

# **Habosított zománc előállítása és alkalmazása**

Dr. Ing. Karola Kanzier, Prof. Dr. Günther Heinz Frischat,  
Prof. Dr. Peter Hellmold  
Technische Universität Clausthal,

(Fordította: Dr Való Magdolna)

## **1. A kutatás tárgya**

A nemfémes anyagok intézeténél az üveg és az üvegtechnológia professzora megvalósította a habosított zománc kifejlesztésének kutatási tervét, együttműködve a Salzgitter Mannesmann Kutató GmbH-val és a Thale Email GmbH-val (ma THALETEC GmbH, Thale). A munkát a Mess- und Regeltechnik, Clausthal-Zellerfeld szakmailag és pénzügyileg támogatta.

Ez a munka rendszeres és tudományos alapkutatása a habosított zománc előállításának. Különös érdeklődésre tarthat számot, hogy mely anyagok jöhetnek szóba a zománcok felhabosítására, az egyes zománccfajtáknak milyen befolyása van a felhabosításban és milyen eljárással lehet a habzománc/acél kombinált szerkezeti anyagot alkalmazni.

A habzománc kifejlesztésének célját, az irodalmi tanulmányokat, a technika helyzetét, a pórusok fellépését a nem habosított üvegekben és zománcokban, az üveg és a zománc felpuffasztásának előkísérleteit, valamint a habzománc hővezető képességének mérését már leírtuk a fent említett cikkben.

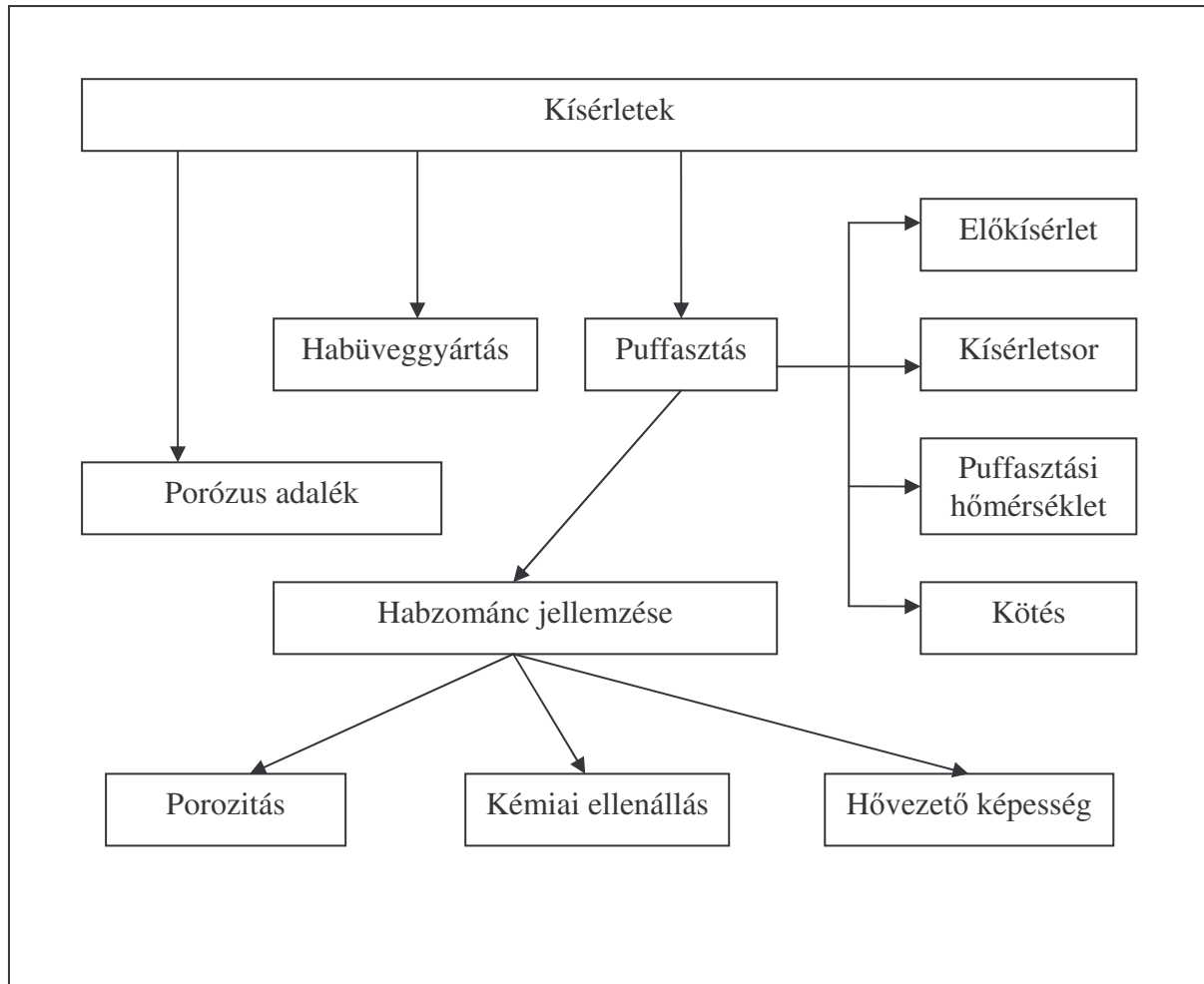
## **2. Bevezetés**

A habzománc egy újfajta zománc igen nagy pórus térfogattal, egészen 90 %-ig, ami pl. megtalálható az építészeti burkolóelemek belső oldalán szigetelő anyagként, míg a külső oldala esztétikai okból hagyományos zománccal van bevonva. Mint minden zománcnak a szigetelő zománcnak is nem mérgezőnek kell lennie, és nagyon magas hőmérsékleten is (tűzeset) endothermnek kell lennie, úgy, hogy különösen a biztonságra érzékeny építkezésnél, mint pl. alagutak és repülőterek, is alkalmasak legyenek. Néhány a zománc felhabosítására vonatkozó szórványos kísérleten kívül – a tudományos alapok részleteiben történő kikutatása nélkül – eddig a témához tartozó nem kerültek publikálásra.

### 3. Kísérleti eredmények

#### 3.1 A kísérletek felépítése

Az **1.ábra** a habzománc témához tartozó kísérleteket mutatja, amelyből már nyilvánossá válnak egyes részeredmények.

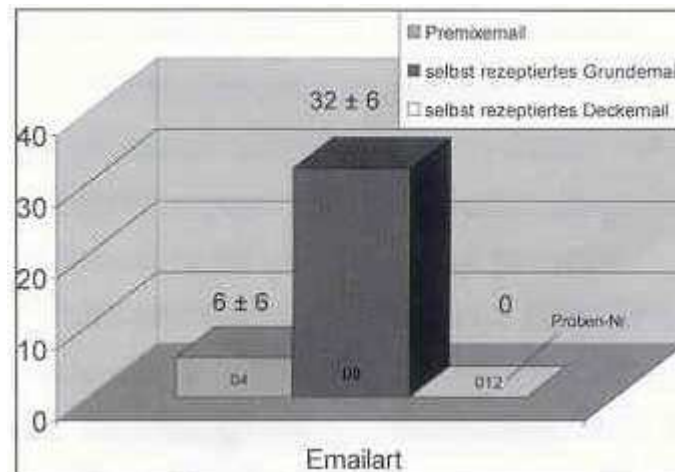


**1. ábra: A habosított zománc kísérletei**

#### 3.2 Előkészítés és felvitel

A habzománc iszap előkészítéséhez a nagyon finom szemcsézetű habosítót nagyon jól el kell keverni az iszappal. Ennek különösen akkor van jelentősége, ha nagy faj-súlybeli különbség van a zománc iszap és a habosító között, mint pl. SiC esetében. Habzománc előállításához a fritt és a malomadalék receptjét módosítani kell. Ehhez ki kell küszöbölni a porozitást csökkentő malomadalékot a receptből, mint a SiO<sub>2</sub> és a ZrO<sub>2</sub>. Továbbá tézstaszerű konzisztenciára kell beállítani az iszapot, hogy rákellal a lehető legnagyobb vastagságot (4 mm) lehessen elérni felvitelnél. Ez a biszkvit réteg száradásnál kissé csökken, égetésnél a puffasztószer által felpuffad annyira, hogy a

habzománc vastagsága eléri a 20 mm-t. A tézstaszerű iszap konzisztenciát az iszap minimális víztartalmával elehet elérni, az iszap állását hamúzsírral ( $K_2CO_3$ ), a fritt egyenletes szemcseméretével, valamint a zománciszap kémiai összetételével (fritt, agyag, malomadalékok, habosító) lehet elérni. Ebből következik, hogy a puffasztóanyag kiválasztása mindig egyedi, a habosítandó zománchoz kell illeszteni. A habzománc iszap kémiai összetétele (zománc + habosító) biztosítja a zománcolvadék lehető legnagyobb viszkozitását a habképződés számára, ezzel a habosítószerből keletkező buborékok nem tudnak a zománcolvadékból távozni (kigázosodás), és így egy stabil hab keletkezhet, amely az égetésnél és a lehűlésnél is megmarad. Egy módosított iszap tézstaszerű konzisztenciája lehetővé teszi a nagy bevonati vastagságot, amely habosító adalék nélkül is kb. 30 %-os pórustartalmat tesz lehetővé. A **2. ábrán** világosan felismerhető a kvarc és a cirkon kiküszöbölésének hatása magával az alpzománc megfelelő receptje által, szemben a (nem módosítható) Premixszel, amelynél a nem habosított zománcok kigázosodása (minden zománc hajlamos növekvő rétegvastagság esetén a buborékképződésre) növekvő rétegvastagságnál csökken.



**2. ábra:** Nem habosított zománc porozitása 4 mm-es rétegvastagság esetén.

A **2. ábra** szerint a fedőzománc azonban nem mutat buborékosodást, mivel a buborékok a jól folyó tulajdonsága miatt (csekély viszkozitás a magas alkáli-fémoxid tartalom miatt) a fedőzománcból könnyen eltávoznak. Itt különösen figyelembe kell venni, hogy a paraméterek a habzománcok referencia próbáinak előállításához nem felelnek meg a hagyományos zománc előállításának, mint a kb. 4 mm-es rétegvastagság, a száradási idő (1 óra) és az iszapösszetétel (kvarc és cirkon kiküszöbölése, az állí-

tóanyagok mennyiségének növelése 10 %-ra, minimális víztartalom), éppen így szemben a fedőzománc szokásos zománcozási technikájával, ezt direkt a fémalpra viszik fel és nem az alapzománcre. A **2. ábra** mutatja, hogy a habzománc előállításának zománcösszetétele már egyedül is alkalmas habzománc előállítására, különböző habosítók befolyása nélkül.

Az acéllemez bevonása zománciszap-habosító keverékkel megvalósítható egy saját építésű rakellal 4 mm-es vastagságban.

### **3.3 Kísérletek**

#### **3.3.1. A habosított lemezzománcok porozitásának mérése.**

Mivel a pórustérfogat, amely zárt pórusokból áll, direkt mérése jelentős műszeres és anyagi ráfordítást igényel, a zománc habosítási kísérleteinek kiértékeléséhez az elért rétegvastagságot, mint porozitással ekvivalens nagyságot vettük figyelembe, mivel mindig azonos iszap rétegvastagsággal dolgoztunk. A habzománc porozitásának mérését nagyon egyszerű és kedvező módon lehetett elérni a tervezett rétegvastagság habosságának mérésével, egy tolómérce segítségével. Ahogyan matematikailag levezették, ennél a mérési eljárásnál a pontosság növekszik a porozitás növekedésével, amiből következik, hogy a mérési pontosság alacsony pl. 30%-os porozitási értéknél nem kielégítő, magas porozitásnál pl. 80 % felett, nagyon jó.

A következőkből kitűnik, hogy a habzománc kifejlesztésénél nemcsak a nagy porozításra kell ügyelni, hanem egyidejűleg a szabvány- eltérés  $< 1$  térfogat % értékére is. Mivel a habzománc vastagságának mérése az egyetlen paraméter, ugyanazon a próbán több mérési ponton vannak alacsony értékek, amelyek a zománcfelület egyenességének mértéke.

#### **3.3.2. Előkísérletek**

Az előkísérletekben egy sor szerves és szervetlen anyagot próbáltunk ki, mint habosítót a kerámia és az acél felületén, ezek első eredményét már nyilvánosságra hoztuk. Az összehasonlításhoz egy habüveget állítottunk elő.

A szerves anyagok közé tartozott a citromsav, a borkő, a búzaliszt, a cukor és a fapor.

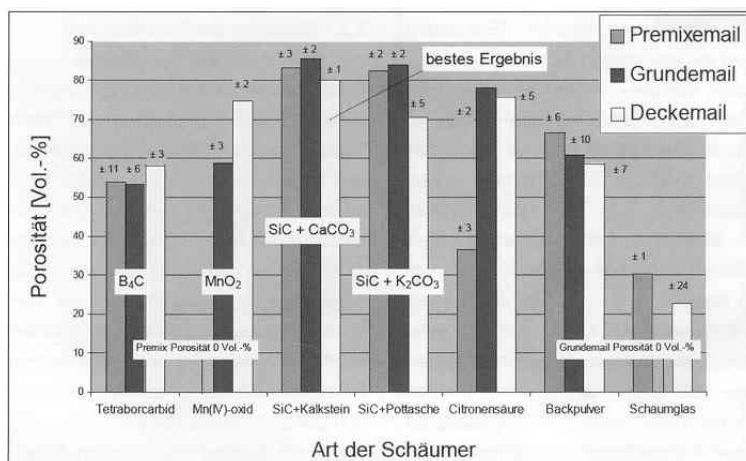
A szervetlen anyagok körülöleltek karbonátokat, szulfátokat, foszfátokat, borátokat, manganátokat, szilikátokat, karbidokat, oxidokat, szenet, valamint habüveget.

A továbbiakban a háztartásban gyakori sütőport alkalmaztunk (szervetlen és szerves keverék), valamint perlitet, mint szervetlen porozítáló adalékanyagot.

Az előkísérletek eredményeit a következők szerint lehet összefoglalni:

- A nyers perlitet adalékanyagként lehet alkalmazni habzománchoz, ez égetéskor térfogatának 20-szorosára képes expandálni.
- SiC alkalmazásánál a habüveg habosítására a legkedvezőbb mennyiség kb. 5 %. Zománcnál az optimális SiC adalék alacsonyabb érték, 2,5 %
- A lényeges különbség a zománc és a habüveg között a zománc kisebb viszkozitásban van a habüveggel szemben, miáltal a zománcolvadékból a buborékok könnyebben tudnak eltávozni. A zománcok az üveggel szemben több folyósítót tartalmaznak, mivel a zománcnak egy alapfelületen simára kell folynia. A habzománchoz a gyártásnál a hálózatban vándorló habosító anyagokat alkalmaznak, mint pl. nátrium- vagy kalcium-karbonát, amelyek a viszkozitást tovább csökkentik, a habrétegből túlságosan nagy gázmennyiség távozik, úgy, hogy csak egy kevés habtérfogat keletkezik. Nagy habvolumen keletkezik ezzel szemben, ha a zománchoz viszkozitást növelő komponenset alkalmaznak, mint pl. a SiC esetében. Ellenkező hatású a SiC-dal szemben a B<sub>4</sub>C. A bórkarbid éppen úgy pórusokat eredményez, de a bóroxid oly mértékben csökkenti a viszkozitást, hogy a hab többé nem lesz stabil, azaz kigázosodáshoz vezet.
  - Ezért szükséges a habzománc előállításához a habzománc olvadék viszkozitását növelni anélkül, hogy a zománc égetési hőmérséklete lényegesen változna.
  - A szerves habképzők, mint pl. a fapor, vagy a cukor, de a szénpor is és más anyagok, amelyek csak CO<sub>2</sub>-t fejlesztenek, anélkül, hogy a zománc viszkozitását növelnék, nem jönnek számításba a zománc pórusosságához. Ennek oka az, hogy az alacsony viszkozitású zománc nincs abban a helyzetben, hogy az olvadékban keletkező buborékokat megkösse, így a buborékok a zománcréteg felületére kerülnek és az atmoszférába jutnak.

A **3. ábra** bemutatja a kiválasztott habosítók eredményét. Emellett megvizsgáltuk a habosítók kölcsönhatását a porozításra. A **3. ábra** interpretációjánál különösen figyelni kell arra. Hogy nemcsak nagy porozításra kell törekedni, hanem arra is, hogy a szabványtól való eltérés a lehető legkisebb legyen. (1 % alatt)



3. ábra: Habosított lemezzomancok porositása

### 3.3.3. Sorozatkísérletek

A kovetkezokban az alapvető kísérletek eredményeit mutatjuk be:

- A kísérletekhez 3 zománcot választottunk ki: 2 alpzomancot (Premix és egy saját recept szerinti alpzomanc) valamint egy saját recept szerinti fedozomancot.
- Habosítóként az előkísérletek sikerének megfelelıen a kovetkezeket választottuk: SiC, hamúzsír (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), szóda (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) és mészkő (CaCO<sub>3</sub>). A továb-  
biakban pórusbeton port adagoltunk a zománchoz, hogy a habosító hatás-  
módját kipróbáljuk.

Az **1. táblázat** a pórusbeton por összetételét mutatja be.

Az ásvány neve	összetétele	Tartalom %
Tobermonit	Ca <sub>3</sub> [Si <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (OH)]. 2....5 H <sub>2</sub> O	65
Kvarc	SiO <sub>2</sub>	15
Kalcit	CaCO <sub>3</sub>	4
Nem azonosítható		16
Izzítási veszteség 1000°	Kristályvíz, CO <sub>2</sub>	9,5

1. táblázat: A pórusbeton por ásványtani összetétele

- A habzómańc előkísérletek eredményeinek és a habüveg kísérleteinek kiérté-  
kelése után az iszappal sorozatpróbákat végeztük, amelynek a habosító tar-  
talma 2,5 és 5 % volt. Az égetési hőmérséklet 800 és 820°C, és az égetési idő  
2 és 4 perc volt. Az égetést szabályozható kamrás kemencében végeztük.

- A beégetett habzománc nagy rétegvastagsága – 20 mm-ig – miatt égetés után hűtésre volt szükség. Ez 600°C-on történt külön kemencében, amelyet 2 óra után lekapcsoltunk, így a próba a következő napig lassan hűlhetett le.
- A sorozatpróbák a következő eredményekhez vezettek:
  - ❖ SiC-vel minden kiválasztott zománcból habzománcot lehetett előállítani, amelynek pórusszerkezete kicsi, zárt hólyagokból állt.
  - ❖ A rácsszerkezet átalakítót tartalmazó habzománcok - a pórusbeton por kivételével - egy finompórusú szerkezetet mutatnak a habzománcban, de lényegesen kevesebb öszpórus térfogatot, mint a SiC-os habzománc. Ez azt bizonyítja, hogy elvileg a rácsszerkezet átalakítót tartalmazó habzománc alkalmas a porozitásra. A rácsszerkezet átalakító tartalom mégis csökkenti a habzománc olvadék viszkozitását, emiatt nagy mennyiségű gáz tud eltávozni. Ennek megfelelően gyanítható, hogy egy magasan olvadó zománc, rácsszerkezet átalakítóval kevesebb gázt enged el, és ezzel stabilabb habot eredményez, mint egy normál olvadású zománc (kb. 820°C)
  - ❖ A pórusbeton por említésre méltó mennyiségű kvarcot, kalcitot és vizet tartalmaz. A pórusbeton porban nagyon kicsi kalcit kristályok vannak, amelyek már viszonylag alacsony hőmérsékleten reagálnak a zománc szilikát rácsszerkezetével, illetve a kvarccal, és a képződő CO<sub>2</sub>, valamint a H<sub>2</sub>O már a zománc égetési hőmérséklete alatt eltávoznak, így hatástalanok a habképződésre. A pórusbeton tehát mint habosító alkalmatlan.
  - ❖ Különleges helyet foglal el a hamúzsír (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Ez állítóanyagként hat az iszapra, így nagyobb rétegvastagságot eredményez, tehát a zománc porozitását habosító adalék nélkül is növeli. (**2. ábra**) Ez a hatás különösen a fedőzománcnál mutatkozik, amelynél csak az állítóanyag adagolásának növelésével 4 mm-es rétegvastagság is elérhető. Bár a hamúzsír viszkozitás csökkentő hatású, mégis a viszkozitás csökkenése magasabb hőmérséklet tartományban következik be, úgy, hogy már az alacsonyabb hőmérsékleten keletkező gázok a zománcban habot képezhetnek. A zománc égetési tartományában a viszkozitás azonban túl alacsonynak bizonyul, így a buborék mérete nagyon nagy és a hab a buborékok egyesülése által instabil lesz, azaz ez a kigázosodás által ismét összeesik. Ebből következik, hogy a hamúzsír, mint egyedüli habosító nem jöhet számításba, hanem egy magasan olvadó receptben mint alkotórész, valamint a habzománc állítóanyagaként alkalmas.

- ❖ Mivel a habzománc és a habüveg összetétele és előállítása hasonló, de nem azonos, a zománc és az üveg felhabosításának hasonló kritériumai vannak. Itt a zománc és az üveg közötti lényeges különbség az alkálifémoxid magasabb tartalmában rejlik, ami alacsonyabb égetési hőmérsékletet és heterogénebb rácsszerkezetet eredményez, míg az üveg sokkal homogénebb.
- ❖ Egy pórusos zománcot elvileg egy frittpúder szinterezésével is elő lehet állítani, amelynél a gáz a frittszemcsék közé van bezárva. Lehülésnél a zárt pórusokban lévő gáz összehúzódik, és a belső húzófeszültség alatt a buborékok kontrakciója által a habzománc megszűnik. A porozitási hatás tehát a habosító anyagokkal szemben csekély, de érdekes lehet a habzománc súlyának csökkentése tekintetében és pozitív hatása lehet a habzománcok mechanikai stabilitására, amit a jövőbeni munkáknál meg kell vizsgálni.

A habzománc kifejlesztésére végzett kísérletek eredményeit a következőkben foglaljuk össze:

- SiC-nek van a legjobb habosító hatása. Ez a habosító a habzománc beégetésekor kémiaiilag átalakul, miáltal  $\text{SiO}_2$  és  $\text{CO}_2$  képződik. Az  $\text{SiO}_2$  a zománcolvadékba beépül és növeli a viszkozitását, míg a  $\text{CO}_2$  buborékokat képez, amelyek az olvadék nagy viszkozitása miatt a zománcréteg alkotórésze lesz, azaz nem távozzhat el, így egy stabil zománchab keletkezik.
- Különleges helyzete van a hamúzsírnak, amely reagál a zománcolvadékkal, miáltal  $\text{CO}_2$  keletkezik és a  $\text{K}_2\text{O}$  a zománcmatrixba kerül. A  $\text{K}_2\text{O}$  egy „hosszú üveget” képez, azaz nagy hőmérséklet tartományban, amelyben a buborékok képződnek, csak nagyon kevésbé változik a viszkozitás. Mindenesetre a  $\text{K}_2\text{O}$  mint alkálifémoxid a zománc viszkozitását csökkenti, olyannyira, hogy az égetési hőmérséklet 2,5 %  $\text{K}_2\text{CO}_3$  adagolás mellett kb. 20 K-t csökken. Ezt a hatást kísérletileg igazoltuk a csőkemencében végzett próbákkal. (**lásd 9. ábra**)

A **2. táblázat** mutatja a sikeres habzománcok jelentős értékeit, mint a puffasztószer, porozitás, rétegvastagság és sűrűség. Minden habzománcot hasonlóan az acélzománcokhoz, úgy állítottunk elő, hogy az égetési hőmérséklete  $820^\circ\text{C}$ , égetési ideje 4 perc legyen.

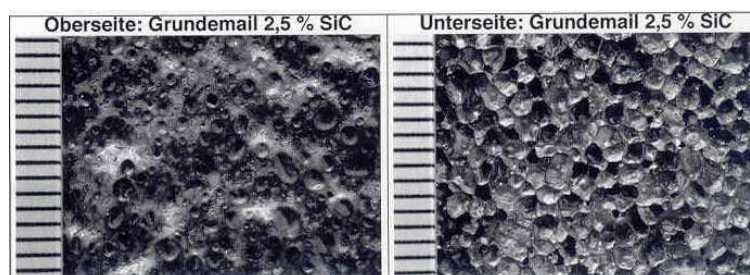


Próba száma	Zománc	Habosító %	Porozitás Térf. %	Rétegvastagság mm	Sűrűség g/cm <sup>3</sup>	A habzománc képe
21	alap	2,5 SiC	87 ± 1	17,5 ± 1,0	0,4 ± 0,0	4. és 5.
22	alap	5 SiC	88 ± 1	19,3 ± 1,2	0,3 ± 0,0	-
23 b	fedő	2,5 SiC	78 ± 3	10,6 ± 1,6	0,6 ± 0,1	5. és 6.
9 5	fedő	2,5 CaCO <sub>3</sub>	60 ± 4	5,8 ± 0,6	1,1 ± 0,1	7. és 8.

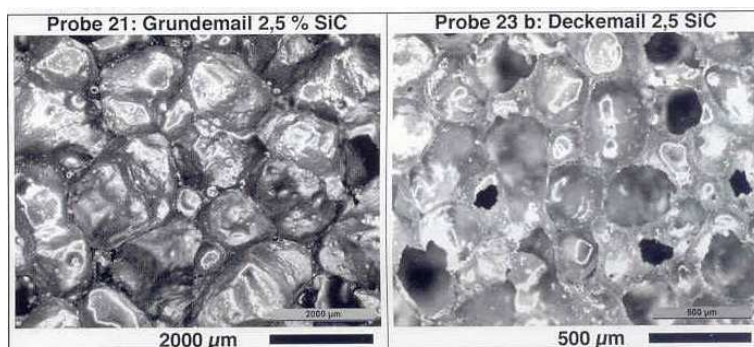
## 2. táblázat

### Sikeres habzománcok habosítószer, porozitása, rétegvastagsága és sűrűsége

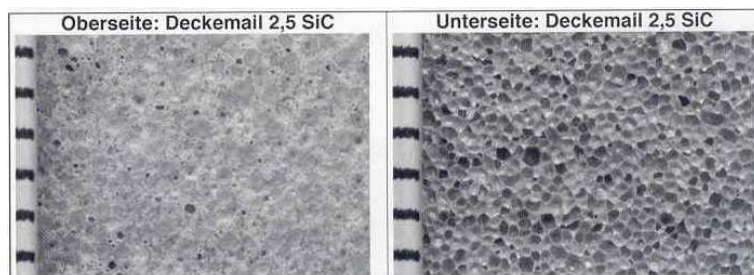
- A 22-es próbán felismerhető, hogy a kétszeres habosítószer ellenére a habzománc porozitási értéke csak csekély növekedést mutat, ami azonban megnövekedett szabvány eltéréssel jár együtt. Ez azt mutatja, hogy a túlságosan sok habosítószer adagolás erős kigázosodási értékkel jár együtt, ami kiforrásokat, hullámosságot és ezzel együtt egyenletlen zománcfelületet okoz. A nagy szabványeltérés >1 % a fedőzománcnál kigázosodási folyamatot mutat, amit a meglévő kiforrások dokumentálnak (lásd **5. ábra jobbra**)
- CaCO<sub>3</sub>-mal csak csekély zománc porozitás érhető el. További kísérletek a mészkővel azt mutatják, hogy ez a habzománcban feloldódik, és ez a porozitás szabványától jelentős eltérést okoz, a zománc viszkozitása a mészkő adagolásától kedvezőtlen mértékben csökken



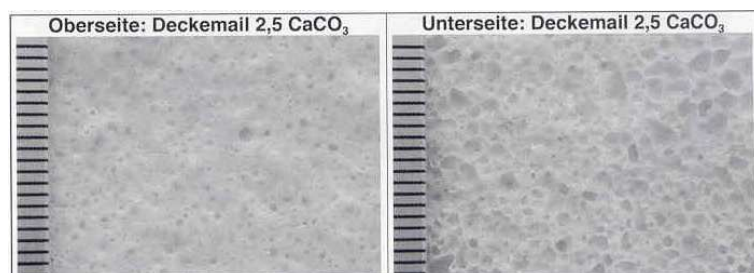
4. ábra: 21. próba, skálaosztás mm-ben



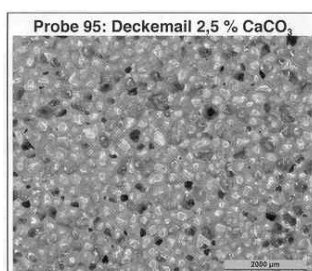
**5. ábra: Nagy porozitású SiC habzománc pórus szerkezete**



**6. ábra: 23 b próba, skálaosztás mm-ben**



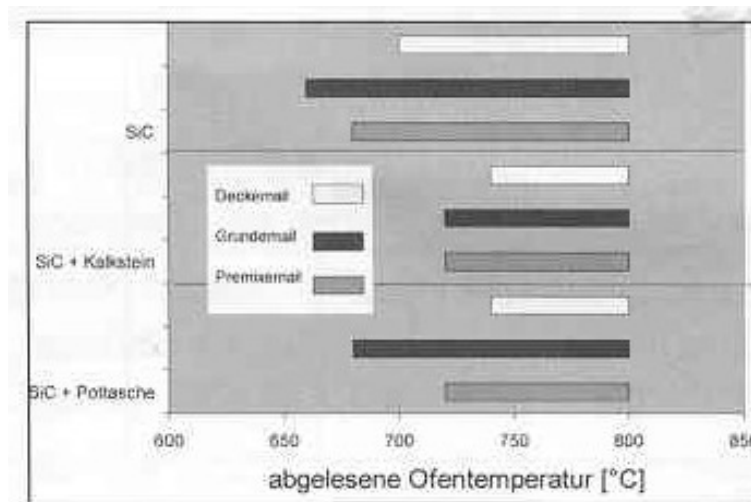
**7. ábra: 95. próba skálaosztás mm-ben**



**8. ábra: Nagy porozitású mészkő-habzománc pórus szerkezete**

### 3.3.4 Habzománcok puffadási hőmérséklet- tartománya

Azt a hőmérséklet- tartományt, amelyben az egyes habosítók vagy habosító keverékek reagálnak a különböző zománcokkal, egy gradiens kemencében (csőkemence) vizsgáltuk, és a **9. ábrán** mutatjuk be.



**9. ábra:**  
**Zománcok puffadási tartományának változása**  
**SiC-vel  $\text{CaCO}_3$  ill.  $\text{K}_2\text{CO}_3$  adagolás által**

Ezzel az előkísérletekkel és a sorozatkísérletekkel (3.3.2- 3.3.3) kapott kvalitatív eredményeket, illetve a habosítóknak a zománcokkal való reakcióját lehet bizonyítani, mint pl. a zománcolvadék kémiai hatását a különböző habosítókra, és a habosítók befolyását a habzománc porozitására a kemence hőmérsékletének függvényében.

A **9. ábra** egyenként bemutatja a habosodási hőmérséklet tartományának csökkenését mészkő ( $\text{CaCO}_3$ ) és hamúzsír ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) adagolásnál SiC-vel való habosításnál. A habosodási hőmérséklet tartományának rövidülése mészkő esetén a legerősebb, hamúzsírnál ezzel szemben gyengébb, mivel  $\text{K}_2\text{O}$ -nak az olvadékhoz való adagolásával, az üveg illetve a zománc „hosszabb” lesz, azaz ennek lágyulása nagyobb hőmérséklet tartományra nyúlik.

A második habosító komponensnek a befolyását a habosodási hőmérséklet tartományra azzal lehet magyarázni, hogy először a karbonát reagál az üveg rácsszerkezetével és a SiC egy részével gázképződés közben, miközben ez a gázz rész viszonylag alacsonyabb hőmérsékleten, a zománcréteg még nyitott pórusain keresztül teljesen eltávozhat, míg a zománchab csak magasabb hőmérsékleten keletkezik a maradék SiC-vel.

### 3.4 A habzománc kötése.

A habosított alapzománc jó kötést mutat a fémalapon, ezzel szemben a habosított fedőzománc csak gyenge szilárdságot a nem habosított Premix zománcon, és igen nagy szilárdságot a magasan olvadó vegyipari-alapzománcon. Ennek a meglepő je-

lenségnek az oka nyilvánvalóan a magasan olvadó vegyipari- aluzománccnak a hasonlósága a magas SiO<sub>2</sub> tartalmú habzománccal és - a hasonló tágulású - a csekély feszültségbeli különbségek a szerkezetileg különböző zománcretegek között, miáltal végülis jó kötés alakul ki.

A jó kötés biztosításához a további kutatási munkában egy meghatározott égetési programot kellett kifejleszteni. A felmelegítési sebességnek alacsonynak kellett lennie, hogy a habosító gázok nyomása által a zománcreteg ne emelkedjen fel a fémalapról (3.5 fejezet), de elegendően magasnak ahhoz, hogy egy gyors olvadákképződés alakuljon ki. A tartózkodási időnek elég hosszúnak kell lennie, hogy a zománcreteg megolvadjon és beégjen, mégis ne legyen nagyon hosszú, hogy a habzománcreteg kigázosodását megakadályozza.

### **3.5 Leoldódások**

A habzománccok előállításánál elvileg fennáll a veszélye annak, hogy a felszálló gázok nyomása által a biszkviten vagy a fémalapon lévő olvadék feloldódik. Ha a felmelegedési sebesség túlságosan nagy, viszonylag sok buborék képződik az olvadék mennyiségéhez képest úgy, hogy a fémalap kevésbé fog nedvesedni, és a biszkvit és/vagy az olvadék szegmens kis, pórusos golyócskák formájában a szubsztrátról leoldódik.

Ezt a leoldódást hátráltatni lehet a habzománccal iszappal bevont lemez megfelelő szárításával, a nem túl gyors felmelegítéssel, a habosító anyag nem túl nagy mennyiségével és szemcseméretével, valamint a zománccolvadék megfelelően nagy viszkozitásával.

### **3.6 Hővezető-képesség**

#### **3.6.1 Mérési eljárás**

A hővezető-képesség mérését a habzománccnál a pórusos szerkezet miatt nem lehet hagyományos módon végezni. Ez okból vizsgálatokat végeztünk lézer alkalmazásával.

Ennél egy habzománccal bevont felső oldalára meghatározott teljesítményű lézert ömlesztettünk, és a habzománccal felső felületének, valamint az alsó oldalának hőmérséklet különbségét megmértük, és az U értéket (korábban k-érték) a következő egyenlet szerint számítottuk ki:

$$\text{Hővezetés: } \lambda = P_1 \times d/A \times \Delta T$$

Rétegvastagságtól független hővezetés U-érték

$$U = \lambda/d$$

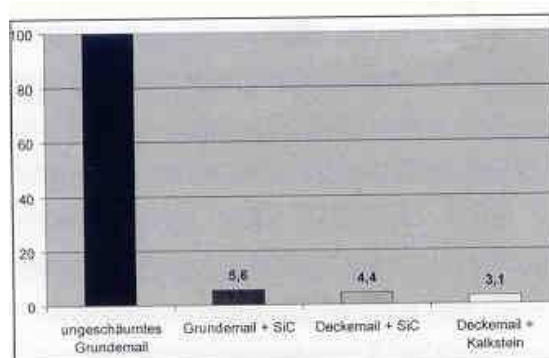
$P_1$  = lézerteljesítmény

$d$  = a próba vastagsága

$A$  = a lézer profiljának felülete (hőátadási felület)

### 3.6.2. Eredmények

A **10.ábra** bemutatja a habzománcok U-értékeit összehasonlítva egy nem habosított acéllemez-zománcéval. A referencia próbát semmi esetre sem szabad a nem habosított vékonyrétegű zománcsal összehasonlítani, mivel a referencia próba ugyanazon a feltételek között illetve azonos iszaprecept, rétegvastagság és égetési program szerint készült, mint a habzománc.



**10. ábra: Habzománc hővezető-képessége**

A szubsztrát nélküli habzománcok hővezető képességét > 95 %-ra lehetett csökkenteni, szemben egy nem habosított lemezzománcsal, ennél a fedőzománc, szemben a saját receptű alapzománcsal, és a mészkő, szemben a SiC-vel, jobb eredményhez vezet.

Az eredmények bizonyítják, hogy a habzománc előállításával lehetséges hőszigetelő réteget előállítani, amely a zománcok megszokott előnyét bizonyítja. Itt mégis figyelemmel kell lenni arra, hogy a konvencionális szigetelőanyagok hővezetési értékeit nem lehet a habzománcéval összehasonlítani, mivel a mérési módszerek különbözőek, és ehhez a lézeres eljárás még nem érett meg.

A habzománcok objektív fizikai értékeit – összehasonlítva a konvencionális, nem habosított zománcéval és más szigetelő anyaggal – a jövőbeni munkák során, a PO-

ENSGEN módszerrel fogjuk meghatározni, amihez legalább 400x400 mm<sup>2</sup> nagyságú habzománc próbákat kell előállítani.

A mészkővel habosított zománc hőszigetelése 30 %-kal jobb, mint a SiC általi, ami a mészkő kisebb szemcseméretével magyarázható, ami finomabb póruseloszlást eredményez, mint a SiC-vel habosított zománcnál.

SiC-vel mégis nagyobb habzománc rétegvastagság érhető el.

A **3. táblázat** mutatja, hogy a habzománc 400-1100 kg/m<sup>3</sup> sűrűségi értéke a duzzadó agyag tartományában (400-1800 kg/m<sup>3</sup>) van, a habüveg (135 kg/m<sup>3</sup>) és a duzzadó perlit (88 kg/m<sup>3</sup>) mégis lényegesen könnyebb, mint a duzzadó agyag illetve a habzománc.

Itt mutatkozik meg az, hogy a SiC tartalmú zománc porozitása kisebb sűrűségű, mint amit a mészkővel lehet elérni (600 szemben az 1100 kg/m<sup>3</sup> a fedőzománcnál. A saját receptű alapzománc SiC-vel mutatja a legkisebb sűrűséget (400 kg/m<sup>3</sup>).

Ez egy világos utalás arra, hogy a habzománc hőtechnikai potenciálja a konvencionális iszap felhabzása által a túgulásnál még nincs kimerítve.

A duzzadó perlit és a habüveg sűrűségi értékét tekintve, a duzzadó agyag és a habzománc értékével szemben értelme lenne a habzománc frittjét habüveggel és/vagy duzzadó perlittel helyettesíteni, amelynek kedvező mellékhatása lenne a habzománc panelt könnyíteni. Ez annál inkább érdekes, mivel a duzzadó perlit és a habüveg kémiai összetétele hasonló a zománcéhoz.

**3. táblázat:** A habzománc és a kiválasztott szerveszigetelőanyagok hőszigetelésének értékei

Habosító anyag			Rétegvastagság d [mm]	Sűrűség p [kg/m <sup>3</sup> ]	Hővezető képesség λ [W/mK]	U érték λ/d W/m <sup>2</sup> K
habüveg			125	135	0,048	0,384
d.perlit			130	88	0,053	0,408
d. agyag			480	400-1800	0,165	0,344
<b>Habzománc</b>	<b>lásd 4-8. képek</b>					
	<b>Zománc</b>	<b>Habosítók</b>				
21. próba	Alapzom.	SiC	19,3	400	1,57	82
23 b próba	Fedőzom.	SiC	12,3	600	0,78	63
95 próba	Fedőzom.	CaCO <sub>3</sub>	7,5	1100	0,34	45

### 3.7 A habzománc kémiai ellenálló-képessége

A habzománcok kémiai ellenálló-képességének meghatározására az EN 14483 „Zománcok és zománcozás – Az ellenálló-képesség meghatározása a kémiai korrózióval szemben – 2. rész: A kémiai korrózióval szembeni ellenálló-képesség meghatározása forrásban lévő savak, semleges folyadékok és/vagy ezek gőzeivel szemben” nem alkalmazható.

Ehhez sík, mechanikailag terhelhető, kompakt zománcú próbalap lenne szükséges, ami habzománcozott acéllemez esetén, ami relatív egyenetlen felületű, és többek között nagyon csekély mechanikai szilárdságot mutat, nem valósítható meg.

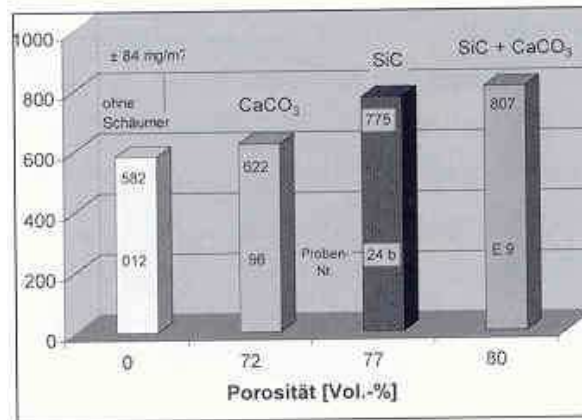
De ahhoz, hogy a habzománcozott felület kémiai ellenálló-képességét, függetlenül a pórusok számától és nagyságától, mégis vizsgálni lehessen megpróbáltuk alapul venni a DIN ISO 719 (Az üveg hidrolitikus ellenálló-képessége üveg dara eljárással) szabványt a habzománc kémiai vizsgálatához illesztve. A habzománc ellenállásának vizsgálatához a szubsztrátról a bevonatot mechanikailag eltávolítottuk, 125-250 µm-re aprítottuk, és egy vízzel töltött, visszafolyó hűtővel ellátott gömblombikban 2,5 óra hosszat főztük. Ezután a próbát átszűrtük, öblítettük, szárítottuk és lemértük. A próbának a főzés által okozott súlykülönbségét a próba fajlagos felületére vonatkoztattuk, és ez szolgált a habzománc korróziójának mértékéül.

A próba fajlagos felületének meghatározásához leegyszerűsítve egy golyó alakú szemcseformából indultunk ki, amelynek átmérője megfelelt a szemcseosztály közepes átmérőjének. A habzománc szemcsenagysága befolyásának a kémiai ellenálló-képességre való megismeréséhez, elkészítettük az alkalmazott habosító szitaanalízisét.

Itt az mutatkozott, hogy a karbidok (SiC, B<sub>4</sub>C) közel azonos szemcsenagyságot mutatnak, míg a mészkő szemcsemérete nagyon kicsi volt. A hamúzsír, mint só, jól oldódik az iszapban, úgy, hogy ennek szemcsenagysága a habzománcban semmi szerepet nem játszik. Ezzel szemben szükséges volt a mészkő szemcsenagyságának adata, a CaCO<sub>3</sub> vízben való csekély oldódása miatt.

A habzománcok kémiai ellenálló-képességének összehasonlításánál a megfelelő kompakt zománcokkal (habosítás nélkül), figyelembe kell venni, hogy a zománc 125-250 µm-re való aprításánál a zárt pórusok, amelyek feltételezik a habzománc porozitását, le lesznek rombolva (**lásd 4-8. ábrák**), azaz az eredeti porozitásnak nincs jelentékeny befolyása a zománc kémiai ellenálló-képességére. Mindenesetre abból kell kiindulni, hogy a habzománc granulátum felülete a DIN ISO 719 szerinti ellenállásmé-

rés számára nagyobb, mint a nem habosított zománcé. A korróziós teszt szerinti leoldódási érték a habzománcnál nagyobb, mint a nem habosított zománcé, de azonos nagyságrendhez tartozik. (11. ábra)



11. ábra:

**A porozitás befolyása a habosított fedőzománc kémiai korróziójára.**

A 11. és a 12. ábrák eredményeiből a következő kijelentéseket lehet levonni:

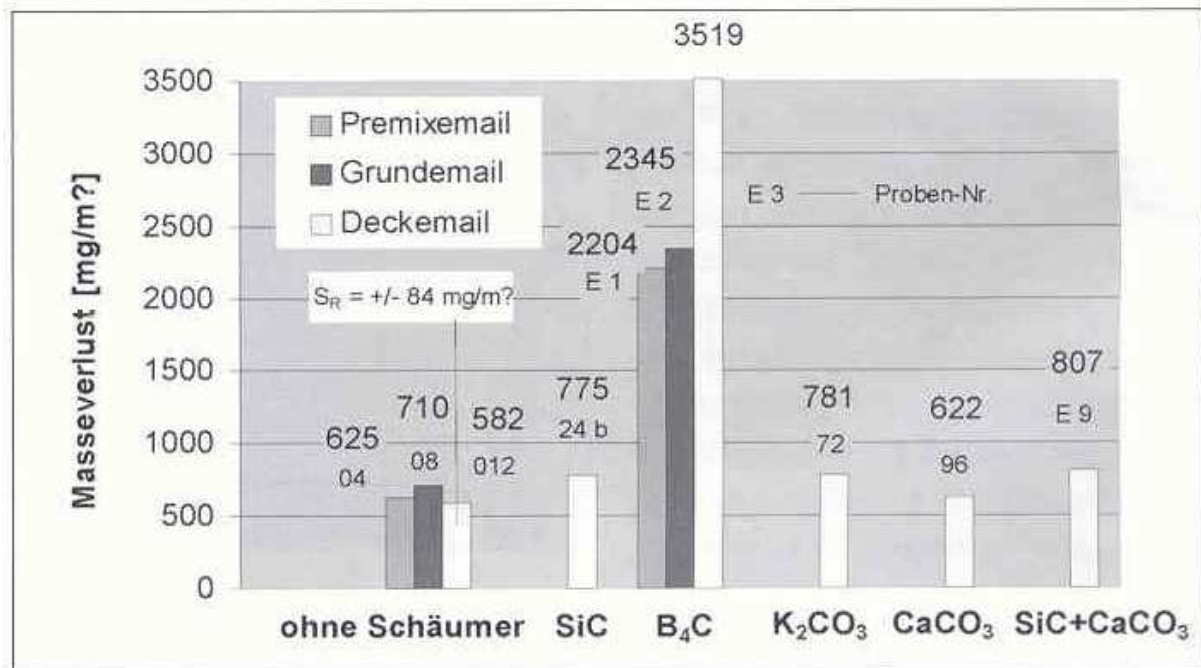
- A CaCO<sub>3</sub>-mal habosított fedőzománc a nem habosítottal szemben a várakozásnak megfelelően csekélyebb kémiai ellenállást mutat.
- A SiC egyedüli habosítóként való alkalmazásánál a leoldódási érték meglepő módon nagyobb, mint a CaCO<sub>3</sub>-mal habosított zománcnál. A SiC-nak az üveg-hálózattal való reakciója következtében a zománcban a pótlólagos Si hányad, a korróziós ellenállás növekedését kell okoznia, amely azonban nem volt megfigyelhető. Ennek az ellenmondásnak csak az lehet az oka, hogy más lesz a pórusszerkezet, és ezzel a SiC-dal habosítottnak más szemcse topográfiája lesz, mint a CaCO<sub>3</sub>-mal habosított próbának.

A pótlólagos CaCO<sub>3</sub> rész által (2. habosítás) a kémiai ellenálló-képesség enyhe csökkenésének tendenciája figyelhető meg a SiC-vel habosítottal szemben, ami megfelel a nem habosított/CaCO<sub>3</sub>-mal habosított zománcok összehasonlításánál várhatónak.

- A B<sub>4</sub>C habosító alkalmazásánál minden vizsgált zománcnál a kémiai ellenállás drasztikusan csökken, különösen a fedőzománcnál. (lásd 12. ábra) Itt fel kell tételezni, hogy a B<sub>4</sub>C adalék a zománc különböző keverékéhez vezet, és a börtartalmú fázis könnyen kioldódhat a habzománcból.



Összességében az a végkövetkeztetés vonható le, hogy a B<sub>4</sub>C habosítású zománc kivételével a habosított zománcok korróziós ellenállása messzemenően megfelel a kompakt zománcénak.



**12. ábra:**  
**Habzománcok kémiai vizsgálata**

A kompakt minőségi zománcok leoldási értékei nagyon különbözőek, 2 és 10 g/m<sup>2</sup> felület között vannak, a 24 órás illetve 48 órás korróziós idő, ennél a vizsgálatnál alkalmazott fedőzománcnál is, amelynél 2,5 órás korrózióknak vetettük alá, de itt csak 0,6 g/m<sup>2</sup> leoldódás mutatkozott, úgy, hogy biztosan kimondhatjuk, hogy a legtöbb habzománc kémiai ellenállása megfelel a kompakt zománcénak.

### 3.1 Technikai feltételek

Az acéllemez/habzománc előállításának a következő technikai feltételei vannak:

- A bevonat égetési és hűlési körülményeinek illeszkednie kell a nagy iszap- (pl. 4 mm) és habzománc vastagsághoz (pl. 20 mm)
- Ebből következik a szárítási idő hossza (20 perccel szemben 1 óra) míg a felmelegítés sebessége nem lehet túlságosan nagy, mivel különben a biszkvit vagy az olvadékszegmens leválhat. Így pl. néhány habzománc próba levált, mivel ezeket a 820°-os kemencébe vitték be. Ezzel szemben elkerülhető volt a leválás, ha ugyanezt a próbát 550°-os kemencébe helyezték, és a kemencével

együtt melegedett fel a 820°-ra, így égett be és habosodott fel. Másrészt a felmelegedés sebessége nem lehet túlságosan kicsi, mivel különben az olvadék viszkozitása erősen csökkenne, ami kedvez a kigázósodásnak és ezzel együtt a porozitás csökkenésének. A beégetési időt a lehető legrövidebbre kell venni, hogy a buborékok ne tudjanak eltávozni. Emellett a transzformációs hőmérséklet alatt ( $< T_g$  nél a buborékok nem távoznak el) kell egy tartózkodási időt, azaz egy hűtési programot beiktatni, hogy a nagy rétegvastagságban és az alacsony hővezető képesség miatt leépüljenek a termikus feszültségek.

- A habzománcnak a fém szubsztráthoz való jó kötése érdekében szükséges az alapzománc, amelynek összetétel és termomechanikus tulajdonságok tekintetében illeszkednie kell a habzománchoz. Egy módosított 2 réteg-1 égetés eljárás lehetséges.
- A habzománc réteg lefedése – esetleg, mint szendvics-izzap – megvalósítható a zománc felületi tulajdonságainak (simaság, ellenállás) javítása érdekében, egy kompakt fedőzománccal illetve egy másodlagos bevonattal.

### 3.1 A befejező munkálatok kilátásai.

A következőkben az eredmények technikai realizálhatósága a feladat:

- A habzománc összetételének sokféle lehetőségéből keveset ki kell választani, hogy a termék műszakilag érett legyen, tulajdonságait optimalizálni lehessen. Ez a fejlesztés először labor méretekben történik, második lépésben pilot berendezés keretében valósítjuk meg. Ekkor precizírozzuk az egyes gyártási paramétereket, mint pl. az izzap homogenizálása, amelynél valószínűleg alkalmasabb lesz a golyómalom helyett egy ütőszerkezet. Az izzapöregedés befolyása érdekes, különösen a habzománc szükséges szárítási ideje szempontjából. Amennyiben a rakel az optimális bevonási technológia a habzománc gyártásához, vagy egy másik eljárás, ezt részletében meg kell vizsgálni. Éppen így a maximálisan elérhető porozitás és a szilárdsági paraméter is kidolgozandó.
- A habzománc kémiai ellenállása javítható a felület szol-gél bevonásával, legalább egy nagyságrenddel. Különösen a  $B_4C$ -vel habosított zománcnál van ennek jelentősége. Ezzel esetleg alacsonyán olvadó zománcok is előállíthatók.

- A habzománc hőszigetelő képességét a POENS-GEN módszerrel vizsgáljuk.
- Hasonlóképpen a további szigetelő tulajdonságait is vizsgáljuk. A technikai tartós alkalmazás számára jellemezzük a mechanikai (pl. szilárdság) és a termomechanikai tulajdonságait (pl. termikus tágulási együtthatót és az E-modult)

### **Köszönetnyilvánítás**

A szerzők köszönetet mondanak

a Salzgitter Manesmann Forschung GmbH-nak a munka finanszírozásáért,

a THALETEC GmbH/Thale-nak a kísérleti anyagokért és a szakmai tanácsért,

a DHM embedded system (Mess- und Regeltechnik) /Clausthal-Zellerfeld-nek a financiális és technikai támogatásért,

a Haldenwanger/Waldkraiburg, Schmidt-Tone/Dornburg-Langendernbach és ESK Ceramics/Kempton-nek a SiC, agyag, tetrabórkarbid rendelkezésre bocsátásáért,

Pemco/Brugge BVBA és Ferro GmbH/Frankfurt am Main cégeknek a zománc analízisek vállalásáért és

A Vivadent AG/Schaan cégnek a habzománc és a porozitás felvételeiért.