

# Fűtőelemek: struktúra és tulajdonságok

Elimenko, Schlegel, *Pemco Brugge*  
(Email Mitteilungen, 2007/3)

(Fordította: Dr Való Magdolna)

## 1. Bevezetés

Az utóbbi években mind nagyobb felhasználási lehetőségeket kaptak az olyan fűtőelemek, érzékelők, kapcsolók, amelyeknél fém alapra vittek fel üvegrománocokat, és ezek szigetelő réteggént szolgálnak.

A fém alap ezeknél egy sor előnnyel szolgál az  $\text{Al}_2\text{O}_3$  alappal összehasonlítva:

- mechanikus szilárdság,
- hőmérsékletváltozással szembeni ellenállás,
- nagy hővezetőképesség,
- alacsony ár.

Ezekon kívül a fém alap a design kiszélesítésére nyújt lehetőséget, és ezáltal új alkalmazásokra.

## 2. Dielektromos réteg

### 2.1 Felviteli eljárások.

A fém alap előkezelése után – amely a választott fém tulajdonságaitól függ – viszik fel a szigetelő réteget. Több felviteli módszer áll rendelkezésre:

- szitanyomás
- szórás
- PUESTA
- ETE
- mártás

A felviteli módszerek előnyeinek és hátrányainak megismerésére bemutatunk néhány példát a fűtőelemek felépítésére.

### 2.2 Fűtőelemek felépítése

#### Szitanyomás

A zsírtalanított, néha kevésbé szemcseszórt ferrites nemesacélra 3-4 szigetelő réteget visznek fel szitanyomásos eljárással **(1. ábra)** Ennél minden réteget, egymás után 850-900°C-on kiégetnek. Ezt követi a fűtőszál-réteg és az érzékelő felvitele,

amelyeket 700-740°C-on égetnek be. Ezután a fedőréteg felvitele „2 réteg – 1 égetés” eljárással, 620°C-on történő beégetéssel. E teljesen automatizált eljárás igen jó minőséget nyújt. A rétegvastagságokat igen pontosan lehet egymással összehangolni. A sok réteg és égetés következménye a végtermék magas ára.



**1. ábra**  
**Fűtőelemek felépítése szitanyomás technológiával**

### Nedves szórás + szitanyomás

A költségek csökkentése érdekében a szigetelő réteget lehet nedvesen szórni. A kívánt rétegvastagság (120-160 µm) egyszerre felvihető, és szárítás után égethető. A fűtőszál-réteg, az érzékelők és a fedőrétegek felhordása a már fent említett szitanyomásos módszer szerint történik. **(2. ábra)**



**2. ábra**  
**Fűtőelemek felépítése nedves szórással + szitanyomás technológia**

A szitanyomás szigetelő frittjei a szóró eljáráshoz nem alkalmasak. A kívánt technológiai tulajdonságok – mindenekelőtt a TE és a pórusmentes felület – eléréséhez a szórásos felvitel frittjének meghatározott mennyiségű alkáliát kell tartalmaznia. A szórásos eljárás mindenképpen hajlamosabb a szennyeződésekre, mint a szitanyomásos eljárás. Ezáltal rendszerint emelkedik a selejtes termék mennyisége.

A kapcsoló designhoz illeszkednie kell a fritt illetve az iszap összetételének. Néhány vevő megköveteli a kétoldali zománcozást **(3. ábra)**. A nagyon vékony éleket jól le kell fedni, és a zománc a felmelegedési folyamat alatt nem pattogozhat le. Az ábrán bemutatunk egy példát, amelynél a szigetelő zománc a nikkelezett OC acél mindkét oldalán van. A film-fűtőellenállás és az érzékelő itt is szitanyomásos technológiával készült.



**3. ábra**  
**Fűtőelem felépítés nedves szórással + szitanyomás technológia**

### PUESTA + szitanyomás

Először az alapzománcot viszik fel a zsírtalanított OC acélra, és beégetik 830°C-on. Ezután következik a két szigetelő réteg („2 réteg – 1 égetés”) Az égetési hőmérséklet 820°C **(4. ábra)** A szigetelő réteg fizikai jellemzőjét, elsősorban a TE-t és a viszkozitást, hozzá kell illeszteni a hagyományos alapzománchoz, különben fennáll a veszélye a hajszálrepedésnek és a peremről való visszahúzódásnak. A szórási technológiával ellentétben a PUESTA-nál a töltőanyag hányada csak nagyon korlátozott lehet, miáltal jelentősen megnehezedik a tulajdonságok hozzáillesztése.



**4. ábra**  
**Fűtőelem felépítése PUESTA-val + szitanyomás technológia**

## 2.3 Tulajdonságok

A felépítéstől, az acélfajtától, a felviteli technológiától függetlenül a szigetelő rétegnek a következő tulajdonságokkal kell bírnia:

- Pórusmentesség, finom buborékszerkezet
- Nagy átütési szilárdság
- Csekély vezetési áram magas hőmérsékleten
- Jó kötés és ütésszilárdság
- Jó ellenállás hőmérsékletváltozással szemben
- Tartós szilárdság
- Semmi változás a fűtőellenállás tulajdonságaiban

A követelményekben mindig kompromisszumot kell találni a dielektromos és egyéb tulajdonságok között. A szigetelő réteg kötésének, ütésszilárdságának és a hősokkállóságának javítására, a felépítésnek és a felviteli technológiának megfelelően, a következő eszközök állnak rendelkezésre:

- Alapzománc alkalmazása (többnyire OC acél alapra)
- A fémalap előkezelése szemcseszórással vagy nikkelezéssel (környezeti problémák, költségek)
- TE illesztés (gyakran alkáliákkal, de az alkáliáknak már kis mennyisége is jelentősen megváltoztatja a dielektromos tulajdonságot, mindenneke előtt a hőmérséklet függvényében)
- 0-40 % töltőanyag (iszapreológiai problémák, hajszálrepedések, nem alkalmas PUESTA-hoz)

- Kerámiafrittek alkalmazása, amelynél a kívánt kristályos fázis az égetés utáni lehűlés közben kikristályosodik (feltétel a jó keveredés a szigetelő frittel)

A megkövetelt tulajdonságokat, mint a kötés, ütésszilárdság és hősokkállóság, csak olyan eszközökkel szabad elérni, amelyek nem rontják a kívánt átütési szilárdságot és a levezetési áram paramétereit.

Egy vízmelegítő egyszerű, sík fűtőelemének egy vízmelegítő csőalakú úgynevezett „Quick & Hot” fűtőelemével (250ml/25s/80°C±5°C) való összehasonlítására szolgál a példa (**5. ábra**) Ha egy „Quick & Hot” fűtőelemhez egy vízmelegítő számára kifejlesztett szigetelő összetételt alkalmazunk (szóróeljárás) a zománc már az első felmelegítés után lepattan. A nagy nyomófeszültség, amely a sík fűtőelem repedéseinek elkerülésére lett beállítva, a „Quick & Hot” elemek (konvex felület) számára túl nagy. A lepattogzás elkerülésére lehetséges

- a fritt összetételt megváltoztatni,
- a töltőanyag minőségét és mennyiségét korrigálni vagy
- egy kerámia frittet alkalmazni.



**5. ábra**  
**Szigetelő réteg nyomófeszültsége**

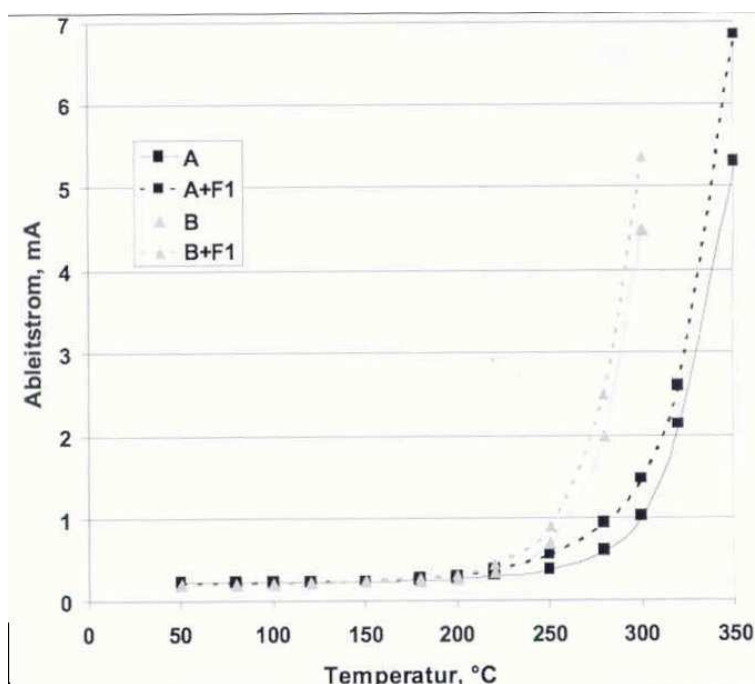
A **6. ábrán** szerepelnek a hősokk és az ütésszilárdság értékei a frittek és a töltőanyagok fajtáinak függvényében. Az A fritt-nek a B fritthez képest magas  $T_g$  pontja van. A C1, C2 és C3 kerámia frittek kikristályosodnak a hűlés különböző fázisaiban. A  $T_g$  pont eltolása alacsonyabb hőfokra, a hősokkállóság növelését eredményezi. 10 % kerámia fritt bevitele a kompozícióba, a frittektől függően, rosszabbodást vagy jelentős javulást okoz.

**6. ábra**  
**A szigetelő réteg hősokkja**

| Fritt                           | Töltőanyag | Kerámia fritt<br>(10 %) | Hősokk                | Ütésállóság |
|---------------------------------|------------|-------------------------|-----------------------|-------------|
| A ( $T_g=580^{\circ}\text{C}$ ) |            |                         | $300^{\circ}\text{C}$ | Rossz       |
| A ( $T_g=580^{\circ}\text{C}$ ) | +F1        |                         | $300^{\circ}\text{C}$ | Jó          |
| A ( $T_g=545^{\circ}\text{C}$ ) |            |                         | $350^{\circ}\text{C}$ | Rossz       |
| A ( $T_g=545^{\circ}\text{C}$ ) | +F1        |                         | $350^{\circ}\text{C}$ | Jó          |
| A ( $T_g=580^{\circ}\text{C}$ ) |            | +C1                     | $275^{\circ}\text{C}$ | Rossz       |
| A ( $T_g=580^{\circ}\text{C}$ ) |            | +C2                     | $350^{\circ}\text{C}$ | Rossz       |
| A ( $T_g=580^{\circ}\text{C}$ ) |            | +C3                     | $400^{\circ}\text{C}$ | Rossz       |
| A ( $T_g=580^{\circ}\text{C}$ ) | +F2        | +C1                     | $300^{\circ}\text{C}$ | Jó          |

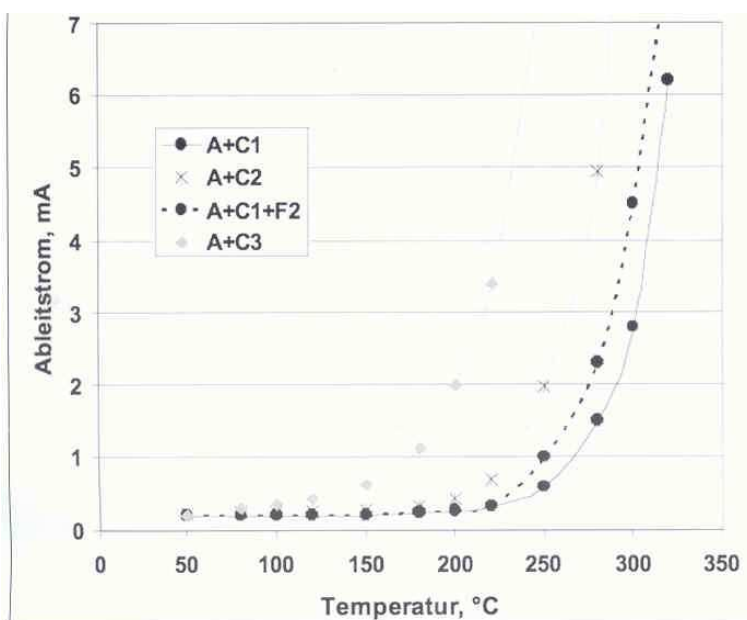
#### Ütésállóság 0,5 mN 3-szor IEC 60068-2-75/1997-08 szerint

Az ütészilárdságot (IEC 60068-2-75/1997-08 szerint vizsgálva) ezzel ellentétben csak az iszaphoz adagolt F1 vagy F2 töltőanyag megfelelő mennyiségével lehet javítani. A szigetelő fritt fajtájától függetlenül a töltőanyagok mindig a levezetési áram kis növekedését okozzák. (7. ábra) Ez érvényes a kerámia frittre is. A szigetelő fritt A+C1 kompozíciójának levezetési áram értéke jobb, mint a B szigetelő fritt értéke.



**7. ábra**  
**Szigetelő réteg levezetési árama**

A C3 kerámia fritt, a kitűnő hőszokkállóságával, ezzel szemben a levezetési áram jelentős rosszabbodásához vezet. (8. ábra) A kikristályosodott fázis függvényében, növekvő hőmérséklettel, a levezetési áram erős változása figyelhető meg. Ennek következtében kerámia fritt adagolással a kívánt levezetési áram értéke pontosan beállítható.



**8. ábra**  
**Szigetelő réteg levezetési árama**

A 9. ábrában a töltőanyagoknak és a kerámia fritteknek a szigetelő réteg tulajdonságaira gyakorolt hatását foglaltuk össze. Helyes megválasztással kevés kerámia fritt adagolással az elektromos átütési szilárdság, a levezetési áram és a hőszokkállóság javítása elérhető. Az ütésállóság növelése ezzel nem érhető el.

Töltőanyag adagolással az ütésállóság és a hőszokkállóság javítható. Ennél nagyon fontos a kiválasztott töltőanyag minőségellenőrzése. Már kis mennyiségű szerves szennyeződés pórusképződést okoz, és ezáltal átütést. PUESTA felvitel esetén adagolható kerámia fritt.

**9. ábra**  
**Kerámia fritt – töltőanyag szigetelő réteg**

| Tulajdonságok      | Töltőanyag | Kerámiafritt |
|--------------------|------------|--------------|
| Pórusok            | -          | +, -         |
| Átütési szilárdság | -          | +, -         |
| Levezetési áram    | -          | +, -         |
| Ütésállóság        | +, -       | -            |
| Hőszokkállóság     | +, -       | +, -         |
| PUESTA felvitel    | -          | +            |

Előny = +      Hátrány = -

### 3. A fűtőszál réteg és az érzékelő

A fűtőszál réteg és az érzékelő szitanyomás eljárással készül. A szitanyomó paszta a következő komponensekből áll:

- üveg vagy üveg-kerámia fritt
- Ag-, Ag/Pd-, Ag/Pt- por
- Közeg (olaj)

Az üvegnek és az üveg-kerámia frittnak nagy dielektromos állandójának és nagy átütési szilárdságának kell lennie. A hajszálrepedések és ezzel az átütések elkerülésére a fritt tágulási együtthatóját hozzá kell alakítani. A frittnak nem szabad reagálnia az Ag-vel, Ag/Pd-vel vagy az Ag/Pt porral. Rendszerint a szigetelő réteghez és a pasztához ugyanazt a frittet alkalmazzák.

Az ellenállás és az érzékelő pasztájának a következő tulajdonságokkal kell bírnia:

- Hőstabilitás
- Nagy hősokkállóság
- Megfelelő viszkozitás
- Jó adhézió a szigetelő réteghez
- Megfelelő vezetőképesség

A PEMCO Euroinks-szel összedolgozva a következő pasztát fejlesztettük ki:

- Ellenállás paszta Ag-vel vagy Ag/Pd porral
- Vezető paszta Ag, Ag/Pd , Ag/Pt porral

A **10. ábra** tartalmaz néhány tulajdonságot.

**10. ábra**  
**Film fűtőellenállás**

|                                 |                 |
|---------------------------------|-----------------|
| Ag vagy Ag/Pd ellenállás paszta |                 |
| Felületi ellenállás             | 10 – 40 mΩ/□    |
| Hőstabilitás                    | 950 ppm (Ag/Pd) |
| Viszkozitás                     | 120 – 230 Pa s  |
| Ag, Ag/Pd, Ag/Pt vezető paszta  |                 |
| Felületi ellenállás             | 2 – 8 mΩ/□      |
| Hőstabilitás                    | 3500 ppm (Ag)   |
| Viszkozitás                     | 250 – 325 Pa s  |

#### **4. Fedőréteg**

A film fűtőelem megvédésére egy fedőréteget alkalmazunk. A Pemco szortiment erre a célra tartalmaz egy szervetlen, ólommentes, transzparens szitanyomó pasztát. Ennek égetési intervalluma 600 – 640°C között van. A fedőréteg a salétromsavval szemben ellenálló.

#### **5. Összefoglalás**

A Pemco egy komplett programot ajánl fűtőelemek, kapcsolók vagy érzékelők számára:

- Szigetelő rétegek különböző tulajdonságokkal
  - szóróeljáráshoz
  - PUESTA-hoz ferrites nemesacél – OC acél számára

Film-fűtőelem

Fedőréteg