

A TŰZZOMÁNCOK NÉHÁNY TULAJDONSÁGA ÉS GYAKORLATI JELENTŐSÉGE

H.Laithwaite - A.R.I.C., Assoc.M.Inst.Gas.E.

(The Vitreous Enameller, 2004.55.1)

A cikk először a Vitreous Enamellers-ben lett közölve 1953-ban. Másodszor 1989-ben jelent meg. Bár a fritt-receptek már elavultak, az elméleti következtetések még ma is érvényesek.

Ebben a cikkben először megpróbálunk néhány szempontot adni azon jellemzők fajtáira, melyek befolyásolják a zománcot a frittek sajátos célból történő kiválasztásánál. Későbbiekben ezeket a tényezőket vizsgáljuk meg részletesebben annak céljából, hogy a bennük rejlő bonyolult elméleti törvényszerűségeket értékeljük.

A használni kívánt frittfajta kiválasztása előtt a gyakorlati szakember megfontol különféle kérdést, általában a fritt-szállítóval konzultálva. A legfontosabb jellemzők az alkalmazni kívánt szín; a fritt opak vagy transzparens volta; vannak e speciális tulajdonságai, mint pl. saválló, hőálló; a zománcot öntöttvason vagy acéllemezen használják-e. Néhány esetben különleges jellemzőket kell figyelembe venni, fontos lehet a felület struktúrája (pl. nem reflektáló felület, iskolai táblák), vagy a felületi keménység jelentős tényező lehet. Az utóbb említett tényezőre később még visszatérünk. A konyhai eszközök iparában a zománc toxicitása fontos tényező, mivel élelmiszerrel érintkeznek és sok esetben a zománc összetételét úgy kell megváltoztatni, hogy mérgező anyag ne oldódhasson ki a zománcból.

Bár a felsorolt tényezők széles választást engednek meg, a gyakorlatban a felhasználók további két szempontot tartanak szem előtt, a felhasználhatóságot és a költségeket. Egy bizonyos fokig ezek együtt kezelhetők, de előfordulhat, hogy két lehetséges zománc közül az egyik drágább, ám gazdaságosabb, mivel a technológiai veszteségek alacsonyabbak (azaz jobb a feldolgozhatósága).

Sok esetben, különösen, a gazdaságosság kérdése, vagy a zománcozás költsége fontos jelentőségű, úgyhogy a feldolgozhatóságot és a fritt költségeket befolyásoló tényezők túlnyomóak. Azonban van egy sor olyan zománcozási eljárás, mely különleges tulajdonságokat követel, és olyan magas fokú megjelenéssel párosul, hogy a benne rejlő törvényszerűségek megértése az eredmény jobb megközelítéséhez vezet.

Évekig általános tapasztalat volt, hogy a savállóság csak a feldolgozhatóság rovására javítható. Ennél fogva a zománcozók nem irigylésre méltó választás előtt álltak, a széleskörben alkalmazható költséges, nehezen alkalmazható bevonat és olyan zománcok között, melyek könnyen alkalmazhatók, kis veszteséggel, de sokkal rosszabb használhatósági paraméterekkel.

Ez a dilemma még jelen van egy bizonyos fokig az öntvény zománcoknál, ám lemez zománcok estében már nem sokáig igaz.

Elismerhetjük, hogy a modern felviteli eljárások nagy szerepet játszanak a zománcozás költségeinek csökkentésében és sok olyan probléma megoldásában, melyek a múltban a szóráshoz és öntéshez kapcsolódtak. A modern gépesített eljárások sok változót ellenőrizhetővé tettek és egységesebb eredményt idéztek elő.

Mielőtt áttekintենék a különböző jellemzőket, hasznos áttekinteni hogyan épül fel a zománc. A zománc atomos szerkezete jellemzően oxigén és szilícium atomokat tartalmaz, melyeket elektromos erők háromdimenziós hálóba fognak össze. Most nem szükséges annak vizsgálata, milyen kötések tartják össze az atomokat, elégséges azt mondani, minél szorosabb a szerkezet, annál erősebbek a kötések, így minden olyan változás a szerkezetben, ami rombolja a hálót vagy a rácselrendezést, a kötések gyengüléséhez vezet, ami azt jelenti, hogy az anyag könnyebben rombolható olvasztással és általában magasabb hőtágulási tényezővel és kisebb viszkozitással rendelkezik. Például ez az eset áll fenn akkor, amikor alkáli ionokat viszünk a szerkezetbe, és az anyag könnyebben olvashatóvá válik. A legegyszerűbb esetben képzeljük el a nátrium-karbonáttal olvasztott szilíciumot equimolekuláris arányban; az anyagok nátrium-metaszilikát, közismertebb nevén vízüveg, keletkezése közben reagálnak egymással. Eredetileg a kvarchomok tűzálló anyag, 1750 C°-on olvad csak meg, de szóda bevezetésével olyan anyag keletkezik, amelyik szobahőmérsékleten folyékony.

A zománcalkotókat négy csoportra osztjuk:

- (1) Üvegalkotók, melyek az üvegszerkezetben a szilíciummal azonos szerepet töltenek be. Ezek a bór, titán, antimon, foszfor.
- (2) Hálózatomódosítók, azaz azok az anyagok, melyek a térhálóban levő üres helyeket képesek kitölteni, torzulásokat, részleges szakadásokat okozva a hálóban. Ezek a lítium, nátrium, kálium, kalcium és a bárium.

(3) Néhány anyag az (1) és a (2) csoportba is besorolható bizonyos körülmények között. Ezek a cink, alumínium, cirkónium, vas és az ólom

(4) Bizonyos atomok helyettesíthetik az oxigént a térhálóban. Ezek közül a gyakorlatban az egyedül fontos a fluorid.

FELDOLGOZHATÓSÁG

Feldolgozhatóság alatt a zománciparban azt értjük, hogy a zománccal normál körülmények között jó folyamateredményt legyünk képesek elérni. Érdekes ezt megvizsgálni részletesen különféle zománcok esetében.

ALAPZOMÁNCOK

A lemez alapzománcoknak kielégítő kötést kell biztosítani a hordozófémhez olyan hibák megjelenése nélkül, mint pl. a feketepont, halpikkely stb.

Az alapzománc kötése szorosan összefügg azzal, hogy az égetés korai szakaszában a fém felületén kialakuló oxidokat mennyire képes oldani. Elősegíthető magas alkália tartalommal. Régen az alapzománcok viszonylag kemények voltak és 900 C° körül égtek be. Az elmúlt 20 évben azonban jelentős csökkenés következett be az égetési hőmérsékletben és ez a folyamat folytatódik.

A feketepontosodás általában a relatív nehezen olvadó alapzománcok sajátosága. A feketepont egy vas-oxiddal túltelített zománcfelület, melyből a vas-oxid kikristályosodott. Így első lépésben a feketepontosodás nagy vasoxidoldóképességgel rendelkező alapzománc használatával kézben tartható. Azok a frittek, melyeknek összetétele olyan, hogy képesek a feketepontmentes felület kialakítására, sajnos viszonylag puhák, köszönhetően annak a képességüknek, hogy képesek oldani a vas oxidot, ill. erőteljesen reagálnak a fémmel az égetés alatt. Ez általában azt eredményezi, hogy a vékonyan zománcozott helyeken a zománcréteg túltelítődik, és ún. "leégés" jön létre.

A hiba elkerülése céljából a gyakorlatban különböző frittek keverékét használjuk. Így a megfelelő összetételű puha fritt szabályozza a feketepontképződést és a lehetséges halpikkelyesedésre való hajlamot, míg a második, kevésbé reaktív fritt, amely észrevehető mennyiségű alumínium-oxidot tartalmazhat, a viszkozitásának növelésére, a "leégés" ellen ad védelmet. A kevert alapzománc így bizonyos flexibilitást biztosít a felhasználás során, ami egyösszetevős zománccal nem lenne elérhető.

ÖNTÖTTVAS ZOMÁNCOK

Öntvényzománcok esetében a kötés a zománc és a fém között többnyire mechanikus jellegű, és a fémfelület nedvesítési foka sokkal kisebb lehet, mint az előző esetben. Más szavakkal kifejezve, az ideális zománc kis felületi feszültségű, így bensőséges kapcsolat alakulhat ki a fém és a zománc között az égetési folyamat alatt.

A zománcégető kemencében az öntvényt felmelegítve gázfejlődés történik. Ha az összes gáz felszabadulna, mielőtt a megolvadt zománc bezárulna, akkor nem lenne akadálya az áthaladásnak a bisquit rétegen keresztül, a zománc utólag besimulna minden akadály nélkül.

A gyakorlatban azonban a gázfejlődés a zománc olvadása után is folytatódik, gázbuborékok keletkeznek a bevonatban. Azt a képességet, hogy a keletkező buborékok újra összeolvadjanak, két tényezővel szabályozhatjuk: a viszkozitással és a felületi feszültséggel. Mindkét tényező értékének alacsonynak kell lennie.

Az **I. táblázat** több zománcfritt viszkozitását tartalmazza, melyek használatban vannak ill. voltak. Rögtön látható, hogy ezek nagymértékben eltérnek egymástól, és az égetési hőmérséklethez tartozó viszkozitás értékek különösen érdekesek. A lemez alapzománcok kis viszkozitással rendelkeznek, mint azt az elmondottak alapján várható. A titán opak frittek nagyon nagy viszkozitással rendelkeznek. Ezek a frittek a fritt típus korábbi verziói, és hajlamosak voltak a gázosodásra. A későbbi frittek lítiumot tartalmaznak, ezek viszkozitása alacsonyabb, és gázosodási problémáktól mentesek.

A viszkozitás hőmérséklet függése egyes frittek esetében jelentős, és gyakorlati jelentőségüket nem szabad lebecsülni. A **II. táblázat** két tipikus fritt viszkozitásának hőmérsékletfüggését mutatja. Látható, hogy a hőmérséklet viszonylag kis változása jelentős hatással van a viszkozításra, és ez erősíti az égetési hőmérséklet szigorú szabályozásának igényét az egységes eredmény elérése céljából.

Zománctípus	Viszkozitás 800°C-on	Viszkozitás a be- égetési hőmér- sékleten
C/I transzparens A/R	5800	14600 (770°C)
C/I féltranszparens A/R	23600	23600 (800°C)
C/I titánfehér A/R	24300	39500 (785°C)
C/I fekete A/R	25600	30700 (795°C)
C/T fehér puha	9900	20400 (770°C)
S/I titán fehér A/R		
(a) korai	159300	58500 (835°C)
(B) modern	41400	17100 (825°C)
S/I alapzománc A/R		
(a)	15300	3400 (850°C)
(b)	15900	3800 (850°C)
S/I alapzománc		
(a)	32000	6100 (850°C)
(b)	5200	1770 (850°C)
(c)	3400	1010 (850°C)
(d)	11600	2460 (850°C)
(e)	4100	1370 (850°C)

I. táblázat: ZománCFrittek viszkozitása

C/I fekete A/R		S/I alapzománc	
Hőmérséklet °C	Viszkozitás (poise)	Hőmérséklet °C	Viszkozitás (poise)
916	1910	870	858
880	3670	844	1580
852	7130	805	3480
822	12810	780	7660
798	27800	756	17300
773	69300	731	46000
750	185300	712	133200
729	576000	693	425000

II. táblázat: A viszkozitás hőmérsékletfüggése

Az üvegyiparban óriási lépést tettek az elmúlt 20 évben a gyártási tapasztalatokkal kapcsolatos fizikai tulajdonságok javítása terén, ám szükségből a zománcok fejlesztése lassúbb, bonyolultságuk fokából eredően. Egy átlagos fritt 12 - 18 összetevőt tartalmaz, és hiányos információk állnak rendelkezésre ahhoz, hogy megmondjuk, melyik összetevő hogyan befolyásolja a tulajdonságokat. A viszkozitás szisztematikus vizsgálata folyamatban van és a végső eredmények megfizethetetlenek. Nagy figyelmet fordítanak a felületi feszültség mérésére és ez ismét sokat ígérő területe a kutatásoknak.

Általános trend alacsonyabb hőfokon bégethető zománcok fejlesztése, főként azért, hogy a gyártási problémákat csökkenteni lehessen. Ez könnyen tehető, ha a rugalmasságot feláldozzuk, de visszalépés lenne, és az ipar általában megvalósította, hogy a létrehozott szabványokat karban kell tartani, és ha lehet azokon javítani kell.

Ebben az értelemben a lítium vegyületek alkalmazása a kutatások új területét nyitotta meg, alkalmazásuk lehetővé teszi az égetési hőmérséklet csökkentését, sok esetben 50 °C-kal a rugalmasság tönkretétele nélkül.

A zománcozási folyamatok nagyfokú automatizálásával megnőtt az igény az égetési hőmérséklet egységesítésére. A tömegtermékeket előállító üzemekben a zománcszakemberek hamar elfogadták az alapzománc és a fedőzománc azonos égetési hőmérsékletének alkalmazásából származó előnyöket, így a termelékenységet maximumra tudták állítani.

Hasonlóan az öntvényzománcoknál, ahol különböző számú végterméket kezelnek, kívánatos, hogy azok azonos hőmérsékleten legyenek égethetők.

SZÍN ÉS ÁTLÁTSZÓSÁG

A szín és a végeredmény típusa, amit a zománcozó kíván, meghatározza, hogy transzparens vagy fehérített frittet alkalmazzunk-e. Az aktuális pasztell árnyalatok iránti igény miatt a tiszta fritteket már nem részesítik előnyben, mint tették azt az elmúlt tíz évben, jelenleg a legtöbb fedőzománcot fehér fritt felhasználásával készítik, amely lehet antimon, cirkon, vagy titánfehérítésű. Az utóbb említett természetesen fritt formában színtelen, de égetés közben erősen fehéredik a titán-dioxid rekrisztallizációja miatt.

Bár az antimonfehérítésű frittek fehérsége nem olyan jó, mint az utóbb említett fritté, még mindig népszerű, mivel széles színskálában örölhető, a szín stabil, és könnyen előállítható. A titánfehér frittek másfelől bizonyos színek előállítására nem alkalmasak a szintest és a fritt reakciója miatt. A frittgyártók és színezékgyártók kölcsönös fejlesztéseinek eredményeként a jövőben új eredmények várhatók. A modern titánfehér zománcok 0,1 mm vastagság mellett 75-80%-os reflektancia értékkel rendelkeznek. A szín jellemzői, azaz hogy a fehér kékes vagy sárgás árnyalatú, a fritt előállításánál szabályozható.

HŐTÁGULÁSI TÉNYEZŐ

A zománcbevonatok égetett állapotban mindig nyomás alatt kell, hogy legyenek, mivel az üveges anyagoknak kicsi a szakítószilárdságuk és lényegesen nagyobb a nyomószilárdságuk. Ez azt jelenti, hogy a zománc hőtágulási tényezőjének kisebbnek kell lenni, mint az öntöttvas ill. az acél hőtágulási tényezője. A bevonatban keletkező feszültség értéke a két hőtágulási tényező különbségétől függ.

Nemrég a szerző az aktuális megfigyeléseire alapozva összeállított egy listát, amely hozzávetőlegesen megadja a hőtágulási tényezők megengedett értékeit különböző típusú zománcok esetében. A lista a **III. táblázatban** található, szintén megtalálható a hordozófém, öntöttvas és acél hőtágulási értékei. Az értékek a 20-300 °C közötti átlagos hőtágulási tényező értékeknek felelnek meg.

Mint várható, az acéllemez esetében megengedhető tágulási értékek nagyobbak alapzománc esetében és csökkennek a rétegszám emelkedésével. Öntöttvas esetében, a tartomány szűkül „grip coat” alkalmazása esetén az acélon alkalmazott direktzománchoz viszonyítva.

Fontos megjegyezni, hogy a „grip coat” színterelt alapbevonatot jelent. A szerző nem használt matt alapot és nincsenek információi a tágulással kapcsolatban.

A szélesebb tartomány megengedhető fekete zománcoknál, a tartomány szélesedik, mivel vékonyabb rétegvastagság általában kielégítő. A legigényesebb zománccfajta a hőtágulást illetően a száraz eljárással felvihető frittek, ez a zománcozandó darab méretének és összetettségének köszönhető, és annak, hogy pl. a kádaknál sokkal vastagabb réteget alkalmaznak, mint általában.

A **III. táblázatban** közölt értékek a hőtágulás szélső értékeit tartalmazzák, de nem vonható le belőle olyan következtetés, hogy a határértéken belüli zománcok al-

kalmasak lennének akármelyik alkalmazáshoz. Általában az alacsony hőtágulási együtthatóval rendelkező zománcok sokkal nagyobb odafigyelést igényelnek az alkalmazásnál, mivel fenn áll a veszélye a spontán pattogzásnak, ha a zománcvastagság megnő. Másfelől a viszonylag alacsony hőtágulás szükséges, ha hősokkállóságra van szükségünk.

Zománctípus	Köbös hőtágulási együttható ($\times 10^{-7}$) 200-300 °C
C/I Fekete - direkt	240-330
C/I Fekete -	270-330
C/I pasztell	
- direkt	280-330
- over grip	295-330
C/I Száraz eljárás	305-320
S/I alapzománc - normál és A/R	230-340
S/I egyrétegű fedőzománc	250-330
S/I többrétegű fedőzománc	270-330
öntöttvas hőtágulási tényezője	368
acéllemez hőtágulási tényezője	396

III.táblázat: Zománcok hőtágulási határértékei

Érdekes áttekinteni futólag a titánfehér zománcok fejlődését az elmúlt öt évben. A korábbi zománcok viszonylag kemények voltak, 840-850 °C beégetési hőmérséklettel rendelkeztek, $240-250 \times 10^{-7}$ hőtágulási értékkel. Ezek a frittek kiváló fedőképességgel rendelkeztek, de viszkózusak voltak, felforrási problémákkal rendelkeztek, míg az alacsony tágulás vetemedési problémákat és spontán pattogzást eredményezett. Ezek a hibák a végtermékkel kapcsolatosan bírálatot okoztak. Nagymértékben az ipar volt a felelős, mivel az új nagyfedőképességű termék iránti nagy lelkesedésében eltekintett alkalmazásainak korlátaitól. Fejlesztésre volt szükség. Rájöttek, hogy a lítiumot bevíve a rendszerbe alacsonyabb viszkozitású, sokkal könnyebben olvadó frittet kapnak, ugyanakkor a hőtágulási tényező növekszik. Sok esetben ez a javulás a savállóság rovására következett be, de napjainkban van sok olyan zománc, aminek hőtágulása $260-270 \times 10^{-7}$ értékkel rendelkezik, és kiváló feldolgozhatósággal, megfelelő fedőképességgel és savállósággal rendelkezik. Meg kell jegyezni, hogy ahol a

savállóság nem szükséges, sokkal könnyebb nagy hőtágulású titánfehér zománcokkal dolgozni. Azonban a más anyagokkal való verseny miatt hiba lenne a savállóságról lemondani. A **IV. táblázat** néhány zománc hőtágulási értékét mutatja: ezek azok a frittek, melyeknek viszkozitási értékeit az I. táblázatban felsoroltuk.

Zománctípus	Hőtágulás ($\times 10^{-7}$)
C/I transzparens A/R	323
C/I féltranszparens A/R	320
C/I titánfehér A/R	285
C/I fekete A/R	283
C/T fehér puha	296
S/I titán fehér A/R	
(a) korai	250
(B) modern	263
S/I alapzománc A/R	
(a)	262
(b)	326
S/I alapzománc	
(a)	259
(b)	289
(c)	305
(d)	261
(e)	322

IV. táblázat: Zománcfrittek hőtágulási értékei

SAVÁLLÓSÁG

Korábban hivatkoztunk a különböző összetevők zománcfritt tulajdonságaira való hatására. A modern zománcipar saválló végeredményt adó alkalmazások széles körét követeli és a frittgyártók nem kerülhetik ki felelőségüket ebben a tekintetben. Mivel az őrlési és égetési körülmények szerepet játszanak és játszhatnak, elmondhatjuk, annak ellenére, hogy a fritt saválló, az eredmény mégis lehet rossz.

Az iparra nehezedő nyomás hatására a saválló és a nem saválló zománcok két kategóriát képviselnek. Ez biztos. A határvonal választás teljesen önkényes. Az összetevők sora a vízdoldható borát-frittektől a nagy ellenállóképességű vegyipari zo-

máncokig tart. A zománcok savállósága alkalmas mércéje normál körülmények közötti tartósságuknak, de emlékezzünk rá, hogy a hagyományos zománcok savas karakterűek, így sokkal inkább a lúgokkal reagálnak, mint a savakkal. A zománcok lúgokkal szembeni ellenállóképessége nem valami jó, különösen magasabb hőmérsékleten, és a jó savállóságból nem következik a jó lúgállóság.

Ami a gyártási körülményeket illeti, a finom őrlés elősegíti a savállóság kialakulását. Hasonlóan, az agyag mennyiségét minimalizálni kell és ahol lehetséges bentonitot kell használni. A legtöbb saválló zománc állító anyagok hozzáadását igényli és a normál elektrolitek, mint nátrium-nitrát, nátrium-aluminát, nátrium-klorid, vagy bórax csökkentik a savállóságot. Gondolatként felmerült alkáli mentes anyagok használata a probléma elkerülése végett. A sikerrel alkalmazott anyagok a benzolsavat, borostyánkősav, kalcium-klorid és bárium-klorid.

Az égetési folyamatnál a zománcrétegnek teljesen üvegesen be kell égnie, különben a megfelelő savállóság nem alakul ki. A gyengén saválló frittek esetében alkalmazható egy kicsit erősebb égetés a cél érdekében. Ebben az esetben kvarc malmon történő adalékolása segít a leégés elkerülésében.

HŐÁLLÓSÁG

A zománcok kitartóan magas hőmérséklettel szembeni ellenállóképessége a lágyuláspontjukkal van összefüggésben. Ez a gyakorlatban nem változik annyira, mert különben magas hőmérséklet kellene a beégetéshez és ez speciális kemencét igényelne. A hagyományos zománcok 400-450°C között lágyulnak meg, és nem lágyuláspontjuk nem emelkedik 550°C fölé. Ilyen magas hőmérsékletet nem szívesen alkalmaznak a háztartási berendezések gyártásánál, ahol normál zománcbevonatokat alkalmaznak és a zománcozók ezzel kapcsolatos problémákról nem tudnak.

Azonban sokkal kézzelfoghatóbb jelentőségű a zománcozott termék gyors hőmérsékletváltozásokkal szembeni ellenállóképessége és ez a hősokkállóság megérdemel egy kis figyelmet. Láthatjuk, hogy egy bizonyos pontig, minél nagyobb a zománcban a nyomófeszültség, annál jobb a hősokkállósága.

Vizsgáljunk meg két esetet:

- a) Amikor a felületet melegítjük, a felmelegedő zománcréteg próbál tágulni, de azt a hidegebb részek meggátolják. Ennek hatására a zománcban a nyomófe-

szültség növekszik. Mivel mind a zománc nyomóerőkkel szembeni ellenállóképessége, mind pedig a kötőszilárdsága nagy, valószínű, hogy meghibásodás fog bekövetkezni az ilyen körülmények alatt, ha csak a zománc hőtágulási tényezője nem abnormálisan alacsony.

- b) Amikor az egységesen felmelegített zománcozott lapot a zománcozott oldalról hirtelen lehűtünk, a felület összezsugorodik, és ha elég rideg és elég hirtelen a lehűlés, kialakulhat egy olyan pillanatnyi feszültségállapot, melynek hatására a zománc lepattogzik. A húzófeszültség kialakulásának valószínűsége és nagysága fordított arányban van az eredeti nyomófeszültség nagyságával.

Öntvényből készült daraboknál a fém elég erős ahhoz, hogy merev maradjon a zománcban uralkodó feszültségek ellenére. De acéllemezből készült termékeknél a fém hajlamos a keletkező feszültségek által előidézett deformációra. A zománcozók célja így a hőállóság megtartása a munkadarab deformációs károsodása nélkül.

Ennek megoldására egy másik tényezőt kerestek, ami befolyásolhatja a hőállóságot. Kísérletek során rájöttek arra, hogy adott hőtágulás esetén, minél magasabb a zománc lágyuláspontja, annál jobb a hőállósága. Azt várták, hogy az beégési szakaszban és egészen a zománc hűlés közbeni dermedéséig a fém és a zománc egyensúlyban van, feszültségmentes állapot alakul ki. A feszültség, ami végül is a további hűlés során alakul ki a fém és a zománc különböző hőtágulása következtében, a dermedés és a szobahőmérséklet közötti intervallum nagyságától függ. Sajnos, az előzőekben említettek miatt, ha a fritt maga nagyon magas lágyulási ponttal rendelkezik, az égetési hőmérséklet is magas kell hogy legyen. A probléma tűzálló anyagok malomra történő adagolásával feloldható. Ezek az anyagok csökkentik az üvegesedést, és bár az égetés közel azonos hőmérsékleten van, mint nélkülük, az eredmény egy sokkal keményebb bevonat lesz. A leggyakrabban használt anyag a kvarc, melynek hatása igen jó, ára pedig alacsony. De vannak más sikeresen használt anyagok is. A fentieket alkalmazva elő lehet állítani olyan bevonatot, amely ellenáll a hirtelen és ismétlődő hő sokknak.

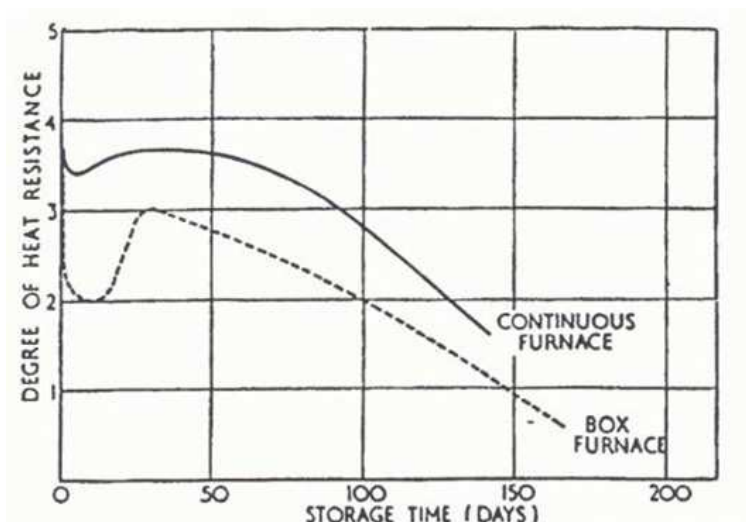
Az **V.táblázat** a növekvő kvarcadalékmennyiség különleges fritt-re gyakorolt hatását mutatja. Megfigyelhető, hogy a hőtágulási tényező (olvasztott iszapból húzott rúd-on mért) kis mértékben változik, míg a lágyulási pont mintegy 100°C-al emelkedik.

Malomadalék (kvarc %)	Hőtágulás ($\times 10^{-7}$)	Lágyuláspont ($^{\circ}\text{C}$)
0	294	754
10	294	772
30	291	805
60	285	855

V. táblázat: A kvarcadalék hatása

Ugyanazon összetétel esetén az égetőkemencén elérhető égetéshőmérséklet változás 790-830 $^{\circ}\text{C}$ közé tehető, azaz a hőmérséklettartomány fele olyan nagy, mint a lágyulási pontban bekövetkezett változás. A zománc hőállósága rohamosan emelkedik kvarcadalék hatására.

A hősokkállósággal kapcsolatosan egy másik érdekes kapcsolat az "öregedéssel" való összefüggés. Azt találták, hogy a zománcrétegben levő nyomófeszültségek az idő múlásával feloldódnak. Az elmélet az **1.ábrán** látható, ami hőálló zománccal bevont főzőrács esete. Az egyik görbe kamrás kemencében égetett darabra, a másik görbe alagútkemencében égetett darabra vonatkozik. Mindkét esetben a hőállóság az első öt napban rohamosan esik, majd hirtelen ismét emelkedik, majd ismét fokozatosan csökken a vizsgálati idő végéig. A görbén látható, hogy az alagútkemencében égetett darab hőállósága folyamatosan jobb, mint a kamrás kemencében égetett darabé, de nincs elégséges mérési adat arra, hogy ez általános jelenség e vagy sem. Az "öregedés" jelensége a darabok hőállóságának összehasonlításában zavarokat okozhat. További vizsgálatok szükségesek a jelenség által kialakulható végső hőállóság felismerésére.



1.ábra: Az öregedés hatása a hőállóságra

FELÜLETI KEMÉNYSÉG

A cikk elején hivatkoztunk a zománcbevonat keménységére. Általában elmondhatjuk, hogy a magas alkáli- és bórtartalmú puha zománcok rosszabb kopásállósággal és karcállósággal rendelkeznek, míg a magas szilícium-oxid tartalmú zománcok jobbal. Napjainkban még nincs megfelelő vizsgálati eljárás a felületi keménység meghatározására. A jelenleg használatos vizsgálati eljárásban ismert keménységű porral radírozzák a felületet, és egy súllyal terhelt gyémánt által húzott vonallal vetik össze. Széleskörűen alkalmazzák az eljárást a relatív keménység meghatározására. Az eljárás szubjektív és nehezen reprodukálható.

A témával kapcsolatos érdekes megfigyelés, hogy a felületi keménységre az égetési hőmérséklet hatással van. Két titánfehér zománccal végzett kísérlet eredménye a **VI. táblázatban** látható.

Hőmérséklet (°C)	Karcállóság (töltetsúly gr)	
	A zománc	B zománc
20	375	250
150	300	200
200	250	200
250	200	200

VI. táblázat: A hőmérséklet hatása a felületi keménységre

Az "A" zománc egy korai zománcfritt, viszonylag magas égetési hőmérséklettel, míg a "B" (lítiumtartalmú) zománc 30°C-kal alacsonyabb égetési hőmérséklettel rendelkezik.

Szobahőfokon az "A" zománc sokkal ellenállóbb, de magasabb hőmérsékleten a két zománc hasonlóan viselkedik.

További vizsgálatok szükségesek a felületi keménység és az összetétel hatásának kiderítésére.