



**MAGYAR
TŰZIHORGANYZÓK
SZERVEZETE**

Korrózió elleni védelem:

TŰZIHORGANYZÁS



**A technológia és tervezési
követelmények**

2015

Ajánlás:

Nagy örömmel ajánljuk a dokumentációt az egyetemek és főiskolák gépészmérnök, építész és építőmérnök, anyagmérnök, karbantartó mérnök hallgatóknak, de mindazoknak, akik érdeklődnek a korrózió elleni védelem felől. Nagy haszonnal forgathatják azok is, akik szakmai tevékenységük során beruházásokkal is foglalkoznak és vezetői döntéseiknél fel tudják használni a közölt információkat, az azokban foglalt korszerű szemléletmódot.

Kiadó:

A Magyar Tűzihorganyzók Szervezete
2400 Dunaújváros, Gőzmalom u. 6.
www.hhga.hu, info@hhga.hu

Tartalom:

	Oldal
1. A horgany(cink) korrózióvédelmi szerepe	1
2. A „horganyzás” szó más eljárást is jelenthet	3
3. Gazdaságos megoldás, karbantartásmentes védelemmel.....	4
4. A technológia	5
5. Tervezési követelmények.....	9
6. Szabvány és ajánlott acélminőségek.....	15

Figyelem!

Ebben a tájékoztató kiadványban megtalálható információkat a kiadó a legnagyobb gondossággal állította össze. Ugyanakkor nem vállal felelősséget a kiadvány használatából eredően bekövetkező kárért és veszteségért. A kiadványban található információk, képek bármilyen formátumú sokszorosítása csak a kiadó írásos engedélyével történhet.

A kiadvány eredeti, szűkített változata korábban nyomtatott formában is megjelent. Az tartalmazza jelen dokumentumhoz felhasznált forrásmegjelöléseket (elérhető a www.hhga.hu honlapon)

A vas (acél) legfontosabb fémünk, gazdaságossága és felhasználhatóságának lehetőségei összehasonlíthatatlanok bármely más fémmel. Mechanikai tulajdonságai a legszélesebb alkalmazási spektrumot biztosítanak számára, és ipari jelentőségét tekintve, lényegében egy olyan tulajdonsága van, amely nehézséget jelent, ez pedig, a vas korrózióra való hajlama.

A korrózióálló acélok alkalmazása – főként gazdaságossági kérdések miatt – erősen korlátozott, ezért a tömegacélok nagytömegű védelmére különféle védő eljárásokat fejlesztettek ki. Ezek lehetnek „aktív” és „passzív” védelmi megoldások. Aktív védelem lehet például elektrokémiai védelem, megfelelő konstrukciós kialakítások, stb., míg a passzív eljárások között legfontosabb technikákat a különféle fémes és nemfémes bevonatok jelentik. A fémes bevonatok között a cink (horgany) fém alkalmazása vezető szerepet tölt be.

1.1 A bevonat korróziós ellenállása

A tűzhorganyzás egy sokoldalú védelmi eljárás, melynek segítségével kiváló korróziós, fizikai és mechanikai tulajdonságokkal rendelkező fémbevonatot visznek fel az acél (öntöttvas) tárgyak felületére. A bevonat korrózióálló, ütésálló, hőálló és a legtöbb vegyi hatásnak is ellenáll.

Szellőztetett belső terekben (száraz, nedves)	A legtöbb fajtában (szakember tanácsát kell kikérni)
Atmoszférikus igénybevételnél, a legtöbb korróziós osztályban	Sok fémrel kapcsolatban (amennyiben nincs jelen állandó nedvesség)
Víz alatti korróziós hatásoknál, 60°C-ig	Általában maximum 200 °C hőmérsékletig
A legtöbb földfajtnál (itt szakember tanácsát ki kell kérni)	Vegyi hatások esetén (szakember tanácsát kell kikérni)

1. táblázat: A tűzhorganyzás javasolt alkalmazási területei

A horganybevonatok rendeltetése a korrózió elleni védelem, mely kisebb-nagyobb mechanikai igénybevétellel is párosul. Az **1. számú táblázatból** látszik, hogy a horganybevonatokat nem csak légköri igénybevétel esetében lehet használni, hanem egyéb más területeken is eredményesen alkalmazható. Korrózió elleni védelemre szolgáló bevonatok tervezésénél is, mint minden esetben, a végleges döntés előtt meg kell vizsgálni, hogy az adott területen alkalmas-e a tűzhorgany bevonat a korróziós igénybevételek ellen. A tűzhorganyzás nem alkalmas savas (pH<5,5), vagy erősen lúgos (pH>12,5) közegekkel szemben, a magasabb hőmérsékletet (200 °C felett) tartósan nem bírja, érzékeny a nagyon lágy vízre. Viszont problémamentesen alkalmazható például nagyon sok szerves anyaggal szemben. Felhasználása a legtöbb építőanyaggal együttesen nem jelent problémát, de a magas nedvességtartalmú speciális fajtáknál már nem ajánlható, vagy például savas kémhatású talajoknál csak járulékos védőintézkedések mellett alkalmazható. Klasszikus alkalmazási területei az atmoszférikus igénybevételek.

1.1.1 A tűzhorgany bevonatok korróziós élettartama

Több évtizedes tapasztalatok alapján különféle táblázatokban és grafikonokon lettek összefoglalva a horganybevonatokra vonatkozó korróziós ráták (EN ISO 14 713-1:2009).

Kód	Korrózivitási kategória	Korróziós igénybevétel	Korróziós sebesség (µm/év)
C1	Beltérre és kültérre egyaránt: részletesen a szabványban	Nagyon kicsi	≤ 0,1
C2	Beltérre és kültérre egyaránt: részletesen a szabványban	Kicsi	0,1 < r _{corr} ≤ 0,7
C3	Beltérre és kültérre egyaránt: részletesen a szabványban	Közepes	0,7 < r _{corr} ≤ 2,0
C4	Beltérre és kültérre egyaránt: részletesen a szabványban	Nagy	2,0 < r _{corr} ≤ 4,0
C5	Beltérre és kültérre egyaránt: részletesen a szabványban	Nagyon nagy	4,0 < r _{corr} ≤ 8,0
CX	Beltérre és kültérre egyaránt: részletesen a szabványban	Extrém	8,0 < r _{corr} ≤ 25

2. táblázat: Korróziós mutatók különböző klímákban

A vizsgálatok során az egyes korróziós klímákat többféle kategóriába sorolták. Minden egyes klímátípusban kellő mennyiségű vizsgálatot végeztek el annak érdekében, hogy a korrózióvédelmi tervezéshez jól felhasználható adatsorokat nyerjenek (**2. táblázat**). A közölt adatok a jelenleg aktuális értékeket mutatják, azonban a légköri szennyezés csökkenése/növekedése esetén, hosszabb távon felülvizsgálják a megadott mutatókat.

Európában az elmúlt évtizedekben jelentősen csökkent az ipari üzemek és az energiatermelő ipar természeti környezetünket érintő szennyezése és ez pozitív hatással volt a cink védelmi időtartamára is. Ennek következtében a cink korróziós élettartama ma lényegesen hosszabb, mint 20-30 évvel ezelőtt. Több tudományos kutatás szerint bebizonyosodott, hogy a savas esőért leginkább felelős kén-dioxid kibocsátás csökkenésével arányosan egyre alacsonyabb a cink korróziójának sebessége is. Európában egyre csökkenő környezetszennyezés miatt a cink mind hosszabb korróziós élettartamával kell számolni. A cink védelmi időtartama azt jelenti, hogy ezen időtáv alatt a horganyréteg biztosítja az alapfém (acél) korrózió mentességét (**1. ábra**). Amikor a horganyréteg korrodálódik, a felületén főleg bázikus cink-karbonátokból álló védőréteg (cinkpatina) alakul ki. Ez rendkívül tartós és vízben csak nagyon nehezen oldódik. Az oxidáció miatt a bevonat gyorsan elveszti eredetileg ezüstös-fényes színezetét, s az így kialakuló horganyréteg világosabb, vagy sötétebb szürke színű lesz. Egyes esetekben előfordulhat, hogy a vas-cink ötvözetű rétegek felületén vöröses-barna elszíneződés alakul ki, mely alatt általában még jelentős horganyréteg van, ez továbbra is védi az alapfémeket a korróziótól. Amennyiben meg kell győződni a horganybevonat vastagságáról, méréseket kell végrehajtani, és ha a mért vastagsági értékek 30 µm alá esnek, célszerű a bevonat

karbantartásáról gondoskodni (újrahorganyzás, festés).

$$T_{\text{véd. (év)}} = \frac{Zn_B - Zn_{\text{Min}}}{V_F}$$

Zn_B = Kiinduló bevonatvastagság (μm)
 Zn_{min} = Minimális bevonat vastagság a felhasználás során (μm)
 V_F = Átlagos bevonat fogyás ($\mu\text{m/év}$)
 $T_{\text{véd. (év)}}$ = Várható védelmi időtartam

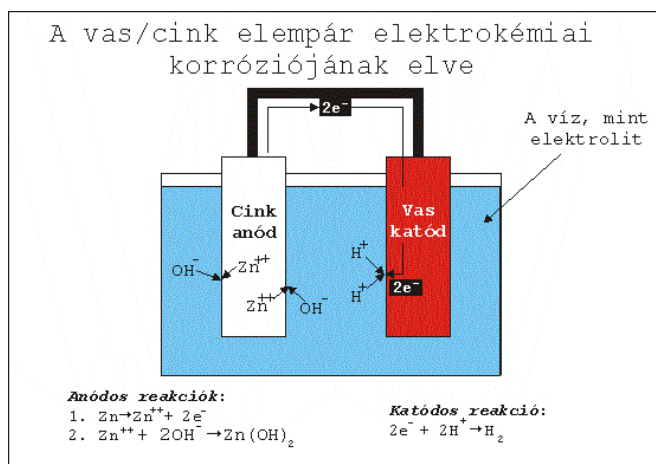
1. ábra: A várható védelmi időtartam számítása

Ma a legtöbb európai országban az átlagos cinkvesztés jelentősen $1,0-1,5 \mu\text{m/év}$ alatt van. A tűzhorganyzás által elérhető bevonatvastagság gyakorlatilag $50-150 \mu\text{m}$ közötti, emiatt hosszú évtizedekre megoldott korrózió elleni védelemmel lehet számolni.

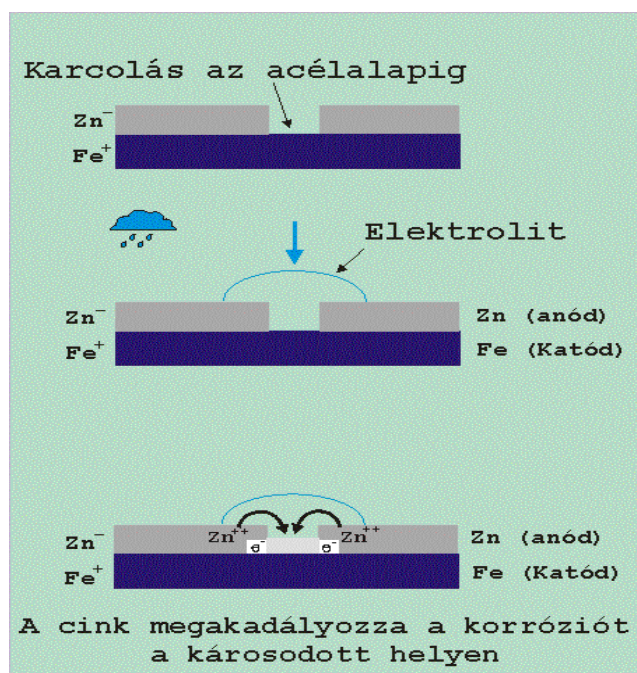
1.1.2 A cink katódosan védi az acélt

A különféle acélszerkezetek szállításakor, tárolásakor és szerelésük nagy jelentősége van a bevonat mechanikai tulajdonságainak. A horganybevonat tulajdonságai kiválóak, ám óhatatlanul előfordulnak kisebb sérülések a fémrétegen. Ilyenkor, kisebb sérülések esetében további védelmet jelent a cink katódos védőhatása.

A Zn (-763 mV) és Fe (-440 mV) a fémek elektrokémiai potenciál sorában elfoglalt helyük miatt kedvező helyzetet teremtenek, amennyiben a horganyréteget olyan sérülés éri, hogy az a bevonatot károsítva az alapfémig hatol. Ilyenkor ugyanis elektrolit jelenlétében (az elektrokémiai korróziót lehetővé tevő nedvesség), a cink fog korrodálódni és korróziós termékei eltömítik a kisebb sérüléseket, ezáltal megvédi az acélalapot a korróziótól. Az elektrokémiai korrózió a legjellemzőbb korróziófajta, mellyel szinte mindenhol találkozunk. A Fe/Zn korróziós elempárnál a cink (Zn) lesz az anód (oldódó pólus), mely Zn-ionok keletkezésével oldatba megy, míg a vas (katód) más a vasat legtöbbször nem károsító folyamatok játszódnak le. Ez mindaddig folyik, ameddig a cink jelen van a sérülés környezetében (2-3. ábra).



2. ábra: Az elektrokémiai védelem



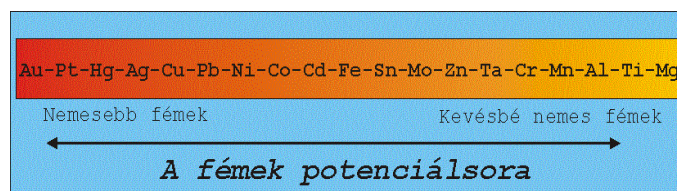
3. ábra: A cink katódos védőhatása

A cink katódos védőhatása kb. 60°C hőmérsékletig biztosítja a katódos védelmet. E felett megfordul a polaritás és már nem a cink, hanem a vas lesz az áldozati anód. Hőcserélők, magasabb hőmérsékleten működő szerkezetek, tartályok esetén célszerű figyelembe venni a cink katódos védőhatására vonatkozó szempontokat.

A katódos védelem jelentőségét túlbecsülni azonban nem szabad. A gyakorlati életben $2-3 \text{ mm}$ -nél nagyobb „hatótávolsággal” nem lehet számolni. A katódos védelem erősen függ a korróziós közeg jellemzőitől is. Egy-egy sérülés hossza helyett annak szélessége a legfontosabb jellemző.

1.1.3 Az elektrokémiai korrózió lehetőségét ki kell zárni

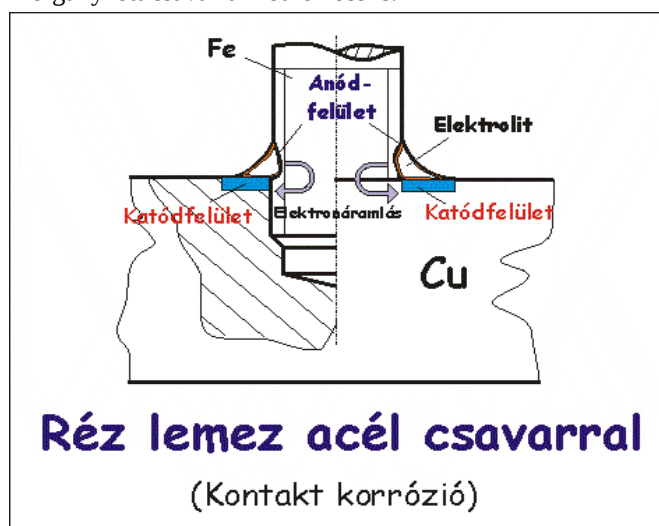
A gyakorlati életben többször előfordul, hogy különböző fémeket kell valamilyen kapcsolattal egy szerkezetté egyesíteni. Ebben az esetben, ha az eltérő minőségű fémek között fémes kapcsolat van, és elektrolit (pl. víz) van jelen, akkor elektrokémiai, vagy más néven kontakt-korrózió léphet fel. A korrózió elmélete szerint ugyanis az eltérő anyagi minőségű fémek ugyanazon körülmények között eltérő mértékben korrodálódnak, a nemesebb fémek korróziós tönkremenetele kisebb sebességű, mint a kevésbé nemes fémeké. Ezt az egyes fémek eltérő elektródpotenciálja (4. ábra) okozza.



4. ábra: A fémek potenciálsora

Amennyiben két fém fémesen összeépítésre kerül és elektrolit van jelen, akkor a két eltérő fém közötti kontakt-korrózió miatt megváltozik a külön-külön észlelhető korróziójuk. A fémes érintkezés miatt a nemesebb fém korróziója csökken, míg a kevésbé nemesé növekszik. Ennek oka, hogy a korrózió

„cellában” a nemesebb fém lesz a katód, ahol a katódos redukció zajlik, míg a kevésbé nemes fém lesz az anód, ahol az oxidációs folyamatok folynak (a fém ionos formában oldódik). A nemesebb fém korróziója csökken, vagy teljesen meg is szűnhet, míg a kevésbé nemesé nő. Ezt tapasztaljuk például, ha réz lemezt vas (szénacél) csavarokkal kötünk össze. A csavarok rövid időn belül károsodást szenvednek (5. ábra). De hasonló jelenség játszódik le, ha korrózióálló acéllemezeket horganyzott csavarral kötnek össze.



5. ábra: Kontakt korrózió vas és réz között

A kontakt korrózió megelőzésére, illetve a károk csökkentésére az alábbi módszerek használatosak:

- o Azonos fémek, ötvözetek összeépítése.
- o Olyan fémek (ötvözetek) összeépítése, melyeknél csak kis potenciálkülönbség lép fel.
- o A kevésbé nemes fémek felületei nagyok legyenek a nemes fém felületéhez képest.
- o A kevésbé nemes fém falvastagsága lényegesen nagyobb legyen.

2. A „horganyzás” szó más eljárást is jelenthet

Horgannyal történő bevonáshoz, több védelmi megoldás lehetséges.

Így a

- o tűzi-mártó horganyzás (folyamatos és szakaszos)
- o elektrolitikus (galván) horganyzás
- o termikus fémszórás horgannyal
- o fémbevonatok horganypor, vagy lemez felhasználásával (sherardizálás, mechanikus plattírozás)

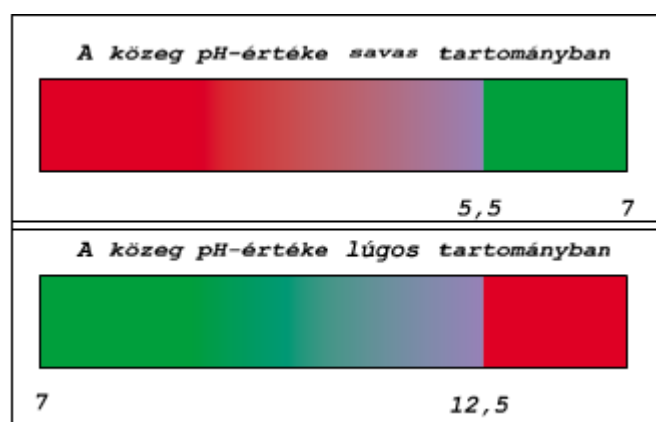
A fentiek alapján látszik, hogy a „horganyzás” szó többféle védelmi lehetőséget takar, ezért tisztában kell lenni a szakembereknek az egyes technikák adta lehetőségekkel.

A korrózió ellen védő bevonatoknál döntő jelentősége van a védőréteg vastagságának és tapadásának. Tehát a megfelelő eljárás kiválasztásánál a várható védőbevonat vastagságokat feltétlenül figyelembe kell venni (3. táblázat). **Légköri korróziós igénybevételnél a horganybevonat vastagsága legalább 50 μm legyen!** Ennek megfelelően kell kiválasztani a megfelelő horganyzási technológiát.

- o A két fém tökéletes – fémes érintkezés nélküli – elszigetelése egymástól.
- o Egyik fémen egy megfelelő fémből készített, vagy festék bevonat alkalmazása, vagy mindkét fém bevonása, azaz elszigetelése az elektrolittól.

1.1.4 A tűzihorgany bevonat viselkedése savas és lúgos folyadékokban

A savas és lúgos közegek erősségét ún. pH-értékkel fejezik ki. Az alacsony pH-értékek savas, míg a magasak lúgos kémhatásra utalnak. A semleges pH-érték 7. A tűzihorganyzott szerkezetek használata savas közegekben 5,5 pH-értékig lehetséges, ez alatt egyre erősebben oldódik a cink, alkalmazása önálló bevonatként nem ajánlható (6. ábra).



6. ábra: A cink viselkedése savas és lúgos tartományokban

A horganybevonatok lúgos közegekkel szemben sokkal tartósabbak, mint a savakkal szemben. 12,5 pH-értékig tartósak, csak e felett lehet számítani a bevonat károsodására. A savas, illetve lúgos közegben történő alkalmazás esetében tanácsos kikérni szakember véleményét, mert más tényezők is befolyásolják a horgany viselkedését.

Eljárás megnevezése	Van-e ötvözetű réteg	Szokásos bevonat vastagság (μm)
Darabáru tűzihorganyzás (szakaszos tűzihorganyzás)	van	50- 150
Lemez horganyzás (folyamatos tűzihorganyzás)	van	15-40
Huzal horganyzás (tűzi)	van	5-30
Termikus fémszórás	nincs	80-150
Elektrolitikus horganyzás (galvanizálás)	nincs	5-25
Sherardírozás	van	15-25
Plattírozás	nincs	10-20

3. táblázat: Különböző horganyzási technikák összehasonlítása

A bevonatok vastagsága mellett fontos még a bevonatok szerkezete is. Egyes bevonatok (tűzi+sherardírozás) tömör, ötvözetű rétegekből is állnak és így is kötődnek a vasalaphoz. A fémszórás esetében viszont porózus bevonati szerkezettel kell számolni, mely réteget utólagosan még el kell tömíteni.

3. Gazdaságos megoldás, karbantartásmentes védelemmel

3.1 Korrózióvédelmi eljárás kiválasztásának gazdasági kérdései

Egy vállalat működtetése, vagy egy jövőbeni sikeres beruházás esetén a tulajdonosokat kivétel nélkül egy cél vezérli, a profitmaximalizálás, azaz a lehető legnagyobb üzleti nettó nyereség elérése, mégpedig hosszú időtávon keresztül. Ennek érdekében olyan hatékony befektetésre törekednek, melynek során egységnyi befektetett tőkéjükre – az adott befektetési területen – a lehetséges maximális hozamot érik el, közben az ezzel kapcsolatos kockázatokat minimalizálni igyekeznek. Célfüggvényeik tehát:

Hozam → maximalizálás

Kockázat → minimalizálás

Ennek a szemléletnek igaznak kell lenni a gazdaságban működő valamennyi szereplőre, a gyártóra, kereskedőre, szolgáltatóra, bankra, stb., így a beruházókra. Egy-egy befektetés előtt a beruházó alapos elemzésének kell megelőzni a végleges döntését. Ez tőkebefektetés esetén annyit jelent, hogy gazdasági elemzésekkel értékeli a lehetséges döntési alternatívákat, majd kiválasztja a számára még elfogadható kockázattal járó és egyben a legnagyobb hozamot ígérő befektetést. Ilyen инвестиció lehet például egy új autógyár építése, áruházak felépítése, vagy éppen egy gyártócsarnok építése, esetleg mezőgazdasági létesítmény beruházása. Az egyes befektetési lehetőségek értékelése során a kockázat minimalizálás és a hozammaximalizálás céljai mindig kéz a kézben járnak.

Ugyanez a megközelítés igaz példaképpen, amikor egy újonnan épülő acél csarnokszerkezet korrozíó elleni védelmét vizsgáljuk. Ez is egy költséges és alapos elemzést igénylő befektetés. Itt a kockázatot a védelmi eljárás minősége és tartóssága, míg a hozamot a védelem költségeiből történő megtakarítás fogja jelenteni. A befektetést pedig, a kiválasztott korrozíóvédelmi eljárás létrehozásához és az üzemelés alatti fenntartásához szükséges pénzráfordítások fogják képezni.

Alternatív korrozíóvédelmi technológiák gazdaságosságának értékelése

A példa lerövidítése érdekében a korrozíóvédelmi technológia kiválasztását már megelőzte több másik döntés (pl. hogy a befektető nem részvényekbe, hanem ipari termelésbe fektet be hosszú távra, és az, hogy acélszerkezetű csarnokot épít, nem pedig vasbetonból, vagy más szerkezetből készíteni azt). A megvalósításra kerülő csarnokszerkezet esetében alapvető célunk az lesz, hogy a védőbevonat (bevonatrendszer) a beruházás működésének teljes időtartamára biztosítsa az acélszerkezet megbízható védelmét, az üzemelés során, de annak megszűnte után sem jelenthet a még elfogadhatónál nagyobb kockázatot környezetére. Ennek a célnak számos védelmi eljárás megfelel, melyet a szakértők ajánlanak számunkra. Ezekből ki lehet választani azokat, melyek az alapcélnak megfelelnek, így ezek a technológiák lesznek a lehetséges alternatívák, melyeket gazdaságilag értékelni kell. Így lényegében már eleget tettünk legfontosabb kockázat minimalizálási célunknak (az előre nem tervezhető korrozíós hatások és üzemeltetési bizonytalanságok adják a maradék

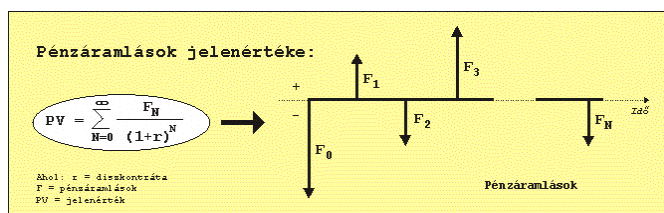
kockázatokat). Egy acélszerkezetnél komoly költségeket jelentenek a korrozíóvédelemre fordított összegek. Tehát a még „versenyben maradt”, jónak értékelt technológiák közül kell kiválasztani a legjobbat, mely nemcsak képességeivel, hanem létrehozásának és fenntartásának költségeivel is a leghatékonyabban fogja szolgálni a beruházás teljes élettartama alatti profitmaximalizálási célt. A kiválasztás annyiból áll, hogy a létesítmény tervezett élettartama során a legkisebb költséggel megvalósítható, működtethető és megszüntethető megoldást (a beruházó számára legpozitívabb pénzáramlásokat eredményezőt) kell választanunk. A korrozíó elleni védelmet tervező szakember célfüggvénye tehát:

Élettartam költség_{kor} → minimum

Egy-egy termelő beruházás, vagy más összetett tevékenység gazdasági értékelése természetesen bonyolult feladat, azonban esetünkben lényegesen könnyebb a helyzetünk, mert csak az általunk még versenyben tartott alternatív korrozíóvédelmi technológiákkal tervezett acélszerkezetes épület kivitelezéséhez és fenntartásához szükséges jövőbeni pénzáramlásait kell összehasonlítani. Ez viszonylag egyszerűen megtervezhető pénzkifizetés-pénzbevétel sorozatot jelent. Általános esetben egy acélszerkezetes csarnok „élete” során a következő legfontosabb pénz kifizetésekkel és bevételekkel (előjeles pénzáramlásokkal) lehet kalkulálni.

- Tervezés költségei (-)
- Acélszerkezet gyártás költségei (-)
- Acélszerkezet szerelés költségei (-)
- Első korrozíóvédelem költségei (-)
- A védelem fenntartásának költségei (felújítások) (-)
- Rendkívüli károsodások költségei (havária költségek) (-)
- A szerkezet elbontása és megsemmisítése pénzügyi hatásai, vagy maradványértékből származó bevételek (-), vagy (+)

Mivel a „feladat végrehajtása” során nem keletkeznek bevételek, ezért ezekkel nem is lehet számolni. Lényegében csak kifizetések (negatív előjeles pénzáramlások) lesznek (az esetleges maradványérték kivételével, mert ez pozitív lehet). A tervezett beruházás élettartama során – mely akár több évtized is lehet – fontos szempont az időtényező, mely pénzünk értékének változásában, a banki kamatok hatásaiban stb. nyilvánul meg. A fentiek figyelembe vétele érdekében a „jelenérték-számítás” (PV: Present Value) módszereit alkalmazzuk. Segítségével a jövőben várhatóan fellépő pénzáramlásokat a jelenbe vetítve (mintha most lépnének fel) összehasonlítjuk az egyes korrozíóvédelmi lehetőségek (mint alternatívák) kapott eredményeit (7. ábra).



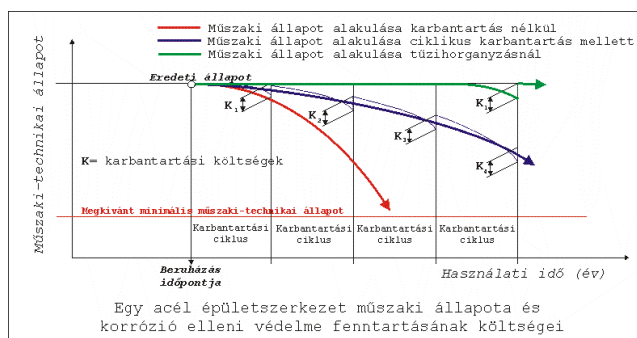
7. ábra: Gazdasági elemzés jelenérték (PV) számítással

A számítási módszer részletesebb bemutatását elhanyagolva könnyen belátható, hogy a számunkra legkedvezőbb jelenértékű alternatíva (legpozitívabb, vagy esetünkben a legkevésbé negatív) fogja adni a korrózióvédelemben a várhatóan legjobb befektetést. Gyakorlatban az ún. nettó-jelenérték számítás (NPV: Net Present Value) javasoljuk, amikor a kezdeti (első) beruházás költségeiből (-) levonjuk a pozitív jövőbeni pénzáramlásokat (+), illetőleg esetünkben hozzáadjuk a jövőbeni negatív pénzáramlásokat (pl. felújítások költségei) jelenértékeit. Ezt minden korrózióvédelmi lehetőségre elvégezve az összes alternatíva közül most már a számunkra legkedvezőbb eredménnyel járó megoldást tudjuk kiválasztani.

Tehát nagyon lényeges szempont, hogy egy korrózióvédelem költsége nem csak az első védelem költségéből áll, hanem a védelem fenntartására fordított pénzeszközök is nagyban befolyásolják az adott befektetés (korrózióvédelem) gazdaságosságát. Gyakorlati számítások szerint egy 25 év élettartamú projekt esetében 60-100 %-kal nagyobb költségek adódnak egy festett acélszerkezetek esetében – amennyiben gondoskodnak a szükséges felújításokról –, mintha a tűzhorganyzást választották volna.

3.2 „Karbantartásmentes” védelem tűzhorganyzással

A fentiek alapján a tűzhorganyzás – a horganyréteg tulajdonságaiból adódóan – akár évtizedeken keresztül felújítás nélkül ellátja feladatát (8. ábra).



8. ábra: Egy átlagos épület acélszerkezet karbantartási költségeinek alakulása a felhasználás során

A tűzhorganyzott acélszerkezetek általában több évtizedig karbantartás nélkül használhatók. A bevonat tervezésénél a megfelelő irányelveket (MSZ EN ISO 14713) kell figyelembe venni. Ezek alapján előírható a horganybevonat minimális vastagsága. Természetesen nem lehet figyelmen kívül hagyni a technológiai adottságokat (MSZ EN ISO: 1461). Acélszerkezeteknél egy tűzhorgany bevonatot akkor lehet „felújítandó”-nak tekinteni, amennyiben a mért vastagsági értékei elérik a 25-30 μm -t. Ekkor vagy ismételt horganyzása szükséges a szerkezetnek, vagy megfelelő felülettisztítás után festékréteg(ek) felhordásával a kiváló védelmet nyújtó ún. DUPLEX-rendszerhez jutunk, melynek élettartama további jelentős védelmi tartalékot jelent.

4. A technológia

4.1 Az eljárás elve

A tűzhorganyzási technológia során a bevonandó acéltermékek felületén többfázisú, termodiffúziós horganyréteg alakul ki, mely kohéziós kapcsolattal kötődik a fémalaphoz. Tűzhorganyozhatóak az ötvözetlen, vagy gyengén ötvözött acélok és öntöttvasak. A tényleges tűzhorganyzás folyamata az elsősorban cinkből álló fémolvadékban játszódik le, a bevonat pedig, a szilárd (vas)és folyékony(horgany) fémfázisok közötti heterogén reakció eredménye (9. ábra).



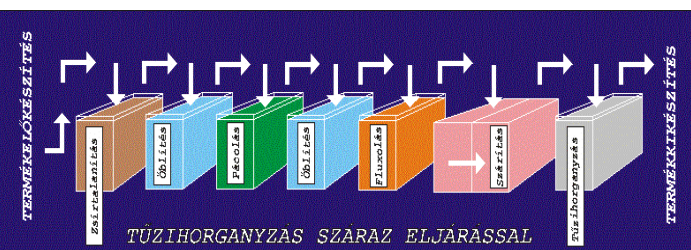
9. ábra: A horganybevonat szerkezete

Ahhoz, hogy ez a reakció le tudjon játszódni, fémtiszta felületet kell biztosítani a bevonandó terméknek. Ennek érdekében a horganyzókád előtt olyan technológiai lépéseket kell elhelyezni, hogy azok maradéktalanul biztosítsák majd a megkívánt felületi tisztaságot. Az acéltermékek gyártásuk során különféle technológiai műveleteken, raktározáson, szállításon mennek keresztül. E megmunkálások alatt a termékek felületei szennyeződnek, azaz különféle salakok (hegesztés), oxidok (hőkezelés, lángvágás), zsírok és olajok (kenőanyagok,

átmeneti korrózióvédelem) és egyéb szennyeződések(festék, kátrány stb.) kerülhetnek a munkadarabok felületére. Ezek a nemkívánatos maradványok megakadályozzák, hogy a bevonat képződése végbemenjen, ezért el kell őket távolítani a felületekről (felületelőkészítés). Ahol nem képződik ötvözetű réteg, ott nem alakul ki megfelelő minőségű bevonat sem.

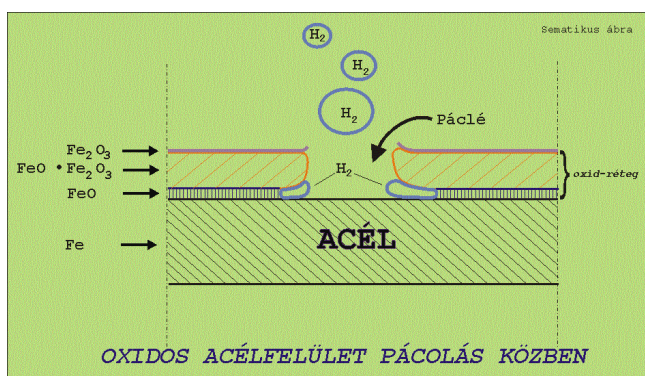
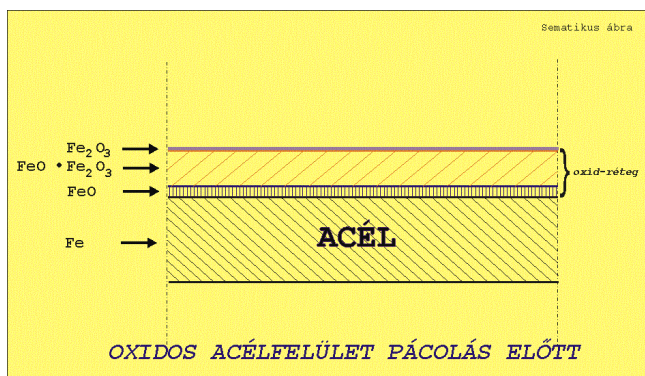
4.2 A technológia lépései

Az eljárás lépéseit 10. ábra mutatja be.



10. ábra: A száraz eljárás folyamata

A megfelelő felületelőkészítés első lépése a zsírtalanítás, melynek eredményeképpen az oxidrétegek szabaddá válnak, s így zsírtalanítást követően ásványi savakban majd tökéletesen el lehet őket távolítani. Mivel a zsírtalanítás alatt az emulgeált zsírok olajok a zsírtalanító fürdőben, vagy azok felszínén vannak, ezért a zsírtalanító fürdőből történő kiemelés után megfelelő öblítésnek kell alávetni a munkadarabokat. Ez azért szükséges, hogy a pácoló (savas) kádaknak a tisztaságát megőrizzék.



11. ábra: Az oxidmentesítés folyamata

- o A pácolás (oxidmentesítés) során a munkadarabok felületére tapadt vasoxidokat kell eltávolítani. A pácolódás folyamata alatt a különféle formájú vas-oxidok (FeO , Fe_2O_3 , $\text{FeO} \cdot x\text{Fe}_2\text{O}_3$) kémiai úton feloldódnak és belőlük vas-klorid keletkezik, a 11. ábra szerint. A folyamat eredményeképpen kialakuló fémtiszta felület már alkalmas a következő műveleti fázisok végrehajtására.
- o A pácolást mindig egy *hidegvizes öblítés* követi annak érdekében, hogy a pácmaradékok és iszapok ne kerüljenek tovább, mint szennyező anyag.
- o Ezt követi *flux-fürdő* (folyasztó szer), amely lényegében cink-klorid és ammónium-klorid sók oldata, különféle adalékokkal, melyek elősegítik a felület nedvesítését, illetve a sóréteg tapadását. A flux só elsődleges feladata, hogy amikor a munkadarabot a fémolvadékba merítik, a flux só elégeésekor (szublimáció) még egy utólagos felülettisztítást ad a termékek felületének. Annak érdekében, hogy a flux só a felületre rá tudjon száradni, illetve előmelegítsék a munkadarabokat, a horganyzandó termékeket horganyzás előtt szárító kemencébe helyezik.
- o A szárítás során a termékeket kb. 120–140 °C-os levegőáramban mintegy 15-30 percig szárítják. Itt részben előmelegítik, részben pedig megszáritják a darabokat.
- o A szárítást követi maga a *tűzhorganyzás*. A műveletnél bemelegítéskor, a kb. 450–455 °C hőmérsékletű fémolvadék felszínén a flux só füstképződés mellett szublimál, és közben egy utólagos felülettisztítást ad a termékeknek. Amikor a munkadarabok a fémolvadék felszíne alá kerültek, ott egy kétirányú diffúzió eredményeképpen kialakul a tűzhorgany bevonat ötvözet rész, mely kohéziós kapcsolattal kötődik a vas(acél) alapfémhez.
- o Miután a fémolvadékban a munkadarab teljes keresztmetszete átvette a bevonó fém hőmérsékletét, a fürdő tetejéről

a salakot eltávolítják, és a fémtükörön keresztül kiemelik a darabokat, az ötvözet-rétegekre egy tiszta horganyfilm rakódik. A kiemelés közben eltávolítják a felesleges cseppeket, majd a kikészítés folyamata következik, ahol a felületre tapadt szennyeződésektől, fémmaradványoktól szabadítják meg a kész munkadarabokat.

- o E műveletet követi a *csomagolás*, majd a *kiszállítás*, vagy *raktározás*.

4.3 Apró termékek és kötőelemek tűzhorganyzása

Mivel az egyes horganyzási eljárások eredményeképpen más-más tulajdonságokkal rendelkező bevonatok jönnek létre, ezért helyesen kell megválasztani a kötőelemek korrózióvédelmi technológiáját, azaz olyan csavarkészleteket kell alkalmazni, melyeken megfelelő vastagságú és ellenálló képességű a horganyréteg.

A tűzhorganyzás elsődleges rendeltetése korrózió elleni védelem, melynek hatékonysága, időtállósága szorosan összefügg a kötőelemeken levő bevonat vastagságával. A tűzhorganyzott acélszerkezeteken kialakított bevonatok vastagsága szokásosan 50-150 μm , ezért a teljes acélszerkezet egységes korrózióvédelmi képességének fenntartása érdekében olyan legyen a kisméretű kiegészítő elemeken (pl. fittingeken, csapokon), csavaranyákon, menetes orsókön, vagy az alátéteken a védőfém réteg vastagsága, hogy minél jobban illeszkedjen az objektum többi elemén levő bevonat vastagságához. A tűzhorganyzott és galvanikusan horganyzott elemeknek védőrétegei nem csak vastagságukban térnek el, hanem a bevonó réteg egyéb paramétereiben is (4. táblázat).

Jellemző	Tűzhorganyzott	Galvanikusan horganyzott
Bevonat vastagsága	50-150 μm	5-20 μm
Felület	matt	fényes
Színezet	világos v. sötétebb szürke	ezüstös v. kromátozott (pl. sárgás)
Bevonat tapadása	jó	jó
Zn és Fe-Zn ötvözet	van	tiszta Zn

4. táblázat: Különböző horganybevonatok összehasonlítása

Legtöbbször a beszerzés pillanatában már szemmel is meg lehet különböztetni a tűzhorganyzással és az elektrolitikus horganyzással készített csavarokat, ugyanis az utóbbiak legtöbbször színezetükkel, megjelenésükkel is észrevehetően eltérnek. Ha a termékek felhasználása során erősebb fizikai és korróziós igénybevételek lépnek fel (mindenféle kültéri klíma, vízkorrózió, talajkorrózió stb.) mindenképpen javasoljuk a *tűzhorganyzott kötőelemek* használatát a gyors korróziós károk megelőzése érdekében.

4.3.1 Az apró termékek és kötőelemek tűzhorganyzási technológiája

Csavaroknál az eljárásból adódóan olyan intézkedések szükségesek, melyek a horganyzási folyamat lépéseinél fellépő kockázatokat megszüntetik. Mint tudjuk a kötőelemek szilárd-

sági tulajdonságai tekintetében szigorú előírások vannak. A fémbevonást megelőzően, a savakban történő pácolási folyamat során, főleg a magasabb szilárdságú acéloknál felléphet a hidrogéndiffúzió okozta elridegedés veszélye, mely a kötőelemek esetében is potenciális veszélyforrás lehet a felhasználás során fellépő repedések, törések veszélyét illetően. Ehhez a kockázathoz adódik hozzá a fémbevonás hőmérsékletének hatása, mely normál hőfokon kb. 450 °C, míg magas hőmérsékletű bevonásnál 530–560 °C között van. A kész csavaroknak a szabványokban rögzített szilárdsági tulajdonságainak garanciája (MSZ EN ISO 898) érdekében pontosan szabályozottak a tűzihorganyzási technológia lépései. Tűzihorganyzott kivitelre a technológia sajátosságaiból adódóan M6 – M36 csavar- méretek között vannak szabványos előírások (EN ISO 10684:2004). A méretre gyártott csavarokat lényegileg ugyanolyan technológiai kezelésnek vetik alá, mint az acélszerkezeteket. Mivel az apró kötőelemeket nem lehet egyenként szerszámokra felrögzíteni ezért, azokat egy-egy adagban, ömlesztve perforált kosárba (üríthető dobba) helyezik és a felület előkészítés (zsírtalanítástól a folyasztószeres kezeléssel bezárólag) ezekben történik. Ezt követi a szárítás, amely előtt egy-egy kisebb adagot acélból készített perforált, hengeres kosarakba öntenek. A kb. 70–90 °C-ra szárított apróterméket egy speciális emelő berendezéssel a horganyolvadékba helyezik, a szükséges ideig a fémfürdőben tartják, majd a megtisztított olvadéktükrön keresztül kiemelik a fürdőből és egy védett kosárban centrifugálják, vagy egy a horganyolvadék mellett elhelyezett centrifugába helyezik és abban kezelik az aprótermékeket. Itt a még folyékony fémrészeket eltávolítják a kötőelemek, vagy más apró munkadarabok felületéről, majd hűtővízben lehűtik az adagot. Ezt követően tisztítják, válogatják és csomagolják a darabokat. Csavaranyák tűzihorganyzása viszont némileg eltér az előzőektől, ugyanis az anyacsavarokba a belső menetet csak a tűzihorganyzást követően, nagyteljesítményű, automata menetfúró berendezésekkel vágják be a furatokba. Ennek az oka, hogy a belső zárt menetes részből a felesleges horganyt egyébként csak ismételt menetfúrással lehetne eltávolítani. Ezért ezt csak horganyzás után végzik el. Többek között ez biztosítja majd a készlet tökéletes összeszerelhetőségét.

Felhasználás során a *cink katódos védőhatása* fogja védeni az anya belső menetet azáltal, hogy az összezsavarozás után a menetes orsó felületén levő horganybevonat fémesen és nagyfelületen érintkezik az anyacsavar menetének felületével. A tapasztalatok azt mutatják, hogy ez a megoldás még évtizedek után is tökéletes, korróziómentes védelmet nyújt az anyamenet felületének.

4.3.2 Előírások, a tűzihorganyzott kötőelemek legfontosabb tulajdonságai

Az acélszerkezeti termékekre vonatkozó MSZ EN ISO 1461:2010 szabvány érvényes az apró termékekre, melyeket centrifugás horganyzóban kezeltek, de nem érvényes a menetes termékekre, csavarokra. A csavarok, csavaranyák tűzihorgany bevonatánál legfőbbként a DIN 267.10 részére, illetve 2004-től az EN ISO 10684 :2004 szabvány előírásaira hivatkoznak. **A vastagsági előírások:**

Mindkét szabvány 40 μm -ben meghatározza meg a minimális helyi horganyréteg vastagságot, az MSZ EN ISO 10684: 2005 előírás 8.3 fejezetében 50 μm -ben rögzítik a minimális átlagos rétegvastagságot.

A bevonat vastagságának mérésére javasolja az ISO 2178 szabványban meghatározott mágneses eljárást.

4.4 A bevonat különleges tulajdonságai

4.4.1 Kiváló kopás- és dörzsállóság

A tűzihorgany bevonatok kopás-, és dörzsállósága többszörösen meghaladja a festékbevonatokat. A termékeket a felhasználás során a korróziós hatások mellett gyakran mechanikai igénybevételek is érik. Példaként lehet említeni a tényleges felhasználás előtti hatásokat (raktározás, szállítás, szerelés során), ám a beépítés után is számos esetben koptatóhatások érik a bevonatot (homokszóródás, kőszóródás, stb.), emiatt a védőbevonatnak nem csak korrózióálló, hanem a fizikai igénybevételeknek is ellenállónak kell lenni.

A tűzihorganyzási technológiával létrehozott bevonatok mindkét kritériumnak egyaránt megfelelnek. Ugyanis a horganybevonatok esetében a vas alapfémekkel kohéziós kapcsolatban levő Fe-Zn ötvözetű fázisok keménysége jelentősen meghaladja magának a fémalapnak a keménységét is. Vizsgálatok szerint a tűzihorgany bevonatoknak mintegy tízszeres koptatási ellenállása volt, mint a szerves bevonatoknak.

4.4.2. A tűzihorgany bevonatok tapadása

A bevonatok tapadása egy nagyon fontos kritérium a korrózióvédelmi rendszerek minősítésénél, a felhasználási követelmények miatt. A tűzihorgany bevonatokkal szemben általában nem jelenik meg ez a vevői követelmény, azonban a duplex-eljárások alkalmazásánál, amikor a felületelőkészítésre kerül a sor, a finom szemcseszórás (sweep-szórás) egyfajta követelményt állít a bevonatok elé. Vizsgálatokat végeztek (DIN EN 24624) a tűzihorgany bevonatok tapadására vonatkozóan, annak ellenére is, hogy jelenleg *nincs előírt és kötelező vizsgálat* ezekre a bevonatokra (MSZ EN ISO 1461). A bevonatok tapadásának minősítése megállapodás kérdése. A vizsgálatok eredményei szerint, a horganybevonatok tapadása (DIN EN 24624) 12 és max. 37 N/mm² között volt (**5. táblázat**).

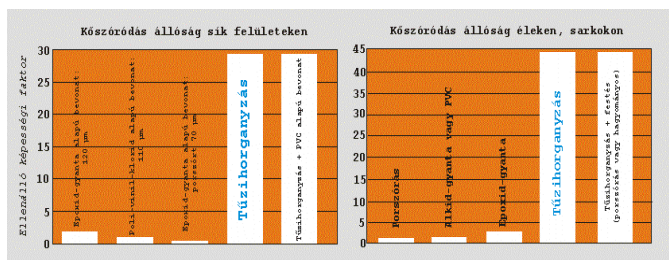
Szilíciumszegény acélokban (Si $\leq$ 0,03%)	> 20 N/mm ²
Szilícium az acélban: 0,04 - 0,12%	> 30 N/mm ²
Szilícium az acélban: 0,15 - 0,25 %	10-25 N/mm ²
Si-ban gazdag acélokban (Si > 0,25%)	>25 N/mm ²

5. táblázat: Tapadási vizsgálatok eredményei

Ezt összehasonlítva a festékbevonatok tapadásával, mely sokszor nem lépi túl az 5 N/mm² határt, láthatóak a horganybevonatok előnyös tulajdonságai.

4.4.3 A horganybevonatok és festékbevonatok kőszóródás ellenálló képességének összehasonlítása

A különféle acélszerkezetek számos esetben vannak kitéve *kőszóródások* szóródásának, mely a bevonatban károkat okozva korróziós göcként jelenik meg. Egy Németországban elvégzett vizsgálat szerint, különféle bevonatokat vizsgáltak meg, hogy mennyire érzékenyek kőszóródásra (DIN 55991-1). A szórási kísérletek után a próbadarabokat *kitéti korróziós hatásoknak* vetették alá annak érdekében, hogy minősítsék a különféle bevonatok ellenálló képességét.



12. ábra: Kőszóródás-állóság síkfelületeken és éleken

Az értékelések után a következő eredmények születtek.

Síkfelületek esetében:

- o Porszórt felületen, horganyzatlan acélalapon, azonnali korrózió jelentkezett az alapfémén.
- o Hagyományos festési eljárásokkal bevonat felületeken 1–4 napon belül alapfém korrózió jelentkezett.
- o Tűzhorganyzott próbákban több mint 30 nap után sem jelentkeztek korróziós nyomok.

Éleken végzett vizsgálatoknál:

- o A tűzhorganyzott minták erős ellenállást mutattak a korrózióval szemben.
- o Különböző festékbevonatok nagy érzékenységet jeleztek a kőszóródás miatt bekövetkező korrózióra.
- o Az egyes festékbevonatok között, illetve a horganyzott minták között lényeges különbségek nem voltak.

A kísérletek azt bizonyították, hogy a *tűzhorgany bevonatok* mind a mechanikai igénybevételekkel szemben, mind pedig a korróziós hatásokkal szemben *kitűnő védelmi értéket* képviselnek (12. ábra).

A horganybevonat a termék éleit, sarkait is kiválóan védi

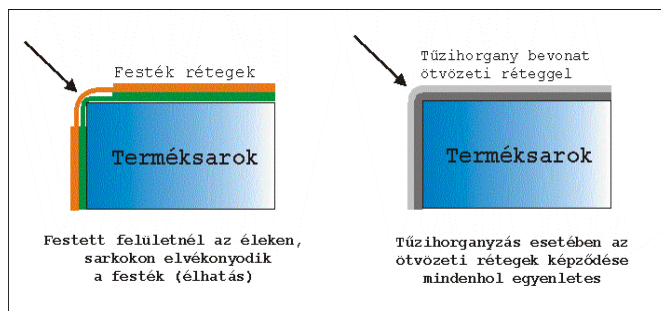
Korróziós szempontból az acélszerkezeti termékek sarkai, élei sok esetben problematikusak. Ugyanis a korróziós ágensek intenzív támadásoknak teszik ki az említett felületeket, valamint a mechanikai igénybevételek további járulékos hatásokat okoznak (6. táblázat). Emiatt ezekre a kényes területekre különösen oda kell figyelni a megfelelő korrózióvédelmi technológia tervezésénél és kivitelezésénél.

A korrózióvédelem képességeinek csökkenése a termék rész szerint (tapasztalati értékek)	
Síkfelületeken	0 %
Sarkok és bemélyedésekben	10-20 %
Hegesztési varratok felületein (lemunkálatlan)	30-35 %
Csavarok, anyák felületein	50 – 60 %
Éleken	60 %

6. táblázat: Tapasztalati értékek a korrózióvédelem tartósságával kapcsolatban

Közismert, hogy a felületen levő folyadékok a felületi feszültségük miatt az élekről, sarkokról lehúzódnak (élhatás) és ezáltal pont azok a pontok maradnak kevésbé védettek, melyek intenzívebb korróziós támadásnak és mechanikai igénybevételeknek vannak kitéve. A fentiek miatt festés esetében az

éleken, sarkokon, kiemelkedéseken jelentősen vékonyabb a bevonat, mint az előírt rétegvastagság.

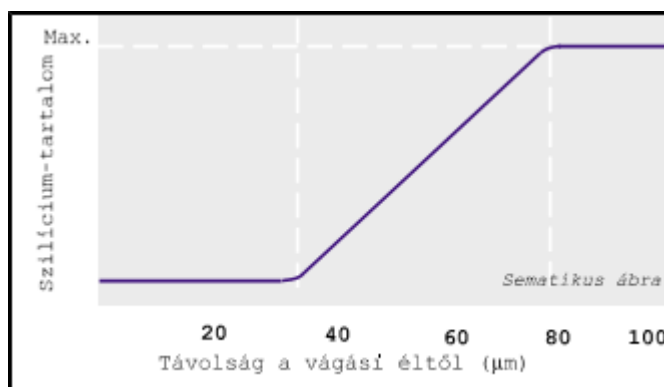


13. ábra: A horganybevonat jól védi a termék sarkokat is

A tűzhorganyzás során a fémolvadékokban az ötvözetes rétegek egyenletesen alakulnak ki a felületen, mely így kedvezően védi a sarkokat, éleket is (13. ábra). Ugyanis az ötvözetes rétegek a felülettel párhuzamosan épülnek fel. Majd erre rakódik ki a tisztá horganyréteg.

4.4.4 A termikus vágás hatása az éleken kialakuló réteg tulajdonságaira

A frissen tűzhorganyzott felületeken esetenként megfigyelhető egy olyan jelenség, miszerint a termikus eljárással vágott éleken eltérő színezetűek a bevonatok, vagy éppen a bevonat vastagsága akár jelentősen eltérhet a vágott felületektől kissé távolabb mért értékektől. Ez a jelenség különösen ott szembe-tűnő, ahol a horganyréteg matt szürke és a vágott éleken fényes, ezüstös színűvé vált. Minőségi kifogáshoz vezet, amennyiben a bevonatvastagságok nem érik el a szabványban előírt értékeket. (10. táblázat). A különböző lemezalapanyagok és alakos szelvények darabolására már évtizedek óta használják az autogén-berendezéseket, míg az elmúlt években már teret nyernek a plazma-, és lézervágási technikák. Az eltérő technikák más-más vágási felületet eredményeznek. A vágás okozta hőhatás következtében különbözőképpen, de megváltozik a vágott felületek és az átmeneti zónák kémiai összetétele és szerkezete. A vágási hő hatására az acél szilícium (Si) és foszfor (P)-tartalma, a vágott anyagrészen és a megfelelő szélességű átmeneti zónában, technológiától függően, megváltozik. Szakirodalmi adatok szerint az acélban levő szilícium –autogénnel történő vágás esetén – a vágási éltől számított 30 - 40 µm távolságig eltűnik az acélból (14. ábra).



14. ábra: A szilícium tartalom változása a vágási felülettől távolodva

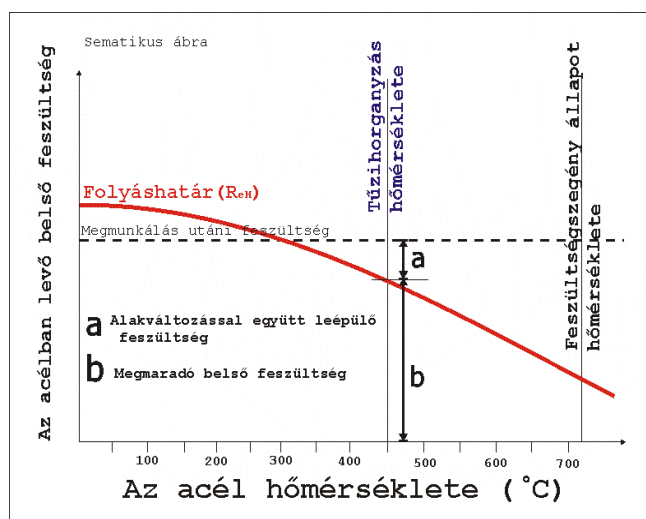
Egy másik érdekes jelenség, hogy lézervágáskor, esetenként a vágási sarkokon a horganyréteg kisebb mechanikai igénybevétel hatására lokálisan leválik. A különböző vágási eljárások, eltérő paraméterek és acélösszetétel miatt előre nem lehet meghatározni a kialakuló horganyréteg jellemzőit.

A fentiek miatt a tűzhorganyzásra vonatkozó MSZ EN ISO 1461 szabvány C melléklete azt ajánlja, hogy termikus vágással történt darabolás után a *vágási felületet le kell munkálni* annak érdekében, hogy a bevonat megfelelő minőségű legyen.

5. Tervezési követelmények

5.1 Káros deformációk elkerülése

Az acél féltermékek és szerkezetek gyártása során az anyagszerkezetben különféle irányú és nagyságú belső feszültségek keletkeznek (feszültség export az anyagszerkezetbe). Az anyagszerkezetben kialakuló azon feszültségcsúcsok, melyek eléri az acél folyáshatárát, leépülnek, közben lokális anyagfolyások mellett, alakváltozások alakulhatnak ki a terméken. A tűzhorganyzási technológia kb. 450°C hőmérsékleten zajlik. Az acélok folyáshatára (R_{eH}) a hőmérséklet növekedésével csökken, ezért azok a feszültségtorlódások, melyek meghaladják a tűzhorganyzás hőfoka miatt lecsökkent folyáshatárt, le fognak épülni (15. ábra).



15. ábra: Az acélok folyáshatárának csökkenése a hőmérséklet növekedésével

A termékek gyártása során az anyagszerkezetbe került feszültségek (szaggatott vonal) a különböző megmunkálások (hengerlés, hajlítás, hőkezelés, hegesztés, darabolás, stb.) révén jönnek létre. Az acél folyáshatárának csökkenésével, a tűzhorganyzás hőmérsékletén, a gyártásból származó belső feszültségek egy része az anyagban marad („b” szakasz), míg másik része feloldódik („a” szakasz), ennek következtében kisebb-nagyobb alakváltozások jöhetnek létre. A termékfelhasználás szempontjából fellépő káros alakváltozások megfelelő tervezési, gyártási intézkedéssel teljes mértékben kiküszöbölhetők. A helyesen megválasztott acélminőség, az optimálisra törekvő konstrukció és a tűzhorganyzó szakemberei technológiai tudása együttesen eredményezik az acélszerkezet gyártók és a beruházók által elvárt igények maradéktalan kielégítését. Az ajánlott tervezési szempontok nem merülnek ki a nagyméretű acélszerkezetek deformációs kockázatainak minimalizálásával, hanem további elvek vannak, melyek a technológia sajátosságaihoz adódnak és könnyen betarthatók.

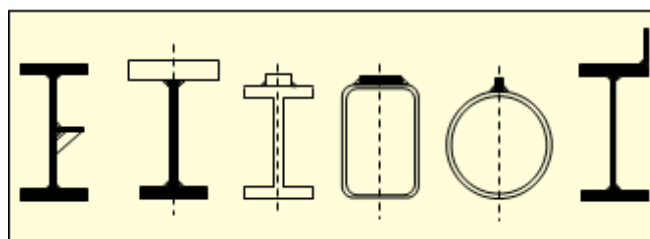
5.1.1 Rúdszerű szerkezetek konstrukciója

A technológia végrehajtása szempontjából a legkedvezőbbek és leggyakoribbak közé tartoznak a rúdszerű elemek. Ezek gyártása és horganyzása is általában egyszerű, nem okoznak semmiféle nehézséget. Többségükben nem bonyolult a keresztmetszetük, de gyártástechnológiák mégis előidézhetnek kellemetlen meglepetéseket, ha a nagyon egyszerű előírásokat nem tartják be a tervezők és a gyártók.

Szimmetrikus keresztmetszetek választása

A korábban említett belső feszültségállapot megváltozása miatt kisebb-nagyobb alakváltozások jöhetnek létre az acélszerkezetben. Ez nem csak bonyolultabb szerkezeteknél, hanem egészen egyszerű rudaknál is kialakulhat. Mint már ismertettük, az acélszerkezetek megmunkálása során „kerül” a késztermék anyagába a feszültség, mely ténylegesen a textúrában levő rácstorzulások, hibák kialakulásában ölt testet. Amennyiben a rácsszerkezetben mód nyílik a „befagyott” viszonyok megváltoztatására, létrejöhetnek a feszültség leépülések, alakváltozások. A fentiek miatt célszerű arra törekedni már az acélszerkezetek tervezése, gyártása során, hogy a rúdszerű termék keresztmetszeti súlypontjára *szimmetrikus eloszláshoz* közelítsen a belső feszültség. Ezért ezeket a szempontokat a darabolási, hegesztési, stb. tervek-nél, és a végrehajtásnál is egyaránt figyelembe kell venni. Nemkívánatos feszültség szerkezet esetén már a gyártás után, a deformálódott elemet egyengetni kell. Előfordul, hogy a rúdtermékek-nél már darabolás után alakváltozások jönnek létre. Amennyiben a termék keresztmetszet olyan, hogy ott az egymáshoz rögzített (pl. hegesztett) elemek *eltérő hőtágulása* is szerepet játszik, akkor még nagyobb a kockázata a vetemedésnek. A tűzhorganyzás hőmérsékletén kb. 5 mm/m hő okozta hosszváltozással lehet számolni.

Az elmondottak alapján célszerű és egyben kívánatos a leg-alább két tengelyre szimmetrikus termék keresztmetszetek tervezése 16. ábránkon néhány nem javasolt konstrukció látható.



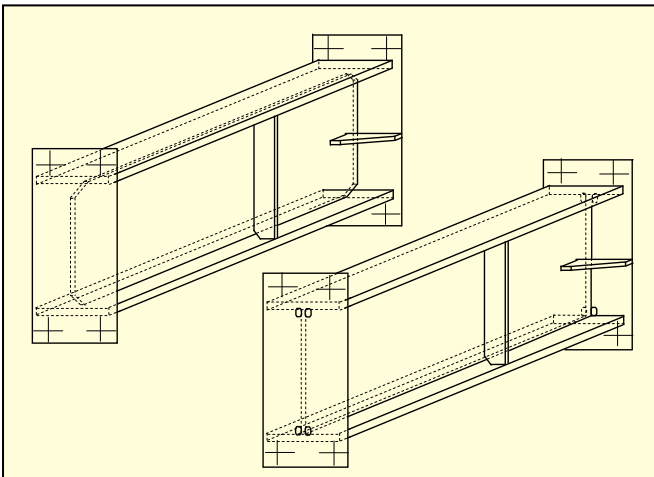
16. ábra: helytelen konstrukciók

Amennyiben nem lehet elkerülni az ábrán láthatóhoz hasonló, nem ajánlott szerkezeti megoldásokat, úgy hegesztett kapcsolatok helyett, csavarkötés alkalmazását tarjuk előnyösnek. Ebben az esetben az elemeket egyenként horganyozzák, majd késztermékké szerelik.

5.2 Technológiai nyílások, zárt szelvényből készített acélszerkezeteknél

A klasszikus acélszerkezetek esetében, ha azok festett kivitelben készülnek, a szelvények belső tereit általában nem védik a korrózió ellen (csak külső festés van). A tűzihorganyzás egyik legnagyobb előnye, hogy a szerkezetek *belső és külső felületei egyenértékű korrózió elleni védelmet kapnak*, mivel a technológiánál a munkadarabok elzárt felületeivel is érintkezni kell a kezelő folyadékoknak, illetve a horganynak. Ahhoz, hogy a kezelő folyadékok maradéktalanul a felületekhez jussanak, a gázoknak, a levegőnek, illetve a salakanyagoknak tökéletesen ki kell jutniuk a zárt szelvények, zártabb terek belsejéből. A légszákak megelőzése érdekében, optimális helyre megfelelő méretű és számú ún. *kilevegőző nyílásokat* kell elhelyezni. Ugyanakkor a munkadarabok kiemelése során valamennyi folyadékmaradványnak ki kell folyni, tehát ún. folyadékzsebek nem maradhatnak, mert ez anyagvesztést és minőségromlást okoz. Emiatt megfelelő méretű, számú és pozíciójú *kifolyó nyílásokat* is szükséges alkalmazni.

A fenti általános követelmények nem csak a különféle zárt-szelvények esetében igazak, hanem az esetenként lehatárolt tereket, sarkokat alkotó merevítő bordák kialakításánál is (**17. ábra**) követni kell őket.

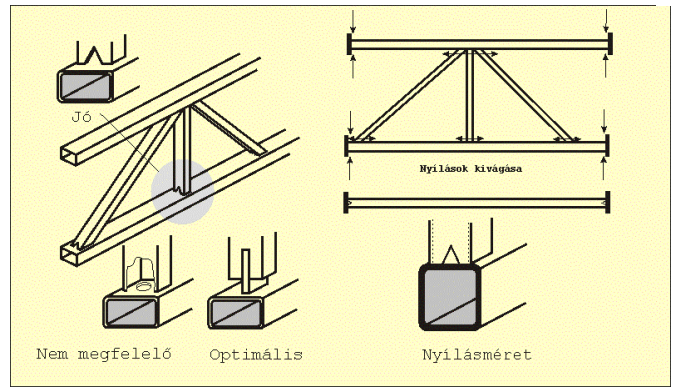


17. ábra: Fontosak a merevítő lemezek megfelelő kialakításai

A csőbelső átmérője (mm)	Minimális furatátmérő (mm)
15 mm alatt	5 – 6
15 -25	6 – 8
25 – 40	8 – 10
40 – 50	10 – 12
50 mm felett	Nagyobb, mint 15 mm

7. táblázat: Szükséges furatátmérők

Számos esetben találkozunk rácsos acélszerkezetekkel, melyeknél különösen ügyelni kell a megfelelő technológiai nyílások kialakítására (**7. táblázat**). A zárt terekben megmaradó folyadékok akár több száz bar nyomást is kifejthetnek, amikor a horganyfürdőben hirtelen gőzzé válnak, így az esetleges robbanással nem csak magát a szerkezetet tehetik tönkre, hanem *baleseti veszélyforrást is jelentenek az ott dolgozókra*.

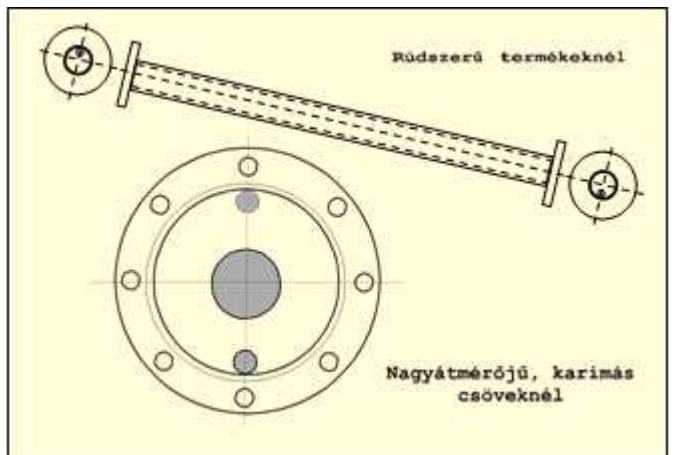


18. ábra: Rácsos tartók technológiai nyílásai

Amennyiben nem tartják be a nyílásokra vonatkozó előírások, úgy nem csak légszákak, horgany- és folyadék maradványok, hanem salakfelpapadások is rontani fogják a termék minőségét.

A technológiai nyílások pozíciója, méretei

A felsorolt okok miatt nyilvánvaló, hogy a technológiai nyílások meglétének, méreteinek, illetve elhelyezkedésének kiemelt szerepe van (**18. ábra**).

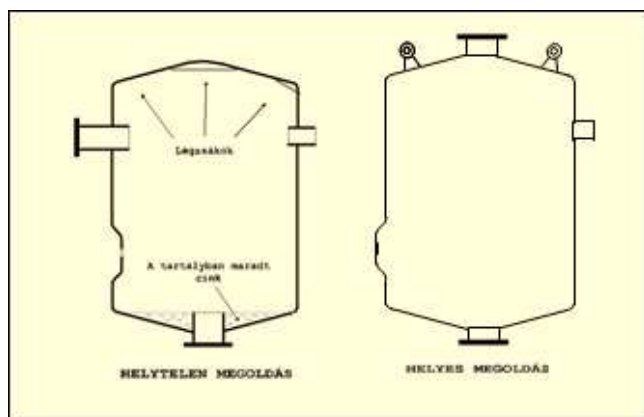


19. ábra: Csöveken elhelyezett technológiai furatok

A pozíció mellett nagy komoly szerepe van még a nyílások *méreteinek*. Ennek oka, hogy elsősorban a horganyfürdőbe történő bemeletés, illetve kiemelés minél gyorsabban végrehajtható legyen. Fontos költségtényező, a tárgynak a fémolvasztóban történő tartózkodási ideje, azaz általában minimálisra kell szorítani az expozíciós (merítési) időt. Tehát ez azt jelenti számunkra, hogy ésszerűen legnagyobb számú és átmérőjű furatokat, kicsipéseket, sarkalásokat kell elhelyezni a szerkezeteken (**19. ábra**), hogy jobb minőségű legyen a bevonat.

Tartályok és hőcserélők kialakítása

A technológiával szinte egyidős feladat a különböző méretű tartályok bevonása, melyeket kívül-belül horganyréteggel látnak el. Mivel ezek az eszközök a legtöbb esetben nagy belső terekkel és ehhez viszonyítva kisméretű nyílásokkal rendelkeznek, különösen oda kell figyelni, a megfelelő technológiai nyílások elhelyezésére (**20. ábra**).

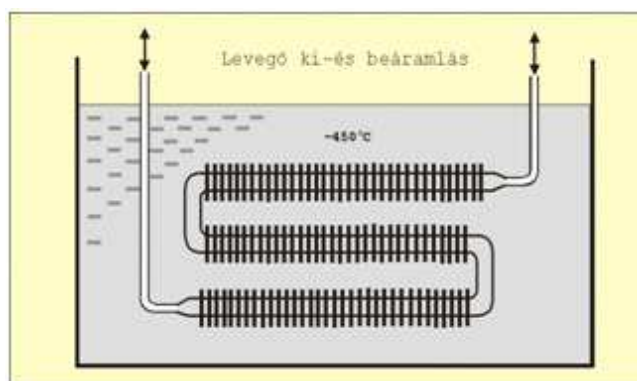


20. ábra: Helytelen és helyes kialakítás

Rossz megoldások kiválasztásánál a belső terekben légszák-
ok, salakfelpadások, horganymaradványok megjelenésével,
és külső réteghibákkal kell számolni.

Van azonban a nagy belső felületekkel rendelkező termé-
keknek egy olyan köre, amelyeknek *csak a külső felületét kell*
tűzhorganyozni. Ezek a szerkezetek a hőcserélők és a kisebb
tartályok. A feladat bizonyos mérethatárokig általában problé-
mamentesen végrehajtható, de biztonsági szempontból min-
denképpen nagyobb kockázatot jelent, mint a klasszikus tech-
nológiai kezelés. Ugyanis a levegővel telt munkadarabokat
speciális szerszámokkal a *fémfűrdő felszíne alá kell*
kényszeríteni, mely nagy odafigyelést, gondos tervezést és
hozzzáértést igényel.

Az esetleges robbanásveszély megelőzésére az ilyen szerke-
zeteket megfelelő technológiai pipákkal kell ellátni, melyek
bemerítésnél a fűrdők fölé nyúlnak (21. ábra).



21. ábra: Hőcserélő külső felületének horganyozása

Ezek a nyílásokon keresztül történik a levegő nyomásá-
nak kiegyenlítődése.

Az ilyen - általában sok, a hőcserét segítő fémlamellával el-
látott - konstrukciónál fokozott jelentősége van a *megfelelő*
acélminőségnek, mert óriási felületekkel rendelkeznek. A nem
megfelelő acélminőségéből gyártott termékek jelentős többlet-
költséget, többletsúlyt fognak eredményezni, nem is beszélve
az esztétikai problémákról (6. fejezet).

Átlapolt felületek alkalmazása

Általános elv, hogy átlapolt felületek alkalmazását, melyek
oldhatatlan kötésekkel jönnek létre, lehetőleg el kell kerülni.

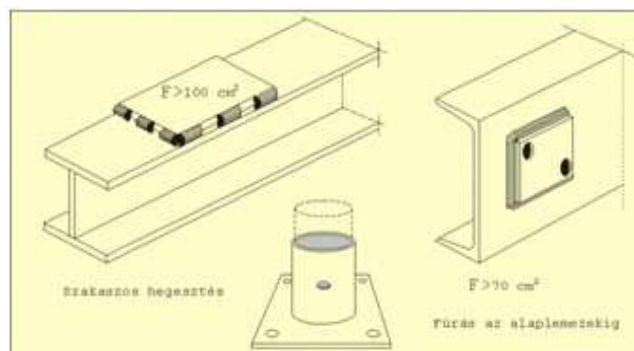
Ennek legfontosabb indokai:

- o Baleseti kockázatot hordoz magában a felületek között
maradt anyag (nedvesség, szennyeződés)
- o Korróziós kiinduló pont lehet

Amikor átlapolt kapcsolatokat hoznak létre, elegendő a hely
arra, hogy a gyártás során valamilyen szennyeződés (rozsdá,
olaj, zsír, festék, stb.) maradjon meg a két érintkező felület
között, de ahhoz nem elegendő, hogy ott szabályos horganybe-
vonat alakuljon ki. Ehhez járulhat hozzá még az, hogy, ameny-
nyiben a hegesztett kötés nem vízzáró, a felületelőkészítési
technológiából adódóan nedvesség juthat a lezárt térbe.

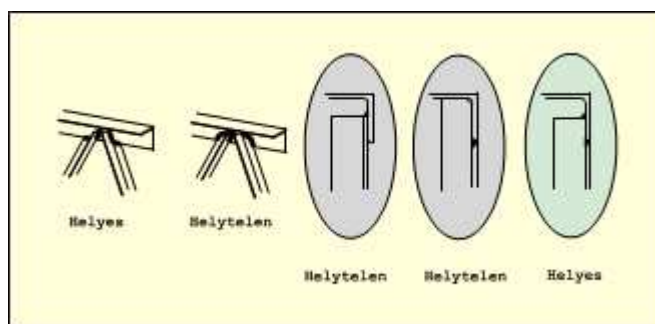
A felületek közé szorult nedvesség, szennyeződés a fémfűrdő
hőfokán, a kis térben *nagynyomású gőzzé*, gázzá válik (több
száz bar) és nemcsak a szerkezet káros torzulását, hanem bal-
eseti veszélyforrást is jelent.

Egymásra fektetett felületek alkalmazásánál legcélszerűbb
csavarkötést alkalmazni, de ha ez nem lehetséges, akkor a
felső felület átfűrésze, illetve legvégső esetben szakaszos
hegesztési varratok létrehozásával lehet elkerülni a károkat
(22. ábra).



22. ábra: Átlapolt felületek

A különféle szögacélokból gyártott rácsos oszlopok, tartók
gyakran szerepelnek a tűzhorganyzó üzemek bérhorganyzási
palettáján. Itt az esetek döntő többségében klasszikus „átla-
polásos” megoldásokat alkalmaznak (23. ábra), mely sokszor
nem optimális, főleg, ha hegesztési hibák tarkítják a kapcsola-
tokat.



23. ábra: Szögacélból készített rácsos szerkezetek

Feltétlenül meg kell említeni még, hogy a technológiai fu-
ratok helyének, méreteinek és számának meghatározása nem a
gyártóüzem feladata, hanem még a *tervezőasztalon* kell velük
foglalkozni. Az acélszerkezetek leggyártása alatt, vagy azután
már sok esetben csak kedvezőtlen kompromisszumot tudunk
kötni lehetőségeinkkel. Ez azt eredményezheti, hogy az acél-

szerkezet bevonása kisebb-nagyobb nehézségekbe ütközhet, esetleg esztétikai hibák, hiányosságok is keletkezhetnek rajta.

Ha mégis elkerülhetetlen az átlapolt kapcsolatok alkalmazása, a **8. táblázatban** foglalt előírások szerint célszerű eljárni.

Átlapolt felület nagysága (cm ²)	Lemezvastagság (mm)	Intézkedés
<100	Minden lemezvastagságnál	Tömören körbe kell hegeszteni.
100 – 400	< 12	10 mm-es furat az alaplemezig, vagy 25 mm-es kihagyással szakaszos varratok
	> 12	Tömören körbe kell hegeszteni.
400 – 2500	Minden lemezvastagságnál	12 mm furat az alaplemezig, vagy 2 mm x 25 mm kihagyással szakaszos varrat
>2500	Minden lemezvastagságnál	20 mm-es furat az alaplemezig, vagy 4 mm x 25 mm-es kihagyással szakaszos varrat, minden 2500 cm ² -enként

8. táblázat: átlapolt kapcsolatok alkalmazására vonatkozó irányelvek

Helyes tervezéssel kapcsolatos információk részben megtalálhatóak az **MSZ EN ISO 14713-2** szabványban, ez azonban nem helyettesíti a részletesebb szakmai információkat.

Ma már számos magyar nyelvű szakmai útmutató, tájékoztató, sőt szakkönyv áll rendelkezésre. Amennyiben az adott esetben kéznél levő információk kevésnek bizonyulnak, úgy a tűzihorganyzással foglalkozó szakemberek, vállalatok, de a szakmai szövetség is, várják a megrendelők érdeklődését.

5.3 „Túlméretes” acélszerkezetek konstrukciója és tűzihorganyzása

Az alapvető tervezési szempontok közé tartozik, hogy a tervezőnek tisztában kell lenni azzal, milyen méretű kezelő kádak állnak rendelkezésére. Ennek érdekében fel kell keresni a kiszemelt tűzihorganyzó vállalatot, és információkat kell beszerezni a technológiai berendezés méreteiről.

Egy darab szerkezeti elem méretének a kezelőkádak hosszánál 0,5 m-rel, szélességénél 0,2 m-rel, míg mélységénél 0,5 m-rel kell kisebbnek lenni. A munkadarabok egyenkénti tömege nem haladhatja meg az üzemben rendelkezésre álló emelőgépek teherbírását.

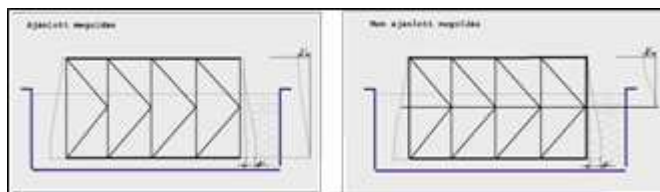
Kivételes esetben arra is van lehetőség, hogy a fent említett technológiai mérethatárokat átlépve, nagyobb terjedelmű darabokat horganyozzanak le. Ekkor azonban megnő a nemkívánatos alakváltozások és a bevonat minőségromlás kockázata.

A káros deformációk oka, az acél hőtágulásából adódik, mert a „túlméretes” szerkezetek tűzihorganyzása esetében, a 450°C-os horganyfürdőben levő tárgy rész térfogata jelentősen megnő (több mint 5 mm/m). Ez a tér minden irányába ható méretnövekedés pedig jelentős belső feszültségek keletkezéséhez vezet az anyagszerkezetben. Ez szélsőséges esetben, repedéseket, töréseket, illetve szakadásokat okozhat.

Ennek ellenére – bizonyos elvek betartásával – mégis nyílik lehetőség, a túlméretes szerkezeti elemek tűzihorganyzására.

Magas rácsos tartók konstrukciója és tűzihorganyzása

A kezelő kádak mélységéhez képest túl magas rácsos szerkezek is tűzihorganyozhatóak. Ebben az esetben a termékek egyszeri forgatással kerülnek kezelésre. A horganyfürdőben levő rész jelentősen megnyúlik, míg a tárgy szabad levegőn levő másik felének mérete alig változik (**24. ábra**).

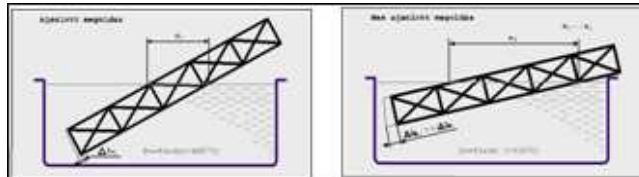


24. ábra: Magas rácsos szerkezetek horganyzása

Amennyiben a tervező nem hagy lehetőséget arra, hogy a horganyfürdőben levő megnyúló rész okozta hossznövekedést egy hosszabb rúdszakaszon lehessen levezetni (az ábra bal oldala), akkor káros alakváltozások, sőt törések jöhetnek létre.

Hosszú tartók tűzihorganyzása

Amennyiben a kád méreteihez képest túl hosszú szerkezet tűzihorganyzását kell megoldani, szintén kétszeri bemártással lehet elvégezni a kezelést.



25. ábra: Túl hosszú termékek tűzihorganyzása

A tűzihorganyzó számára fontos feladat, hogy minimalizálni kell a szerkezeti elem alsó, illetve felső öv része közötti hossznövekedés különbségeket, ezért a bemerítés dőlésszögének meghatározásánál mindig törekedni kell arra, hogy a lehető legnagyobb szögben történjen a fémolvadékba eresztés (**25. ábra**). A kétszeri horganyzás miatt a két horganyrétegnek át kell fednie egymást, mely miatt kisebb-nagyobb színeltérések lehetnek az összeérő felületek között.

Fontos figyelmeztetés! Kétszeri horganyzás esetében, az olvadékban levő szerkezeti rész, illetve a levegőn levő rész között jelentős hőmérséklet különbség jön létre, amely hőtágulásból adódó hosszkülönbséghez és veszélyes belső feszültségekhez vezethet. Ez szélsőséges esetben szerkezeti repedés és törés kockázatát jelentheti, ezért lehetőség szerint kerülni kell az alkalmazását.

5.4 Nagy vastagságkülönbségű elemek összeépítése

A tűzihorganyzás során alkalmazott expozíciós (merítési) idő általában a munkadarab befoglaló méreteinek és falvastagságának függvénye. A rendező elv az, hogy a termék teljes keresztmetszetének át kell venni a horganyolvadék kb.

450 °C-os hőmérsékletét. Ez lényegében azt jelenti, hogy a legnagyobb falvastagságú elem időszükséglete fogja meghatározni az expozíciós idő hosszát. (ettől eltérés csak a nagy belső zárt terekkel rendelkező termékekénél van, ahol a zárt terek lassabb feltöltődése miatti bemeletést kell figyelembe venni).

A minőségi eltérések kiküszöbölése érdekében javasolt az oldhatatlan kötessel (hegesztés) egyesített részegységek falvastagságának egyeztetése. Amennyiben jelentős eltérés van az egyes elemek között, akkor az alábbi hátrányokkal lehet számolni.

- o A vékonyabb falvastagságú elemek felületén esetleg lényegesen vastagabb bevonatok alakulnak ki, mint ami kívánatos.
- o Az eltérő hőtágulások miatt, alakváltozások, repedések, szakadások alakulhatnak ki.

A kockázatok csökkentéséért a tervezésnél el kell kerülni a nagy vastagságkülönbségű anyagok összehegesztését, illetőleg oldható kapcsolatot kell alkalmazni, melyet horganyzás után kell kialakítani.

Célszerű betartani a következő szabályokat:

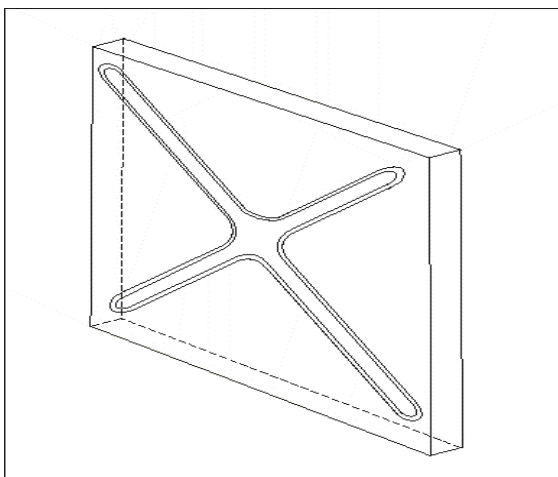
- o Különösen a vékonyabb falvastagságú elemeknél gondosan el kell kerülni a felületen, sarkokon az éles bemetszéseket.
- o El kell kerülni a gyártás során az anyagszerkezetben keletkező nagy belső feszültségeket, felkeményedéseket.
- o Vastagkülönbség legfeljebb 1,5-2-szeres legyen.

5.5 Lemezből készített acélszerkezetek konstrukciója

Az akadályozott hőtágulás miatt, acélszerkezeteink káros deformációkat szenvedhetnek el. Ez különösen igaz a lemezből készített, vastagságukhoz képest nagy felületű konstrukciókra.

Ezeknél a szerkezeteknél – megfelelő felületi merevítések hiányában – biztosan számolni kell a tűzhorganyzásból adódó káros deformációkkal.

Az alakváltozások kiküszöbölésének lehetséges módja, hogy a lemezfelületeket megfelelően merevíteni kell, mely kizárólag erre alkalmas méretű és alakú bordák felületbe történő sajtolásával történik (26. ábra).



26. ábra: Lemezfelület merevítése besajtolt bordákkal

A deformációk elsődleges oka, hogy a kb. 450 °C-os fémolvadékban, folyóméterenként kb. 5 mm-es hossz/szélesség/vastagság növekedéssel kell számolni. A lemeztermékek káros alakváltozása elkerülhető.

Alapvető lehetőségek a káros alakváltozások elkerülésére:

- A kérdéses lemezfelületek merevítése megfelelően elhelyezett bordák, hajlítások besajtolásával.
- A lemezt már tűzhorganyzott kivitelben kell beépíteni. (itt azonban figyelni kell arra, hogy a folyamatos horganyzó sorokon bevont lemezekon kialakított horganyrétegek vastagsága lényegesen kisebb, mint ami az EN ISO 1461 szabványban elő van írva!).

5.6 Hegesztés tűzhorganyzás előtt

5.6.1 A káros deformációk elkerülése

Az acélszerkezetek tervezési fázisában figyelembe kell venni a tűzhorganyzás egyszerű, de fontos technológiai követelményeit. Az acélszerkezeti elemek összehegesztése során alapvetően arra kell törekedni, hogy a gyártás során bevitt feszültségeket minimalizáljuk, illetve a keresztmetszet súlypontjára szimmetrikus legyen az eloszlásuk.

Az alábbi főszabályok betartását tartjuk indokoltnak:

1. Ésszerű intézkedésekkel minimalizálni kell az acélszerkezetre tervezett hegesztési varratok számát annak érdekében, hogy az anyag zsugorodásából származó belső feszültségeket minél jobban csökkentsük.
2. A varratok helyét úgy határozzuk meg, hogy azok lehetőség szerint a keresztmetszet súlyponti tengelyében helyezkedjenek el, ha ez nem lehetséges, akkor szimmetrikusak legyenek a súlyponti tengelyre.
3. Azokat a varratokat, melyek a szerkezet merevségét leginkább meghatározzák, lehetőleg a hegesztési sorrend végére kell ütemezni.
4. A hegesztési paramétereket úgy kell megállapítani, hogy a bevitt hőmennyiség minél kisebb legyen, és az is a lehető legkisebb anyagkeresztmetszetre koncentrálódjon.
5. A varraterősségeknek nem szabad nagyobbak lenni, mint ami statikailag indokolt.
6. A szerkezetet „belülről-kifelé” haladva kell hegesztetni, hogy a zsugorodásból származó belső feszültségek minél alacsonyabban tartsuk.
7. Még a hegesztés végrehajtása előtt hegesztési terveket kell készíteni, a fenti említett szempontokat figyelembe véve.

Megfelelő konstrukció és hegesztési terv betartása esetében, a hegesztésből származó belső feszültségek a lehető legkisebbek legyenek és egyenletesen oszlanak el a termék keresztmetszetében.

5.6.2 A hegesztési varratok külleme horganyzás után

Kutatások szinte egybehangzó állítása szerint, a tűzhorganyzás általában kedvezően hat a hegesztett szerkezetek feszültség viszonyaira. A hegesztési varratok minőségéről a legtöbb esetben már a külleme információkat nyújthat. Amennyiben a hegesztés külleme, folytonossága hibás, az a tűzhorganyzást követően megmarad, sőt esetenként kontrasztosabbá válik a probléma.

A hegesztésre vonatkozó általános előírások nagy többségben igazak a tűzihorganyzott acélszerkezetek esetében is.

A legfontosabb kivitelezési követelmények:

- o Bevonatos elektródával történő hegesztés esetén a képződő salakot maradéktalanul el kell távolítani.
- o Védőgázos hegesztésnél, helytelen hegesztési paraméterek alkalmazásánál, a varratszéleken vékony salakmaradványok alakulnak ki, melyeket szintén el kell távolítani.
- o Feltapadások megelőzésére szolgáló spray-k alkalmazása esetén, csak szilikon-, és olajmentes terméket szabad használni. De legjobb a használatát mellőzni.
- o Hegesztési hibák, kráterek, beégések horganyzás után is megmaradnak, ezeket kerülni kell.
- o Szakaszos varratok alkalmazását lehetőleg ki kell szűrni.
- o A varratfugák szélessége olyan legyen, hogy csak a minimálisan szükséges varraterősség, szélesség legyen.
- o Törekedni kell a síkvarratok (tompá varratok) alkalmazására, mert a sarokvarratok megnövelik a hibák kockázatát.
- o Gyökhegesztéseket különösen gondosan kell elvégezni.
- o Hosszú varratok kialakításánál a hegesztést a munkadarab közepétől kiindulva a szélek felé haladva kell végezni.

Hegesztéshez használt elektródák, huzalok esetében a legtöbb alapanyag relatív magas szilícium-tartalommal rendelkezik, ezért a horganyolvadékokban lezajló termodiffúziós folyamatok a varratok felületén lényegesen intenzívebbek lehetnek, mint a varrat környezetében, ezért ezeken a varratokon szürkébb, vastagabb bevonatok alakulhatnak ki. Ez különösen szembeütő, ha a varratot a hegesztés után síkba kösörülik. Rendkívüli esztétikai követelmények esetén, célszerű a hegesztő huzal összetételét úgy megválasztani (Si és P-tartalom), hogy az horganyzást követően a szerkezettel megegyező színezetet eredményezzen.

Amennyiben a hegesztett szerkezettel szemben különleges alaktűréssel kapcsolatos követelmények vannak, célszerű *próbahorganyzással* meggyőződni a konstrukció és technológia helyességéről, amennyiben ez nem lehetséges, szakember segítségét kell kérni.

5.7 Hegesztés tűzihorganyzás után

Általános javaslat, hogy tűzihorganyzott acélszerkezeteket utólagosan már ne hegeszsenek, ugyanis a hegesztés környezetében a bevonat leég, és ezzel károsodik a védelem.

Vannak azonban olyan feladatok, amikor nem lehet elkerülni a tűzihorganyzott acélszerkezetek utólagos hegesztését. Az esetek többségében ennek az oka, hogy a rendelkezésre álló tűzihorganyzó kád méretével nem egyeztethető össze, vagy nem ellenőrizték le, hogy mekkora a legnagyobb munkadarab mérete. A tervezésnél kell beszerezni a szükséges információkat a legnagyobb horganyozható méretről. Egyes esetekben, különleges intézkedések végrehajtásával lehet elvégezni a már tűzihorganyzott szerkezetek utólagos hegesztését. Normál vastagságú horganybevonat esetében ($v < 100\mu\text{m}$), a hegesztési varrat tulajdonságai nem különböznek a nem horganyzott acél varratainak jellemzőitől. Amennyiben ennél vastagabb bevonat van, azt a varrat helyén óvatosan le kell munkálni.

Ezután a szabad acélfelület előírás szerint hegeszthető. Hegesztés után a sérült bevonatot, a teljes javított felületet a horganyzott felületek javítására vonatkozó előírások szerint kell javítani (MSZ EN ISO 1461).

Ha mégis horganybevonatos felületet kell hegesztetni, akkor az alábbi ajánlásokat kérjük figyelembe venni.

A hegesztés során figyelembe veendő szempontok:

- o Alapvetően az összes ömlesztő hegesztési eljárás alkalmas a már horganyzott felület hegesztésére.
- o 3 mm alatti lemezvastagságnál ajánlható csak az autogén-hegesztés, e felett ívhegesztést javasolt használni.
- o Védőgáz alatti hegesztésnél erősebb fröccsenéssel kell számolni.
- o Általában alacsonyabb hegesztési sebességet kell alkalmazni, mint a nem horganyzott acélok hegesztésénél (a gázok jobb eltávolítása érdekében).
- o Tompa varratoknál valamivel nagyobb hegesztési hézagot kell hagyni, annak érdekében, hogy a varrat ömledékéből az égéstermékek szabadabban eltávozhassanak el.
- o A hegesztés áramerősségét minimális értékkel nagyobbra kell megválasztani, mivel az eléggő cink kissé zavarja a varratmetallurgiát.
- o Sarokvarratok esetében az elektródát úgy kell vezetni (lengetni), hogy a varratszéleken a horganyt leégessék.
- o A megfelelő hegesztő huzal kiválasztása döntő fontosságú a varratminőség szempontjából. Azok a huzalok, elektródák, melyeknél a varraton lassabban hül ki a salak, jobbak, mert lehetővé teszik a gázok időben történő eltávolítását az ömledékből. A szerkezeti acélokban, ahol a hegesztési varratok nincsenek különlegesen nagy igénybevételnek kitéve, ajánlhatóak például a közepesen vastag rutilos, vagy rutil-cellulóz elektródák.
- o A hegesztési tartományt gondosan meg kell tisztítani, majd a felületvédelmet mielőbb, előírás szerint (MSZ EN ISO 1461) helyre kell állítani.

Biztonságtechnikai előírások:

- o A cink-oxid tartalmú hegesztési füstöt el kell vezetni a munkahelyről, azt belélegezni nem szabad.
- o A munkahelyet alaposan szellőztetni kell.
- o Amennyiben nagyobb mennyiségben belélegezték ilyen füstöt, orvoshoz kell fordulni.

A belélegezett füst esetleg influenza-szerű tüneteket okoz (fémgőz láz), azonban orvosi ellátás után nyomtalanul gyógyul. A belégzés azonban megfelelő biztonsági berendezések használata esetén teljes mértékben kizárható.

5.8 Tűzihorganyzott kötőelemek alkalmazása

Ha „horganyzásról” beszélünk, nem minden szakember ugyanazt a technikát érti rajta. A szó nem jelent egyértelműen tűzihorganyzást, mert több olyan technika létezik, melyek segítségével horganyt (cinket) lehet felvinni a tárgyak felületére. Az acélszerkezetek gyártásánál gyakran felmerülő kérdés, hogy a tűzihorganyzott acélszerkezetek összeszereléséhez milyen kötőelemeket alkalmazzanak. Mivel az egyes bevonó eljárások eredményeképpen más-más tulajdonságokkal rendelkező bevonatok jönnek létre, ezért he-

lyesen kell megválasztani a kötőelemek korrózióvédelmi technológiáját. A tűzhorganyzás rendeltetése korrózió elleni védelem, melynek hatékonysága, időtállósága szorosan összefügg a kötőelemeken levő bevonat vastagságával (9. táblázat).

Eljárás típusa	Szokásos bevonat vastagság (μm)
Galvanikus (elektrolitikus) horganyzás	5-10
Sherardizálás	~15
Tűzhorganyzás	~50

9. táblázat: Bevonatvastagságok alakulása eljárásonként

A tűzhorganyzott acélszerkezeteken kialakított bevonatok vastagsága szokásosan 50–150 μm, ezért az egységes korrózióvédelmi képességek fenntartása érdekében *tűzhorganyzott acélszerkezetekhez, mindenképpen tűzhorganyzott kötőelemek alkalmazását javasoljuk.*

Amennyiben helytelenül választják meg a tervezők/kivitelezők az acélszerkezetekhez felhasznált kötőelemeket, számolni kell azzal, hogy rövid időn belül korróziós göcök alakulnak ki a kötőelemeken, vagy környezetében (pl. ha kültérre galvanikusan horganyzott kötőelemeket alkalmaznak).

Nagyszilárdságú feszített kapcsolatok (NF) esetében, a tűzhorganyzás nem jelent semmiféle nehézséget, azonban alkalmazásakor néhány szempontot figyelembe kell venni.

A horgany (Zn) lágy és sima fém (súrlódási tényezője: $\mu < 0,2$), azonban a horganybevonat szerkezetétől függően (ötvözetű rétegek, vagy tiszta cinkkel borított bevonat) ez változhat. A tiszta cinkfelület esetében ez 0,2, illetőleg annál kisebb. Az a bevonat, mely tisztán vas-cink ötvözetből áll, gyakran 0,5, vagy ennél még nagyobb súrlódási tényezővel rendelkezik. A nagyon alacsony ($\mu < 0,2$) súrlódási tényezők nem kedvezőek, ezért néhány intézkedést kell tenni a megfelelő kapcsolat biztosítása érdekében (10. táblázat).

Elcsúszó felületek érdesítése szemcseszórással.	Súrlódási tényezőt emelő bevonatok felhordása (pl.: alkáli-szilikát cinkpor)
---	--

10. táblázat: Egymáson elcsúszó felületek érdesítésének lehetőségei



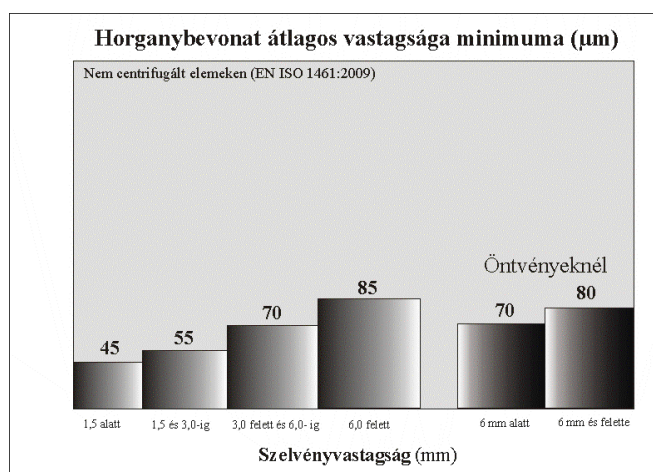
Rétegvastagság mérés

6. Szabvány és ajánlott acélminőségek

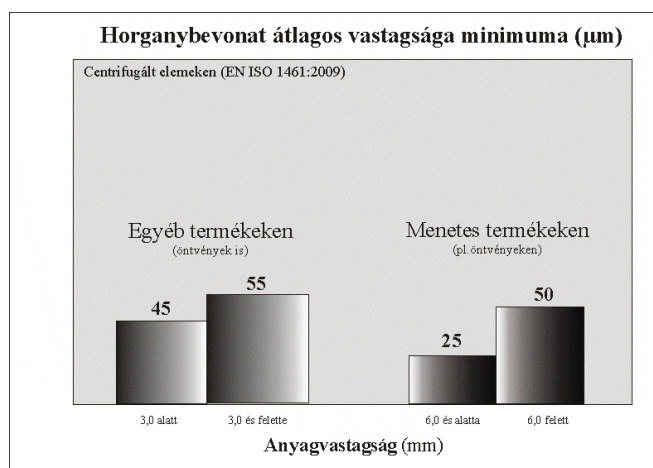
A szabványok alkalmazásáról idézzük fel a legfontosabb elvet, mely kimondja, hogy a szabvány alkalmazása „önkéntes, kivéve, ha jogszabály kötelezően alkalmazandónak nem nyilvánítja”. A fentiekből következik, hogy a tűzhorganyzott acélszerkezetek gyártói, forgalmazói, alkalmazói, stb., illetve a tűzhorganyzó üzemek, mint egységes mércét, alkalmazhatják az érintett szabványokat, de ezektől el is lehet térni, amennyiben a szerződő felek abban jogszerűen megállapodnak. Sőt, a korábban érvényes szabványok előírásait még ma is alkalmazhatják kölcsönös elfogadás esetén.

7.1 Az MSZ EN ISO 1461: 2010 bevonatvastagságra vonatkozó előírásai

A szabvány szerinti eljárással felvitt bevonatok vastagsági előírásaira vonatkozóan a grafikonok adnak tájékoztatást. A grafikonokon szereplő vastagsági értékek a legkisebb átlagos értékeket mutatják (27-28. ábra). A szabványban szereplő legkisebb helyi értékekre külön adatok vonatkoznak, melyek alacsonyabb határértékeket engednek meg.

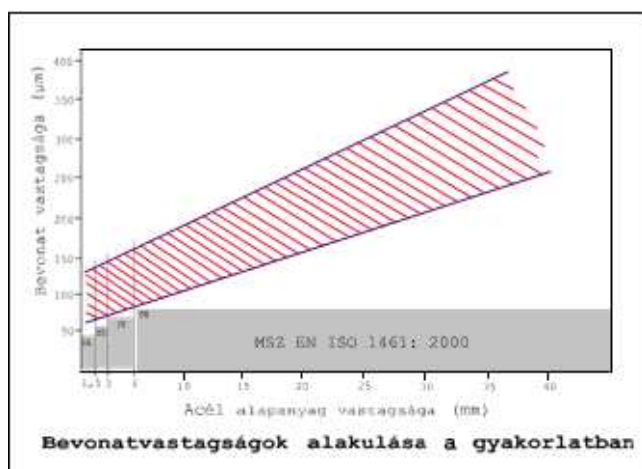


27. ábra: A legkisebb rétegvastagságok (MSZ EN ISO 1461:2010)



28. ábra: A legkisebb rétegvastagságok (MSZ EN ISO 1461:2010) – centrifugált termékek

A tűzihorganyzás gyakorlatában mért értékek szinte minden esetben biztonsággal meghaladják a szabványban szereplő határokat (29. ábra).



29. ábra: Tapasztalati értékek a gyakorlatban

7.2 Ajánlott acélminőségek (MSZ EN ISO 14713-2: 2010)

A szabvány 1. része (MSZ EN ISO 14713-1:2010) a különféle fémbevonatok korróziós kérdéseivel foglalkozik. A 2. részben (MSZ EN ISO 14713-2:2010) kizárólag a tűzihorganyzott acélszerkezetek acélminőségeinek megválasztásának szempontjait és a tervezési kérdéseket tárgyalja. Tűzihorganyozhatóság szempontjából nem egyformán viselkednek az egyes vasalapú fémek, a képződő horganybevonatok tulajdonságai (vastagság, színezet, tapadás, keménység) nagymértékben függenek az ötvözők mennyiségétől.

Tűzihorganyozhatóak az ötvöztelen és gyengén ötvözött acélok, acélöntvények, szürke-, és temper-öntvények is (MSZ EN ISO 14713-2:2010, 6.1 pont). Az acélok szilícium (Si) és foszfor (P) tartalma alapvető befolyást gyakorol a kialakuló horganybevonatok tulajdonságaira, így gazdaságosságára is. A piaci igények megkövetelik, hogy a tűzihorganyzott termék védőbevonata ne csak ellenálljon a korrózióknak, hanem a horganyzott termék külleme is megfelelően, ugyanakkor a bevonás egységköltségei is versenyképesek legyenek más korrózióvédelmi technológiákkal (pl. a festéssel). Természetesen a horganybevonat elsődleges rendeltetése a szükséges ideig tartó korrózió elleni védelem, melyet a bevonat vastagsága határoz meg (1.1.1 alfejezet).

A szabvány szerint a tűzihorganyzó által kijavítandó felület nagysága nem haladhatja meg az adott munkadarab teljes felületének 0,5%-át, de egy-egy hibahely nagysága ekkor is legfeljebb 10 cm² lehet. Ellenkező esetben – ha erre vonatkozóan más megállapodás nincs – újra kell horganyozni a darabot.

A javítás lehetőségei:

- o Termikus fémszórással (cink) – EN 22063 szerint
- o Cinkben dús festékekkel
- o Cinkötvözetű forrasztással

Fontos megjegyezni, hogy a megrendelő és a tűzihorganyzó már a szerződésben rögzítse a horganybevonat utólagos bevonásának (pl. festés, porszórás) kérdését. Ugyanis a hibahelyek javítása ebben az esetben csak a megrendelővel egyeztetett technológiával történhet. Más esetben kockázatosá válik a termék későbbi felhasználhatósága.

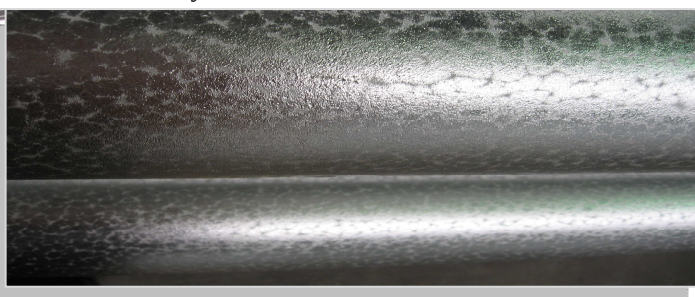
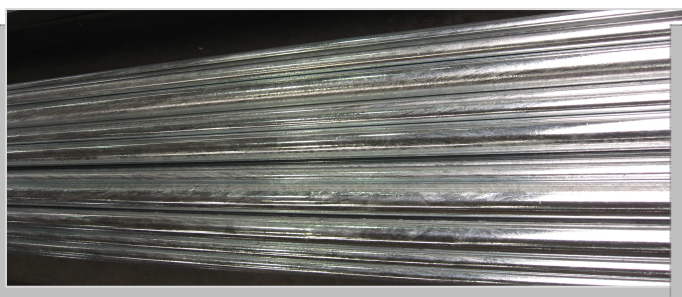
A MSZ EN ISO: 1461: 2010 előírás A, B és C melléklete számos gyakorlati információt tartalmaz. Külön említést érdemel a C melléklet, mely részletesen tárgyalja a megrendelők számára termékeik minőségét meghatározó nagyon fontos tudnivalókat.

Attól függően, hogy mennyi szilícium és foszfor található az adott acélban – a korróziós követelmények teljesülésén túlmenően – célszerű optimális kémiai összetétellel rendelkező acélminőséget kiválasztani a szerkezet anyagához (30. ábra). A szabvány szerint a 11. táblázatban foglaljuk össze az alkalmazható acélok csoportjait (részletes bemutatásukat a szabvány tartalmazza).

ACÉLCSOPORT	Si és P-tartalom	Bevonat
Optimális	≤ 0,04 % Si és < 0,02 % P	fényes, gazdaságos
Ajánlott	0,14% - 0,25% Si	fényes, gazdaságos
Reaktív	> 0,04% Si és ≤ 0,14% Si	szürke, vastag
Reaktív	> 0,25% Si	szürke, vastag

11. táblázat: Acélminőségek tűzihorganyzáshoz

A táblázatban szereplő acélok között nincs beszerzési árkülönbség. Tömegacélok, melyeket megfelelő acélkereskedésben be lehet szerezni. Tervezéskor célszerű a rajzokra (specifikációkra) rávezetni a minőséget, vagy gyártáskor ennek megfelelően megrendelni. Egyéb acélminőségekkel és felületükkel kapcsolatos információk megtalálhatók még a szabvány 6.1 pontja alatt, illetve az EN 10025 szabványsorozatban.



30. ábra: Jól horganyozható (balra) és reaktív acél bevonatai



