont teherbíró képessége, alaktartó tulajdonságai mellett a tapadóképeség, a világos szín, a tűzállóság teszik alkalmassá közlekedési utak burkolására. A külföldi közlések hosszú távon gazdaságos betonburkolatokról szólnak.

A betonburkolatokkal szemben külföldön is találkozunk idegenkedéssel. Az első és második generációs utakon tapasztalható ritmikus döccenések sokakban tartózkodást váltanak ki. A korábbi hazai kedvezőtlen tapasztalatok sem

növelik a beton iránti érdeklődést. A nemzetközi trend alakulása arra készítette a Magyar Cementipari Szövetséget, hogy a Magyar Útügyi Társasággal és a Magyar Betonszövetséggel összefogva betonburkolatokkal foglalkozó szimpóziumot rendezzen.

A szervezők célja, hogy a hazai, útépitésben és üzemeltetésben érdekelt szakemberek minél szélesebb köre számára tegye lehetővé az egyes európai országokban fennálló helyzet megismerését, valamint tájékozódjanak a hazai tapasztalatokról. A rendezőknek sikerült több országból (Ausztria, Németország, Svájc) kiváló szakembereket megnyerni előadás tartására, akik hatósági, tervezési-építési vagy műszaki szabályozási munkakörben dolgoznak, és így a szakma teljes keresztmetszetét képviselik.

Ugyancsak elismert hazai szakemberek fogják a résztvevőket tájékoztatni a korszerű betonburkolatokkal szembeni üzemeltetési elvárásokról, a műszaki megoldásokról, a próbaszakaszokkal és az építéssel kapcsolatban az elmúlt 25 évben szerzett tapasztalatokról.

A Nemzetközi Betonút Szimpóziumra 2004. március 11-én kerül sor a Magyar Tudományos Akadémia dísztermében.

A részvétel díjtalan. A belépéshez szükséges meghívót előzetes jelentkezés alapján küldi a Magyar Cementipari Szövetség (1037 Budapest, Pf. 230. Tel.: 1 250 1629, fax: 1 368 7628, e-mail: mcsz@mcsz.hu

Nanoporok szintézise termikus plazmában

Szépvolgyi János – Károly Zoltán

MTA Kémiai Kutatóközpont, Anyag- és Környezetkémiai Intézet

Bevezetés

A nanotudomány és nanotechnológia, azaz az 1–100 nm jellemző méretű anyagi rendszerek kutatása, fejlesztése és alkalmazása az anyagok atomi, molekuláris és szupramolekuláris szintű megismerését és a velük való munkálkodást – megfigyelést, mérést és átalakítást – jelenti. E mérettartományban az anyagok fizikai, kémiai és egyéb tulajdonságai lényegesen és sokszor teljesen meg-
leptő módon különböznek a tömbi tulajdonságoktól. Ebből következően a nanoszerkezetű anyagok számos területen előnyösebben használhatók fel, mint a mikro- és makroszerkezetű anyagok [1].

Már ma is széles körben alkalmaznak nanotechnológiai módszerekkel előállított, javított tulajdonságú termékeket, köztük módosított katalizátorokat, nem szennyeződő műszálakat, különleges kötőképeségű fogászati anyagokat, szilárdtest-érzékelőket, digitális fényképezőgép-kijelzőket és nagy kapacitású számítógéplemezeket.

A nanoanyagok megjelenési formájukat tekintve

- nanoporok,
- nanoméretű klaszterek,
- nanoszálak (nanodrótok, nanorudak, nanocsövek) és
- nanoszerkezetű tömbi anyagok lehetnek.

Utóbbiak közé tartoznak az ún. nanopórusos anyagok is.

A nanotudományi kutatásoknál és fejlesztéseknél, a feladatok sokrétűsége és bonyolultsága miatt, egyfelől széles körben alkalmazzák a „hagyományos” diszciplínák eszköz- és módszertanát, másfelől azoktól teljesen

különböző, újszerű kutatási és vizsgálati eszközöket és módszereket használnak fel.

A nanoszerkezetű anyagok előállításának két fő útját az 1. ábra mutatja. Az egyik módszer szerint először nanoméretű szemcsékből álló, kívánt összetételű port állítunk elő alkalmas fizikai és kémiai módszerekkel. Ezután a nanoporból nyerstesteket formázunk, és azokat hőkezelésnek vetjük alá a végső szerkezet és forma kialakítása érdekében. Ebben az esetben a fő nehézséget az okozza, hogy a végtermékben miként lehet megőrizni a nanoszerkezetet, azaz elkerülni a nem kívánatos szemcsenövekedést.

A másik módszernél az anyagszintézist és formázást egyetlen lépésben hajtjuk végre, és a kialakuló nanorétegek „összeépítésével” alakítjuk ki a végső alakot és szerkezetet.

Mindkét eljárásnak megvannak az előnyei és hátrányai, és természetesen a tudományos és műszaki kihívásai is.

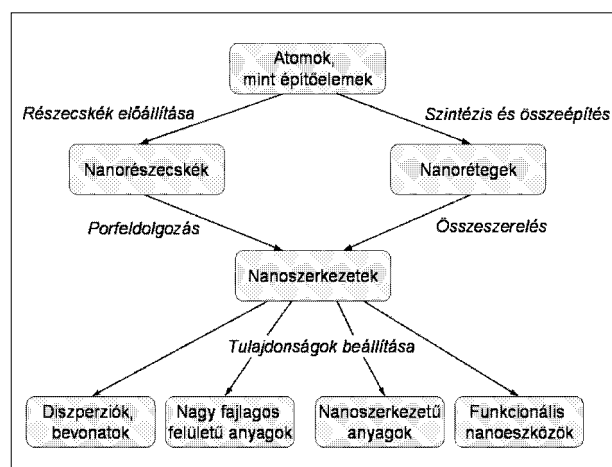
Közleményünk a nanoméretű kerámiaszemcsék szintézisével, jellemzésével és további feldolgozásának egyes kérdéseivel foglalkozik. Modellként a korszerű műszaki kerámiák egyik fontos képviselőjét, a szilícium-nitridet választottuk.

A szilícium-nitrid kerámiák néhány tulajdonságáról

A szilícium-nitrid-alapú tömör kerámiák kitűnő mechanikai, fizikai és kémiai tulajdonságokkal rendelkeznek. Emiatt, valamint abból adódóan, hogy mechanikailag jellemzőik 1100–1200 °C-ig alig változnak, széles körben alkalmazzák őket a műszaki és technológiai gyakorlatban.

A szilícium-nitrid erősen kovalens vegyület. Az anyag öndiffúziója nagyon kicsi, ezért az elméleti sűrűséget megközelítő, tömör szilícium-nitrid kerámiákat csak olvadákképző adalékok, így Al_2O_3 , Y_2O_3 vagy MgO jelenlétében, 1600–1700 °C-on, 8–10 MPa nyomáson végzett hőkezeléssel lehet előállítani. A zsugorodás sebessége és a termékek tulajdonságai nagymértékben függenek a Si_3N_4 szemcsék beoldódásának és olvadékból történő kiválásának sebességétől és mechanizmusától.

Szilícium-nitrid kerámiákban a szemcsehatárokon óhatatlanul jelen van több-kevesebb üveges fázis, ami a termékek magas hőmérsékletű viselkedését kedvezőtlenül befolyásolja. E probléma kiküszöbölésének szándékával az utóbbi időben több közlemény jelent meg szilícium-



1. ábra. Nanoszerkezetű anyagok előállításának lehetőségei

nitrid nanoporok nagyon nagy (> 50 MPa) nyomáson, adalékok nélkül végzett hőkezeléséről [2].

Szilícium-nitrid nanoporok többféleképpen állíthatók elő. Az egyik lehetséges eljárás a nagy reakcióképességű szilíciumvegyületek (főképpen szilán és származékainak) reakciója nitrogéntartalmú vegyületekkel, például ammóniával. A reakció jó hatásfokkal hajtható végre magas hőmérsékletű, ún. termikus plazmákban. Különösen előnyösek lehetnek erre a célra az ún. rádiófrekvenciás, indukciósan kicsatolt plazmareaktorok. E rendszerekben a gázfázis összetétele, a rendszer tényleges hőmérsékletétől függetlenül, széles határok között változtatható. Ez az adottság, valamint a plazmareaktorokban biztosítható intenzív hő- és anyagátadás kedvező körülményeket teremt a porszintézishez. A reagáló anyagok nagyon gyorsan magas (3000–4000 K) hőmérsékletre melegednek fel, és nagy sebességgel bomlanak le. A képződő molekula-töredékek egymással reakcióba lépnek, és kedvező esetben kialakul a kívánt összetételű termék.

A plazmalángot elhagyó gázáram hőmérséklete hirtelen, $1000 \text{ K} \cdot \text{ms}^{-1}$ sebességgel csökken: emiatt homogén magképződéssel, nanoméretű szemcsékből álló termékek képződnek.

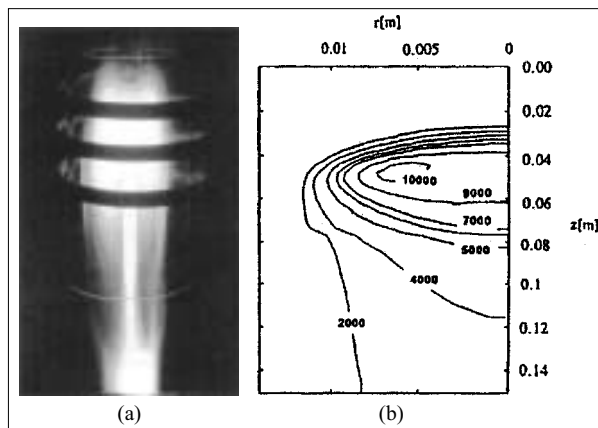
A következőkben – saját kísérleti munkánk alapján – a Si_3N_4 termikus plazmában SiCl_4 és NH_3 reakciójával történő előállításáról számolunk be. Áttekintjük a szintézis körülményei és a reakciótermékek tulajdonságai közötti kapcsolatokat, és bemutatjuk a nanoporok öregedésével és kristályosodásával kapcsolatos eredményeinket.

Szilícium-nitrid nanoporok előállításának kísérleti körülményei

Az általunk használt kísérleti berendezés a következő, kvarcüvegből készített egységekből áll: plazmaégő és ehhez kapcsolódó léghűtéses reaktor és porleválasztó ciklon. A plazmaállapot kialakításához szükséges energiát a 27,17 MHz frekvencián működő, rádiófrekvenciás (RF) generátor szolgáltatja. A generátor által leadott energiát indukciós tekercs segítségével csatoljuk ki a plazmaégőhöz (2a ábra). A generátorteljesítmény folyamatosan változtatható, legnagyobb értéke 7 kW. A kísérletekben, plazma- és hűtőgázként is, nagy tisztaságú argont használtunk. A kiindulási reagenseket a láng oldalsó részébe adagoltuk.

A plazmaégő kétdimenziós plazmamoddellel számolt hőmérséklet-eloszlása a 2b ábrán látható. A plazmalángban a legmagasabb hőmérséklet 10 000 K, de még az égő falától 5 mm-re is 2000 K a gáz hőmérséklete.

A fenti berendezésben előállított termékek összes nitrogén- és oxigéntartalmát LECO N-O módszerrel, szilícium-tartalmát ICP-AES módszerrel határoztuk meg. A szemcsék felületi kémiai jellemzőit XPS technikával vizsgáltuk. A fázisviszonyokról XRD mérésekből szereztünk információkat. Ezeket, az amorf részarány meghatározása céljából



2. ábra. Az RF termikus plazmareaktorban kialakuló plazmaláng képe (a) és hőmérséklet-eloszlása (b)

FTIR vizsgálatokkal egészítettünk ki. A porok fajlagos felületét BET módszerrel határoztuk meg. A szemcsék morfológiáját TEM és SEM felvételek alapján tanulmányoztuk.

Kísérleti eredmények és értékelésük

A reakciókörülmények szerepe

A porszintézis körülményei és termékjellemzők közötti kapcsolatok felderítésére kétszintű, teljes faktoros kísérleti tervet készítettünk. Négy rendszerváltozót vettünk figyelembe (1. táblázat), célfüggvényként pedig a szilícium-nitrid por kihozatalának és nitrogéntartalmának súlyozott értékét választottuk. A kihozatal (Y_s) a kísérletileg mért portömeg és a reagensek beadagolási sebességéből, valamint a reakcióegyenletből számított, „elméleti” szilícium-nitrid tömeghozam hányadosaként definiáltuk.

1. táblázat
A kísérlettervezésben használt rendszerváltozók és azok értékei

No	Rendszerváltozók	Értékük		
		Alsó	Közép	Felső
1	Kicsatolt teljesítmény (kW)	1,5	2,0	2,5
2	Hűtőgáz áramlási sebessége ($\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$)	16	19	22
3	SiCl_4 betáplálás sebessége ($\text{g} \cdot \text{min}^{-1}$)	0,3	0,6	0,9
4	NH_3 betáplálás sebessége ($\text{g} \cdot \text{min}^{-1}$)	0,8	1,4	2,0

géből, valamint a reakcióegyenletből számított, „elméleti” szilícium-nitrid tömeghozam hányadosaként definiáltuk.

A változók 1. táblázatban megadott beállításával $2^4 = 16$ kísérletet, majd 3 további, párhuzamos kísérletet végeztünk a változók közéértékei mellett.

A kapott eredmények részletes taglalása meghaladja közleményünk kereteit. A részleteket illetően egy korábbi munkánkra hivatkozunk [3].

Mindenképpen érdemes megemlíteni, hogy a szilícium-nitrid kihozatalát és a termék nitrogéntartalmát egyaránt, elsősorban a kicsatolt teljesítmény és az ammónia beadagolási sebessége határozza meg.

A változók közti kereszthatásokat a plazmaszintézis fajlagos energiájának (E_{sp}), azaz a kicsatolt teljesítmény és az ammónia tömegárama hányadosának kiszámításával vettük figyelembe. A termékkihozatal és a nitrogéntartalom E_{sp} -től való függése a 3. ábrán látható.

A 3. ábra meglehetősen bonyolult kapcsolatrendszerrel utal. Ugyanakkor egyértelmű, hogy a fajlagos energia növelése kedvezően befolyásolja a kihozatalt és a porok nitrogéntartalmát is.

Kisebb fajlagos energiáknál a SiCl_4 és NH_3 közötti reakciót kinetikai tényezők befolyásolják. Nagyobb fajlagos energiáknál viszont már a termodinamikai hatások dominálnak. Utóbbi esetben, a szilícium-nitrid mellett, jelentős mennyiségben képződik fémszilícium is. Emiatt a porok szilíciumtartalma magasabb, nitrogéntartalma alacsonyabb lesz, mint kisebb E_{sp} értékeknél.

A kicsatolt teljesítmény és az NH_3 tömegárama mellett a SiCl_4 adagolási sebessége ugyancsak befolyásolja a plazmareaktorban végbemenő reakciót. A SiCl_4 beadagolási sebessége egyrészt hatással van a plazmaláng hőmérséklet-eloszlására és a reaktor keveredési viszonyaira. Másrészt, termikus plazmakörülmények között, a Si_3N_4 képződéséhez szükséges szilíciumtartalmú gyökök aktiválási energiái közel esnek a Si-Cl kötés energiájához. Mindezek miatt, a SiCl_4 betáplálási sebességét, egyébként azonos feltételek mellett, adott érték fölé növelve, csökken a SiCl_4 bomlásának hatékonysága, ezáltal a Si_3N_4 kihozatal.

Az előállított szilícium-nitrid porok tulajdonságai

Kísérleti eredményeink szerint a rendszerváltozók alábbi értékei mellett jutunk el a porkihozatal és a nitrogéntartalom együttes optimumához:

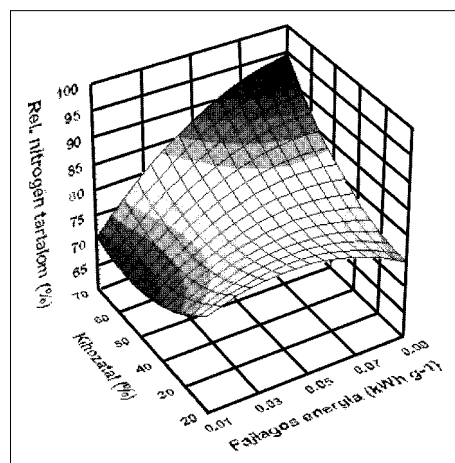
- kicsatolt teljesítmény 3 kW,
- argon plazmagáz áramlási sebessége $71 \cdot \text{min}^{-1}$ (STP),
- argon hűtőgáz áramlási sebessége $191 \cdot \text{min}^{-1}$ (STP),
- SiCl_4 betáplálás sebessége $0,3 \cdot \text{g} \cdot \text{min}^{-1}$
- NH_3 betáplálás sebessége $2 \cdot \text{g} \cdot \text{min}^{-1}$.

Fenti körülmények között a szilícium-nitrid kihozatal 56,9%. A keletkező termék 60%-a a reaktor falán válik le,

2. táblázat

Az optimális körülmények mellett előállított Si_3N_4 por tulajdonságai

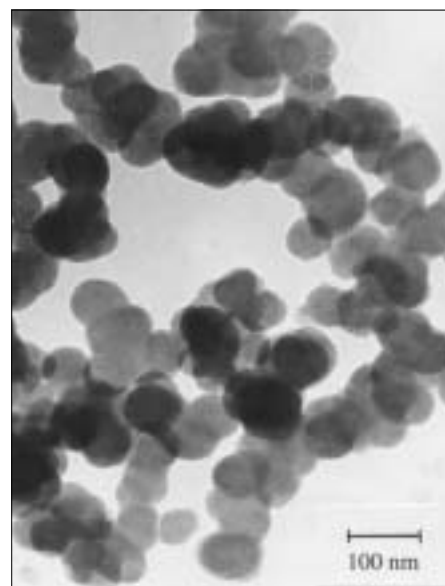
Minta	N_b (%)	O_b (%)	Si_b (%)	S (m^2g^{-1})	D (nm)
SNP-1	38,2	2,6	59,1	64	30
SNP-2	33,1	8,2	58,3	102	18



3. ábra. A szilícium-nitrid kihozatalának és nitrogéntartalmának függése a szintézis fajlagos energiafelhasználásától

míg 30%-a a ciklonban gyűlik össze. Mintegy 10%-a pedig a gázárammal eltávozik a rendszerből. A reaktor faláról (SNP-1) és a ciklonból származó (SNP-2) termékek főbb jellemzőit a 2. táblázatban foglaltuk össze. A táblázatban N_b , O_b és Si_b rendre a tömbi nitrogén-, oxigén- és szilíciumtartalmat jelölik, S a porok fajlagos felülete, míg D a fajlagos felületből számított átlagos szemcseméret.

Az SNP-1 minta nitrogéntartalma az elméleti érték 95,5%-a, ugyanakkor viszonylag magas az oxigéntartalma. A ciklonból származó SNP-2 por az előzőnél valamivel kisebb nitrogén- és még magasabb oxigéntartalmú. Az oxigéntartalom függ a minta fajlagos felületétől; minél nagyobb a fajlagos felület, annál magasabb a por oxigéntartalma. Megállapítottuk, hogy a termékek több mint 80%-ban amorf jellegűek, a kristályos rész főként α -, kisebb részben β - Si_3N_4 -ből áll.



4. ábra. Az SNP-1 por TEM felvétele

A Si_3N_4 porok TEM felvételekből (4. ábra) számított átlagos szemcseméretei – hibahatárokra – megegyeznek a 2. táblázatban szereplő, fajlagos felületből számított értékekkel. A TEM felvételek szerint a porok gömb alakú szemcsékből állnak.

Felületi töltésük miatt az egyedi Si_3N_4 szemcsék hajlamosak összetapadni. A kialakult agglomerátumok azonban lazák, és mint azt vizes szuszpenzióik készítése során tapasztaltuk, könnyen szétesnek.

A szemcsék mérete, alakja és amorf szerkezete egyaránt a gázfázis rendkívül gyors lehűlésével magyarázható: a kialakuló szemcsék túlságosan rövid ideig tartózkodnak a további szemcsenövedéshez és/vagy kristályosodáshoz szükséges hőmérsékleten.

Az oxigéntartalom (2. táblázat) eredetének és megoszlásának felderítésére XPS méréseket végeztünk. Ezzel a módszerrel egyrészt megállapítható a szemcsék legkülső, 2–3 nm vastagságú rétegének kémiai összetétele, másrészt információkat kapunk a felület közelében elhelyezkedő atomok kémiai állapotáról is.

Az XPS vizsgálatok eredményeit a 3. táblázatban foglaltuk össze. Feltűntettük a porok egész tömegére jellemző tömbfázisbeli koncentrációkat is. Ezek az értékek megegyeznek a 2. táblázatban szereplőkkel, de az összehasonlíthatóság érdekében most atom %-ban adjuk meg a tömbi koncentrációkat is.

3. táblázat

A Si_3N_4 porok tömbfázisbeli és felületi összetétele

Minta	Tömbfázis (atom %)			Felület (atom %)		
	N_b	O_b	Si_b	N_s	O_s	Si_s
SNP-1	52,7	5,2	42,0	30,9	27,6	35,1
SNP-2	47,6	10,3	42,0	25,5	35,4	32,5

A 3. táblázat adatai szerint a porok felületi oxigéntartalma jelentősen meghaladja a tömbi értékeket. Az oxigéntartalom ilyenkor megoszlása egyértelműen a szemcsék felületének utólagos oxidációjára utal. Ennek alátámasztására számításokat végeztünk az oxigéntartalom szemcséken belüli megoszlására.

Feltételezve, hogy a mintában levő összes oxigén a szemcsék felületének közelében, SiO_2 formájában helyezkedik el, az [5] közleményben leírtak szerint meghatározható egy „elméleti” rétegvastagság (d_H). Másrészt, az intézetünkben kifejlesztett számítógépes program [6] segítségével, az XPS intenzitásokról számítható egy ún. egyenértékű felületi rétegvastagság (d_{XPS}). A d_{XPS} és a d_H értékeket egymással összehasonlítva képet kapunk az oxigéntartalom szemcséken belüli eloszlásáról: minél nagyobb a d_{XPS}/d_H arány, annál több oxigén található a felületen. A számítások eredményeit összefoglaló 4. táblázatból kitérünk, hogy gyakorlatilag a teljes oxigéntartalom a szemcsék felületén koncentrálódik, tehát az oxidáció a szemcsék kialakulását követően játszódott le. A d_{XPS} értékek alapján a felületi

oxidréteg megközelítőleg két SiO_2 -monoréteg vastagságú, ugyanis az azt felépítő SiO_4 tetraéderek jellemző mérete 265 pm.

Az XPS spektrum részletesebb elemzésével meghatározható a felületen található elemek kémiai állapota. Az SNP-1 minta XPS spektrumában detektált Si 2p csúcs burkológörbéjének felbontása az 5. ábrán látható.

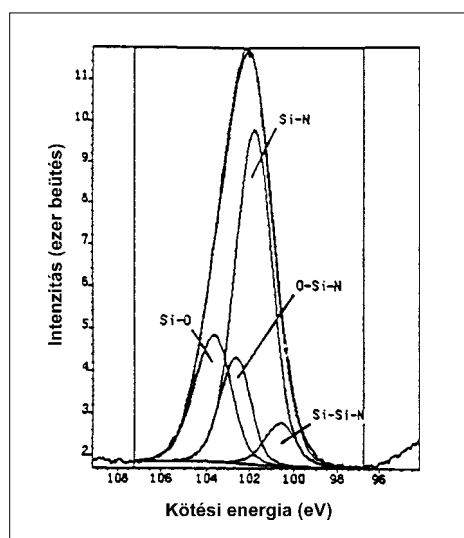
4. táblázat

A felületi SiO_2 réteg vastagsága és az oxigéntartalom megoszlása

Minta	d_H (pm)	d_{XPS} (pm)	Felületi oxigén hányada (%)
SNP-1	570	540	95
SNP-2	690	640	93

A Si 2p csúcs burkológörbéjére négy, 2,0; 2,0; 1,7 és 1,7 eV félérték-szélességű Gauss-görbe illeszhető. A négy összetevő rendre Si-O, O-Si-N, Si-N és Si-Si-N kémiai állapotú szilíciumnak felel meg. Számításaink szerint a Si_3N_4 szemcsék felületén található szilíciumatomok 22%-a SiO_2 -hoz, 15,3%-a $\text{Si}_2\text{N}_2\text{O}$ -hoz, 56,9%-a Si_3N_4 -hez és 6,3%-a Si-Si-N kötésekkel tartalmazó szub- Si_3N_4 -hez kapcsolódik. Ez azt jelenti, hogy a felületi oxigén kb. 85%-a Si-O kötésben, 15%-a O-Si-N kötésben van jelen. A felületi oxidréteg összetétele tehát a szilícium-dioxid és a szilícium-oxinitrid összetétele közé esik.

Az oxigén felületi dúsulása előnyösen befolyásolhatja a szilícium-nitrid porok szinterelését, mivel kevesebb külön bevitt olvadékképző adalékra van szükség. Ráadásul hőkezeléskor az oxidos olvadék közvetlenül a szemcsék felületén alakul ki, emiatt azok gyorsabban beoldódnak. A hőkezelést ekkor természetesen a szokásosnál valamivel magasabb hőmérsékleten és nyomáson kell végezni.

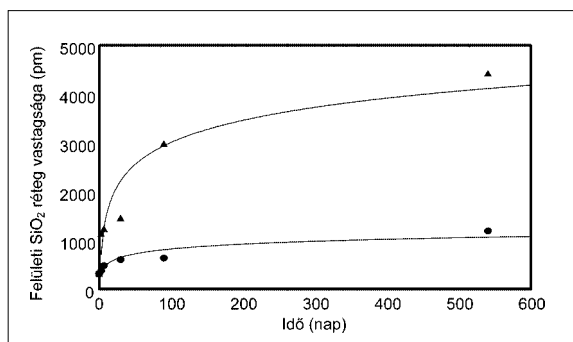


5. ábra. A SNP-1 minta Si 2p csúcsának felbontása

Amorf Si_3N_4 porok öregedése atmoszférikus körülmények között

Amennyiben a nanoméretű, amorf szilícium-nitrid porok – kezelésük és tárolásuk során – oxigén- vagy vízgőztartalmú közeggel érintkeznek, tovább oxidálódhatnak. Ennek tanulmányozására ún. atmoszférikus öregítési kísérleteket végeztünk: vizsgáltuk, hogy az általunk előállított nanoporok tömbi és felületi kémiai viszonyai, szerkezete és morfológiája miként változik, ha azokat száraz argonban, száraz levegőben, illetve 80%-os relatív páratartalmú levegőben hosszabb ideig (3–540 napig) tároljuk.

Az XPS mérésekből meghatározott felületi SiO_2 rétegvastagság, a tárolási idő függvényében, a 6. ábrán látható módon változik. Kezdetben gyors a felületi oxidáció, majd az idő előrehaladásával egyre inkább lelassul. XRD méréseink szerint, amint arra az előzőekben már utaltunk, a kiindulási SNP-1 por 80%-a amorf, míg 20%-a kristályos, többnyire $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ fázisú anyag. A nagy felbontású XRD felvételeken megfigyelt vonalszélesedésből számítva az amorf rész átlagos szemcsemérete 30 nm, míg a kristályos fázisáé 75 nm. A 6. ábrán levő görbék lefutása tehát a következők szerint értelmezhető: az öregedés a kisebb méretű, emiatt nagyobb reaktivitású amorf szemcsék oxidációjával kezdődik. Az egyre vastagodó felületi oxidréteg lelassítja a további oxidációt; a gáz-szilárd reakció helyett ekkor már az oxigénatomok SiO_2 rétegen keresztüli diffúziója határozza meg a bruttó sebességet. Hosszabb idő (kb. 100 nap) elteltével megkezdődik a nagyobb méretű, azaz kisebb reaktivitású, kristályos szemcsék oxidációja is.



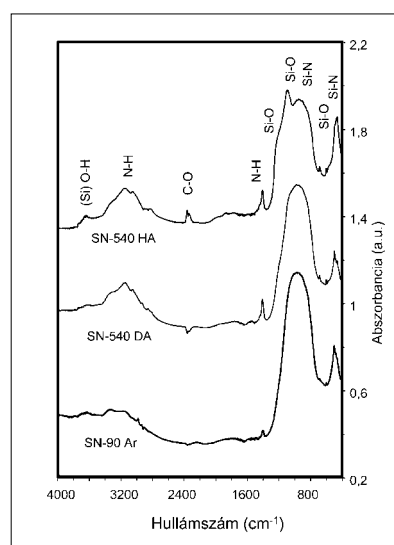
6. ábra. A felületi SiO_2 réteg vastagságának időbeli alakulása
• száraz és ▲ nedves levegőben

A 6. ábrából egyértelműen kitűnik, hogy a nedves levegőn tárolt minták sokkal jobban oxidálódnak, mint a száraz levegőn tároltak. Az argonban tárolt mintáknál nem tapasztaltunk további oxidációt annak ellenére, hogy az argongáz tartalmaz nyomnyi mennyiségű oxigént.

A 90 napig argonban (SN-90 Ar), az 540 napig száraz levegőn (SN-540 DA) és ugyancsak 540 napig nedves levegőn tárolt (SN-540 HA) minták DRIFT spektrumai a

7. ábrán láthatók. A környező közeg oxigén- és vízgőztartalmának növekedésével jelentősen megnő a 3720, 3360, 2360, 1400 és 1090 cm^{-1} hullámszámoknál jelentkező abszorpció intenzitása. A 3720 cm^{-1} -nél fellépő abszorpció a szilanol csoportok nyújtási vegyértékrezgésének felel meg, míg 3360 cm^{-1} -nél a N-H nyújtási rezgése átlapolódik a H-O rezgésekkel. A 1090 cm^{-1} hullámszámánál megfigyelt abszorpciót a Si-O-Si nyújtási rezgések okozzák.

A 80%-os páratartalmú levegőben, 540 napig tárolt, SN-540 HA jelű mintánál az abszorpciós sávok intenzitásának növekedése oxidációra és szilanol csoportok képződésére utal. Ennél a mintánál Si-N deformációs módhoz tartozó, 460 cm^{-1} -nél jelentkező abszorpció intenzitása is nagyobb volt az argonban tárolt mintákhoz képest.



7. ábra. Az öregített minták FTIR spektruma

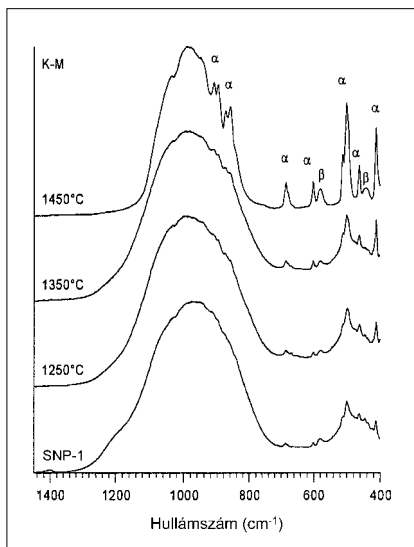
Kristályosodási vizsgálatok

Amorf szilícium-nitrid porokból többféle módon készíthető tömör kerámia. Korábban már bizonyítottuk, hogy az általunk előállított amorf nanoporokból – formázást követően – nitrogén atmoszférában, 10 MPa nyomáson végzett hőkezeléssel közvetlenül előállíthatók 90%-ban kristályos fázisú, az elméleti sűrűséget jól közelítő, tömör kerámiák [5].

A másik kerámiakészítési lehetőség az amorf porok előzetes kristályosítása, majd a kapott kristályos porok további, szokásos feldolgozása.

Ez utóbbi változat tanulmányozása céljából vizsgáltuk a termikus plazmában előállított amorf nanoporok kristályosodását laboratóriumi csökemencében, nitrogén atmoszférában. A hőkezelés idejét 30 és 360 perc között, hőmérsékletét 1250-1500 °C között változtattuk. A kristályosodás előrehaladását a termékek FTIR vizsgálatával követtük (8. ábra).

Amint említettük, a kiindulási SNP-1 por döntően amorf jellegű; kevesebb, mint 20% α - Si_3N_4 -et és β - Si_3N_4 -et tartalmaz. A hőkezelés hatására az anyag fázisösszetétele megváltozik: az amorf rész, a hőmérséklettől és a kezelési időtől függő hányadban, kristályos anyaggá alakul át. Kísérleti eredményeink szerint az amorf \rightarrow kristályos átalakulás 1350 °C fölött válik számottevővé (8. ábra). Mértéke a hőmérséklet emelésével nő. Az α - Si_3N_4 / β - Si_3N_4 arány maximumát, ami a tömör kerámiák mechanikai tulajdonságai szempontjából fontos tényező, 1450 °C-on, 120 percig végzett hőkezeléssel értük el. Ekkor a szilícium-nitrid por mintegy 75%-ban kristályos, az α/β arány értéke pedig 8,4. A hőmérsékletet és a kezelési időt tovább nem célszerű növelni, mivel a kristályosodás lelassul, és csökken az α/β arány is.



8. ábra. Az amorf SNP-1 por kristályosodásának alakulása a hőmérséklet függvényében

A fenti megállapításokkal összhangban levő eredményeket szolgáltatott XRD vizsgálataink is (5. táblázat). A kristályosodott mintákban az α - Si_3N_4 a fő fázis, de mellette β - Si_3N_4 is kimutatható.

A kristályosodás során változik a porok szemcsemérete és diszlokációsűrűsége is. A kiindulási és a kristályosodott porok átlagos szemcseméretét és diszlokációsűrűségét

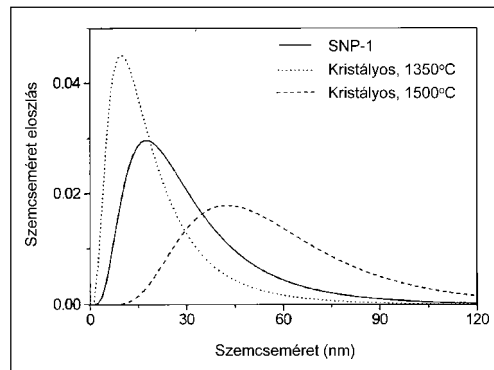
5. táblázat

A plazmában előállított és a hőkezelt porok fázisösszetétele

	Amorf (v/v%)	α - Si_3N_4 (v/v%)	β - Si_3N_4 (v/v%)
SNP-1	80	17	3
Kristályosított minták			
1250°C-on	70	27	3
1350°C-on	65	32	3
1450°C-on	25	67	8
1500°C-on	20	67	13

a közelmúltban kidolgozott és módosított Williamson-Hall és Warren-Averbach eljárással határoztuk meg az XRD mérésekből [7].

A kapott szemcseméret-eloszlás függvényei (9. ábra) szerint az 1350 °C-on kristályosított por eloszlásának középértéke csökken, míg szórása kissé nő az amorf SNP-1 porhoz képest. Az 1500 °C-on végzett hőkezelés erős szemcsedurulást eredményez: a méreteloszlás középértéke és szórása is növekszik az amorf porhoz képest.



9. ábra Szilícium-nitrid porok kristályosítás előtti és utáni szemcseméret-eloszlása

A nanoméretű, amorf szilícium-nitrid porok nitrogénben végzett hőkezelésekor a szemcsék morfológiája nem változik: a kristályos porok is döntően gömb alakú szemcsékből állnak. A kristályosítás céljából alkalmazott hőkezelés számottevően nem változtatja meg sem az α - Si_3N_4 , sem a β - Si_3N_4 diszlokációsűrűségét: a kristályos fázisok diszlokációsűrűsége 10^{14} - 10^{15} m⁻².

Az amorf porok argonban, 1500 °C-on, 120 percig végzett hőkezelésekor jelentős mennyiségben képződtek β - Si_3N_4 tűkristályok (10. ábra). Ezek a tűkristályok kerámiaalapú társított anyagokban erősítőszálként hasz-



10. ábra. Az amorf Si_3N_4 -ből kialakult α - Si_3N_4 tűkristályok

nálhatók fel. Megfelelő felületi védelem – például bór-nitrid bevonat kialakítása [8] – esetén a túkristályok a magas hőmérsékleten végzett zsugorítás során is megőrzik eredeti morfológiájukat. Ily módon szilícium-nitrid túkristályokkal erősített, szilícium-nitrid mátrixú társított anyagok állíthatók elő.

Összefoglalás

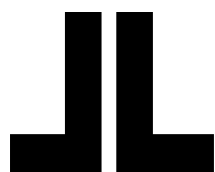
Szilícium-nitrid nanoporok RF termikus plazmában végzett szintézisének vizsgálata során megállapítottuk, hogy

- RF termikus plazmában előnyösen lehet nanoméretű szilícium-nitrid porokat előállítani;
- a termékkihozatalt és összetételt alapvetően a plazmaégőre kicsatolt teljesítmény és a reagensek betáplálási sebessége határozza meg;
- a kapott szilícium-nitrid porok nagy fajlagos felületűek, és gömb alakú szemcsékből állnak;
- a porok döntően amorf jellegűek, 20%-nál kisebb hányadban tartalmaznak α - és β - Si_3N_4 -et;

- viszonylag magas a porok oxigéntartalma; az oxigén a szemcsék kialakulását követően a szemcsék felületi rétegébe épül be a nyomnyi mennyiségű oxigént tartalmazó plazmagázból;
- az RF termikus plazmában előállíthatók módosított felületű, ún. szinteraktív porok is, amelyek nagy valószínűséggel adalék nélkül is zsugoríthatók.

Irodalom

- [1] Siegel R. W. – Hu E. – Roco M. C.: Nanostructure science and technology. A worldwide study. NSTC, Washington, D.C. (1999) pp. 1-150.
- [2] Li Y. L. et al.: J. Mater. Res. 15 (4) 988–994 (2002).
- [3] Szépvölgyi J. – Mohai I.: J. Mater. Chem. 5 (8) 1127–1232 (1995).
- [4] Proulx P. – Bilodeau J. F.: Plasma Chem. Plasma Process. 11 (3) 371–386 (1991).
- [5] Szépvölgyi J. et al.: J. Mater. Chem. 6 (7) 1175–1186 (1996).
- [6] Mohai M.: Surf. Interface Anal. (2003) – megjelenés alatt.
- [7] Gubicza J. et al.: J. Mater. Sci. 35 3711–3717 (2000).
- [8] Sahu S. et al.: J. Eur. Ceram. Soc. 18 1037–1043 (1998).



SZIKKTI

SZIKKTI Labor Kft.

**Brookfield cég magyarországi képviselője
és márkakereskedője**


Cím: 1034 Budapest, Bécsi út 122-124.
„D” épület fszt. (1301 Pf.:81)

Telefon: 388-8752 • Tel./Fax: 368-7626 • Fax: 430-1460

E-mail: szikktilaborkft@axelero.hu

**Nemzeti Akkreditálási Testület által 502/0119 számon
akkreditált, kalibráló laboratórium**

TISZTELT ÜGYFELEINK!

A SZIKKTI Labor Kft., mint a  **BROOKFIELD** Inc. U.S.A. laboratóriumi és ipari viszkoziméterek magyarországi hivatalos forgalmazója az ÖNÖK rendelkezésére áll a következő szakterületeken:

- új készülékek – laboratóriumi és ipari viszkoziméterek, reométerek – beszerzése,
- tartozékok és standard anyagok beszerzése,
- javítási és recalibrációs munkák elvégzése,
- alkalmazástechnikai szaktanácsadás.

**Az „Építőanyag” című folyóirat megjelenését támogatja:
„AZ ÉPÍTÉS FEJLŐDÉSÉÉRT” ALAPÍTVÁNY**

SZILIKÁTTECHNIKA

PSR SYSTEM 500 feeder-rendszer: a figyelem középpontjában a hőmérsékleti homogenitás

David E. Parkinson, PARKINSON-SPENCER REFRACTORIES Ltd.
Fehérvári Lászlóné, AQUARIUS & LION Kft.

A **Parkinson-Spencer Refractories Ltd.** (továbbiakban PSR) céget 1800-ban alapította a Parkinson és a Spencer család, eredetileg agyagbányászatra. A kiváló tűzállóságú és igen nagy tisztaságú alapanyag ma is fontos szerepet játszik a tűzálló anyagok gyártásában. Ma már a cég nemcsak a speciális tűzálló termékeiről, hanem az évszázados tapasztalataira épülő, ugyanakkor a mai technikai színvonal élvonalába tartozó műszaki megoldásairól is híres. A PSR a termékeit és szolgáltatásait kizárólag az üvegipar igényei szerint fejleszti, és termékeit kizárólag az üvegipar részére szállítja.

A tűzálló anyag divízió fő termékcsoportjai:

- feeder kopóelemek (*EMHARTGLASS* licence alapján, illetve egyedi igények szerinti csepptalak, csövek, keverők stb.),
- feeder tűzálló anyagok, beleértve a csatornaidomokat is,
- kádfenekidomok,
- kádfenek hőszigetelő idomok,
- fazekak.

A műszaki szolgáltatás divízió a feeder- és elosztó rendszerekhez az alábbiakat nyújtja:

- tűzálló anyagok,
- tüzelési rendszerek,
- szabályzó rendszerek,
- hűtési rendszerek,
- mérnöki szolgáltatások.

A SYSTEM 500 feeder-rendszer

Már több, mint 10 év eltelt azóta, hogy a PSR az első System 500 típusú feeder-rendszerét üzembe helyezte; mostanra már mintegy 300 elosztó és feeder-rendszere működik világszerte. A jelen cikk célja, hogy áttekintse a feederkonstrukciók elvi alapjait, megvizsgálja a PSR által elért eredményeket és bemutassa a PSR által végrehajtott továbbfejlesztéseket.

A PSR a feeder-rendszerének megalkotásakor alapvető célként tűzte ki a lehető legnagyobb hőmérsékleti homogenitás elérését a lehető legszélesebb kapacitástartományban. Annak érdekében, hogy értékelhessük a PSR

megoldási módszerét, át kell tekintenünk, alapvetően mi is történik az áramló üveggel a feederben.

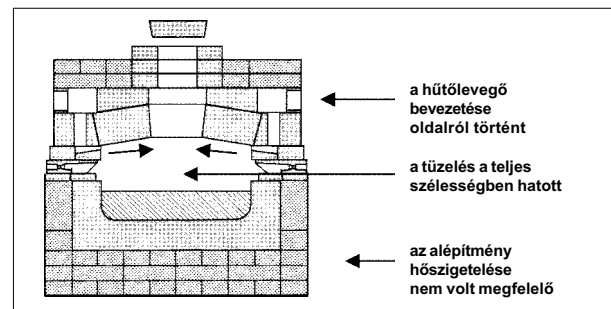
Amennyiben nem alkalmaznánk hűtést vagy fűtést, az alábbi módon lenne jellemezhető az üveg áramlása a kád-tól a csepptálig:

- az áramló üveg szélei (és kisebb mértékben az alja is) fokozatosan lehül, mert az oldalfal és a fenék hőt von el;
- a növekvő viszkozitás miatt az áramló üveg oldalsó és alsó része – az üvegfolyam belsejéhez képest – egyre lassabban áramlik;
- az áramló üveg elejének az átlaghőmérsékletét a feederben áramló üveg mennyisége, valamint a feeder hossza határozza meg.

A kulcskérdés tehát: hogyan tudjuk korrigálni az elkerülhetetlen hőmérsékleti kiegyensúlyozatlanságot a csatornában, ugyanakkor a csepptálnál szabályozott módon elérni a kívánt hőmérsékletet és hőmérsékleti homogenitást?

1. Kiszámított szigetelés alkalmazásával elérhetjük, hogy az áramló üveg oldala és alja ne veszítsen ellenőrizetlenül hőt.
2. Olyan tüzelést alkalmazunk, mely elsősorban az áramló üveg széleit melegíti.
3. Olyan hűtést alkalmazunk, mely elsősorban az áramló üveg közepét hűti.

Már a korai „K” típusú feeder-rendszerek is ezeket a célokat kívánták elérni, de kezdetben ez csak korlátozott mértékben sikerült. (1. ábra)



1. ábra. Korai „K” típusú feeder

1. Az alépítmény hőszigetelése nem volt megfelelő.
2. A tüzelési rendszer nem tudta hatékonyan megoldani, hogy a fűtés elsősorban az áramló üveg széleit melegítse.
3. A hűtőlevegő bevezetése oldalról történt, hűtve a fedőkövek alját, valójában jobban hűtve az áramló üveg széleit, mint a közepét.

Hőszigetelés

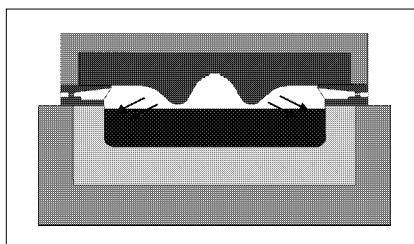
A hőszigetelő anyagok fejlődése lehetővé tette magasabb hőszigetelési értékek elérését a federeknél is, és a még hatékonyabb hűtési rendszerek alkalmazásával sikerült az oldalsó és alsó rész ellenőrizetlen hűtését az üveg feletti szabályozott hűtéssel felváltani.

Ma már a feederek – minden egyes feeder egyedi igényeinek megfelelően megtervezve – jó hőszigeteléssel vannak ellátva.

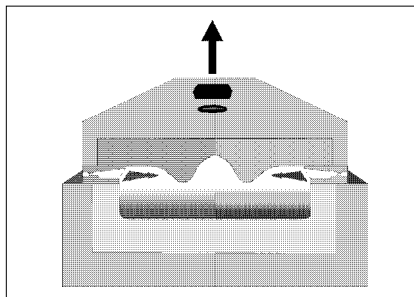
Tüzelés

Az eredeti „K” típusú feederek bevezetése óta minden feederen oldalsó tüzelést alkalmaznak, de évekig nem foglalkoztak a fejlesztők azzal, hogy olyan tüzelési technikát dolgozzanak ki, mely elsősorban a feederek széleit fűti és nem a közepét.

A fedőkövek geometriájának tanulmányozása vezetett arra a felismerésre, hogy az olyan alakú fedőkövek, melyeken lefelé álló kinyúlások vannak, sokkal hatékonyabban tudják visszasugározni a hőt a csatorna széleinek irányába. A System 500 típusú feeder-rendszerben ezért a fedőkő alján két, lefelé kinyúló domborulat került kialakításra, melyek a fűtőhatást a szélek irányába összpontosítják. (2. ábra)



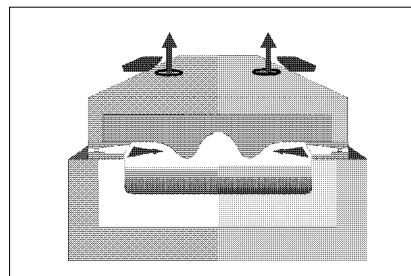
2. ábra. System 500 fedőkő



3. ábra. Középen elhelyezett egy kürtő

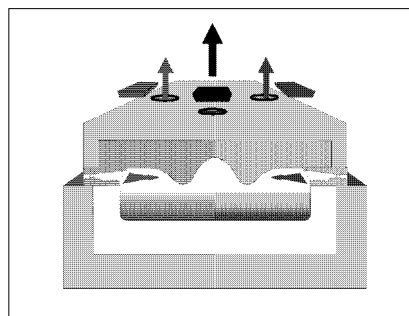
Ez önmagában még mindig nem okozott radikális változást, mert addig csak a fedőkő közepén kialakított egy kürtőt, vagy a két szélén kialakított két kürtőt alkalmaztak.

A közepén kialakított kürtő azt eredményezte, hogy a füstgázok teljes mennyisége a középső részen távozott, ezzel gátolva, hogy a feeder képes legyen csak a széleket fűteni. (3. ábra)



4. ábra. Kétoldalt elhelyezett kürtők

A két oldalon elhelyezett kürtők lehetővé tették, hogy a feeder széleinél történjen a fűtés, mert a füstgázok a tüztér felett hagyhatják el a feedert. A középső rész fűtése korlátozott, mert a füstgázok oldalt távoznak. (4. ábra)



5. ábra. System 500 háromkürtős elrendezés

A System 500 típusú feeder-rendszer egyedülálló abból a szempontból, hogy mindkét oldalon és közepén is kialakítottak kürtőket olyan elzárókkal ellátva, melyek alkalmasak a füstgáz útjának szabályozására is, azaz a feeder hőigényének megfelelően a füstgázok az oldalsó vagy a középső kürtőkön keresztül is távozhatnak. (5. ábra)

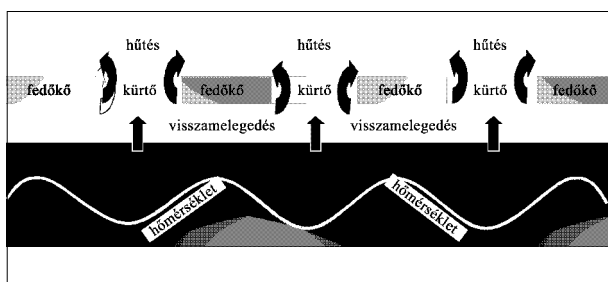
Hűtés

A feedertervezés talán legvitatottabb területe a hűtési rendszer, ahol sok népszerű téveszme kering.

Az első ilyen téveszme a „sugárzó hűtés” fogalmára vonatkozik. Ténylegesen minden feederen alkalmaznak sugárzó hűtést valamilyen formában, mert az üveg hőt sugároz a hidegebb tüzálló anyag felületére vagy az atmoszférába. Gyakran csak az atmoszférába történő sugárzást nevezik „sugárzó hűtésnek”.

A második téveszme a hűtőlevegő feedereken belül történő alkalmazásával kapcsolatos. A hűtőlevegő, függetlenül attól, hogy a feeder oldalától vagy a középvonala felől jön, elsősorban a fedőkövek aljának hűtését szolgálja. Az áramló üveg hűtése a hidegebb tűzálló anyag felületére kisugározott hő segítségével történik, a levegő közvetlenül az üveg felületére lényegesen kisebb hűtőhatást fejt ki.

Az atmoszférába sugárzó hűtés a hőelvonás igen agresszív módszere, mert az elvont hő mennyisége egyenesen aránylik az áramló üveg és azon felület hőmérsékletének különbségéhez, melyre a hőt kisugározza. (6. ábra)

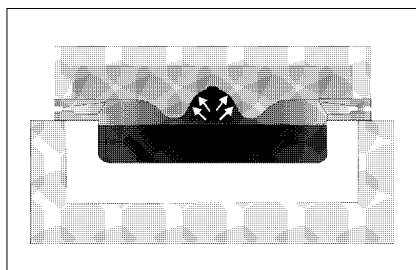


6. ábra. A hőmérséklet szabályozása igen nehéz az atmoszférába irányuló sugárzó hűtéssel

- Az áramló üveg gyorsan ad le hőt az atmoszférába sugárzó hűtés következtében, de kevés lehetőség van a szabályozásra.
- Lehetséges az áramló üveg hőmérsékletének ciklikus változása: gyors lehűlés a nyitott kürtők alatt, és visszamelegítés a zárt fedőkőví szakaszokban.
- A feeder-fedőköveken alkalmazott nagyméretű nyílások gátolják a nyomás szabályozását a feederben, és gyenge tüzelési hatékonyságot eredményeznek.

A System 500 típusú feeder-rendszer teljes konstrukciójánál elvetették az atmoszférába történő sugárzó hűtés felhasználását, mert nem alkalmas a fokozatos és szabályozott hűtés megvalósítására.

A System 500 típusú feeder-rendszerrel a hűtőlevegő a fedőkövek alsó részét hűti, így lehetővé téve, hogy az üvegből a hidegebb tűzálló anyag felületére történő ki-

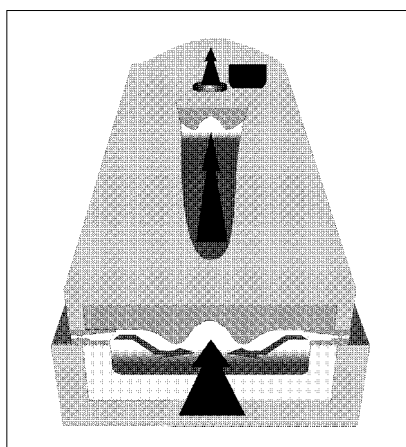


7. ábra. A System 500 típusú feeder-rendszerben a hűtőlevegő tengelyirányban, a fedőkő középső része alatt halad, és az üvegből a hőt a hidegebb tűzálló felületre történő hőszugárzás vonja el

sugárzással fokozatosan és szabályozott körülmények között érjük el a hőelvonást. A hűtőlevegő-csatorna tengelyirányban középre helyezéssel a hűtőhatást inkább az áramló üveg közepe felé és nem a széleire lehet koncentrálni. (7. ábra)

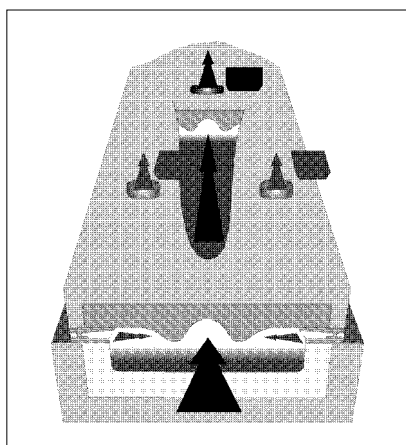
A hűtőhatás közepén tartása a System 500 típusú feeder-rendszer tervezésében központi kérdés volt.

Gondoljuk végig, mi történne, ha a fedőköveken csak egyetlen középső kürtőt alkalmaznának. Bármely kísérlet, mely a hűtőhatás közepén tartására irányul, azon bukik meg, hogy a füstgázok távozását csak egyetlen kürtő biztosítja. A hűtőlevegőt elkerülhetetlenül felmelegítik az égéstermékek, csökkentve ezzel a hűtőképességét és felemészte a hűtési és fűtési funkció szétválasztásának lehetőségét. (8. ábra)



8. ábra. Egy kürtő esetén mind a füstgázok, mind a hűtőlevegő elvezetése ugyanazon az egy kürtőn keresztül történik

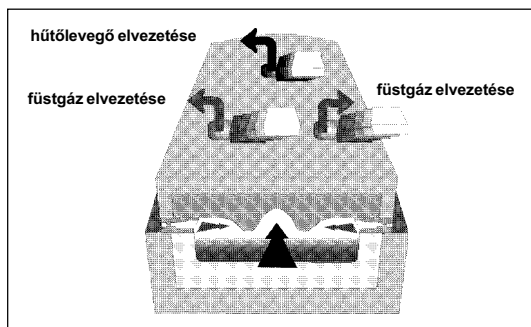
Elemezzük ugyanezt az ábrát az égésterek fölé helyezett további kürtőkkel. Most az égéstermékek már szabadon távoznak az oldalsó égésterekből, és a hűtőlevegő a fedőkő középső része alatt haladhat anélkül, hogy kölcsönhatásba lépne az égéstermékekkel. (9. ábra)



9. ábra. További oldalsó kürtők beépítésével a füstgázok szabadon távoznak az oldalsó kürtőkön

A kürtőelzárók és a hűtőlevegő áramlásának automatikus szabályozása minden zónában egy motor segítségével történik.

Amennyiben szükséges a hűtés, minden kürtő fokozatosan kinyílik, és a hűtőlevegő a fedőkő középső része alatt tengelyirányban haladhat, majd a középső kürtőn keresztül távozik. A fűtés eközben a szélekre koncentrálódik, és a füstgázok a szélső kürtőkön keresztül távoznak. (10. ábra)



10. ábra. A System 500 típusú feeder-rendszer hűtési üzemmódban: a hűtőlevegő áramlik, az oldalsó kürtők nyitva az égéstermékek elvezetéséhez, a középső kürtő nyitva a hűtőlevegő elvezetéséhez

Amikor nincs szükség a hűtésre, az oldalsó kürtők bezáródnak, a hűtőlevegő elzárva, az égéstermékek a továbbra is nyitott középső kürtőn távoznak. A hő visszacsugárzását úgy biztosítják a lefelé kinyúló domborulatok, hogy elsősorban a széleket melegítik, de az egész áramló üveg is fűtött a feeder teljes szélességében. (11. ábra)



11. ábra. A System 500 típusú feeder-rendszer fűtési üzemmódban: a hűtőlevegő elzárva, az oldalsó kürtők elzárva, a középső kürtő nyitva az égéstermékek elvezetéséhez

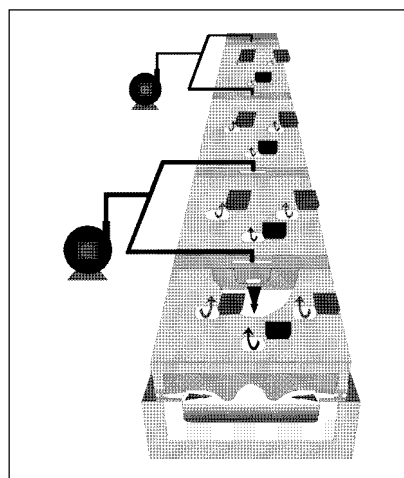
Ezzel a módszerrel a PSR egy olyan rendszert alakított ki, mellyel elsősorban az áramló üveg széleit melegítik és a közepét hűtik. A tüzelés/hűtés automatikus szabályozásával mind a fűtés, mind a hűtés igen hatékonyan biztosítható.

A System 500 típusú feeder-rendszer kialakításánál a hűtőlevegő hatékonyságára is tekintettel voltak.

Mi történne, ha a hűtőlevegő a feeder teljes hosszá-

ban, az elejétől a végéig áramlana? Nyilvánvalóan lenne egy olyan pont, melyen túl a levegő már csak korlátozott mértékben tudná a fedőkő alját hűteni. Még abban az esetben is fennáll ez a probléma, ha a szokásos szabályozás zóna hosszúságában felosztjuk a feedert. A fejlesztés korai szakaszában megállapították, hogy 4-5 láb (120-150 cm) az a maximális zónahosszúság, melyben optimális a hűtés. Ezért alzónákat alkalmaznak, melyekkel a szabályozás zónákat jellemzően 4-5 láb hosszú alzónákra továbbosztják. (12. ábra)

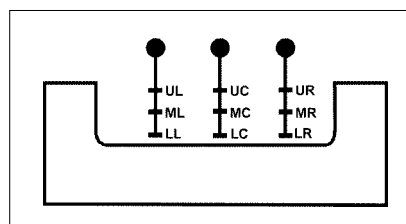
A hűtési alzóna nem egy újabb szabályozás zóna. Ez csupán egy olyan pont, ahol a hűtőlevegőt szállító rendszerről friss hűtőlevegőt vezetnek be a hűtés hatásfokának maximalizálása érdekében.



12. ábra. Két szabályozó zónás System 500 feeder-rendszer tipikus alzóna-elrendezése (az ábra a homogenizáló szekciót nem mutatja)

Eredmények

A jó hőmérsékleti homogenitás nagyon sok változótól függ, melyek közül nem mindegyikre van hatása a feeder tervezőjének. Az 1. táblázat az elmúlt 10 évben szállított számtalan feeder-rendszer közül mutatja be néhány adatát. Fontos megjegyezni, hogy a hőhatékonysági számításoknál az O-I-től származó eredeti módszert alkalmazták, felhasználva mind a 9 hőelem pozíció adatait. (13. ábra) Az érték nem lehet 100%-nál nagyobb.



13. ábra. 9 pontos hőelemelrendezés

Néhány különböző körülmények között üzemelő, eltérő System 500 típusú feeder-rendszer eredménye

Szélesség (inch)	Hosszúság (láb)	Terhelés (t/nap)	Csepptáblalépési hőmérséklet (°C)			Hőhatékonyság (%)
			bal oldal	középső	jobb oldal	
500-36	29	85,0 fehér	1191	1190	1187	97,5
			1189	1189	1185	
			1186	1188	1181	
500-43	26	137,0 barna	1184	1185	1186	97,4
			1188	1186	1187	
			1184	1188	1180	
500-43	22	92,8 barna	1172	1172	1174	99,5
			1173	1172	1172	
			1172	1172	1172	
500-48	20	120,0 fehér	1141	1138	1136	97,7
			1137	1136	1135	
			1134	1136	1132	

A számítás az alábbi módon történik:

$$\text{Hőhatékonyság} = [1 - (\Delta H + \Delta V) / MC] \times 100$$

- ahol ΔH a 6 db horizontális hőmérséklet-különbség abszolút értékének összege, azaz: (UC-UL)+(UC-UR)+(MC-ML)+(MC-MR)+(LC-LL)+(LC-LR);
- ahol ΔV a három maximális vertikális hőmérsékleti különbségnek az összege, azaz: UL,ML,LL és UC,MC,LC és UR,MR,LR;
- ahol MC a középső hőmérséklet.

Jelen cikkben az energiafelhasználás nem súlyponti kérdés, de érdemes megemlíteni, hogy azonos feltételek összehasonlításakor, amikor egy más típusú modern feeder-rendszert alakított át a PSR, megőrizve az eredeti elrendezést, 20-40% energiamegtakarítás volt tapasztalható hasonló mennyiségi és hőmérsékleti adatok mellett.

Fejlesztések

Az elmúlt 10 évben a PSR-nek lehetősége volt számos feeder-rendszer működését figyelemmel kísérni, és a ta-

paszlatatok alapján két jelentős fejlesztést is végrehajtott a feeder-rendszerek működésének továbbjavítására.

Az első egy új tűzálló anyag kifejlesztése

A több darabból álló feederfelépítményekről való áttérés az egy darabból készülő fedőkövekre újabb igényeket támasztott a tűzálló anyagok gyártóival szemben, különösen azért, mert eközben a feederek szélessége is növekedett, valamint a technológia áterjedt a magasabb üzemelési hőmérsékletű elosztókra is.

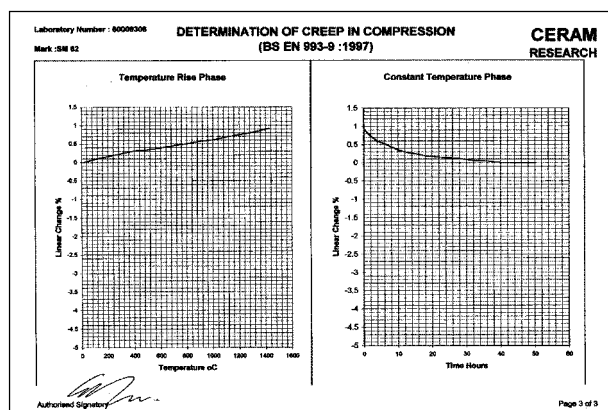
Két problémás területet ismert fel a PSR már a fejlesztések korai fázisában: a tűzálló anyagok kúszása és a hőlökésállóság.

Tűzálló anyag kúszása

A tűzálló anyag kúszása egyszerűen azt jelenti: milyen mértékben ereszkedik meg a tűzálló anyag középső része, ha egy bizonyos hőmérsékleten tartjuk nyomás alatt, és csak a két vége van alátámasztva. Keskeny feedereknél ez a jelenség ritkán okoz problémát, de széles csatornák esetén, különösen az elosztóknál, kellő idő és hőmérséklet áll rendelkezésre ahhoz, hogy a fedőkő közepe berogyjon. O-I azt a célt tűzte ki, hogy a kúszási érték maximum 1% legyen. Számtalan öntési eljárást és tűzállóanyag-összetételt kipróbált a PSR, míg végül kifejlesztette az SM62 típust, egy olyan mullitösszetételt, melynek a 0,1%-os kúszási értéke tízszer jobb, mint a kitűzött cél. (14. ábra)

Hőlökésállóság

A hőlökéstűrési tulajdonságok általában nem különösen fontosak a feeder-fedőköveknél, ha a működés folyamatos, és az üzemelési hőmérséklet csak ésszerű határok között változik. A gyakorlat azonban azt mutatja, hogy a helyzet sokszor nem ilyen optimális, és a bonyolult ki-



14. ábra. Az SM62 kúszási teszt eredménye

alakítású fedőköveknél is szükség van a jó hőlkés-állóságú tűzálló anyagokra. Ez is meghatározó jelentőségű szempont volt az SM62 kifejlesztésénél. A PSR egy nagyon egyszerű, de igen magas követelményt támasztó tesztmodszert alkalmazott: a mintadarabot laborkemencében 1200 °C hőmérsékletre hevítették, majd hideg vízbe merítették. A hagyományos tűzálló anyagok gyakran a kísérlet 2-3 ismétlése után kudarcot vallottak. Az új SM62 anyag 30 ciklust kibírt, mielőtt hiba legkisebb jele mutatkozott volna rajta. Ez a remek érték csak a PSR 333 típusú anyagához hasonlítható, ahhoz az anyaghoz, melyből a feederék fogyó alkatrészei készülnek, és ki kell bírniuk a forró üvegbe történő egy pillanatig tartó bemelegítést. (2. táblázat)

2. táblázat

Az SM62 fizikai és kémiai tulajdonságai

Fizikai tulajdonságok	Vegyí összetétel	
		%
Fajsúly: 2450 kg m ⁻³		
Hideg nyomószilárdság: 101 MNm ⁻²	SiO ₂	36,78
Látszólagos porozitás: 20%	Al ₂ O ₃	61,41
Tűzállóság: 1809 °C (Cone 33 = 33-as kúp)	Fe ₂ O ₃	0,64
Reverzibilis hőtágulás 20-1000 °C: 0,52%	TiO ₂	0,43
Nyomás alatti lágyulás 50 óra, 1425 °C (0,2 MN m ⁻²): 0,1%	CaO	0,05
Hővezetés 600 °C-on: 1,98 WmK ⁻¹	MgO	0,08
Hővezetés 1000 °C-on: 1,90 WmK ⁻¹	Na ₂ O	0,03
Hővezetés 1200 °C-on: 1,86 WmK ⁻¹	K ₂ O	0,29

A másik fő fejlesztés a hűtési rendszer mechanikájának a működtetésére vonatkozik

A System 500 típusú feeder-rendszer működésénél, mint láttuk, a kürtöelzárók és a hűtőlevegő megfelelő szabályozása elengedhetetlen annak érdekében, hogy a feederben a hűtést szabályozhassák, mely művelet statikus elzárókkal, vagy nyitott füstgázvezetés kialakításával nem lehetséges. A PSR a hűtési rendszer működtetésében 4 figyelemre méltó fejlesztést hajtott végre a forró és agresszív közegben keletkező hatások kivédése érdekében.

1. A meghajtómotor nyomatékigényének csökkentésére csigakerék-hajtást alkalmaznak, ezzel szükségtelemné téve fék beépítését is, mely ahhoz kellene, hogy megakadályozza a motor továbbforgását az elzárók tehetetlenségi ereje következtében.

2. A pozicionáló vezérlőjét távolabb helyezték a feedertől, ezzel kiküszöbölve az elektromos alkatrészek túlmelegedésének veszélyét.
3. A vezérlőmotor kúpos fogaskerékkel csatlakozik a vezérlő tengelyéhez, lehetővé téve, hogy magasabban vagy alacsonyabban, illetve hosszanti irányban olyan különböző helyeken legyen elhelyezhető a fő vezérlőtengely, ahol kevésbé van kitéve a magas hőmérsékletnek.
4. A vezérlőmotor hűtésére folyamatosan alkalmaznak hűtőlevegőt az alacsony környezeti hőmérséklet fenntartása érdekében.

Összegzés

A PSR System 500 feeder-rendszerek segítségével az adott igénynek megfelelően biztosítható az üveg hatékony hűtése vagy fűtése és az üveg magas fokú hőmérsékleti homogenitása. A PSR System 500 típusú feeder-rendszer alkalmazása az alábbi előnyöket nyújtja:

- tökéletes üveg-hőmérsékleti homogenitás széles kapacitástartományban,
 - precízen szabályozható stabil hőmérséklet,
 - jó hatásfokú tüzelőanyag-hasznosítás,
 - gyors reagálás;
- melyek hozzájárulnak:
- a jó minőségű késztermék arányának növekedéséhez,
 - a gépek sebességének növelhetőségéhez.

Amikor egy feeder-rendszerrel kapcsolatos beruházási döntés előkészítése folyik, az alábbi szempontok mérlegelése is célszerű:

- a termelékenység növekedésének mértéke,
- a jó végtermék arányának növekedése,
- rövid átállási idő termékváltáskor,
- jobb termékminőség,
- elérhető energiamegtakarítás.

További információk:

AQUARIUS & LION Kft.
1141 Bp., Szilágysomlyó 44/a
tel: 221-7659, fax: 220-9587
e-mail: aandl@netquick.hu

RENDELJE MEG AZ „ÉPÍTŐANYAG” CÍMŰ FOLYÓIRATOT !
SZTE Titkárság, tel./fax: 201-9360
e-mail: mail.szte@mtesz.hu

Érdekességek a kerámiaiparban

Apagyi Zsolt, Zalakerámia Rt.

Új telemetrikus rendszer

(Brick World, 2003. 1. félév, p. 21.)

A Datapaq az első olyan cég Európában, amely az égetőkemencében lévő hőmérsékletprofil meghatározására egy információ-távátvivő rendszert fejlesztett ki. A „Kiln Cracker” rendszer lehetővé teszi, hogy a felhasználók valós időben megfigyeljék a terméküket az égetési eljárás alatt, így lehetőségük nyílik a beállítások azonnali megváltoztatására, amíg a termék a kemencében van, valamint gondoskodik az adatok azonnali hozzáférhetőségéről, ami a probléma gyors kiküszöbölésének alapvető követelménye.

A felszerelt szenzor a hőmérsékleti adatokat az adatrögzítő egységnek küldi el, mely a kocsiján található. Majd az adatrögzítő a hőmérsékleti információkat rádiófrekvenciával továbbítja a számítógépnek, ami tárolja ezeket.

Manfredini & Schianchi

(Brick World, 2003. 1. félév, p. 16.)

A Manfredini & Schianchi cég R & D részlege kifejlesztett egy új ingás malmot, az MS-6-190-et. A gép fő jellemzői: a nagy gyártási kapacitás (25–30 t/h), valamint igen kemény kerámiai testek őrlésére is képes – igen finom szemcseméret elérése mellett – a préselt és extrudált termékek gyártása során (porcelán burkolólapok, klinkertégla stb.).

A Manfredini & Schianchi utolsó termékeivel megerősítette elkötelezettségét a szárazeljárással készülő masszatechnológiák iránt.

Új szekciók az Edil Levante Costruire kiállításon

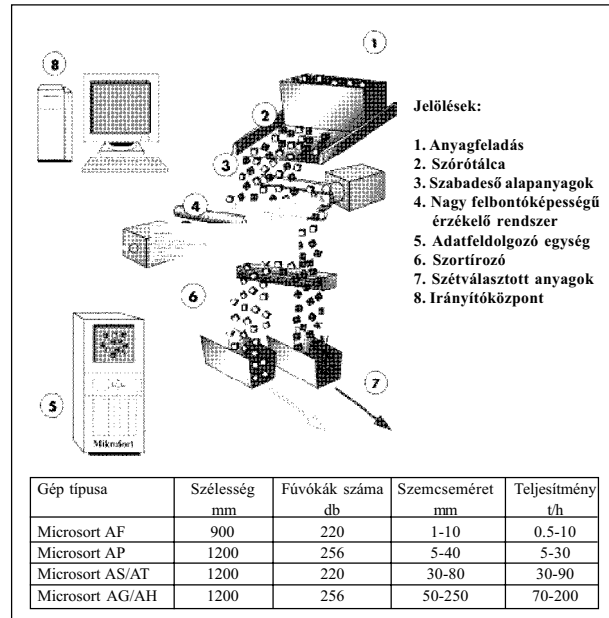
(Brick World, 2003. 1. félév, p. 18.)

A kétévente megrendezésre kerülő Edil Levante Costruire kiállítás, melyet legközelebb 2004. április 22–25. között az olaszországi Bariban szerveznek meg, két új érdekes szekcióval bővül. Az első a „Sitep Tetto & Paretin”, mely tetőcserepek, falak és szigetelőanyagok anyagait és technológiáit ismerteti. A második a „Bio Edilizia”, mely kizárólag olyan új építési irányzatokat mutat be, amelyek kimondottan újító és környezetbarát megoldásokat használnak az építőiparban.

Optikai szortírozás

(Keramische Zeitschrift, N° 55, 2003/8, p. 610–613.)

Az elmúlt években az optikai szortírozóberendezések már megbizonyították eredményességüket az ásványi anyagok



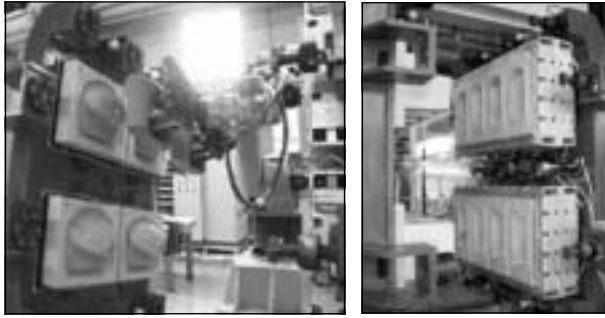
szétválogatása területén. Lehetőséget teremtettek arra, hogy a nyersanyagokat színük, színerősségük, valamint formájuk alapján szétválasszák, ezáltal lehetővé tegyék a szelektív kitermelést vagy a kézi szétválogatás lézersorra történő cserélését. A rendszer a 40 mm-es szemcsemérettől egészen a 3-5 mm-ig alkalmazható, ahol már a kézi válogatás nem hatékony. Az optikai szortírozó rendszerek megkönnyíthetik a szortírozást, vagy éppenséggel az alkalmazott feldolgozási módszer helyébe léphetnek. E fejlesztés lehetőséget ad arra, hogy a szétválasztásra kerülő nyersanyagokat olyan kis szemcseméretre lehessen őrölni, hogy az egyes komponensek elválasztása a lehető legjobb legyen, mely segíti az alapanyagok eddig ismeretlen hatékonyságú kiaknázását.

Az optikai szortírozó szórótálcája az alapanyagot egy nagy felbontóképességű színérzékelő rendszer közé szórja, melynek detektora a szabadeséssel érkező szemcsék képét az adatfeldolgozó egységnek továbbítja, amely a kép feldolgozása után a fűvókákon keresztül sűrített levegő segítségével a másodperc töredéke alatt szétválasztja az anyagokat.

Garoll

(Ceramic World, N° 51, 2003. március-április, p. 92.)

A Garoll nem rég mutatta be a CELL 201/T-L típusú új, nyomás alatt öntő rendszerét. A berendezés 2300 víztar-



tály öntésére képes naponta, ami összesen 530 000 eladható terméket jelent évente (250 munkanappal számolva). A gép két présének öntőformatartói – melyek hasznos területe 1800 x 1570 mm – két gyantaformát képesek tartani, ezek egyenként négy üreget tartalmaznak, melyekben egyidejűleg különböző formájú modelleket lehet önteni. A termelés teljesen automatikus, mivel a préseket egy robot szolgálja ki. A robot a beépített modellek típusainak megfelelő méretű, négy darab szerszámüreg segítségével egyszerre 4 darab termék kiemelésére képes.

Az öntőformából kiemelt darabokat a robot a szállítószalagra rakja, amely elszállítja a robotizált végső állomásra. Itt a második robot megtisztítja a felső összeillesztéseket, szivaccsal letörli a lyukakat, majd automatikusan berakja a darabokat közvetlenül a szárítóba vagy a kocsikba, ill. a dobozokba, amelyek elszállítják őket a szárítóba.

A nyomás alatt öntő berendezés sikeres működésének a kulcsa a mikroporozus gyantaszűrő. A Garoll – tapasztalatai alapján – minimum 20 000 öntésig garantálja a működését. Az egy- és soküreges öntőformák is alkalmasak bidék, beépített és nyitott peremű WC-k 4 vagy 5 részletben, ragasztott peremű WC-k 7 részletben (5 rész a WC-forma és 2 rész a perem), padlóra vagy falra felszerelhető mosdókagyló-talpatzatok, tartályok, fedelek, kiegészítők és még sok más termék gyártására, amelyek kétrészes öntőformával gyárthatók.

Az öntőforma jellemző tulajdonságai:

- porózus szerkezete garantálja a szaniterárúk magas nyomású öntésénél és kiürítésénél a kiváló teljesítményt,
- a magas mechanikai szilárdság lehetővé teszi a nagy nyomású öntés alkalmazását (magasabb, mint 18 bar),
- a speciálisan tervezett záró felület garantálja az öntőformák tökéletes záródását (még akkor is, ha nagyon összetett) és a nagyon kicsi peremet,
- a levegő áramlását úgy tervezték meg, hogy biztosítsa az öntött forma deformálódási veszély nélküli eltávolítását,
- öntés után az öntőformákat megmunkálják, hogy nagyon kis tűrésű pontos külső méreteket kapjanak, ez biztosítja az öntőformák felcserélhetőségét, így a formaváltás is felgyorsul,
- a berendezés korrózióálló, anodikusan oxidált alumíniumlemezekből áll, melyek újra felhasználhatóak a kicserélt öntőformák beépítésénél,
- a passzív felületek szigetelőanyaggal vannak bevonva.

Euromeccanica

(*Ceramic World, N° 51, 2003. március-április, p. 96.*)

Az Euromeccanica őrllő rendszereket gyártó cég már több éve olyan termékeket ajánl, melyeket a szitanyomó pasztákat előállító ágazatok igényeihez igazítottak. Most a kerámiai laboratóriumok követelményeinek megfelelő olyan terméksorozatot kínál, ami a következőket tartalmazza:

1. Euromill szériát, amely egy a finomőrlésnél alkalmazható szakaszos üzemű mikrogolyós malom;
2. Euromix keverőgép-szériát;
3. Eurotomix és Tintoretto automatikus adagológép- és színösszemérő rendszert, amely kiegészül egy kerámiai színreceptúrát készítő és olvasó Iride rendszerrel egybeépített számítógépes programmal.

Az Iride egy olyan információfeldolgozó egységgel látta el a rendszert, amely kapcsolatot tart az Eurorotomixhez használt automatikus adagolást vezérlő rendszer, a Tintoretto színösszemérő rendszer és egy FM3 kerámiai receptúrákat készítő szoftver között.

Az Euromeccanica és az X-Rite Italia kifejlesztett egy olyan programot, ami egy spektrofotométer segítségével képes leolvasni a színeket a tömörre égetett kerámiatestről. A mérési eredményeket átadja a receptúrakészítő programnak, mely értelmezi ezeket, és elkészíti a receptet. Ezt elküldi az adagolást vezérlő programnak, mely elindítja a szükséges műveletek és mennyiségek sorát.

Az Iride-t speciálisan a kerámiagyártás adatainak feldolgozására és számítására tervezték, de képes megoldani az anyag égetése során bekövetkező kémiai és fizikai átalakulása miatt keletkező problémát is.



Az Iride adatbázisát használva reprodukálható vagy új receptura készíthető bármilyen kerámiai színről néhány színes oxid (maximum 12: 6 elsődleges és 6 másodlagos) használatával.

Esmalglass

(*Ceramic World, N° 51, 2003. március-április, p. 86.*)

Az Esmalglass kifejlesztett egy új, teljesen transzparens védőréteget, a Raxon 10-et, amely kimagasló technikai tulajdonságokkal rendelkezik, és úgy javítja a mázazott porcelánlapok tulajdonságait, hogy közben nem befolyásolja a burkolólap esztétikai megjelenését, illetve grafikáját. A grafika típusától függően a felvitt anyag eltérő struktúrájú és kopásállósági szintű burkolólapot eredményez. A felület keménysége 6–9 Mohs keménységi fok között változhat, ami minimum PEI 5 kopásállóságot jelent, struktúrája pedig a lágytól egészen a durváig változhat. Ezáltal lehetőség van olyan termékeket fejleszteni, melyek egyaránt alkalmazhatók bel- és

kültéren is R8/R9-es kiváló csúszásmentesség mellett. A Raxon 10 védőréteg pórusmentes, így polírozott felületénél is alkalmazható, ezzel is növelve felhasználási területét. Az anyag alkalmazása magas technikai minőségű termékeket eredményez, amely a gresmassza magas szilárdságával és a mázazott termékek esztétikai minőségével párosul.

Az Esmalglass a piac igényeinek megfelelően a „Glasstone”-nal bővítette ki a porcelánlapok száraz dekorálására alkalmas mázainak sorát. A dekoráció három különböző módon készíthető:

- anyagában színezett vagy kettős töltésű dekorációval,
- prés- vagy mázolószalag-műveletekkel,
- a kettő kombinációjával.

E sorozaton belül grittek, granulátumok és porlasztva szárított mikrogranulátumok széles választékát fejlesztette ki. Ezek a száraz műveletek minden típusánál: a préselelnél és a további száraz műveleteknél is alkalmazhatóak, így bármilyen dekorálószalag követelményeinek eleget tesz.

Tecno Italia

(*Ceramic World*, N° 52, 2003. május–június, p. 114.)

A „Color Vertical Dry” a Tecno Italia legújabb terméke a rusztikus burkolólapok dekorálására. A szárazszóró művelethez mázakat, porokat és mikronizált komponenseket használ. A gép központi egysége a „Module” elem, ami egy tartótálcát, a dekorálóanyag teljes adagoló rendszerét, egy lézergravírozott plasztikus lemezt (mérete: 2142 x 750 mm) és egy csúsztatószerkezetet tartalmaz. A porított máz a tálca apró lyukain keresztül a lemezre, majd onnan a burkolólapra kerül. Minden gép 1–3 elemet tartalmazhat, így egyszerre több mázat tud használni egy aránylag kis helyen. Ez a dekorálási eljárás mind a pontosság, mind az elhasznált máz mennyiségének megtakarítása szempontjából kiváló, mivel a lemezen lévő lyukak csak a dekoráláshoz szükséges mennyiségű anyagot engedik át. A Color Vertical Dry közvetlenül a mázolószalagon helyezkedik el, könnyen mozgatható, és nagyon kevés karbantartást igényel.



Építési beruházások Európában

(*Brick World*, 2003. I. félév, p. 26–31.)

2003-ban az építkezések száma meglehetősen alacsony volt, de várhatóan 2004-ben ez emelkedni fog. Jelenleg a közép-európai országok fejlődnek a legdinamikusabban.

Európai uniós országok:

Olaszország. Az előző pár év pozitív időszaka után csökkennek az építési beruházások, amelyeket az elkövetkező

Ország	2000 vált.%	2001 vált.%	2002 vált.%	2003 vált.%	2004 vált.%
<i>Olaszország</i>					
Lakáscélú építkezés	4,9	5,0	2,0	2,1	0,8
Nem lakáscélú építkezés	7,1	5,2	-1,5	1,2	1,7
<i>Spanyolország</i>					
Lakáscélú építkezés	9,1	2,0	1,0	-0,5	-1,2
Nem lakáscélú építkezés	6,0	8,6	3,0	1,0	1,0
<i>Németország</i>					
Lakáscélú építkezés	-2,8	-7,0	-3,5	-0,6	0,4
Nem lakáscélú építkezés	-2,7	-6,0	-3,7	-0,1	0,5
<i>Franciaország</i>					
Lakáscélú építkezés	6,7	-0,7	0,8	0,7	2,2
Nem lakáscélú építkezés	7,2	1,4	0,5	0,6	1,9
<i>Egyesült Királyság</i>					
Lakáscélú építkezés	2,2	-0,7	1,8	2,5	2,7
Nem lakáscélú építkezés	1,5	2,7	1,6	1,8	1,7
<i>Belgium</i>					
Lakáscélú építkezés	3,3	-2,4	-0,6	2,3	5,6
Nem lakáscélú építkezés	2,8	-2,1	-2,1	2,4	4,8
<i>Hollandia</i>					
Lakáscélú építkezés	1,0	-2,4	-2,3	1,0	2,5
Nem lakáscélú építkezés	2,3	-0,2	-1,5	0,1	2,4
<i>Ausztria</i>					
Lakáscélú építkezés	-1,1	-5,7	-2,5	0,0	0,6
Nem lakáscélú építkezés	1,3	-4,5	-2,1	0,2	1,0
<i>Svájc</i>					
Lakáscélú építkezés	-2,2	-0,9	-2,2	1,0	2,3
Nem lakáscélú építkezés	-2,1	0,6	-1,9	1,3	2,2
<i>Görögország</i>					
Lakáscélú építkezés	3,8	4,4	2,6	5,0	4,4
Nem lakáscélú építkezés	3,9	7,7	6,6	5,3	4,8
<i>Portugália</i>					
Lakáscélú építkezés	7,7	-2,0	-6,7	-8,6	-6,1
Nem lakáscélú építkezés	5,5	5,2	5,0	7,1	0,3
<i>Egyéb</i>					
Lakáscélú építkezés	5,8	0,2	0,9	3,3	1,9
Nem lakáscélú építkezés	3,6	0,7	-0,4	0,7	3,1
<i>Összes</i>					
Lakáscélú építkezés	1,1	-3,4	-1,2	0,8	1,6
Nem lakáscélú építkezés	1,3	-1,4	-1,1	0,8	1,7

befektetések már jóval kisebb mértékben fognak növekedni. 2002-ben egy lassulás következett be, mely a gazdaság gyenge teljesítményének az eredménye. Ennek fő hatása a nem lakás célú építéseknel jelentkezett, míg az új házaknál folyamatos emelkedést lehetett tapasztalni. Az eladások számának csökkenése ellenére az árak folyamatosan emelkedtek.

Spanyolország. 2001-ben a háztartások az előző év 535 000 számához képest 502 000-re csökkentek, miközben az építés alatt lévő házhelyek száma emelkedett. Az építkezések a következő évben csökkenni fognak a magas árak és az új házak építésében elért magas szintnek köszönhetően.

Németország. Az 1990-es évek elején történt nagy mennyiségű beszállítások máig negatív hatással vannak az országra. 2002 első félévében kiadott építési engedélyek száma alapján nincs remény arra, hogy bármiféle fellendülés lépjen fel az elkövetkezendő években. A német gazdaság szegényes állapota a cégek nehézkes boldogulását eredményezi, ezáltal a nem lakáscélú építkezések gyengék maradnak.

Franciaország. Az új lakásépítések száma 2001-ben visszaesett, majd a kormány által létrehozott adókedvezmények részleges eredményeként a következő pár évben az 1999 és 2000 közötti időszaknál kisebb, de intenzív fejlődésnek indult.

Egyesült Királyság. Az új házak építése 2000-ben emelkedett, majd az azt követő évben csökkent. 2003-2004-ben újabb fellendülés várható az intenzív épületrenoválásnak köszönhetően.

Belgium. 2001-2002. évben különösen a nem lakáscélú és a középületek építési beruházásai csökkentek. A háztartások száma az 1997. évi 46 000-ról 2001. évben 39 000-re esett vissza, így a lakóépületek építésénél is a negatív hatás érzékelhető.

Hollandia. Hollandiában növekedett az igényes házak iránti kereslet. A házak átlagos mérete 13%-kal nőtt 1995 és 2000 között, de számuk csökkent, így a mutató értéke kiegyenlítődött. Hollandiában az építkezési lehetőségek korlátozottak a várostervezés politikája miatt, ami határt szab a beépített területek növekedésének.

Svájc. Az üres házak nagy száma és a népesség kis növekedése lassítja az építkezéseket. Jelentős növekedés nem várható a jövőben sem.

Ausztria. Az 1990-es fellendülést követően folyamatos visszaesés tapasztalható. A jövőben sem várható jelentős növekedés.

Görögország. A beruházások folyamatosan növekednek a közeledő olimpia és az Európai Unió által biztosított támogatásoknak köszönhetően. Ezáltal lényeges növekedés a nem lakáscélú építkezések területén tapasztalható.

Közép-kelet-európai országok:

Magyarország. Különösen a lakóépületek építésénél számíthatunk folyamatos fellendülésre. Ezt a 2002 első negyedében mutatkozó trend is megerősíti, miszerint az épített házak száma 15%-kal emelkedett (kb. 15 500-zal), valamint a kiadott engedélyek száma is 7%-kal nőtt (kb. 36 000).

Lengyelország. 2002-ben az elkészített házak száma 11%-ot csökkent. Ez erős visszaesést jelentett, amely még a 2003-as évben is jellemző maradt. A krízis oka a családok jövedelmének kis növekedése, a 2001-ben jelentkezett nagy inflációnövekedés és a kis népszerűségnek örvendő lakáspolitikai volt, ami 19%-kal emelte meg a háztartások valós költségeit.

Ország	2000 vált.%	2001 vált.%	2002 vált.%	2003 vált.%	2004 vált.%
<i>Lengyelország</i>					
Lakáscélú építkezés	3,0	-7,0	-8,1	-1,3	5,2
Nem lakáscélú építkezés	-0,9	-8,9	-7,3	-0,9	4,7
<i>Magyarország</i>					
Lakáscélú építkezés	5,6	10,0	14,0	8,4	11,0
Nem lakáscélú építkezés	6,2	12,1	3,5	4,2	5,0
<i>Csehország</i>					
Lakáscélú építkezés	-1,9	3,2	7,0	3,2	9,9
Nem lakáscélú építkezés	2,4	8,6	3,7	6,5	6,9
<i>Oroszország</i>					
Lakáscélú építkezés	7,0	8,4	5,8	4,8	5,5
Nem lakáscélú építkezés	13,4	10,5	8,0	6,9	7,6
<i>Egyéb</i>					
Lakáscélú építkezés	3,3	3,8	3,9	4,5	6,0
Nem lakáscélú építkezés	1,5	4,4	1,2	0,7	1,6
<i>Összes</i>					
Lakáscélú építkezés	4,8	4,5	3,8	4,1	6,1
Nem lakáscélú építkezés	5,3	4,2	2,4	3,5	5,2

Olaszország és Spanyolország burkolólap-gyártási és -értékesítési előreljzések

(*Ceramic World*, 2003. február, p.14–20.)

2002-ben az Olaszországban gyártott burkolólapok mennyisége kevesebb volt az előző évinél, ezért 2003-2004. évben

sem valószínű, hogy a termelés növekedése 3%-nál nagyobb lesz, de 2004-ben várhatóan eléri a 650 millió m²-t. Az olaszországi piac stabilizálódott, és az exportra is egyre inkább hat a jelentősebb országok versenye. 2003-2004-ben a beruházások összessége közel állandó marad.

A spanyolországi gyárak is hasonló nehézségekkel küzdenek az egyre nagyobb a csökkenést mutató export- és belföldi piacon.

Olaszországi burkolólap-termelés és -értékesítés (millió m²)

	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Termelés	606,3	631,8	638,4	622,3	633,7	650,6
Változás %-ban	2,9	4,2	1,0	-2,5	1,8	2,7
Összes értékesítés	594,7	623,0	620,1	617,5	629,8	647,8
Változás %-ban	3,9	4,8	0,5	-0,4	2,0	2,9
Belföldi értékesítés	177,9	186,7	179,3	174,7	173,8	172,5
Változás %-ban	4,3	4,9	-3,9	-2,6	-0,5	-0,8
Export	146,8	436,3	440,7	442,8	456,0	475,3
Változás %-ban	2,7	4,7	1,0	0,5	3,0	4,2

Spanyolországi burkolólap-termelés és -értékesítés (millió m²)

	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Termelés	602,0	621,0	638,0	651,1	663,3	676,8
Változás %-ban	6,7	3,2	2,7	2,1	1,9	2,0
Összes értékesítés	536,2	598,5	645,0	660,1	680,3	698,8
Változás %-ban		11,6	7,8	2,3	3,1	2,7
Belföldi értékesítés	269,0	287,0	306,0	314,5	314,9	307,1
Változás %-ban	9,2	6,7	6,6	2,8	0,1	-2,5
Export	270,2	311,5	339,0	348,6	365,4	391,7
Változás %-ban	3,4	15,3	8,8	2,8	4,8	7,2

Olaszország és Spanyolország exportált burkolólap-mennyiségei (millió m²)

	Olaszország			Spanyolország				
	2001	2002	2003	2004	2001	2002	2003	2004
Nyugat-Európa	223,4	216,5	219,9	225,2	106,1	104,9	106,4	109,6
Ausztria	12,6	11,5	11,7	11,9	1,0	0,9	1,0	1,0
Belgium	12,1	11,8	12,0	12,7	3,4	3,3	3,4	3,7
Franciaország	57,5	57,0	58,0	59,8	24,0	23,9	24,6	25,9
Görögország	19,0	20,3	21,3	22,0	12,1	12,5	13,3	14,0
Hollandia	8,6	8,4	8,5	8,9	3,7	3,6	3,7	4,0
Nagy-Britannia	9,2	9,6	10,1	10,5	19,6	20,6	21,8	23,2
Németország	79,1	72,5	72,0	72,2	11,0	10,1	10,1	10,4
Portugália	0,6	0,5	0,5	0,4	20,7	18,9	16,8	15,2
Svájc	8,6	8,1	8,2	8,4	1,0	1,0	1,0	1,0
Egyéb	16,2	16,7	17,7	18,4	9,7	10,1	10,6	11,1
Közép-Kelet-Európa	76,4	76,9	80,2	85,0	38,7	40,0	43,3	47,8
Cseh Köztársaság	4,3	4,4	4,6	5,2	0,5	0,5	0,6	0,6
Horvátország	9,0	9,5	9,7	9,9	0,8	0,9	0,9	1,0
Lengyelország	10,8	8,0	7,9	8,1	6,8	5,2	5,1	5,4
Magyarország	9,8	9,4	9,9	10,8	2,0	2,1	2,2	2,4
Oroszország	3,1	3,4	3,7	3,9	5,8	6,6	7,2	7,7
Szlovénia	3,7	3,8	3,9	3,9	0,3	0,3	0,4	0,4
Észak-Amerika	65,2	71,2	85,2	79,7	35,2	38,1	40,7	44,1
Dél-Amerika	6,2	5,9	6,2	6,8	36,0	36,3	38,7	43,0
Közél-Kelet és Afrika	38,6	39,3	40,2	42,6	90,6	94,7	98,9	105,9
Ausztrália	7,1	8,6	8,8	9,2	3,9	4,7	4,9	5,2
Ázsia	13,0	13,2	13,8	14,6	10,8	11,1	11,8	12,8
Egyéb	10,8	11,2	11,6	12,1	17,7	18,8	20,7	23,3
Összesen	440,7	442,8	456,0	475,3	338,9	348,6	365,4	391,7

A 2002-2004-es adatok becslést jelentenek.

A cikkekkel kapcsolatos kérdéseiket és véleményeiket az apagyi@zalakeramia.hu e-mail címen várom.