

# Siló lemezek – Melegen hengerelt szerkezeti acélok pikkelymentes zománcozása

Dipl. Ing. Kohen Lips. – Pemco Brugge

(Email-Mitteilungen, 2009/5)

(Fordította: Dr Való Magdolna)

## Áttekintés

Majdnem minden zománcozott terméknel anyagtechnikai megfontolásból zománcozható acélt alkalmaznak. Az acél és a zománc komponenseinek tulajdonságai szükségesek a tervezett alkalmazáshoz. A bojlerok, a silók, a hőcserélők és a vegyipari készülékek zománcozásánál is ez az eset áll fenn. Az utolsó 10 évben növekedett a zománc felhasználása ezen alkalmazási területeken, és ez a terület, a zománcfelhasználást tekintve, a második legnagyobb piac lett a háztartási ipar mögött. A silók és a tartályok két lépésben készülnek: az acéllemezeket kiszabják, zománcozzák, és a zománczó üzemben gondosan becsomagolják. A silók és a tartályok szerelése közvetlenül a felhasználási területen történik, ezáltal gyorsabb felépítés garantálható.

Számos szabványt adtak ki, amelyek a különböző csavarozott silók, tartályok zománcozásával foglalkoznak, különböző felhasználások esetén. Ezekben a szabványokban a zománczást illetően a következő követelmények szerepelnek: ellenálló képesség a kémiai korrózióval szemben különböző savak és lúgok hatására, hősokkállóság, karcállóság, zománckötés, zománcvastagság, hibahelyek a zománcretegben és a szín.

A megkívánt tulajdonságoktól függően különböző zománcbevonatokat alkalmaznak. A PEMCO cég zománcprogramjában minden zománctípus szerepel, nedves és púder- zománczozáshoz is, amelyek a silók és tartályok zománczozásához szükségesek. A zománcozott lemezek gyártásának - silók és tartályok számára - a legnagyobb problémája a zománcozható szerkezeti acél, a szükséges mechanikai tulajdonságokkal. A silókat és a tartályokat mindkét oldalon zománcozni kell, és ezért drága, pikkelymentes, melegen hengerelt acéllemez vagy speciális alkalikus, foszfortartalmú alapréteg szükséges, nagy mennyiségű karcinogén NiO tartalommal.

Új zománccritteket fejlesztettünk ki NiO nélkül, és hozzá kell fűzni, hogy amelyekkel lehetséges nem zománcozható szerkezeti acélt ( $t_0 - \text{idő} < 2 \text{ min/mm}^2$ ) pikkely nélkül zománcozni. Ehhez egy új vizsgálati módszert alkalmaztunk, amivel meghatározható

a TFS-idő (az első halpikkely megjelenése). A zománc/szerkezeti acél rendszer, 150-nél nagyobb TFS idővel, nem mutat halpikkely képződést.

A malomreceptben nem feltétlenül szükséges az új fritteket 100%-ban alkalmazni. Az egyes frittek kémiai összetételétől függően csak egy minimális mennyiség szükséges ezekből a speciális frittekből a nem zománcozható, melegen hengerelt acél zománcozásához. Az új kidolgozású frittrendszer alkalmazható a 2 réteg/1 égetés eljárás-hoz is.

## **1. Bevezetés**

Az utolsó 10 évben nőtt a zománc alkalmazása a bojlerok, silók, tartályok, hőcserélők és vegyipari készülékek előállításában. Ezeknél a termékeknél anyagtechnikai megfontolásból zománcozott acélt alkalmaznak, ezek a következő kiváló műszaki tulajdonságok kombinációját nyújtják:

- szerves- kémiai ellenállás széles pH tartományon belül,
- kiváló szerves- kémiai ellenállás
- hőállóság magas hőmérséklettel szemben,
- nagyon sima reakció-szegény felület antihaft tulajdonsággal
- karc- és dörzsállóság,
- fiziológiai megbízhatóság,
- baktériumszaporodás nélküli felület
- a zománcozott acél szilárdsága

A bojlerekkel, hőcserélőkkel és a vegyipari készülékekkel szemben a silók és a tartályok külső felülete látható. Ez okból a műszaki tulajdonságok mellett, amelyek természetesen az előtérben vannak, az esztétikai szempontokat, mint a szín, is tekintetbe kell venni.

A csavarozott silókat, tartályokat két lépésben gyártják: a zománcozandó paneleket leszabják, a zománcműben bezománcozzák, és gondosan becsomagolják. A felállítás helyén történik az összeszerelés, miáltal gyors felépítés garantálható. Ez nagy előny a betonsilókkal és a beton tartályokkal szemben. További gyakorlati előnyük, hogy a csavarozott silók könnyen le is szerelhetők.

A tartályok és silók oldalsó elemein kívül a fenék és a tetőpanel is zománcozható. Ez esetben a teljes berendezés azonos anyagból készül.

A csavarozott silók, tartályok átmérője 100 m, magassága 50 m lehet, ennél az átlagméret az átmérőnél 6 m és a magasságnál is 6 m. A silók szerelését vagy épített

emelvényről vagy emelő berendezés segítségével végzik. (azaz a silót a talajról, gyűrűről gyűrűre szerelik, és minden gyűrűt felemelnek, és egymásra helyezik.) A silót tetővel látják el.

A panelek éleit gondosan kell zománcozni, és nem lehet semmiféle zománchiba. Ez okból a vastag lemezből készült panelek élét lekerekítik. A korrózió elkerülésére az éleket tömítőanyaggal látják el. A tömítőanyagnak a silóban lévő anyaggal szemben ellenállónak kell lennie.

Az alkalmazott csavarok nemesacélból készülnek vagy galvanizált acélból, attól függően, hogy a silót milyen közegre alkalmazzák, és milyen szilárdnak kell lennie. A zománcozott acélpanelek mellett csavarozott silókat gyártanak olyan panelekből is, amelyek szerves műanyaggal vannak bevonva, valamint galvanizált acélpaneleket, alumínium paneleket vagy nemesacél paneleket is alkalmaznak. De ezen alternatívák közül egyetlen sem nyújtja a zománcozott acélpanelek tulajdonságainak kiváló kombinációját. Ezért széles tartományban használják a zománcozott acélpaneleket silók és tartályok számára: az állati takarmány száraz tárolásától, az ivóvíz készletezésen keresztül, az agresszív ipari folyadékok feldolgozásáig és tárolásáig.

Minden siló és tartály tervezésénél a közeg összetételét, hőmérsékletét és a környezeti feltételeket (szél, földrengés, hó, jég, hőmérséklet), a siló, tartály méretét, a szükséges nyílásokat stb. ismerni kell. Ebből kiindulva lehet a szükséges acélvastagságot ill. acélminőséget és a szükséges zománccminőséget a különböző panelek számára megállapítani.

## **2. A zománccminőség követelményei**

A zománckövetelményekhez számos szabványt adtak ki, amely a csavarozott silók és tartályok zománcozásának követelményeivel foglalkozik. A következőkben a fontosabb előírásokat ismertetjük:

ISO 4528: Zománccok és zománcozás. – A zománcozott felület vizsgálati módszerének kiválasztása. Itt sorolják fel azokat a tulajdonságokat (és a megfelelő szabványokat), amelyek a silók és a tartályok számára fontosak, ahol azonban a tulajdonságokra vonatkozóan semmi minimális követelmény nem szerepel.

Az EEA (European Enamel Authority) minőség követelményeinek 7.20 §-ában szerepelnek a minimál követelmények az ipari tartályokkal szemben, a 7.24-25 §-ban a zománcozott silók minimál követelményei állati takarmány és trágya esetén.

Az új EN 15282-2007 európai szabványok: Zománcok és zománcozás – A csavarozott tartályok konstrukciója vizek vagy városi, vagy ipari szennyvizek és iszapok tárolására és kezelésére. Ezek a szabványok a csavarozott, hengeres tartályok minden követelményét tartalmazzák, és a tartályok zománcozására vonatkozó legkisebb követelményt a folyadékok tárolása számára.

A fent említett szabványok a zománcozás számára a következő előírást tartalmazzák:

- ellenállás a különböző savak és lúgok okozta korrózió ellen,
- ellenállás a hőmérsékletváltozással szemben,
- karcállóság,
- zománckötés,
- zománc rétegvastagság,
- hibahelyek a zománcbevonaton és
- a szín.

Az, hogy a fenti paramétereknek milyen tulajdonságai és legkisebb követelményei szükségesek, függ a tartály és a siló felhasználásától. Az **1. táblázat** a tipikus felhasználás követelményeit tartalmazza.

Amint a táblázatban látható, a legszigorúbb követelmény a fedélre vonatkozik és a legfelsőbb területre. Ezek a tartályok leginkább igénybe vett területe: mivel a felső részen lép fel a folyadékból távozó gázok és gőzök kölcsönhatása a zománccal. Ezen kívül szükséges a zománc jobb hőszokkállósága és ütőszilárdsága, hogy ellenálló legyen az esővel, hóval, jéggel szemben.

A fenékkal szembeni követelmények azonosak a henger falának követelményével.

A kívánt tulajdonságoktól függően különböző zománcbevonatok léteznek, kezdve egy jó kémiai ellenállású direktzománccal a háromrétegű rendszerig, amelynél az utolsó réteg tökéletes ellenállást mutat 1-14 pH tartományban. Az összréteg vastagsága függ a rétegek számától. A peremen valamint a csavarlyukakon el kell kerülni a nagy zománcvastagságot, hogy a szerelés és a panelek összecsavarozásánál ne történjenek repedések és lepattogzások.

A zománcteljesítés többnyire nedves szóróeljárással történik vagy elektrosztatikus por-szórással.

A PEMCO cég zománcprogramja minden zománctípusra vonatkozik, amelyek szükségesek lehetnek a silók és tartályok zománcozásánál, valamint a nedves és a pú-

derzománcozásra. Minden zománc típusa megfelel a követelményeknek, amelyek a különböző szabványokban szerepelnek (lásd **1. táblázat**)

**1. táblázat**  
**Tartályok és silók zománcbevonatának követelményei**

		EEA, § 7.24 Siló	EEA, § 720 tartály	EN15282 tartály	EN15282 tartály	
		takarmány	ipari tartály	ivóvíz	pasztörizáló	
Vizsgálat	szabvány				fedél	palást
<b>Kémiai követelmények</b>						
Citromsav szobahőm.	EN14483-1.9	A	A	A+	AA	AA
Kénsav szobahőm.	EN14483-1.10	-	A		AA	A+
Sósav szobahőm.	EN14483-1.11 15p	-	A		AA	A+
Citromsav forró-2,5 óra	EN14483-2.10	10g/m <sup>2</sup>	5g/m <sup>2</sup>	3g/m <sup>2</sup>	0,75g/m <sup>2</sup>	1,5g/m <sup>2</sup>
Sósav gőz -7 nap	EN14483-2.12				7 g/m <sup>2</sup>	8 g/m <sup>2</sup>
Víz forró-48 óra	EN14483-2.13	10g/m	10g/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-48 óra	EN14483-2.13				5g/m <sup>2</sup>	7,5g/m <sup>2</sup>
A6 tisztító-szer oldat 95C°-24 óra	EN14483-3.9		5g/m <sup>2</sup>		2,5g/m <sup>2</sup>	5g/m <sup>2</sup>
NaOH 80 C°	EN14483-4.9	3,5g/m <sup>2</sup> (5óra)	3g/m <sup>2</sup> (5óra)	7g/m <sup>2</sup> (24óra)	6g/m <sup>2</sup> (24óra)	6g/m <sup>2</sup> (24óra)
<b>Fizikai követelmények</b>						
Hősokk	ISO 2747				300 C°	300 C°
Ütőszilárdság	ISO 4532	20 N	20 N	20 N	40 N	40 N
Dörzsállóság	ISO 6370-2				45g/m <sup>2</sup>	45g/m <sup>2</sup>
Mohs karcállóság	EN 101			Mohs 5	Mohs 5	Mohs 5
Zom. Felvitel	EN 10209	2	2	2	2	2
Zománc vastagság		200-500 µm	200-500 µm	200-400 µm	300-500 µm	260-460 µm
Belső hiba 9 V fesz.	ISO 8289-A	<5/m <sup>2</sup> max. 1mm				
Belső hiba magas fesz.	EN 14430-A		0 hiba	0 hiba (900 V)	0 hiba (1500V)	0 hiba (1100V)
Külső hiba	szemmel	<5/m <sup>2</sup> max.1mm	<5/m <sup>2</sup> max.1mm	<3/m <sup>2</sup> max.1m m	<3/m <sup>2</sup> max1mm	<3/m <sup>2</sup> max1m m
Külső szín	megegyezés			X	X	X

### **3. Az acéllemezzel szembeni követelmények**

A zománcozott panelekből készülő silók és tartályok gyártásának legnagyobb problémája a szükséges mechanikai tulajdonságú, zománcozható szerkezeti acél beszerzése.

#### **3.1 Zománcozhatóság**

A szerkezeti acéllemezt általában melegen hengerelve állítják elő, és ennek megfelelően nem áll ellen a halpikkely képződésének. Bojlerek gyártásánál, amelyek csak egyoldalúan zománcozottak, ez nem okoz problémát, mivel a hidrogén a nem zománcozott oldalon el tud távozni, és így a belső oldalon nem keletkeznek pikkelyek. A csavarozott tartályokat és silókat két oldalon kell zománcozni. Ezért mindkét oldalon zománcozható, melegen hengerelt acélra van szükség. Nagyon nehéz ilyen acélt beszerezni, mivel a melegen hengerlésnél a hidrogén számára nem keletkeznek mikrocsapdák. Különösen ezek a mikrocsapdák, amelyek a hidegen hengerlésnél kialakulnak, a legtöbb alacsony széntartalmú, hidegen hengerelt acélminőségénél megakadályozzák a pikkelyképződést. A melegen hengerelt acélnál más metallurgiai lehetőséget kell találni. Az utóbbi évtizedben sok acélgyártó foglalkozott ilyen acélminőség kifejlesztésével. A legtöbb esetben titánt tettek hozzá, és a titán, nitrogén, kén és a szén arányát gondosan ellenőrizték. Fontos, hogy kevés ausztenit (amely lényegesen több hidrogént tud megtartani) keletkezzék a zománc beégetése alatt, és kiváltképpen a meleghengerlés alatt titán  $Ti(N,C,S)$  váljon ki. Bár ez a fejlesztés eddig sokatigérő volt, nagyon nehéz ilyen minőséget, homogén tulajdonságokkal, produkálni, így csak kevés acélgyártó termelési programjában szerepel. Ennek megfelelően az ilyen acél ára is nagyon magas.

Néhány zománczó üzem sikeresen alkalmazza az ilyen titánadagolású acélt, mások nem zománcozható szerkezeti acélt alkalmaznak egy speciális előkezeléssel, vagy speciális zománcfajtát alkalmaznak a halpikkely elkerülésére. (lásd **4. fejezet**)

#### **3.2 Mechanikai tulajdonságok**

A pikkely problémák mellett nem szabad megfeledkeznünk a mechanikai tulajdonságokról sem, amelyek a zománc beégetésénél változhatnak. A zománc beégetése hasonló az acél izzításához, csökkenti az acélpanel szilárdságát. Ez a folyamat nagyon erős lehet, a kezdeti 771 MPa folyási határ a zománc égetése által 450 MPa-ra csökkenhet. A szilárdsági tulajdonság a zománc beégetése után a panel előre kalku-

lált minimális követelményének meg kell feleljen. Ez okból a rendelésnél figyelni kell arra, hogy az acél mechanikai tulajdonságait égetés utánra is garantálják.

A tartály minimális anyagvastagságának az EN 15282 szerint 1,5 mm-nek kell lennie. A legtöbb tartályt, silót különböző anyagvastagságra tervezik. Egy tartály felső részén a hidrosztatikus nyomás alacsonyabb, így itt az anyagvastagság kisebb lehet. Ezért ezen a területen a panel legkisebb vastagsága lehet 1,5 mm, a fenéken az anyagvastagság  $> 10$  mm, a tartály magasságától és a terheléstől függően. Általában a fenékpanelhez jobb mechanikai tulajdonságú acélminőséget alkalmaznak, hogy a szükséges szilárdságot kisebb anyagvastagsággal lehessen elérni. Eredményesen alkalmazzák az EN 1011 és az EN 10149-1 szabvány szerinti DD11, S 235, S 355, S 420, S 460 acélminőséget. A zománc beégetés miatt figyelembe kell venni, hogy a paraméterek összefüggnek az anyagvastagsággal, azaz minél vastagabb a panel, annál hosszabb az égetési idő.

### **3.3 Előkezelés**

Az acélpaneleket zománcozás előtt elő kell kezelni. A fekete vasoxidot, ami a meleg hengerlésnél keletkezik, el kell távolítani. Ezt történhet az acélműben pácolással, vagy a zománczó műben, ahol mindkét eljárás alkalmazható (pácolás vagy szemcseszórás). A szemcseszórásnak az az előnye, hogy egy jelentősebb érdesedés lép fel az acél és a zománc között, ami az égetés után jobb mechanikai kötést eredményez. Ha van az acélműben pácoló, általában felvisznek egy korrózióvédő anyagot. Ezt az olajfilmet, éppen úgy, mint a húzóolajat zománcozás előtt el kell távolítani. Egy új módszert, a kefélést, sikeresen alkalmazzák az acéllemez zománcozása előtt a GLS tartálynál: az acéllemezt pácolják, de nem olajozva vásárolják. A kefélés által a csekély mennyiségű reve eltávolítható, és egyidejűleg a felület aktiválódik.

## **4. Halpikkelymentes zománcozás.**

### **4.1 Aktuális problémák**

A nem zománcozható acélminőségéről, a halpikkely elkerülésére (nem elegendő hidrogéncsapda a kétoldali zománcozáshoz), az irodalom a következő módszereket közli:

- protonvezetők, amelyeket a zománcrétegbe visznek be, ezt az FR2 784 696 szabdalom írja le.

A homogén diszperzióknak a zománcretegben protonikus vezetőképessége van, nagyobb mint  $10^{-6} \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$  300 °C-nál, miáltal csökken a hajlam a pikkelyképződésre. A protonikus vezetés lehet  $\beta$ ,  $\beta'$ ,  $\beta''$  alumínium- vagy  $\beta$ ,  $\beta''$  galliumoxid. Az adalék a zománciszapban 2-25%, és növeli a hidrogénáteresztő képességet lehűlésnél az üveggépző tartományban 300°C-ig. Ennek a módszernek hátránya abban áll, hogy az alumíniumoxid csökkenti a kémiai ellenálló képességet és a zománc kötését, és túlságosan drága. Ezért ez a technológia korlátozott, és a csavarozott tartályok és silók gyártásánál nem alkalmazzák.

- kristályos nikkeldioxid, amelyet a zománchoz adagolnak, az US2 940 865 és az US6 177 201 szabadalom írja le.

A NiO-t 2-10%-ban adják az alapzománc iszaphoz. Ezt a zománciszapot egy vagy több rétegben viszik fel az acéllemezre. Ennek a módszernek hátránya, hogy a kristályos NiO (CAS No 1313-99-1) karcinogén (Karz. Kat.1: veszélyességi jel T,R43-49-53, megfelel a 1967/548/EG An.1 európai direktívának), és a NiO tárolása csak korlátozott feltételek mellett (SEVE-SO II direktíva 96/82/EG) lehetséges.

- alkalikus, foszfáttartalmú iszap felvitele a felületre, nagy NiO tartalommal, mint előkezelés.

Ennél az eljárásnál szintén a karcinogén NiO-t alkalmazzák, ami a fenti korlátozáshoz vezet.

Egyike a PEMCO erősségének a zománccspecialisták hosszú tapasztalata minden zománc területén, a komplett zománcrendszerek minden lehetséges alkalmazáshoz. Évtizedek óta fejleszt a PEMCO új, innovatív zománcrendszereket, hogy vevőinek segítségére legyen a problémák megoldásában. A melegen hengerelt szerkezeti acél kétoldali zománcozása volt az utolsó évek kihívása, így a PEMCO elindította a fejlesztési projektjét. Ennek eredményeként új zománctípus keletkezett, amellyel lehetséges a nem zománcozható acél pikkelymentes zománcozása.

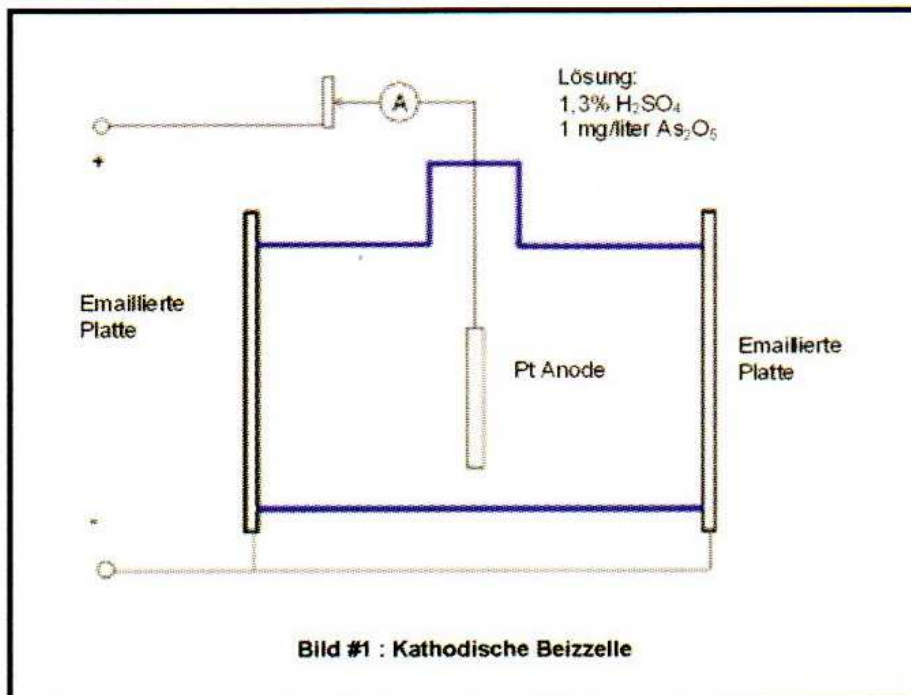
#### **4.2 Új zománccfrittek kifejlesztése**

Az új zománccrendszer vizsgálatához, a hidrogénhibára való érzékenységére, egy speciális halpikkelytesztet fejlesztettünk ki, amelynél a már meglévő két módszert kombináltuk.

Miller kifejlesztett egy tesztet, amely Deringer korábbi munkáján alapul. Mindkét szerző katódikus páccellát alkalmaz, amit az **1. ábra** mutat.



**1.ábra**  
**Katódikus cella**



Egy egyoldalon zománcozott lap nem zománcozott oldalán képződő atomos hidrogén bediffundál az acélba, és a határrétegben, mint molekuláris hidrogén összegyűlik. Az időtartam a hidrogén diffúzió és az első halpikkely megjelenése között adja meg a tájékoztatást az acél és az acél-zománc közbenső rétegeről.

Az EN 10209 európai szabvány írja le a Ströhlein készüléket a hidrogén diffúzió meghatározására, és ezzel az acéllemez zománcozhatóságát. Ebben a vizsgálatban egy zsírtalanított lemez egyik oldalán hidrogént hoznak létre elektrolitikusan. Az elektrolízis kezdete és a hidrogén fellépése közötti időt, amely alatt a lemezen keresztül a másik oldalra diffundál a hidrogén, átlépési időnek nevezik. A hosszú átlépési idő jó pikkelyállóságot jelent.

A hidrogén átlépési időt  $TH$  min/mm<sup>2</sup>-ben adják meg az alábbiak szerint:

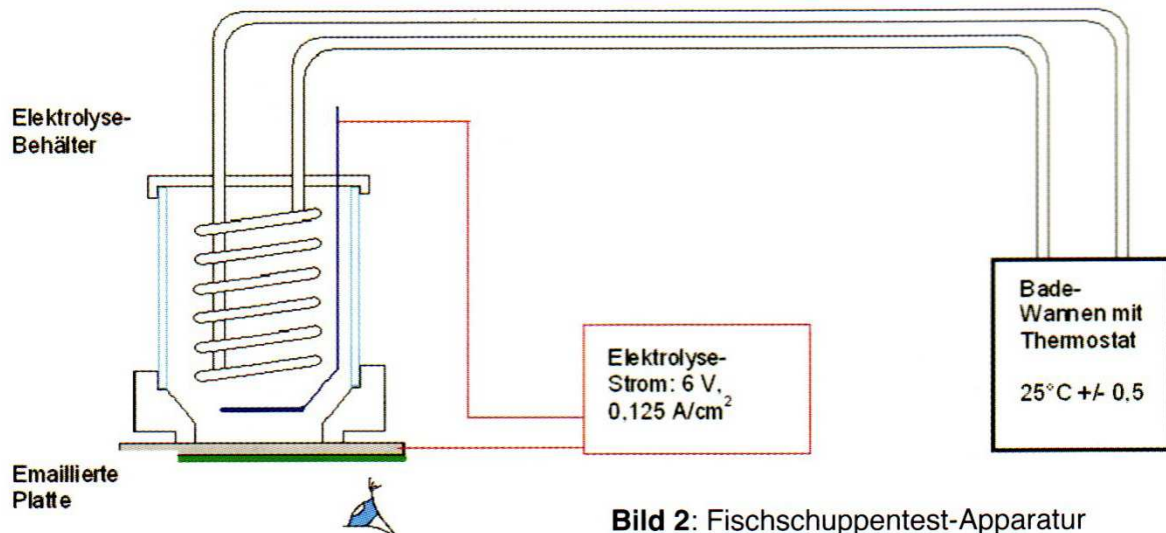
$$TH = \frac{15t_0}{d^2}$$

$t_0$  = hidrogén átlépésének ideje percben

$d$  = a lemez vastagsága mm-ben

Ha a TH nagyobb mint 100, a kétoldalú zománcozásnál sem lép fel halpikkely. A mi új pikkelyvizsgáló készülékünk kombinálva van Miller ötletével, az EN 10209 szabvány szerinti készülékkel és számítási metódussal. A készüléket a **2. ábra** mutatja.

**2. ábra**  
**Pikkelyvizsgáló készülék**



**Bild 2:** Fischschuppentest-Apparatur

Az elektrolizáló tartály 25°C-ra van beállítva. A hidrogén elektrolitikusan az egyoldalúan zománcozott lemez szabad oldalára kerül. Az elektrolit 6 térfogat % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0,25 g/l HgCl<sub>2</sub> és 0,5 g/l As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Minden vizsgálat számára friss oldatot kell készíteni. Az ellenkező oldalon az első pikkely fellépésének idejét számítjuk az elektrolízis kezdetének (vizuális megfigyelés)

A pikkelyállóság jellemzésére egy új paramétert vezettünk be: TFS (TFS=time for first Fish Scale), amelynél az első pikkely fellépésének idejét a következőképpen számítjuk ki:

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

$t_{fs}$  = az első pikkely fellépésének ideje

$d$  = a lemez vastagsága

Ennél a kísérletnél a  $t_{fs}$  érték mindig 4 mérés átlaga. Az eltérés a mérések között 14-25% lehet. Ezzel az új vizsgálattal és  $t_{fs}$  értékkel számtalan kísérletet végeztünk.

## Vizsgálati paraméterek

A pikkelyre való hajlam meghatározására standard bojlerzománc receptet alkalmaztunk:

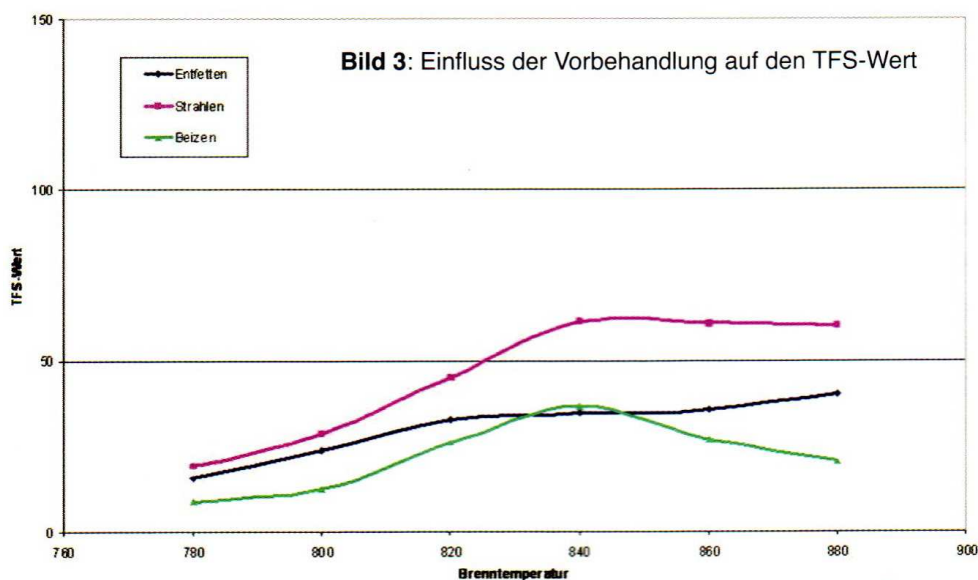
Fritt	100
Kvarc	40
Agyag	6
Bórax	0,15
Bórsav	0,15
Na-nitrit	0,15
Víz	50

A frittet a malomadalékokkal és a vízzel golyósmalomban őröltük 6-os finomságúra (Bayer szita 3600 csomóval) Az iszapot felszórtuk a melegen hengerelt S235J (EN 10025) acéllemezre, amelyen különböző előkezelést végeztünk. Szárítás után kamrás kemencében 8 percig égettük különböző hőmérsékleteken. Az alkalmazott S235J melegen hengerelt acél TH értéke kisebb volt, mint 25 perc/mm<sup>2</sup>.

### Az előkezelés hatása.

A zománciparban szokásos előkezelések: csak zsírtalanítás, szemcseszórás és pácolás. Ezeket az előkezeléseket is alkalmaztuk a TFS érték összehasonlítására (3.ábra)

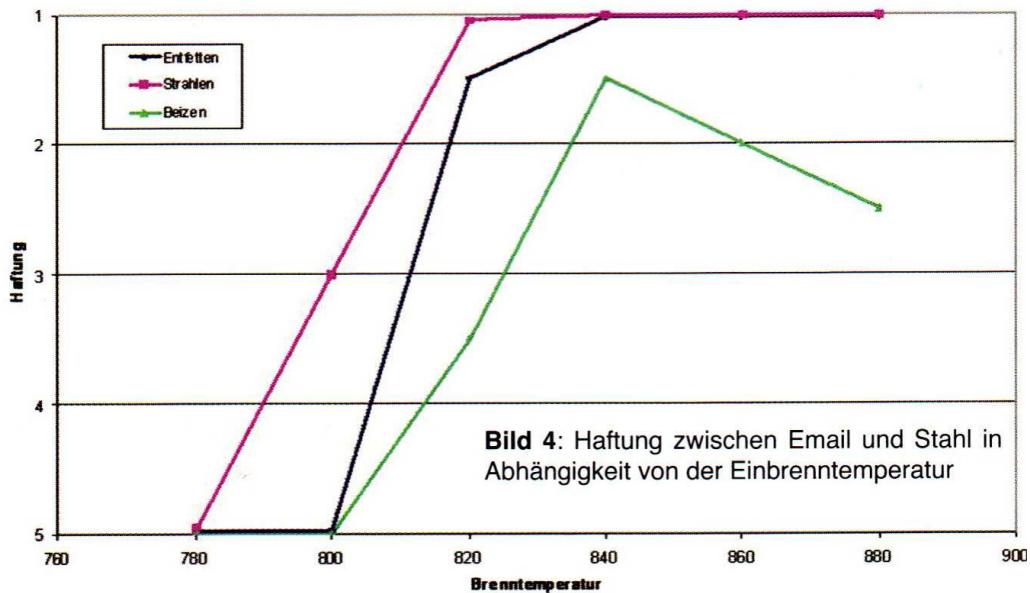
**3. ábra**  
**Az előkezelés hatása a TFS értékre**



Felső görbe = szemcseszórás. Középső görbe = zsírtalanítás. Alsó görbe = pácolás

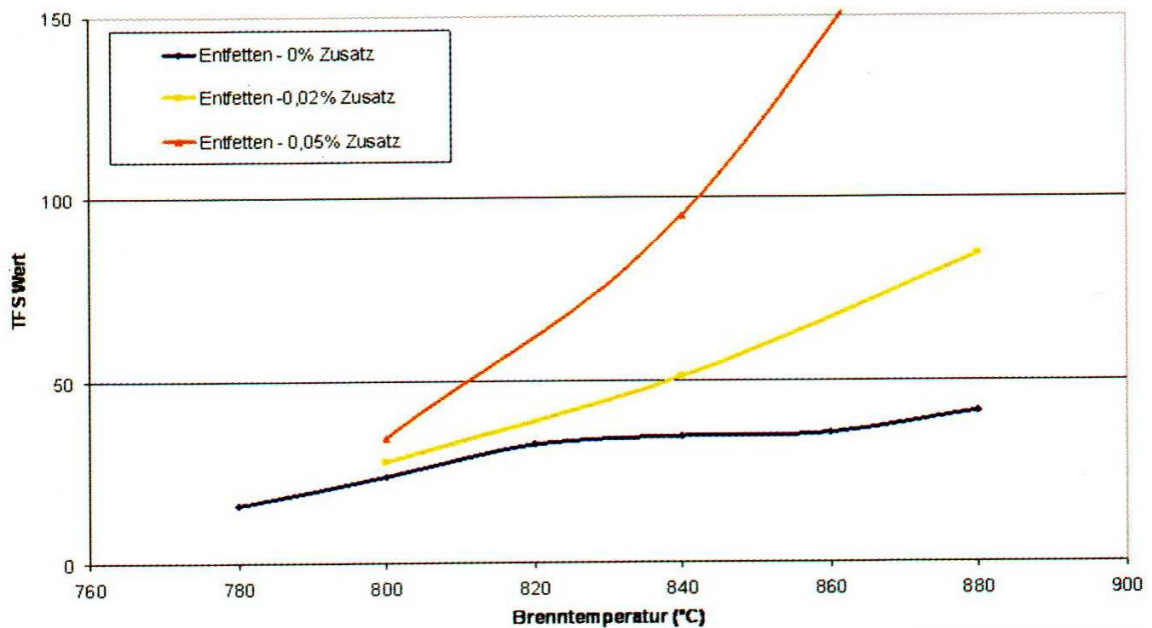
A TFS érték alacsony beégetési hőmérsékletnél kicsi volt, magasabb hőmérsékletnél növekedett, kivéve a pácolásnál. Ez a jelenség úgy tűnik korrelál az acél és a zománc közötti kötéssel, ami a következő képen az EN10209 szerint látható. (4. ábra)

**4. ábra**  
**A zománc és az acél közötti kötés az égetési hőmérséklet függvényében.**



Alacsony égetési hőmérsékleten, 780 és 800°C között, azaz 3-nál rosszabb kötésnél, mindegyik előkezelésnél a TFS érték alacsony (lásd 5. ábra)

**5. ábra**  
**A növekvő buborékszerkezet hatása a TFS értékre**



Felső görbe = zsírtalanítás, 0,05% adalék, középső görbe = zsírtalanítás, 0,02% adalék  
 Alsó görbe = zsírtalanítás, 0% adalék

Kielégítő beégetési hőmérsékletnél és kielégítő kötésnél a TFS érték növekszik. Ez azt jelenti, hogy amíg nem alakul ki kötés az acél és a zománc között, erős pikkelyképződés lép fel. Szemcseszórással nagyobb TFS érték érhető el, mint a csak zsírtalanításnál és pácolásnál, tehát ezzel jobb védelem keletkezik a pikkellyel szemben, mint a csak zsírtalanításnál illetve pácolásnál.

#### A buborékszerkezet hatása.

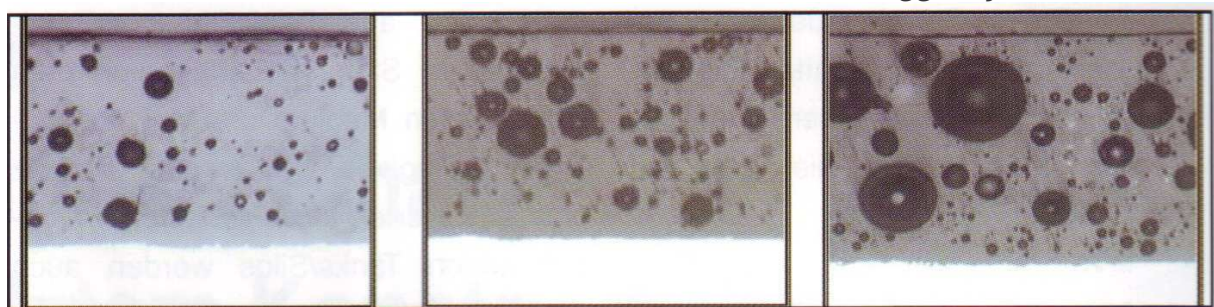
A buborékszerkezetet és ennek hatását a pikkelyállóságra már Miller, Bergeron, Ali, Hardwick valamint Yang is vizsgálta. A szerzők pozitív hatásról számoltak be a zománc/acél határfelületen keletkező buborékok esetén.

Ennek a kísérletnek ismétlésénél a PEMCO is hasonló pozitív eredményre jutott. Standard malomadaléknak nem oxidos adalékot alkalmazott, amely az égetés alatt növelte a buborékok mennyiségét. Minden iszapot a csak zsírtalanított, melegen hengerelt S235J lemezre szórta fel, megszáritotta és 8 perc alatt égette be különböző hőmérsékleteken.

A buborékszerkezet a 840°C-os 8 perc feletti égetés után a következő metszeteken hasonlítható össze.

#### **6. ábra**

#### ***A zománc buborékszerkezete nem oxidos adalékok függvényében.***



a: 0% adalék

b: 0,02% adalék

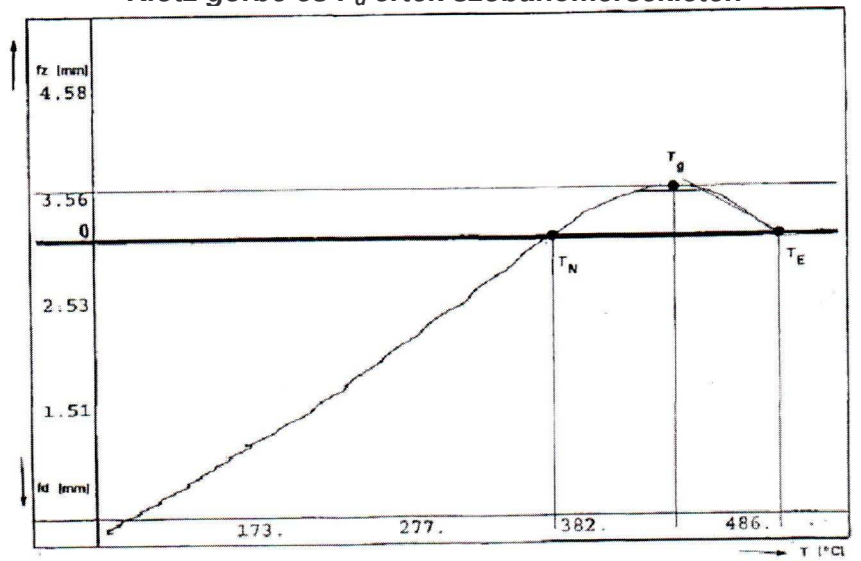
c: 0,05% adalék

#### A zománc feszültségének hatása

A zománcnak és az acélnak különböző hőtágulási együtthatója van (ADK) A zománc úgy van felépítve, hogy alacsonyabb hőtágulási együtthatója legyen, mint az acélnak. A beégetés és a szobahőmérsékletre való lehűlés után a zománcréteg nyomófeszültség alatt van. Az acél és a zománc együtthatójától és a hűlési hőmérséklettől függően a zománc és az acél között szobahőmérsékleten különböző nyomófeszül-

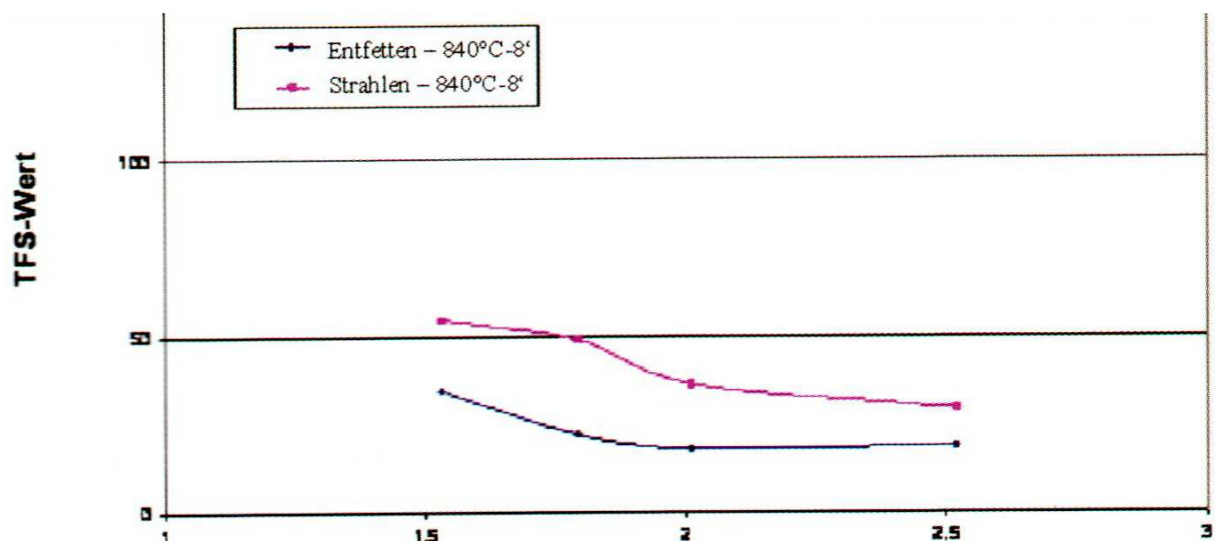
ségek lépnek fel. A nyomófeszültséget a Klotz készülékkel (DIN 51175) lehet mérni. A zománc szobahőmérsékleti nyomófeszültségét mutatja az  $F_d$  érték. (lásd **7. ábra**)

**7. ábra**  
**Klotz görbe és  $F_d$  érték szobahőmérsékleten**



Az alkalmazott standard zománcadalék  $F_d$  értéke 1,52. A kvarc meghatározott mennyiségének kicserélése cirkonra a standard adalékban növeli a feszültséget a zománcretegben. Ennek a nagyobb feszültségű zománcnak a TFS értékét 840°C-nál 8 percig való beégetésnél hasonlítottuk össze különböző előkezelés esetén a **8. ábrán**.

**8. ábra**  
**A TFS érték hatása különböző  $F_d$  értéknél**



Felső görbe = szemcseszórás – 840°C- 8 perc  
Alsó görbe = zsírtalanítás – 840°C – 8 perc

Ha a feszültség  $F_d = 1,53$  – ról  $F_d = 2,52$  –re fokozatosan emelkedik a TFS érték csökken. Ez azt jelenti, hogy a pikkely erősebben jelentkezik, ha a zománcreteg nagyobb feszültség alatt van. Ha a hidrogén nyomása a zománc/acél közbenső rétegben megnövekszik, és a zománc nagy feszültség alatt van, gyorsabban bekövetkezik a pikkely lepattogzása. Ez a negatív folyamat fellép a pácolás után is, és éppen úgy a szemcseszórás esetén is.

### A zománcösszetétel hatása

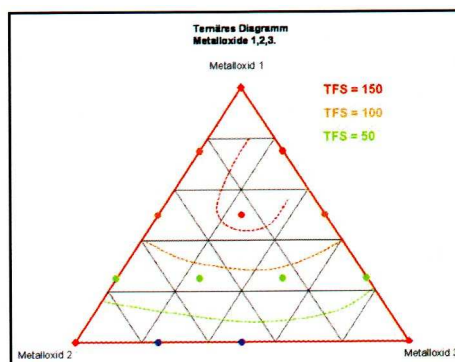
A standard malomadalékban szereplő zománccsirtet módosítottuk, hogy vizsgálhassuk a különböző fénoxidok hatását. A fénoxidok teljes mennyiségét konstans értéken tartottuk. A TFS értéket minden módosított fritt esetén a következő adalékkal vizsgáltuk:

Módosított fritt	100
Kvarc	40
Agyag	6
Bórax	0,15
Bórsav	0,15
Na-nitrit	0,15
Víz	50

A frittet, az adalékokat és a vizet golyósmalomban őrltük meg 6-os finomságúra (Bayer szita 3600 csomóval). Az iszapot csak zsírtalanított, melegen hengerelt S235 lemezre szórtuk fel, megszáritottuk és kamrás kemencében  $840^{\circ}\text{C}$ -on 8 percig égettük.

A különböző fénoxidok függvényében, amelyeket a frittbe olvasztottunk be, a TFS érték 150-nél nagyobb lehetett. (lásd **9. ábra**)

**9. ábra**  
**A TFS érték hatása különböző fénoxidos bojler frittben.**



A két oldalon alkalmazott zománcnál ajánlatos a 100-nál nagyobb TH érték. Az acél-nak, amit ennél a kísérletnél használtunk, TH értéke kisebb volt 20-nál. 150 feletti TFS értékű zománc/acél-rendszer esetén a melegen hengerelt lemezt két oldalon zománcoltuk. A zománc/acél rendszer semmi pikkelyképződést nem mutatott.

#### Halpikkelyálló zománcok fejlesztése

A fenti eredmények alapján új fritt típusokat fejlesztettünk ki. A malomreceptben nem szükséges ezeket az új fritteket 100 %-ban alkalmazni. Az egyes frittek kémiai összetételétől függően, ennek a speciális frittnek csak egy kis mennyisége szükséges, hogy nagy TFS értéket érjünk el a 100-nál kisebb TH értékű melegen hengerelt acél zománcolásánál.

Az újonnan fejlesztett frittrendszert a 2 réteg/1égetés eljárásához is alkalmas.

Az alap- és a fedőzománchoz a következő malomadalék alkalmazandó:

<b>Alapzománc adalék</b>		<b>Fedőzománc adalék</b>	
Új fritt	25.....50	Fedőzománc fritt	100
Alapfritt	50.....75	Kvarc	10
Kvarc	0.....10	Agyag	5
Lebegtetőanyag	2.....8	Na-aluminát	0,2
Állítóanyag	0.2.....1	Hamúzsír	0,2
		Na-.nitrit	0,2

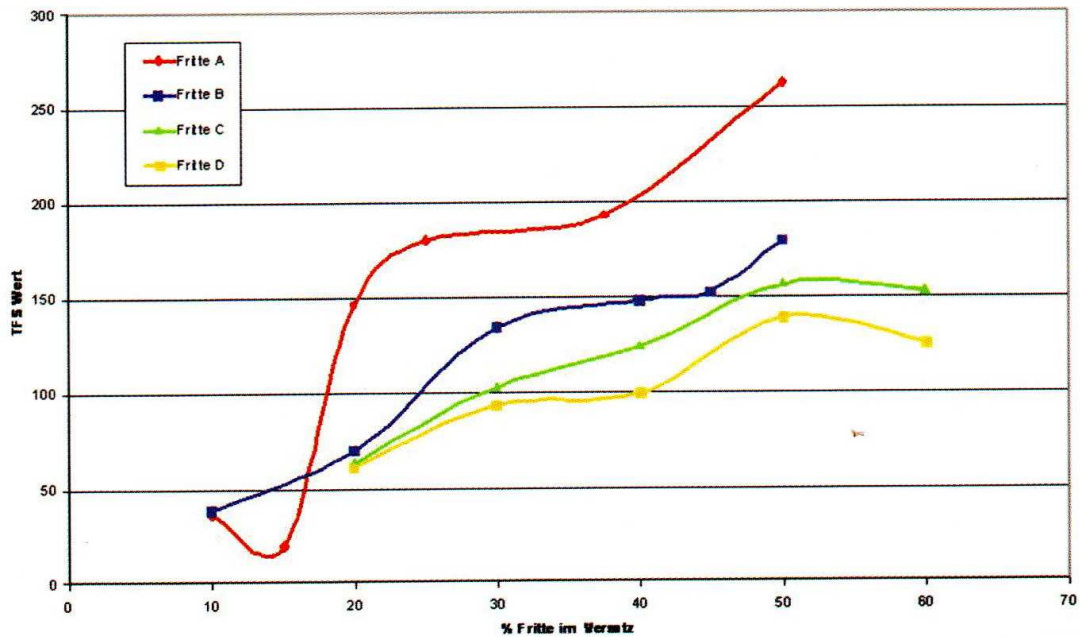
A 2 réteg/1égetés eljárást lehet csak zsírtalanított lemezen is alkalmazni. Előnybe kell részesíteni azonban a szemcseszórt lemezt, amely előnyösebb a pikkelyállósággal szemben.

Amint az a **10.ábrán** látható 150 TFS érték érhető el a következő fritt kombinációval: 20 % fritt A, 40 % fritt B vagy 50 % fritt C.

Ez az új frittrendszert megengedi a kétoldali zománcolását a 100 alatti TH értékű acél minőségnek is.



**10. ábra**  
**A TFS érték hatása a fritt tartalom %-ában a malomreceptben**



Felső görbe = A fritt, felülről második görbe = B fritt, harmadik görbe = C fritt,  
 negyedik görbe = D fritt

## 5. Összefoglalás

Eddig a kétoldalú zománcozás melegen hengerelt lemeznél csak akkor volt lehetséges, ha az iszapban különleges malomadalékokat alkalmaztak vagy speciális acélt használtak. Új zománcfrittet fejlesztettek ki, és ma már alkalmazzák, amellyel lehetséges a nem zománcozható szerkezeti acél pikkelymentes zománcozása. Erre a célra új vizsgálati módszert fejlesztettek ki, az első pikkely megjelenéséhez szükséges idő meghatározásával.