

A hőtágulási együtthatók figyelembevétele a zománcfejlesztésnél

Barta Emil Lampart Vegyipari Gépgyár RT.

Magyar Zománcipari Egyesület 14. Zománckonferenciája, 2002. április 28-30, Dobogókő

Bevezetés

Hajszálrepedések a zománcban, zománcleptatogzás, hősokk okozta tönkremenetel, - olyan fogalmak melyeket jól ismerünk, és melyek mind magukban rejtik a hőtágulási tényezőt, amennyiben megjelenésük ennek függvénye. A fent említett jelenségek mértéke a zománc összetételének és a hordozófém alkalmas megválasztásával kedvezően alakítható, ha tisztában vagyunk a köztük levő összefüggésekkel.

Az előadásban tárgyalt témákat a saválló zománcbevonattal ellátott vegyipari berendezések gyártása szemszögéből kezeltük. A levont következtetések és magállapítások más területen történő alkalmazása esetében figyelemmel kell lenni arra, hogy a zománcipar ezen szegmense lényesen különbözik a többitől. Itt vastag (8-30 mm) lemezt használunk és vastag (2 mm) zománcbevonatot alkalmazunk. Kritérium a hagyományosnál sokkal jobb kémiai ellenállóképesség (0,05 mm/év kioldás), hősokkállóság (>210°C), kopásállóság, és tökéletes pórusmentesség, hogy csak néhányat említsek.

Hőtágulási tényező

A hordozó fém tűzi zománcozásával magas hőmérsékleten történő hőkezeléssel fizikai és kémiai kötással rendelkező kompozit anyagot un. zománcozott fémet hozunk létre.

A zománc - fém kompozitot tekintve megállapítható, hogy a fém és a zománc tágulási együtthatója nem egyforma. Az anyagokat úgy kell megválasztani, hogy a fém tágulása mindig valamivel nagyobb legyen, mint a zománc tágulása. Ez tudatos választás annak érdekében, hogy a zománc a fémen minden esetben nyomófeszültség alatt legyen, ami a hajszálrepedések elkerülése végett elengedhetetlen. A hajszálrepedéseket a zománcbevonatban keletkező húzó feszültségek eredményezhetik, mivel a zománc szakítószilárdsága mintegy tízede a nyomószilárdságának. A hőtágulási tényezők ideális esetben az alábbiak szerint alakulnak:

$$a_{\text{szín zom.}} < a_{\text{alap zom.}} < a_{\text{fém}}$$

A zománcok hőtágulási tényezője a kémiai összetételből különböző faktorok segítségével becsülhető, dilatométerrel pedig mérhető. Az alapzománcok esetében figyelembe kell venni az égetések alatt beoldódó vas-oxid hőtágulásemelő hatását.

A bevonatban kialakuló feszültségek szempontjából a transzformációs pont hőmérsékletén és a maximális üzemi hőmérsékletnél mért hőtágulási tényező ismerete elengedhetetlen.

Feszültségek

Az eltérő tágulási viselkedésnek köszönhetően a bevonatban minden esetben feszültségek keletkeznek. A zománcbevonat feszültségi állapota több tényező függvénye. Alapvetően a zománc és a fém hőtágulási tényezője meghatározza a bevonatban kialakuló feszültség mértékét. A hőtágulási tényezők különbözősége miatt a zománcrétegben a beégetést követő lehűlés után nyomó-, az üzemi hőmérsékletre való felmelegítéskor pedig húzófeszültségek ébrednek. A kettő különbsége az eredő feszültség. Az eredő feszültségnek nyomó feszültségnek kell lenni, vagy ha ez húzó feszültség, kisebbnek kell lenni a zománc szakítószilárdságánál, ha azt akarjuk, hogy hajszálrepedések ne alakulhassanak ki a bevonatban. [5]

$$\sigma = \frac{E}{1 - \mu} (\alpha_v - \alpha_z) \Delta t \quad (1)$$

$$\sigma_e = \sigma_{z2} - \sigma_{z1} \quad (2)$$

ahol: E - a rugalmassági modulus
m - a Poisson féle tényező

a - a hőtágulási tényező adott hőmérsékleten

A zománcbevonatban kialakuló feszültségi viszony az égetéstechnológiai paramétereknek is függvénye. Természetesen a zománcbevonatban kialakuló feszültségeket a Pöschmann-Klotz féle feszültségvizsgáló berendezéssel közvetlenül is megmérhetjük és a műszert a fejlesztésben nagyon jól használhatjuk.

Kis rádiuszok zománczothatóságának problematikája

Kis rádiuszokon a zománcbevonat nagy tangenciális nyomófeszültség alá kerülhet, különösen nagy zománcvastagság esetén. A nagy nyomófeszültség következtében keletkező erők mintegy lenyomhatják a zománcot a rádiuszról (**1.ábra**).

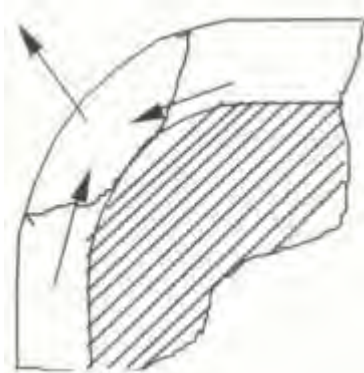
Ezért kis rádiuszokon

- a lehető legvékonyabb bevonatot szabad csak felvinni
- a zománc és az acél tágulási tényezőjét egymáshoz közelíteni kell, hogy a nyomófeszültség a lehető legkisebb legyen

Az előbbieken vázoltak alapján megállapítható, hogy a zománcban keletkező nyomófeszültségek csökkentése megoldás a kis rádiuszok zománczothatóságára, ill. a rádiuszállóság javítására.

Ennek módjai a következők lehetnek:

- olyan acélminőség választása, ahol az alkalmazott acél hőtágulási együtthatója a lehető legkisebb
- olyan zománcrendszer választása, ahol a zománcbevonat hőtágulása az acélhoz lehető legközelebbi
- olyan égetéstechnológia alkalmazása, mellyel elérhető a lehető legkisebb nyomófeszültség keletkezése
- olyan zománcfelviteli technika alkalmazása, amivel megvalósítható az egyenletesen vékony zománcréteg felvitele



1.ábra

Hősokkállóság - nyomófeszültség - hőtágulási tényező problematikája

Fontos megjegyezni, hogy a zománcbevonatban uralkodó, a technológia segítségével kialakított feszültségi viszony befolyásolja a bevonat hőlökésekkel szembeni ellenállóképességének alakulását. Kísérletekkel megállapítottuk, hogy a nyomófeszültségek csökkenésével a hősokkállóság csökken [1]. Az eredendő, hőtágulási tényezők különbözőségéből eredő nyomófeszültség a (1) egyenlet szerint a zománc és a fém közti hőtágulási tényező különbség nagyságával arányos. Az így kialakuló nyomófeszültség értéke az égetést követő hűlés szabályozásával tovább növelhető.

A fentieket figyelembe véve a nyomófeszültségek, így a zománcbevonat hősokkállósága növelhető

- a fém és a zománc hőtágulási tényező közti különbségének növelésével
- adott fém mellett a zománc hőtágulásának csökkentésével
- adott zománc mellett a fém hőtágulásának emelésével

A hőtágulási tényező - hősokkállóság - rádiuszállóság - kémiai ellenállóképesség problematikája

A zománcbevonattal ellátott vegyipari berendezések esetében számos más feltételnek meg kell felelni. Figyelemmel kell lenni, hogy a zománcipar ezen szegmense lényesen különbözik a többitől. Itt vastag (8-30 mm) lemezt használunk és vastag

(2 mm) zománcbevonatot alkalmazunk. Kritérium a hagyományosnál sokkal jobb kémiai ellenállóképesség (0,05 mm/év kioldás), hősokkállóság ($>210^{\circ}\text{C}$), kopásállóság, és tökéletes pórusmentesség, hogy csak néhányat említsék.

Egy új, az eddiginél jobb bevonat-tulajdonságokkal rendelkező zománc kifejlesztésénél sokszor kerülünk olyan helyzetbe, amikor az egyik tényező javítása a másik tényező romlását idézi elő. Ez a helyzet a rádiuszállóság javítása és a hősokkállóság javítása vagy szintentartása esetében is. A rádiuszállóság a hőtágulási tényező növelésével javítható, ez viszont a hősokkállóság romlását idézi elő.

Amennyiben sikerül egy kiváló kémiai ellenállóképességgel rendelkező összetételt találni, ennek hősokkjá is kiváló, ám rádiuszállósága veszélybe kerül. A zománc összetételének változtatása nélkül a fém hőtágulásának alkalmas megválasztásával feloldhatjuk az ellentétet. Mivel a szuper kémiai ellenállóképesség egyre alacsonyabb zománc-tágulási értékkel párosul, a fém tágulását csökkenteni ildomos a megfelelő rádiuszállóság megőrzése céljából.

Az acél jellemzői

Mikroszerkezet

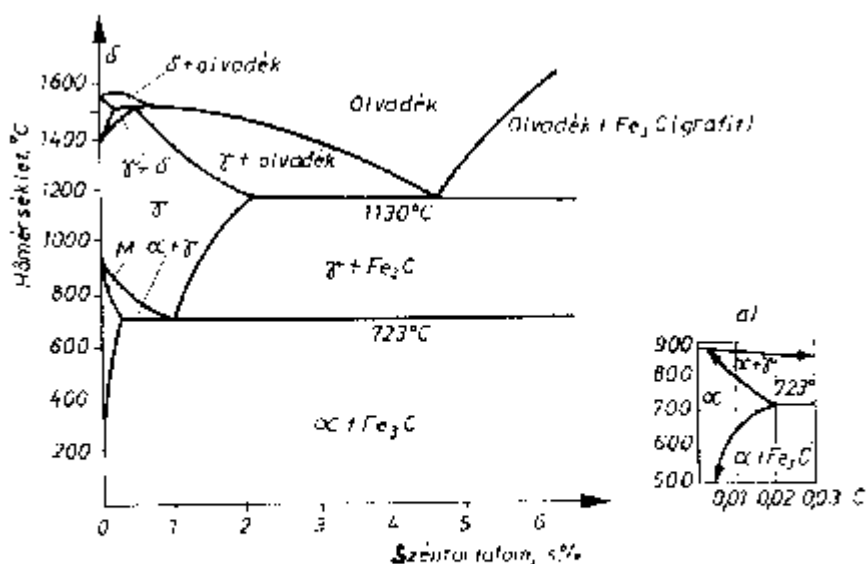
Az acél mikroszerkezetét a különböző kiválasztódott kristályfajták összessége alkotja. A mikroszerkezet függvénye a kémiai összetételnek, valamint annak, hogy a lemezt milyen hőkezelésnek vetették alá. Alapvető követelmény, hogy a lemez széntartalma a lehető legkisebb legyen.

Ha megnézzük a vas-szén állapotábrát, látható, hogy a 0,2% alatti tartományban lényegében ferrit kristályok vannak jelen. Alapvető követelmény, hogy a szövetszerkezet legyen egyenletes eloszlású, finom szemcséjű, ferrites, a szenet perlit alakban tartalmazza. [2]

Az állapotábrán látható, hogy a széntartalom függvényében $723 - 900^{\circ}\text{C}$ -között bekövetkezik az a - g átalakulás, aminek következménye hogy megváltozik a lemez hőtágulási viselkedése, ami a lemez vetemedését idézi elő. Minél kisebb a széntartalom, annál magasabb hőmérsékleten következik be ez az átalakulás. [3]

Bizonyos ötvözőelemek alkalmazásával, mint pl. a Titán, a g - területet leszűkítik, az átalakulás 906°C -on megy végbe, így a Ti ötvözött lemezek kevésbé hajlamosak deformációra

A zománciparban alkalmazott Ti ötvözött lemezeknek igen jó technológiai tulajdonságaik vannak.



A vas-szén állapotábra

a) a lemezzománcozás szempontjából érdekes része kinagyítva
A görög betűk a vas különböző módosulatait jelölik

Tágulási viselkedés

Az acél közepes köbös hőtágulási együtthatója $0-100^{\circ}\text{C}$ között általában 365×10^{-7} ,

0-500°C között 426×10^{-7} . Porter [3] szerint a köbös hőtágulási együttható zománcozott acéllemezre és a lágy acélra az egyes hőmérsékleti intervallumokban az **1.táblázat** szerint alakul. A táblázat tartalmazza a Ti-namel nevű titántartalmú zománcozott lemez tágulási adatait is [3].

1.táblázat: Hőtágulási adatok Porter szerint (irodalmi adatok)

Hőmérsékletintervallum [°C]	Köbös hőtágulási együttható α [$1/^\circ\text{C} \times 10^{-7}$]		
	Lágyacél	Zománcozott acél	Ti-ötvözött zománcozott acél
95-205	335	265	465
205-315	480	425	405
315-425	480	465	455
425-540	505	545	475
540-650	670	610	455
650-760	600	640	420
Közepes: 27-760	480	465	410

Az irodalmi adatokból látható, hogy a Ti-ötvözött lemezek közepes hőtágulási együtthatója alacsonyabb, mint a normál zománcozott lemezé. Megállapítható, hogy a teljes hőmérséklettartományban a Ti tartalmú lemez tágulási együtthatójának megoszlása sokkal egyenletesebb, így tágulási viselkedése is egyenletesebb.

Dietzel és Stegmaier [3] a normál zománcozott acél tágulását dilatométerrel mérte. Az értékeket a **2.táblázat** tartalmazza. Ábrázolva az értékeknek megfelelő nyúlási értékeket a **2.ábrán** levő görbét kapták, ami a lemez tágulásának a folyamatát írja le. Az ötvözők mennyiségének függvényében eltérések adódhatnak.

Hasonló méréseket végeztünk normál zománcozott lemezen (P235GH) és Ti-ötvözött lemezen (EH24). Továbbá felvettük egy gyártási lapon szereplő, zománcozott vegyiparigép gyártásban használatos lemez (TStE285), valamint egy Cr-Ni acél hőtágulási adatait is. Az eredményeket az említett táblázatban és ábrán láthatjuk. Az ábrán megtalálhatjuk a 2029 számú, jelenleg használatos zománcozott lemez tágulási görbéjét is.

Megállapítható, hogy a lemezek tágulási viselkedés szempontjából csaknem azonosnak mondhatók. Az EH24 titánstabilizált lemez tágulási tényezői, a vártnál kisebb mértékben térnek csak el a hagyományos acéloktól.

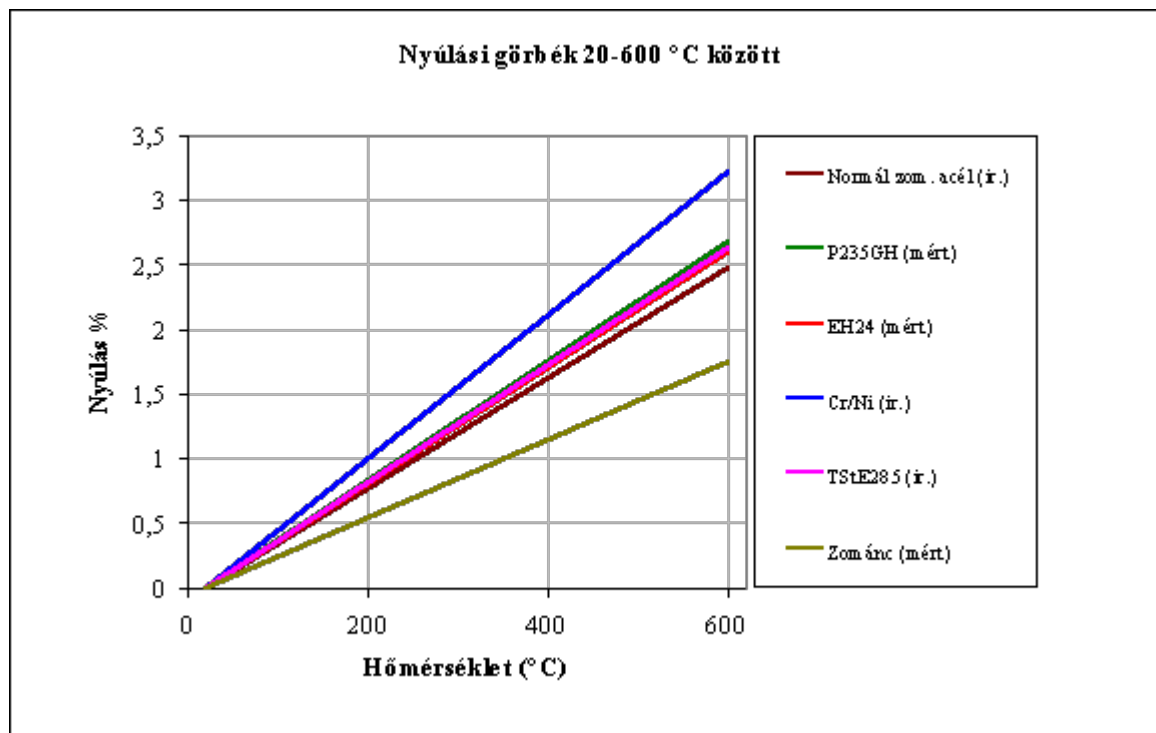
Cr-Ni acélnál, az 1.képletet alkalmazva mintegy 30% nyomófeszültségnövekedés adódik ugyanazon zománcozott acél alkalmazva. Ez egy rossz hőszigeteléssel rendelkező zománcozott acél esetében a hőszigetelés tökéletes hőmérséklet mintegy 100°C-al történő javulását idézi elő. Ha nagy a különbség a zománcozott acél és a fém tágulási tényezője között, nagy nyomófeszültség alakul ki a zománcozott acélban.

2. táblázat

Hőmérséklet intervallum (°C)	Köbös hőtágulási együttható ($\times 10^{-7} 1/^\circ\text{C}$)					
	Normál zománcozott acél Dietzel és Stegmaier szerint	P235GH (mért)	EH24Ti (mért)	Cr/Ni acél	TStE 285 Thyssen	zománcozott acél
0-100	352	295	274	480	360	
0-200	370	352	342	510	390	254
0-300	391	392	385	510	390	257
0-400	407	421	413	540	420	265
0-500	421	478	475	540	420	260
0-600	428	457	451	555	455	300
0-700	433	459	461			
0-760	428	471	466			

Az ilyen feszültség kedvező lehet, ám ha mértéke túl nagy, zománcozott acélra ill. a rádiuszokon problémákhoz vezethet. Saválló acél zománcozásánál a zománcozott acél hőtágulását közelebb kell vinni az acéléhoz, ami azt

jelenti, hogy mindenképpen magasabb hőtágulású zománcot kell erre a célra kifejleszteni, mint normál acél esetében [6].



2.ábra

Összegzés

Megállapítható, hogy a zománcok fejlesztésénél elengedhetetlen a zománc és a lemez hőtágulási viselkedésének ismerete. A két anyag megfelelő összehangolásával a minőségi követelményeknek megfelelő legideálisabb állapot érhető el. A kompozit anyagban kialakuló feszültségi viszony elemzésére létezik berendezés, de ennek hiányában is sikeres eredmény érhető el, amennyiben az említett összefüggéseket megfelelően alkalmazzuk. Nem elegendő csupán a zománc összetételének változtatása, a megfelelő eredmények eléréséhez a fémet is vizsgálni kell, a problémák komplex kezelése szükséges.

Irodalom

- [1] BARTA, E: A technológiai paraméterek hatása a vegyipari készülékek zománcbevonat tulajdonságaira, XVI Nemzetközi Zománckonferencia, Statford-upon-Avon, Anglia, 1992.
- [2] ALBERT, P: Tűzzománcozás, MK, Budapest, 1975
- [3] PETZOLD, A: Email, VEB, Berlin, 1955
- [4] PETZOLD, A - PÖSCHMAN, H: Email und Emailiertechnik, DVG, Leipzig-Stuttgart, 1992
- [5] SZÁNTAY, B: Vegyipari készülékek szerkesztése, TK, Budapest, 1966
- [6] BARTA, E: Korrózióálló acélok zománcozása, VIII. MZE konferencia, Szeged, 1996