

# ZOMÁNCOZOTT ACÉLLEMEZ SZEGMENSEK- BŐL CSAVARKÖTÉSSEL SZERELT TARTÁ- LYOK ÉS SILÓK: MÚLT ÉS JÖVŐ

**Koen Lips**  
PEMCO Brugge  
Hollandia



XXI International Enamellers Congress

2008 Május 18-22, Sanghaj, Kína

# Zománcozott acéllemez szegmensekből csavarkötéssel szerelt tartályok és silók: múlt és jövő

Koen Lips

PEMCO Brugge, Hollandia

(Fordította: Barta Emil)

## 1. Összegzés

***A zománcozott acéllemez szegmensekből csavarkötéssel szerelt tartályok / silók piaca kb. 50 éves. Azokat különféle folyadékok, iszapok, és száraz ömlesztett anyagok tárolására használják városi és ipari környezetben. A zománc kiváló kémiai ellenálló képességének és rugalmas és gyors összeszerelésnek köszönhetően más siló technológia nem alakult ki. Növekszik az érdeklődés a zománcozott tartályok / silók iránt. Bemutatjuk a teljes panelgyártási folyamatot, beleértve az acélminőségi követelményeit, a zománc tulajdonságait és a végtermék tulajdonságait. Ismertetjük egy új zománcsalád kifejlesztését, mely alkalmas nem zománcozható szerkezeti acél pikkelymentes zománcozására.***

## 2. Bevezetés

Az utóbbi évszázadban folyamatosan növekedett a tűzzománc ipari alkalmazása nagymértékben növekedett és ez az alkalmazási terület a háztartási berendezések után a zománcszektor második legnagyobb zománcfelhasználójává vált.

A tűzzománc ipai alkalmazásai a forróvíztárolók, silók/tartályok, hőcserélők és vegyipari autoklávok. Ezen termékeknél a zománcozható acél mérnöki szempontok szerint van megválasztva, az alábbi műszaki tulajdonságok kombinált megjelenése miatt:

- Szervetlen vegyszerekkel szembeni kémiai ellenálló képesség széles pH tartományban
- Kiváló kémiai ellenálló képesség szerves vegyszerekkel szemben
- Magas hőmérsékletű hőállóság
- Nagyon sima, nem reaktív és tapadásmentes felület
- Karc és kopásállóság
- Fiziológiai biztonság
- Baktériummentesség
- A zománcozott acél szilárdsága

A forróvítárolóktól, hőcserélőktől és vegyipari autoklávoktól eltérően, a silók / tartályok felülete használat során látható. Ezért a műszaki paraméterek mellett, melyek a legfontosabbak, a színnek az esztétika szempontjából fontos szerepe van.

### **3. Acéllemez szegmensekből csavarkötéssel szerelt tartályok/silók**

Az acéllemez szegmensekből csavarkötéssel szerelt tartályok/silók két lépésben készülnek: a zománcozott panelokat formázzák, zománcozzák és óvatosan csomagolják a zománczó üzemben és a tartály/siló maga a helyszínen van összeszerelve. Így a silók/tartályok gyorsan szerelhetők. Ez a nagy előnyük a betonsilókkal szemben. A másik gyakorlati előny az, hogy átalakíthatóak, bővíthetőek és leszerelhetőek.

A falat alkotó paneleken kívül a padozat és a tető is készülhet zománcozott panelekből, így az egész siló azonos anyagból készülhet.

A szerelt silók/tartályok készülhetnek 100 m átmérőig, 50 m magasságig. Az átlagos méret 6m átmérő és 6 m magasság.

A silók felállítása emelvény és emelők segítségével történhet, azaz a siló gyűrűről gyűrűre épül, a kész gyűrűt emelik meg és építik alá a következőt – különösen a tetővel rendelkező silóknál.

A panelszelvények éleit különös gonddal kell zománcozni, azoknak hibamentesnek kell lenni. Ezért a vastag lemezek élei gömbölyítettek. Néha tömítést alkalmazunk a korrózió elkerülésére. A tömítés a silóban tárolt közeggel szemben ellenálló.

A csavarok általában rozsdamentes acélból vagy galvanizált acélból készülnek a kőzegtől és a szükséges szilárdságtól függően.

A zománcozott szegmensekből előállított tartályok mellett készülnek silók szerves bevonatokkal kezelt szegmensekből, galvanizált acélszegmensekből, alumínium szegmensekből, rozsdamentes acélszegmensekből. De egyik megoldás sem ad olyan összetett tulajdonságokban gazdag megoldást, mint a zománcozott szegmensekből szerelt silók. Ennek köszönhetően a zománcozott szegmensekből készült silók/tartályok széles körben használatosak: állati eledelék száraz raktározásától az ivóvíz tárolásán keresztül a főzősilóig és az agresszív ipari szennyvíz tárolásáig.

Minden siló mérnöki gondossággal van tervezve, tekintettel a közeg jellemzőire és hőmérsékletére, a környezeti feltételekre (szél, földrengés, hó, jég, hőmérsékletkülönbség), a hasznos és előírt méretekre, a nyílások helyzetére, kapcsolódó berendezésekre, stb.. Mindemellett meg van határozva a különféle panelek számára szükséges acél vastagsága és tulajdonságai, és a szükséges zománcminőség.

### 3.1 A szükséges zománcminőség

Több szabvány is van, amely a szegmentált silók lemezeinek zománcbevonatával kapcsolatos. Ezek közül az alábbi a legfontosabb:

ISO 2548: zománc – termékek zománcozott részeinek vizsgálati eljárásának kiválasztása, utalva a tulajdonságokra, melyek a silókkal kapcsolatosan fontosak, minimum követelmények megadása nélkül.

A minimum követelményeket az ipari tartályok számára az EEA Minőségi Követelmények §7.20 szakasza, az állati táplálék és trágya tárolására használatos zománcozott silók számára a §7.24-25 szakasza adja meg.

Az EN15282-2007 – víz, városi vagy ipari szennyvíz és iszap tárolására alkalmas szegmentált tartályok tervezése, új európai szabvány, megad minden tervezési előírást a szegmentált körtartályokkal kapcsolatban és tartalmazza a minimális követelményeket a zománcbevonattal szemben különféle közegek esetében.

A fent említett szabványokban, az alábbi zománcbevonattal kapcsolatos minőségi követelmények szerepelnek: különféle savas és lúgos oldatokkal szembeni kémiai ellenálló képesség, hősokkállóság, ütésállóság, kopásállóság, karcállóság, kötés-erősség, zománcréteg vastagság, hibák a zománcbevonatban és a szín.

Hogy melyek a szükséges és melyek a minimum követelmények, erősen függ a siló felhasználásától: az **1. táblázat** néhány jellemző alkalmazás esetében megadja a követelményeket.

Mint az **1. táblázatban** látható, a legszigorúbb követelmények a tetőpanelekkel és a felső gyűrű paneljeivel szemben vannak. Ez a siló legkritikusabb része: jobb kémiai ellenálló képesség szükséges a felszíni folyadékból keletkező gőzök, gázok miatt, melyek sokkal agresszívabbak, mint maga a folyadék. Jobb hősokkállóság és ütésállóság szükséges az eső, jég, hőtömeg miatt.

A padozati panelek zománcbevonata és az oldalpanelek zománcbevonata azonos követelményeknek kell, hogy megfeleljen.

Az igényelt tulajdonságoknak megfelelően különféle zománcbevonatokat alkalmazunk, a kémiaileg ellenálló direkt-zománctól a 3 rétegű zománcozásig, ahol a fedőréteg különösen ellenálló réteg a teljes pH tartományban (pH 1-14). A teljes zománcvastagság a felvitt rétegek számától függ. Kerülni kell a túlzott zománcvastagságot a

széleken, a csavarfuratok környékén, a szerelés közbeni repedések és lepattogzások elkerülése végett. A zománc felhordása többnyire nedves szórással vagy száraz elektrosztatikus szórással történik. A PEMCO zománcválasztéka minden siló/tartály minőségi igény kielégítését lehetővé teszi, mind nedves, mind száraz felvitelnél.

|                              |              | EEA, §2.4                      | EEA, §7.20                     | EN15282                        | EN15282                        |                                |
|------------------------------|--------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                              |              | siló                           | tartály                        | tartály                        | Tartály                        |                                |
|                              |              | Állati táplálék                | Ipari tartály                  | Ivóvíz                         | Termikus /pasztőröző főzősiló  |                                |
| Vizsgálat                    | Szabvány     |                                |                                |                                | Tető felső gyűrű               | Oldal gyűrű                    |
| <b>Kémiai követelmények</b>  |              |                                |                                |                                |                                |                                |
| Citromsav Szobahőfok         | EN14483-1.9  | A                              | A                              | A+                             | AA                             | AA                             |
| Kénsav szobahőfok            | EN14483-1.10 | -                              | A                              |                                | AA                             | A+                             |
| Sósav szobahőfok             | EN14483-1.11 | -                              | A                              |                                | AA                             | A+                             |
| Citromsav forrpon - 2,5h     | EN14483-2.10 | 10 g/m <sup>2</sup>            | 5 g/m <sup>2</sup>             | 3 g/m <sup>2</sup>             | 0,75 g/m <sup>2</sup>          | 1,5 g/m <sup>2</sup>           |
| Sósav gőz - 7 nap            | EN14483-2.12 |                                |                                |                                | 7 g/m <sup>2</sup>             | 8 g/m <sup>2</sup>             |
| Víz forrpon - 48h            | EN14483-2.13 | 10 g/m <sup>2</sup>            | 10 g/m <sup>2</sup>            | 5 g/m <sup>2</sup>             | 2,5 g/m <sup>2</sup>           | 2,5 g/m <sup>2</sup>           |
| Víz gőz - 48h                | EN14483-2.13 |                                |                                |                                | 5 g/m <sup>2</sup>             | 7,5 g/m <sup>2</sup>           |
| A6 detergensoldat 95°C, -24h | EN14483-3.9  |                                | 5 g/m <sup>2</sup>             |                                | 2,5 g/m <sup>2</sup>           | 5 g/m <sup>2</sup>             |
| Nátrium-hidroxid 80°C        | EN14483-4.9  | 3,5 g/m <sup>2</sup> (5h)      | 3 g/m <sup>2</sup> (5h)        | 7 g/m <sup>2</sup> (24h)       | 6 g/m <sup>2</sup> (24h)       | 6 g/m <sup>2</sup> (24h)       |
| <b>Fizikai követelmények</b> |              |                                |                                |                                |                                |                                |
| Hőszokk                      | ISO 2747     |                                |                                |                                | 300°C                          | 300°C                          |
| Útésállóság                  | ISO 4532     | 20N                            | 20N                            | 20N                            | 40N                            | 40N                            |
| Kopásállóság                 | ISO 6370-2   |                                |                                |                                | 45g/m <sup>2</sup>             | 45g/m <sup>2</sup>             |
| Mohs keménység               | EN101        |                                |                                | Mohs 5                         | Mohs 5                         | Mohs 5                         |
| Kötés                        | EN10209      | 2                              | 2                              | 2                              | 2                              | 2                              |
| Zománcvastagság              |              | 200-500                        | 200-500                        | 200-400                        | 300-500                        | 260-460                        |
| Belső hiba - 9V              | ISO 8289-A   | <5/m <sup>2</sup><br>max. 1 mm |                                |                                |                                |                                |
| Belső hiba nagyfeszültség    | EN14430-A    |                                | 0                              | 0 (900V)                       | 0 (1500V)                      | 0 (1100V)                      |
| Külső hiba                   | vizuális     | <5/m <sup>2</sup><br>max. 1 mm | <5/m <sup>2</sup><br>max. 1 mm | <3/m <sup>2</sup><br>max. 1 mm | <3/m <sup>2</sup><br>max. 1 mm | <3/m <sup>2</sup><br>max. 1 mm |
| Szín kívül                   | megegyezés   |                                |                                | x                              | x                              | x                              |

**1. táblázat**  
**A silók zománcbevonatával szemben támasztott követelmények**

## **3.2 A szükséges acélminőség**

A tartályok/silók zománcozott paneljainak gyártásánál a legnagyobb probléma a nagy mechanikai szilárdsággal rendelkező zománcozható szerkezeti acél beszerzése.

### *3.2.1 Zománcozhatóság*

A szerkezeti acéllemezt alapvetően meleghengerléssel állítják elő és nem rendelkezik pikkelyképződéssel szembeni ellenállással. A forróvíztárolók esetében, mivel ezek csak egyik oldalon zománcozottak, ez nem jelent problémát, mivel a távozó hidrogén az acéllemez külső oldalán távozik, így a belső zománcrétegen nem alakul ki halpikkely. Mivel a szegmentált tartályok és silók lemezei mindkét oldalon zománcozottak, itt szükséges a két oldalon zománcozható nagyszilárdságú melegen hengerelt acéllemez. Ezt nehéz előállítani, mivel a meleghengerlés alatt nem alakíthatók ki a mikro csapdák. Ezek azok a mikro csapdák, melyek hideghengerlésnél keletkeznek, és meggátolják a halpikkely kialakulását a széles körben használatos alacsony széntartalmú hideghengerelt zománcozható acéllemezek esetében. Melegen hengerelt lemezeknél, más metallurgiai megoldásokat kell alkalmazni. Az utóbbi időben sok acélgyártó végzett ez irányban kísérleteket, a kohászok szinte mindig titánötvözt alkalmaznak, és szabályozzák a titán, nitrogén, kén és szén arányát. A cél kevesebb ausztenit (mely sokkal több hidrogént képes tárolni) jelenléte a zománc égetése alatt, és Ti - kivált fázisok kialakítása a meleghengerlés alatt. Bár a kísérletek nagyon biztatóak, nagyon nehéz azt a minőséget homogén tulajdonságokkal előállítani, és csak néhány acélgyártónak van ilyen acélfajtája a piacon. Az ilyen termék ára pedig igen magas.

Egyes zománcozott panelgyártók ilyen Ti ötvözött melegen hengerelt szerkezeti acéllemezt használnak sikeresen, mások nem zománcozható szerkezeti acéllemezt vásárolnak, és speciális lemez előkezelés vagy zománciszapot alkalmaznak a pikkelyképződés elkerülésére.

### *3.2.2 Mechanikai tulajdonságok*

A pikkelyképződési probléma mellett szem előtt kell tartani azt a tényt, hogy a vásárolt lemez mechanikai tulajdonságai a zománcrétegek beégetése alatt változnak. Az égetés, mely az acél lágyításához hasonlítható, csökkenti az acéllemez szilárdságát. Ez nagymértékű lehet az [1] irodalom szerint: a kezdeti 771Mpa folyáshatár a zománcégetés alatt 450 MPa-ra csökkent. És ez az a határ, melyet a paneleknek égetés után teljesíteniük kell! Így a legjobb, ha a rendelést lágyítás utáni szilárdsági értékgaranciával tesszük meg.

A tartály falának minimális vastagsága az EN15282 szerint 1,5 mm kell, hogy legyen. A legtöbb tartály, siló, különböző vastagságú lemezekből készül: a tartály magasságának függvényében a terhelés és a hidrosztatikus nyomás csökkenésével a lemez vastagsága csökken. Mivel a felső gyűrű lemezvastagsága a minimum 1,5 mm az előírás szerint, az alsó gyűrű lemezeinek vastagsága 10 mm-nél nagyobb kell, hogy legyen a magasságtól és s szerkezet terhelésétől függően. A gyakorlatban az alsó panelek nagyobb szilárdságú lemezből készülnek, hogy a követelt szint vékony lemezeknél is teljesüljön. Sikeresen alkalmazhatók az alábbi acélminőségek: DD11, S235, S355, S420, S460 az EN10111 és EN10149-1 szabványok szerint.

A lemezek beégetését illetően az égetési paraméterek a lemezvastagság függvényében változnak: minél vastagabb a panel, annál hosszabb az égetési idő.

### *3.2.3 Előkezelés*

Zománcozás előtt a lemezek felületkezelése szükséges. A meleghengerlés során keletkezett fekete oxidréteget el kell távolítani. Ez történhet az acélműben pácolással, vagy végezhető a zománcüzemben, ahol mind pácolást mind szemcseszórást alkalmazhatunk. A szemcseszórás előnye, hogy jobb érintkezési felület jön létre a zománc fém között, biztosítva az égetős közben kialakuló jobb kötést.

Ha a pácolást az acélműben végzik, az acéllemezeket általában korrózióvédelemmel látják el. Ezt az olajos védelmet zománcozás előtt el kell távolítani. A GLS Tanks cégnél sikeresen alkalmazzák az acéllemezek keféveléses tisztítását: az acéllemezeket pácolva veszik, olajmentesen, és a minimális mennyiségű rozsdát keféveléssel távolítják el.

### 3.3 Pikkelymentes zománcozás jelenlegi eljárásai

A nem zománcozható acélminőség pikkelymentes zománcozására az alábbi eljárásokat találhatók a szakirodalomban:

- Proton vezetők keverése a zománcrétegbe az FR2 784 695 szabadalom szerint.  
Az anyag homogén keveréke a zománcrétegben a protonvezető-képesség értékét  $10^{-6} \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$ -nél nagyobbra állítja be  $300^\circ\text{C}$ -on és csökkenti a pikkely-érzékenységet. Ezek a protonvezetők lehetnek a  $\beta$ ,  $\beta'$ ,  $\beta''$  alumínium-oxid vagy a  $\beta$ ,  $\beta''$  gallium-oxid. Az anyagot 2-25%-ban adagolják a zománciszap-hoz, ezáltal növelve a hidrogénáteresztő-képességet az üveg transzformációs hőmérséklete és  $300^\circ\text{C}$  között. Ennek az eljárásnak a hátránya, hogy az alumínium-oxid rontja a kémiai ellenálló képességet és a zománc kötését, a gallium-oxid drága, így ennek a módszernek alkalmazása korlátozott, szegmentált silók és tartályok gyártásában nem alkalmazható.
- Kristályos nikkell-oxid keverése a zománcbevonatba, az US2 940 865(6) és az US6 177 201 szabadalom szerint.  
A kristályos nikkell-oxidot olyan mennyiségben kell adagolni, hogy összes mennyisége az alappománcban 2-10% legyen. Ezt az iszapot direktként viszik fel a fémmre, egy vagy többréteges eljárással. Ennek az eljárásnak a hátránya, hogy a kristályos NiO (CAS No 1313-99-1) rákkeltő (1967/548/EG An1 Európai határozat, Veszélyességi kat.:R43-49-53; Cat.1.), és a NiO tárolása csak bizonyos körülmények mellett engedélyezett (SEVESO II-előírás, 96/82/EG).
- Nikkell-oxidban gazdag alkalikus foszfátzománc előkezeléskénti alkalmazása, a lemezfelületen. A rákkeltő NiO miatt ennek alkalmazása is korlátozott.

A PEMCO egyik nagy erőssége, hogy a legteljesebb zománcskálát tudja nyújtani a felhasználóknak, nagy tapasztalattal rendelkező szakembergárdával. Évtizedek óta, a PEMCO cég új és innovatív zománcokat dob piacra, melyek a vásárlók problémáinak megoldását szolgálják. A meleghengerelt szerkezeti acél két oldalon történő zománcozása témává vált az utóbbi években, ezért kutatási csoportot hoztunk létre a probléma megoldására. Ezen kívül, egy új zománc családot fejlesztettünk ki mely lehetővé teszi ezen nem zománcozható acéllemezek pikkelymentes zománcozását.

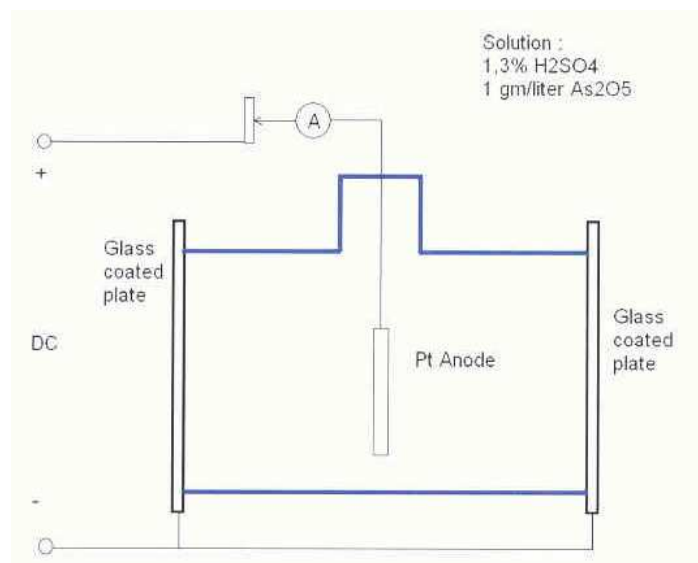


#### 4. Pikkelymentes zománc kifejlesztése

Annak érdekében, hogy kimutatható legyen az új zománc rendszer hidrogénhibákkal kapcsolatos érzékenysége, különleges pikkelyérzékenységi vizsgálatot vezettünk be a már meglévő kettő eljárás mellé.

##### 4.1 Vizsgálati eljárás

Miller [10] fejlesztette ki a vizsgálatot Deringer [11] előzetes munkássága alapján. Mindketten az **1.ábrán** vázolt katódos eljárást alkalmazták.



**1.ábra:**  
**Katódos pácoló berendezés**

A zománcozott lemez csupasz oldalán atomos hidrogén keletkezik. Ez bediffundál az acélba és molekuláris hidrogénként felgyülemlik az üveg-fém határfelületen. A hidrogén diffúzió kezdete és az első pikkely megjelenése közt eltelt idő információul szolgál az acél és az acél-zománc határfelület felől. Hasonló berendezést használt Wilczinsky és Wallace [12] a zománcösszetétel és iszapminőség javítására a jobb pikkelyállóság érdekében.

Az EN102209 szabvány a Ströhlein berendezést használja a hidrogén-diffúzió és a lemez zománcozhatóságának megállapítására. Ebben a vizsgálatban, a hidrogént elektrolitikusan fejlesztik egy zsírtalanított lemez egyik oldalán. Az elektrolízis kezdete és a hidrogén lemez túloldalán történő megjelenése közt eltelt idő az ún. hidrogén átocsátási időt. Nagy átocsátási érték jó ellenálló képességet jelent a pikkelyel szemben.

A hidrogén átbozsítás az alábbiak szerint számolható:

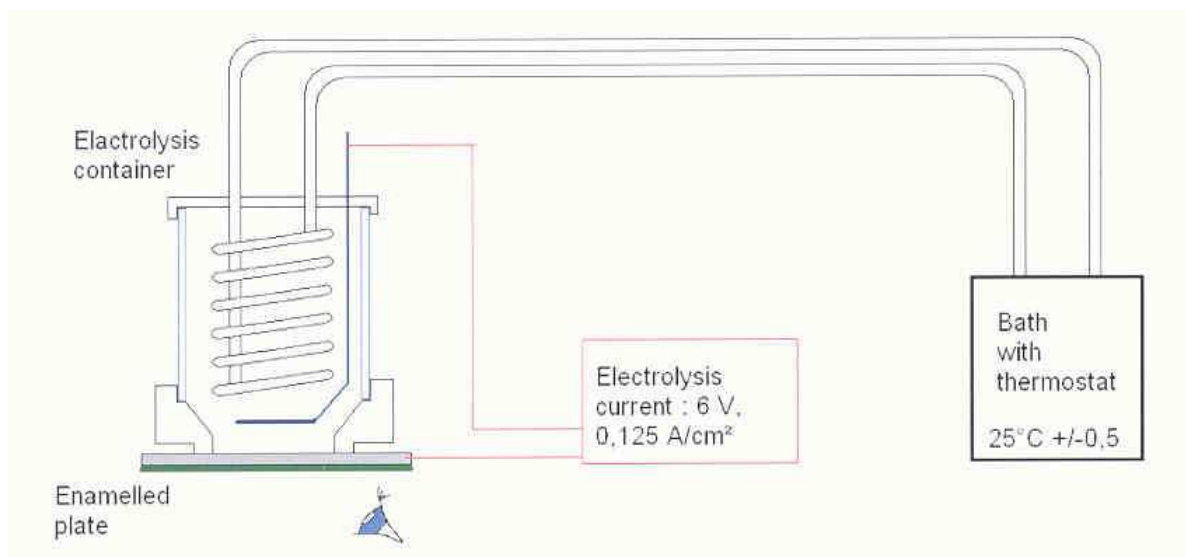
$$TH = \frac{15t_0}{d^2}$$

ahol:  $t_0$ : áthaladási idő percben

d: lemez vastagsága mm

Ha a TH nagyobb, mint 100, az acél minta nem mutat pikkelyt kétoldali zománcozásnál.

A új pikkelyképződést vizsgáló laboratóriumi tesztünk egyesíti Miller ötletét a berendezéssel és az EN10209 eljárás számításával. A berendezés a **2.ábrán** látható.



**2.ábra:**  
**Halpikkely teszt**

Az elektrolizáló cella hőmérsékletét  $25^{\circ}\text{C}$ -ra termosztáljuk. A hidrogén elektrolitikusan keletkezik a zománcozott lemez csupasz oldalán. Az elektrolit 6%-os  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,25 g/l  $\text{HgCl}_2$  és 0,5 g/l  $\text{As}_2\text{O}_3$  oldata. AZ oldatot minden vizsgálatnál frissen kell készíteni. Az első pikkely másik oldalon történő megjelenésének idejét az elektrolízis kezdetétől fel kell jegyezni. (vizuális megfigyelés)

Egy új jellemzőt, a TFS értéket vezettük be, mely az első pikkely megjelenésének ideje (Time for first **F**ish **S**cale perc/mm<sup>2</sup>), és az alábbiak szerint számolható:

$$TH = \frac{15t_{fs}}{d^2}$$

ahol:  $t_{fs}$  : az első pikkely megjelenésének ideje percben

d: lemeztvastagság mm

A vizsgálatainkban a  $t_{fs}$  értéke 4 mérés átlaga. Az eltérés 15-25% közötti. Használva ezt a vizsgálati eljárást és a TFS értéket számos vizsgálatot végeztünk.

#### 4.2 Vizsgálati körülmények

Szabványos melegvítároló összetételt választottunk, a pikkelyérzékenység kiértékelésére.

|                |      |
|----------------|------|
| Fritt          | 100  |
| Kvarchomok     | 40   |
| Agyag          | 6    |
| Borax          | 0,15 |
| Bórsav         | 0,15 |
| Nátrium nitrit | 0,15 |
| Víz            | 50   |

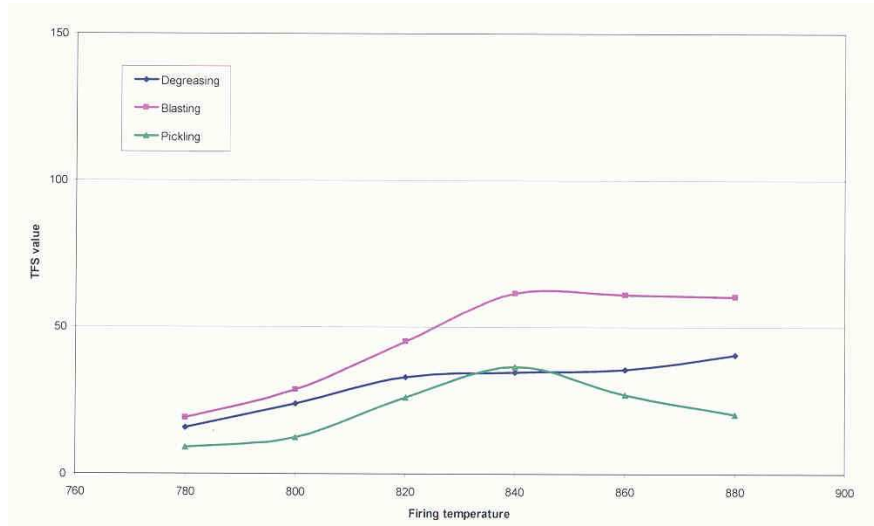
A keveréket golyósmalomban megőröltük, B=6 (3600 szita) finomságúra.

Az iszapot felszórtuk különböző módon előkezelt, S235J (EN10025) szerinti melegen hengerelt acélra, szárítottuk majd kamrás kemencében 8 percig különböző hőmérsékleten égettük.

Az előadásban szereplő S235J melegen hengerelt acél TH értéke kisebb, mint 25 perc/mm<sup>2</sup>.

### 4.3 Az előkezelés hatása

A csak zsírtalanítást, a szemcseszórást és kénsavas pácolást használják elterjedten a zománciparban. Ezeknek az előkezelési eljárásokat hasonlítottuk össze a TFS érték segítségével.



**3.ábra:**  
**A felület-előkezelés hatása a TFS értékére**

A TFS értékek alacsonyak alacsony égetési hőmérsékleteken, és magasabbak a magasabb égetési hőmérsékleteken a pácolt lemezek kivételével. Ez a viselkedés hasonló, mint a zománc acélhoz való kötése. A kötéssel kapcsolatos változást a **4.ábrán** láthatjuk.

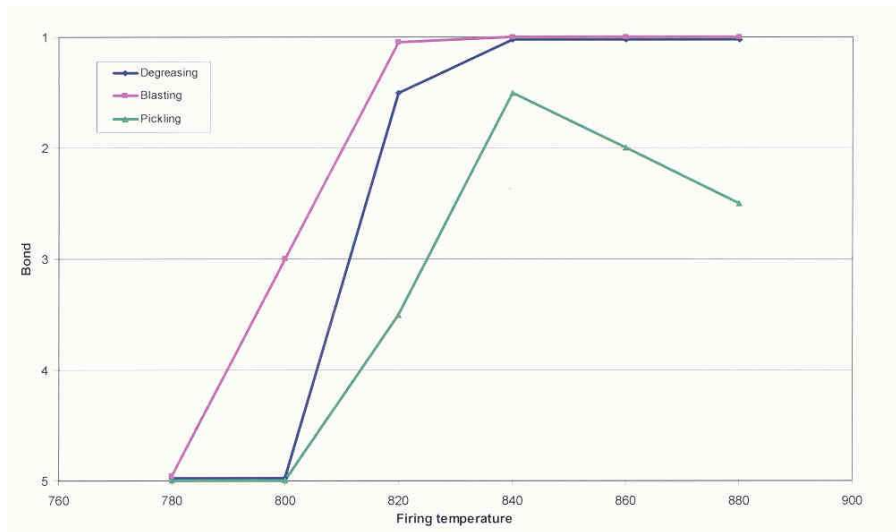
Alacsony égetési hőmérsékleteken, 780-800 °C, ahol a kötési osztály 3-as, mindhárom előkezelés TFS értéke alacsony. Amikor az égetési hőmérséklet elég magas és a kötés is jó, a TFS érték magasabb. Ez azt jelenti, hogy amíg a kötés ki nem alakult a zománc és az acél között, a pikkelyhiba gyorsabban megjelenik. A szemcseszórás magasabb TFS értéket mutat, mint a zsírtalanítás vagy a pácolás. Látszik, hogy a szemcseszórás jobb védelmet nyújt a pikkelyképződéssel szemben, mint a csak zsírtalanítás ill. a kénsavas pácolás.

### 4.4 A buborékszerkezet hatása

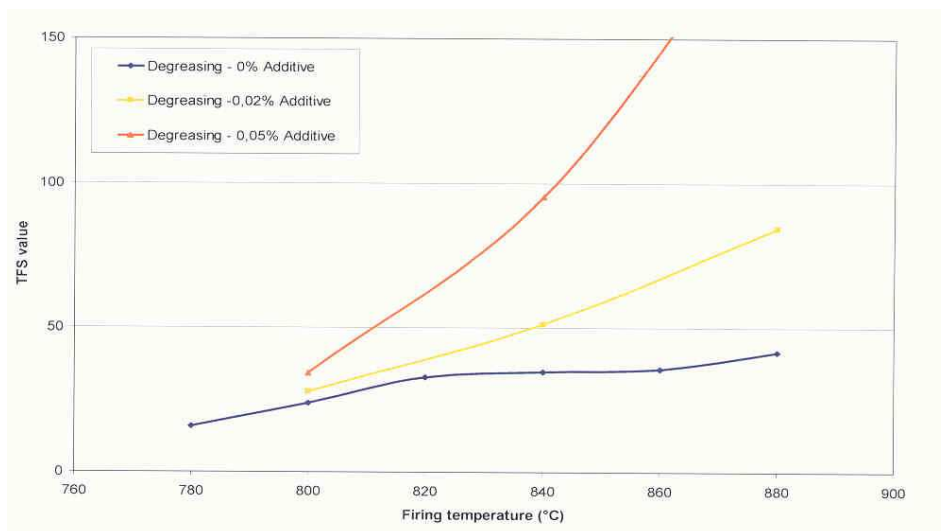
A buborékszerkezet pikkelyképződésre való hatását G.E. Miller [10], Bergeron [13], A. Hardwick és X. Yang [14] már vizsgálták. Ők a határfelületen keletkező buborékok pozitív hatásáról számoltak be.

Ezeket a pozitív hatásokat reprodukáltuk és vizsgáltuk. Nem oxid malomadalékot, mely elősegíti a buborékszerkezet kialakulását az égetés alatt, adagoltunk a stan-

dard malomrecepthez. Az iszapokat csak zsírtalanított S235J melegen hengerelt acéllemezekre szórtuk fel, szárítottuk és nyolc percig égettük különböző hőmérsékleten.

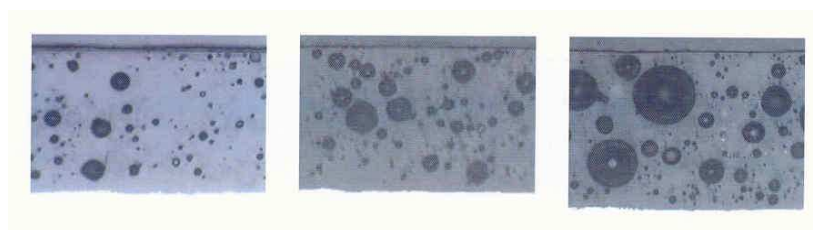


**4.ábra**  
**A zománc kötése az égetési hőmérséklet függvényében**



**5.ábra**  
**A TFS alakulása a buborékszerkezet változásával**

A 840°C-os, 8 perces égetés után kialakult buborékszerkezetet az alábbi ábrákon hasonlíthatjuk össze.



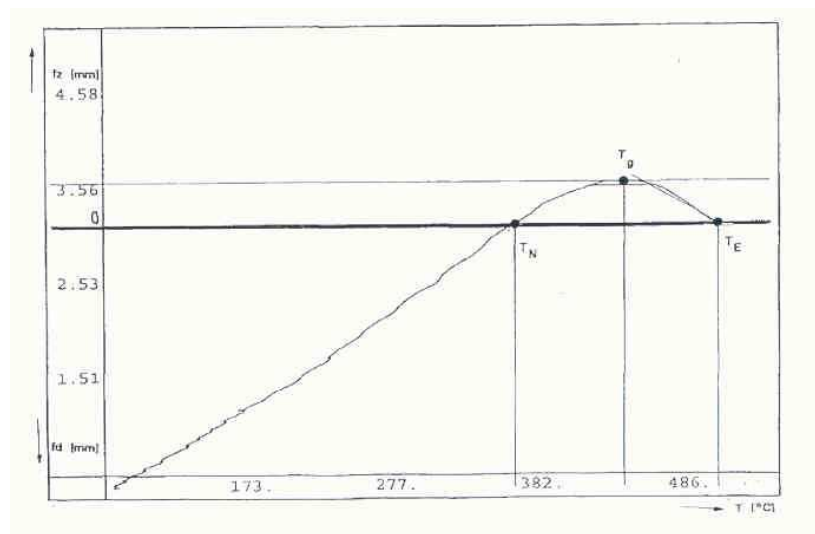
0% adalék

0,02% adalék

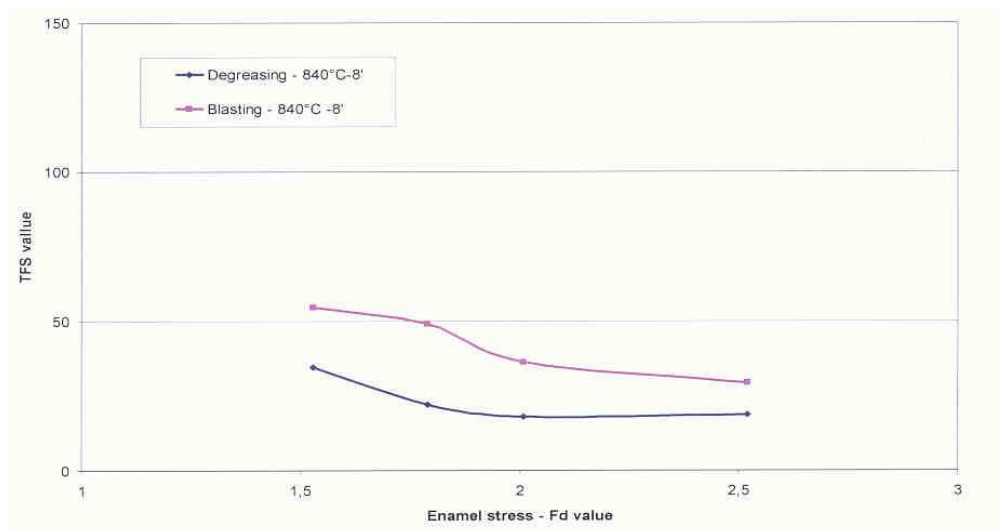
0,05% adalék

#### 4.5 A zománcban levő feszültség hatása

A zománcnak és a vasnak különbözik a hőtágulási tényezője (CTE). A zománc úgy van tervezve, hogy annak CTE értéke alacsonyabb legyen a vas CTE értékénél, így a zománcfelület a hűlést követően nyomás alatt áll. A beégetett zománcban szobahőfokon kialakuló nyomóerő nagysága függ az acél CTE értékétől, a zománc CTE értékétől és lágyuláspont hőmérsékletétől. Az a nyomóerő egyetlen módon, a Klotz-féle berendezéssel mérhető (DIN51175). Az  $F_d$  érték szolgál a zománcban kialakuló nyomás számszerűsítésére. (**6.ábra**)



**6.ábra**  
A Klotz-görbe és az  $F_d$  érték szobahőfokon



**7.ábra**  
A TFS függése az  $F_d$  feszültség értékétől

A standard zomácösszetétel Fd értéke 1,52 volt. A standard malomreceptben azonos mennyiségű kvarchomok cirkon-szilikátra történő cseréjével a zománcban kialakuló feszültség növekedett. A nagyobb feszültséggel rendelkező zománc 840 °C-on 8 perces égetés után kialakuló TFS értékét összehasonlítottuk a kétféle módon előkezelt lemez hasonló körülmények között kialakuló értékével.

Az Fd= 1,53 – ról Fd= 2,52 – re való fokozatos emelkedésével a TFS értéke csökkent. Ez azt jelenti, hogy a pikkelyhiba sokkal inkább kialakul, ha a zománcban magasabb feszültségi van. Amikor a zománc-acél határfelületen a hidrogén nyomása megemelkedik, mivel a zománc már nyomás alatt van, a zománc leszakadása sokkal gyorsabb. A károsodás a csak zsírtalanított és a szemcseszórt lemezeknél is fellép.

#### **4.6 A zománcfritt összetételének hatása**

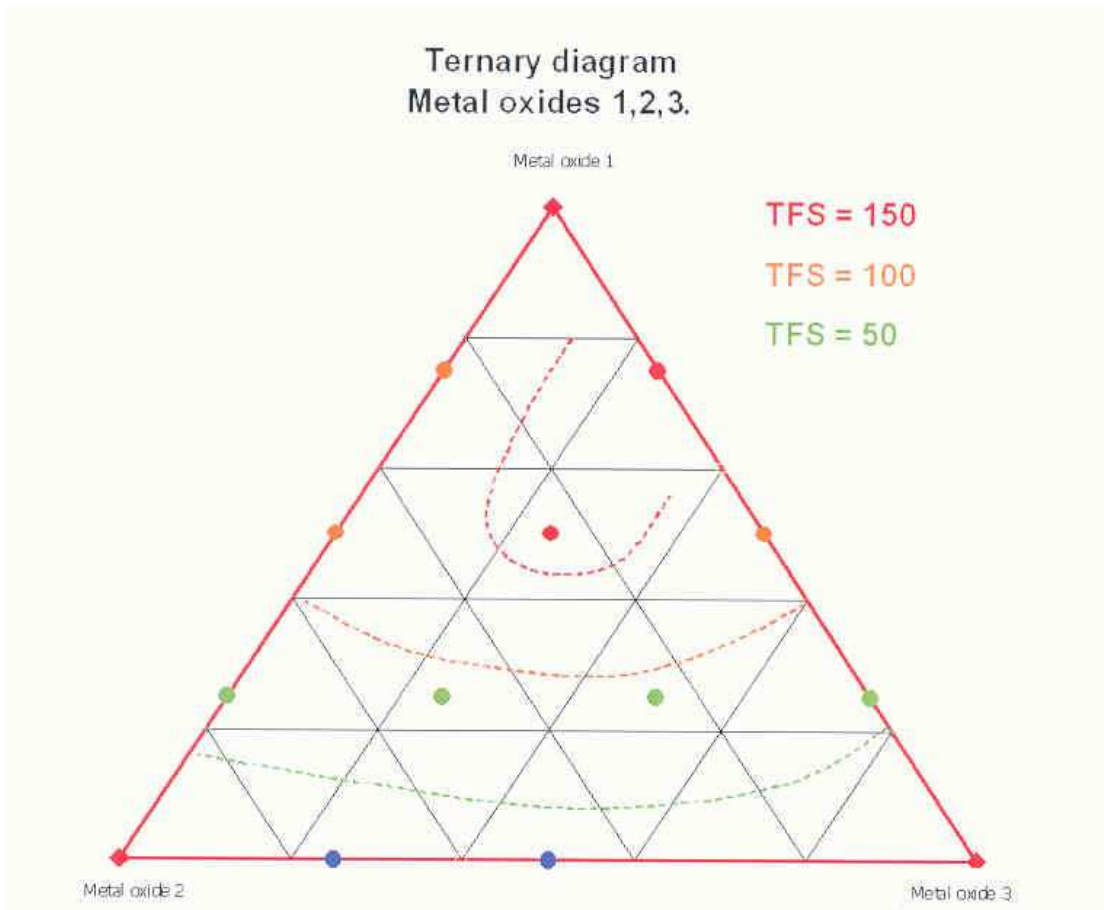
A standard malomreceptben használt fritt összetételét módosítottuk annak érdekében, hogy különféle fém-oxidok hatását megvizsgáljuk. Az összes fém-oxid tartalmat állandó értéken tartottuk. Az alábbi malomrecept szerint készült bevonatok esetében mértük a TFS értéket.

|                  |      |
|------------------|------|
| Módosított fritt | 100  |
| Kvarchomok       | 40   |
| Agyag            | 6    |
| Borax            | 0,15 |
| Bórsav           | 0,15 |
| Nátrium nitrit   | 0,15 |
| Víz              | 50   |

A fritt, malomadalék, víz keveréket golyós malomban őrlöttük, B=6 (3600 szita) finomságra.

Az iszapot csak zsírtalanított S235 melegen hengerelt acéllemezre felszórtuk, szárítottuk, majd 840 °C-on kamrás kemencében 8 percig égettük.

A zománcfrittbe beolvasztott fém-oxid természetétől függően a 150-es TFS érték is kialakult. TH nagyobb, mint 100 ajánlott a két oldalon zománcozott lemezek esetében. Ebben a tanulmányban használt lemez TH értéke alacsonyabb, mint 20.



**8.ábra**  
**A TFS alakulása különböző fém-oxid tartalom mellett bojler-zománc esetében**

A 150-nél nagyobb TFS értékű zománc-acél rendszerek használhatók kétoldali zománcozásra melegen hengerelt lemezek esetében. Ezek a zománc-acél rendszerek nem mutatnak pikkelyesedést.

#### **4.7 Pikkelyesedéstől mentes zománcbevonat kifejlesztése**

Az említett eredmények alapján egy új zománc-család lett kifejlesztve.

Nem szükséges a malomreceptben 100%-ban ennek a frittnak az alkalmazása. A zománcfrittek összetétel függvényében csak minimális mennyiségű speciális fritt alkalmazása szükséges a magas TFS érték eléréséhez, amikor TFS=100 –nál alacsonyabb értékkel rendelkező melegen hengerelt lemezt használunk.

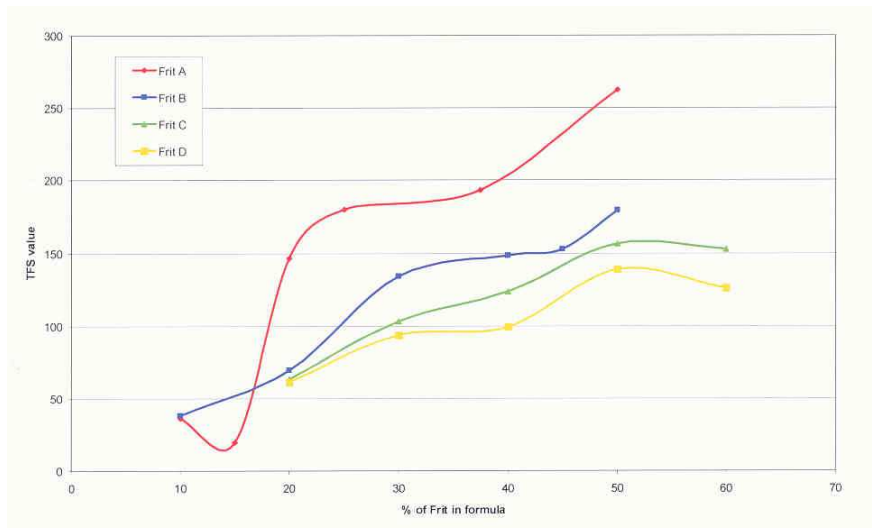
A kifejlesztett fritt-rendszer alkalmas 2 réteg-1 égetés technológiában történő zománcozáshoz is. Az alappománc és a fedő zománc összetétele az alábbiakban látható:



|                 |       |                  |     |
|-----------------|-------|------------------|-----|
| Új fritt        | 25-50 | TS2160           | 100 |
| alapzománc      | 50-70 | kvarchomok       | 10  |
| Kvarchomok      | 0-10  | agyag            | 5   |
| Suspendáló szer | 2-8   | Nátrium aluminát | 0,2 |
| Suspendáló só   | 0,2-1 | Kálium-karbonát  | 0,2 |
|                 |       | Nátrium-nitrit   | 0,2 |

Ez a 2réteg/1égetés rendszer a csak zsírtalanított lemezen használható. Javasolt alkalmazása szemcseszórt lemezeken, mivel a szemcseszórás jótékonyan hat a pikkelyérzékenységre.

Mint a **9.ábrán** látható, 50-nél nagyobb TFS érték érhető el 20% A-fritt, 40% B-fritt, vagy 50% C-fritt adalékolásával.



**9.ábra**  
**A TFS alakulása a malomrecept a fritt %-ától**

## 5. Következtetés

Egy új zománc-család lett kifejlesztve, mellyel lehetséges nem-zománcozható acél-lemez pikkelymentes zománcozása.

Az új zománc-család lehetőséget ad olyan acél zománcozására, melynek TFS értéke alacsonyabb, mint 100. A múltban ilyen acélminőség kétoldali zománcozása csak speciális malomadalékok alkalmazásával, vagy speciális lemez felhasználásával volt lehetséges.

A PEMCO ezen termékei sikeresen lettek kipróbálva.