TŰZIHORGANYZÁS

(MSZ EN ISO 1461)

Hot-dip Galvanizing * Feuerverzinkung

Figyelem: Ebben a tájékoztató dokumentumban található információkat a Magyar Tűzihorganyzók Szövetsége biztosítja mindenkinek, aki a tűzihorganyzásról többet szeretne tudni. A kiadvány szerkesztője nem vállal felelősséget a használatból eredő, bármilyen okból bekövetkezett veszteségért, vagy kárért. A kiadványban szereplő képek, ábrák sokszorosítása, vagy bármilyen okból történő másolása, akár elektronikus formában is, csak a kiadó írásos engedélyével történhet.

Szerkesztette és kiadta: Magyar Tűzihorganyzók Szövetsége - 2018.
(2400 Dunaújváros, Gőzmalom u. 6. – www.hhga.hu)

1. A „HORGANYZÁS” SZÓ ALATT TÖBBFÉLE ELJÁRÁST ÉRTHETÜNK

Az acélok, öntöttvasak fémhorgannyal (cinkkel) történő bevonására több eljárás létezik (1. táblázat), melyekkel egymástól jelentősen eltérő tulajdonságú védőbevonatokat lehet kialakítani. Az eltérő alkalmazási követelmények felületvédelmi (korróziós, technikai) és díszítő célú bevonatok kialakítását eredményezték.

ELJÁRÁSOK			**Jellemző bevonat vastagság** (μm)	**Ötvözeti réteg az alapfémmel**	**A bevonat szerkezete és összetétele**	**Bevonat felhordásának módja**	**UTÓKEZELÉS**	
							Szokásos	**Lehetséges**
Fémbevonatok	TŰZIHORGANYZÓ TECHNIKÁK	**Acélszerkezeti tűzihorganyzás**	**50-150**	**van**	Többfázisú, intermetallikus ötvözeti réteg, legtöbbször tiszta horgany borítja	**Horgany olvadékba történő merítéssel**	-	Festés, lakkozás, valamint csekély mértékű bevonat átalakítás*
		Acéllemezek folyamatos tűzihorganyzása	5-55	van		Horgany olvadékon történő áthúzással	Passzi-válás	
		Acélhuzalok tűzihorganyzása	5-30	van			-	
		Csövek tűzihorganyzása félatomata és automata sorokon	50-150	van		Horgany olvadékba történő merítéssel	-	-
		Tömegáru tűzihorganyzás (cetrifugával)	50-80	van	Többfázisú, intermetallikus réteg, sokszor tiszta horgany nélkül	Horgany olvadékba történő merítéssel, majd centrifugába helyezéssel	-	-
	TERMIKUS FÉMSZÓRÁS		80-150	nincs	Horgany szemcsékből álló bevonat	Folyékony cink felszórása	Tömítés penetráló réteggel	Festés
	GALVANIZÁLÁS (elektrolitikus horganyzás)		2,5-25	nincs	Lemezes, réteges	Leválasztással elektromos áram segítségével, elektrolitban	Passzi-válás	Festés
	FÉMPORBA ÁGYAZÁS - sherardizálás		15-25	van	Fe-Zn ötvözet	Cinkporban diffúzióval, olvadáspont alatti hőmérsékleten	-	Festés
CINKPOROS FESTÉS			Vékony: 10-20 Átlagos: 40-80 Vastag: 60-120	nincs	Cinkpor a kötő-anyagban	Ecsettel, bemártással, szórással, hengerrel	Alapozó és átvonó rétegek	-
KATÓDOS VÉDELEM			Nagytisztaságú cink (Zn) alkalmazása a fogyó anódként, elektrokémiai korrózionak kitett területeken. Az oldódó (áldozati) anód fémes kapcsolatban van a védendő felülettel, a katóddal (vassal). A vas mindaddig védett marad, ameddig az anód (Zn) anyaga el nem korrodálódik.					

*Különleges esetekben lehetséges a bevonat kisebb-nagyobb mértékű átalakítása célirányos hőkezeléssel.

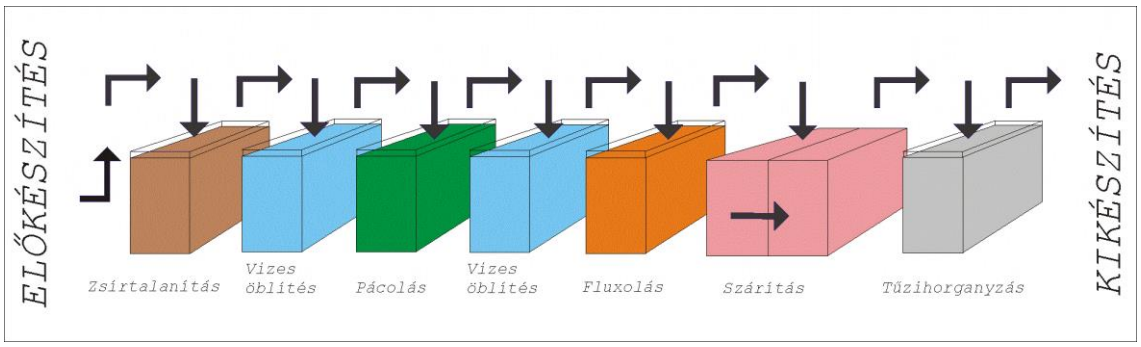
1. TÁBLÁZAT: Horganyt felhasználó felületvédelmi eljárások csoportjai

A fémbevonatok közül jelentőségét, gazdasági alkalmazásának lehetőségeit tekintve kiemelkedik a fémolvadékban történő bevonás technikája, a tűzihorganyzás. A bevonat képződésének elvi folyamatai minden tűzihorganyzási technológiánál megegyeznek, azonban az egyes részfolyamatok időtartama, a felület előkezelés módja, egyéb jellemzői eltérhetnek egymástól. Ennek eredményeképpen a keletkező bevonatok jellemző tulajdonságai (szerkezete, vastagsága, külleme) eltérnek. Jelentős termelékenység különbségek vannak az egyes eljárások között. Ipari jelentőségüket tekintve – a tűzihorganyzási eljárások közül kiemelkednek a szakaszos darabáru (acélszerkezeti), illetve a folyamatos lemezhorganyzási technológiák.

2. TŰZIHORGANYZÁS SZÁRAZ ELJÁRÁSSAL

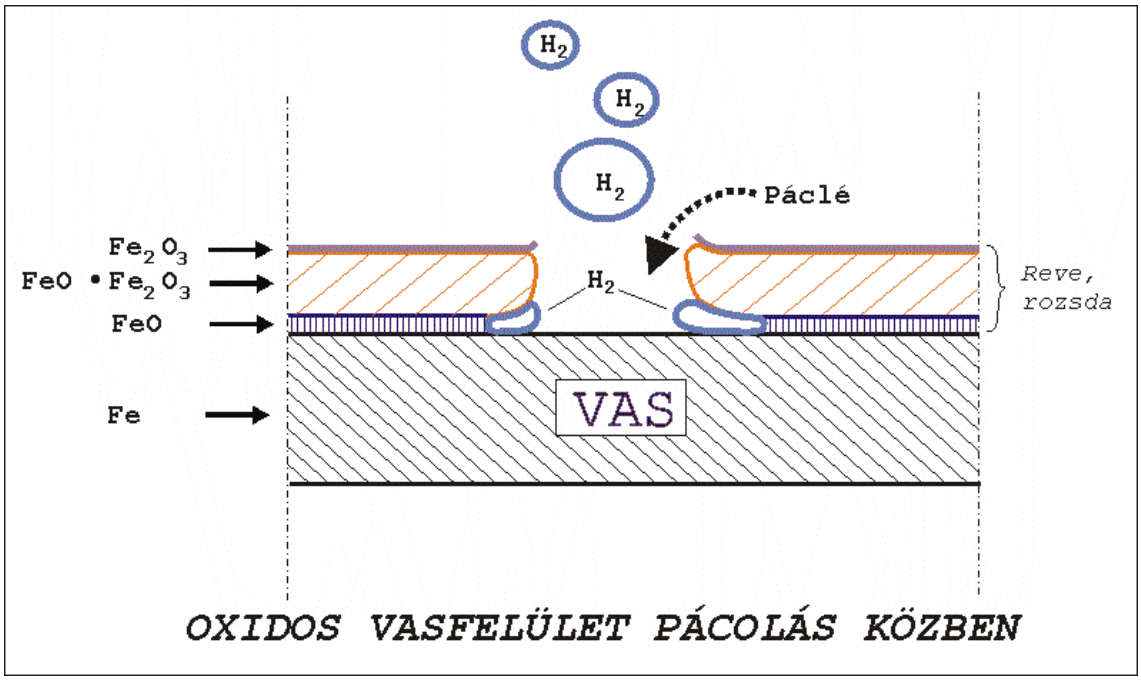
2.1. A technológia

Tűzihorganyzás során a bevonandó acél-, vagy vastermékek felületén többfázisú, termodiffúziós horganyréteg alakul ki, mely metallurgiai kapcsolattal kötődik a alapfémhez. Tűzihorganyozhatók az ötvözetlen, vagy gyengén ötvözött acélok és öntöttvasak, míg az ötvözött acélok, vagy a magas kéntartalmú (automata) acélok nem tűzihorganyozhatók. A tűzihorganyzás folyamata az elsősorban cinkből álló fémolvadékban játszódik le, mely a szilárd (vas) és folyékony (horgany) fémfázisok közötti heterogén reakciók eredménye. Ahhoz, hogy ezek a folyamatok le tudjanak játszódni, a bevonásra kerülő terméknek fémtiszta felületet kell biztosítani. Ennek érdekében a horganyzókád előtt olyan technológiai lépéseket kell elhelyezni, hogy azok maradéktalanul biztosítsák a megkívánt felületi tisztaságot. A horganyzást követő lehűlésnek is fontos szerepe van a horganyréteg végső jellemzői szempontjából.
Az acélszerkezetek gyártásuk során különböző technológiai műveleteken, raktározáson, szállításon mennek keresztül. E megmunkálások alatt a munkadarabok felületei szennyeződnek, azaz különféle salakok (hegesztés), oxidok (hőkezelés, lángvágás), zsírok és olajok (kenőanyagok, átmeneti korrózióvédelem) és egyéb szennyeződések (festék, kátrány, stb.) kerülhetnek rájuk. Ezek a nemkívánatos anyagmaradványok megakadályozzák a bevonatképződést, ezért el kell őket távolítani a felületről (1. ábra). A megfelelő felületelőkészítés *első lépése* a zsírtalanítás, melynek eredményeképpen az oxidrétegek szabaddá válnak, s így zsírtalanítást követően ásványi savak vizes oldatában el lehet őket távolítani.



1. ÁBRA: A száraz eljárás

Mivel a zsírtalanítási művelet során a leoldott zsírok, olajok a zsírtalanító fürdőben és azok felszínén úsznak, ezért a zsírtalanítóból történő kiemelés után megfelelő öblítésnek kell alávetni a munkadarabokat. Savas zsírtalanításnál ez nem feltétlenül szükséges.
A *pácolás* (oxidmentesítés) folyamatánál a munkadarabok felületére tapadt vas-oxidokat kell eltávolítani, hogy fémtisztává váljon a vasfelület. Pácolódás közben a különféle típusú vas-oxidok (FeO, Fe_2O_3, Fe_3O_4) kémiai úton feloldódnak, részben pedig a reakciók során keletkező hidrogén a felületről leválasztja őket (2. ábra). A folyamatok eredménye, hogy a pácoldaban felhalmozódik vas-klorid és folyamatosan csökken a szabad sav koncentrációja, így csökken a pácoldat hatékonysága.



2. ÁBRA: Az oxidmentesítés (pácolás) folyamata

A folyamat végén kialakuló szürke színű, aktív fémfelület már alkalmas a következő műveleti fázisok végrehajtására.

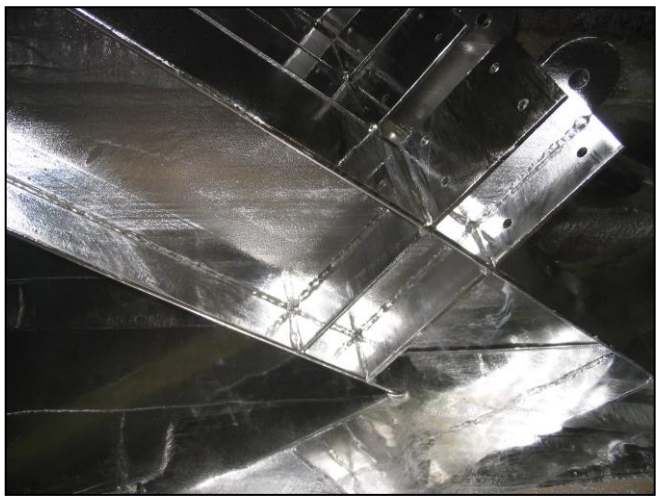
1- 2. KÉP: Termékek a pácoló kádban

A pácolást *hidegvizes öblítés* követi annak érdekében, hogy a pácmaradékok és iszapok ne kerüljenek át az ún. *flux-fürdőbe*. A flux lényegében cink-klorid és ammónium-klorid sók keverékének megfelelő arányú vizes oldata, különféle adalékokkal kiegészítve,

melyek elősegítik a felület nedvesítését, illetve a sóréteg jobb tapadását. A fluxsó elsődleges feladata, egyéb más funkciói mellett, hogy a tűzihorganyzó kád felszínén történő termikus bomlásakor még egy utólagos felülettisztítást, finompácolást adjon a termékfelületnek.
Annak érdekében, hogy a fluxsó a felületre rá tudjon száradni, illetve, hogy előmelegítsék a munkadarabokat, a horganyzandó termékekeket szárító kamrába (alagútba) helyezik.

3. KÉP: Termékek a szárító kamrában

Az acélszerkezeteket *szárítás*kor kb. 80-110 C˚-os levegőáramban szokásosan 15-30 percig szárítják. Itt részben elő is melegítik a darabokat. A szárítást követi a *tűzihorganyzás*. A bevonókádba történő történő bemerítéskor a kb. 450 ˚C hőmérsékletű fémolvadék felszínén a fluxsó füstképződés mellett termikusan elbomlik és közben utólagos felülettisztítást ad a termékek felületének, és eltávolítja a maradék szennyeződéseket a vas és a fémolvadék határáról, így kémiailag a vasfelület aktívvá válik. Miután a munkadarabok a fémolvadék felszíne alá merültek, a vason kétirányú diffúzió eredményeképpen, időben egyre vastagodó, több fázisból álló horgany-vas ötvözet réteg alakul ki, mely metallurgiai kapcsolattal kötődik az alapfémhez. Miután a fémolvadékban a munkadarab teljes keresztmetszete átvette a fémfürdő hőmérsékletét, a fürdő felszínéről a salakot eltávolítják, és a darabokat ún. fémtükrön keresztül kihúzzák (4. kép).



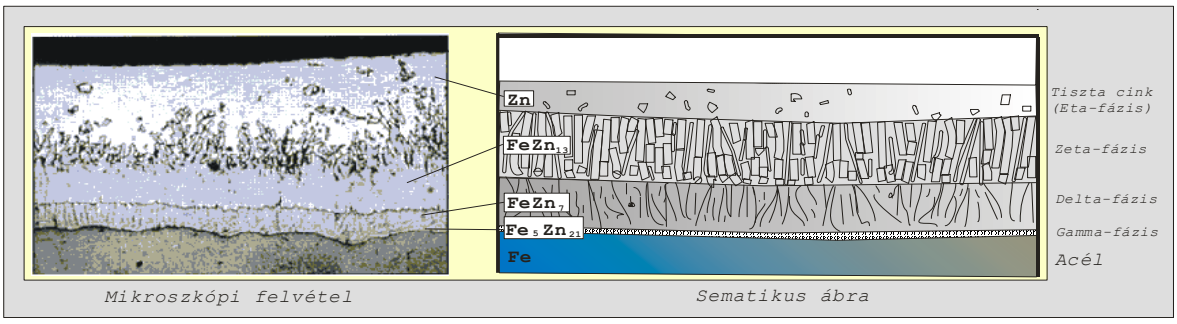
4. KÉP: Kiemelés a fémolvadékból

Mikor a termék felülete kiemelkedik a fémolvadékból, a vasfelületen már meglevő horgany-vas ötvözet rétegre tiszta horgany rakódik. A művelet alatt a darabok végeiről, éleiről szerszámokkal eltávolítják a felesleges cseppeket, majd az acélszerkezeteket lehűtik, vagy szabad levegőn hagyják lehűlni. A lehűlés ideje alatt (kb. 200 °C-ig) a termodiffúzió tovább tart, és a bevonat utánötvöződése folyik, mely esetenként szürke, szürke foltos kinézetet is eredményezhet. Ezt követi az kézi-gépi utókezelés művelete, amelyeknél a felületre tapadt technológiai szennyeződésektől, felesleges fémmaradványoktól szabadítják meg a kész munkadarabokat, ha szükséges, kisebb javításokat végeznek el a bevonaton. Ennek befejezése után kerül sor a késztermékek minőségi *végellenőrzésére* és *csomagolására*.

5-6. KÉP:Megfelelő módon történő raktározás

3. BEVONATKÉPZŐDÉS FOLYAMATA ÉS A HORGANYRÉTEG SZERKEZETE

Ahhoz, hogy a vasfelületen a tűzihorgany bevonat kialakulhasson, fémtiszta, kémiailag aktív felületet kell számára biztosítani. Miközben a munkadarabokat a horganyolvadék felszíne alá merítik a vas és a horgany (cink) között kétirányú diffúzió indul meg, eközben a vasfelületen többfázisú, termodiffúziós fémötvözet réteg jön létre (3. ábra), mely az alapfémtől a bevonat felület felé haladva egyre kevesebb vasat (Fe) és egyre több cinket (Zn) tartalmaz (2. táblázat). A folyamat közben a horganyolvadék vassal dúsul.

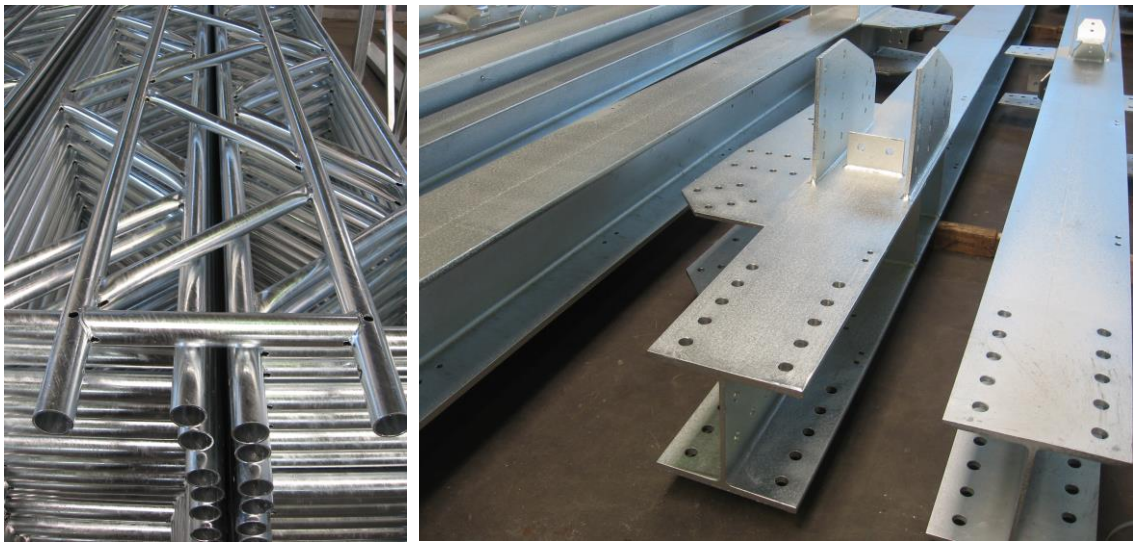


3. ÁBRA: A horgany réteg felépítése és az egyes fázisok

A réteg jele	Eta	Zeta	Delta	Gamma
Megnevezése	Tiszta cink	Ötvözeti réteg	Palisaden réteg	Tapadó réteg
Kémiai összetétel	Zn	$FeZn_{13}$	$FeZn_7$	Fe_5Zn_{21}
Vastartalom (%)	*	5,8 - 6,2	7,0 -12,0	21,0 - 28,0
Kristályszerkezet	hexagonális	monoklin	hexagonális	köbös
Vastagság (µm)	8,0 - 12,0	7,0 - 20,0	30,0 -40,0	1,0 -2,0
Fizikai tulajdonság	szívós	kemény, rideg	kemény, rideg	erősen tapadó

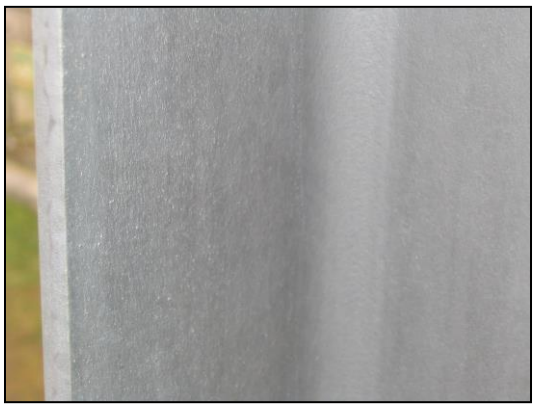
2. TÁBLÁZAT: Az egyes ötvözeti fázisok tulajdonságai [1]

A bevonat az összvastagsága és egyes fázisainak az aránya elsősorban az acél (vas) alapanyag kémiai összetételétől függ, szerkezetét a fémréteg lehűlésének időtartama is befolyásolja.Vannak olyan ötvözők/szennyezők, melyek hatására a Fe/Zn kétirányú diffúzió sebessége jelentősen megnő, emiatt, már a horganyfürdőben túlzottan vastag rétegek alakulnak ki (ún. reaktív acélok). Az ötvözet-rétegre kiemeléskor rakodó tiszta horganyfázis kémai összetétele, szerkezete a munkadarab lehűléséig még változik, azaz kb. 200 ˚C-ig ún. maradék-diffúzió megy végbe az egyes fázisok között. Optimális kémiai öszetételű acélok esetében – ahol nem túl nagy a termodiffúzió sebessége - a tiszta cinkréteg „végérvényesen” megmarad, a bevonat fényes, ezüstös lesz (7. és 8. kép).



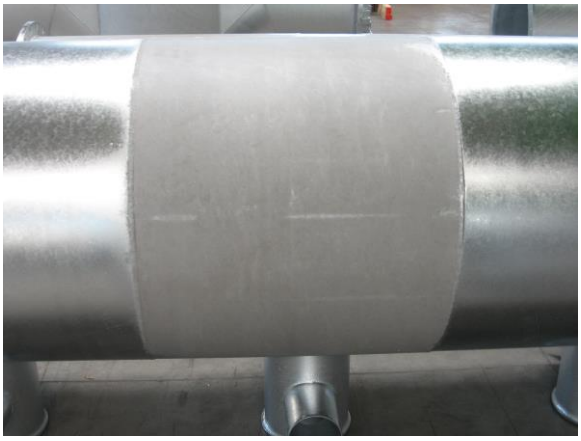
7- 8. KÉP:Tiszta cinkréteggel borított, fényes bevonatok

Reaktív acéloknál a lehülés közbeni diffúzió intenzív és a vas-atomok kifelé diffundálnak egészen a tiszta horganyréteg felszínéig és azzal ötvözetet alkotnak, mely matt szürke (9-10. kép), vagy esetleg ún. leopárdmintás (hálómintás) is lehet. Az ilyen bevonatok lényegesen vastagabbak és keményebbek, mint a fényes, optimális szerkezetű rétegek, azonban korróziós tulajdonságaik nem rosszabbak. Nagyobb, sokszor többszörös vastagságuk miatt, korróziós élettartamuk ennek megfelelően jóval hosszabb.



9-10. KÉP:Tisztán ötvözeti fázisokból álló rétegek

Ez a folyamat jól megfigyelhető, amikor a tűzihorganyzás szempontjából eltérő acélminőségekből összehegesztett szerkezeteket tűzihorganyoznak, azaz az acélok szilícium (Si) és foszfor (P) tartalma – a tűzihorganyozhatóságot tekintve - lényegesen eltérnek egymástól (11. kép).

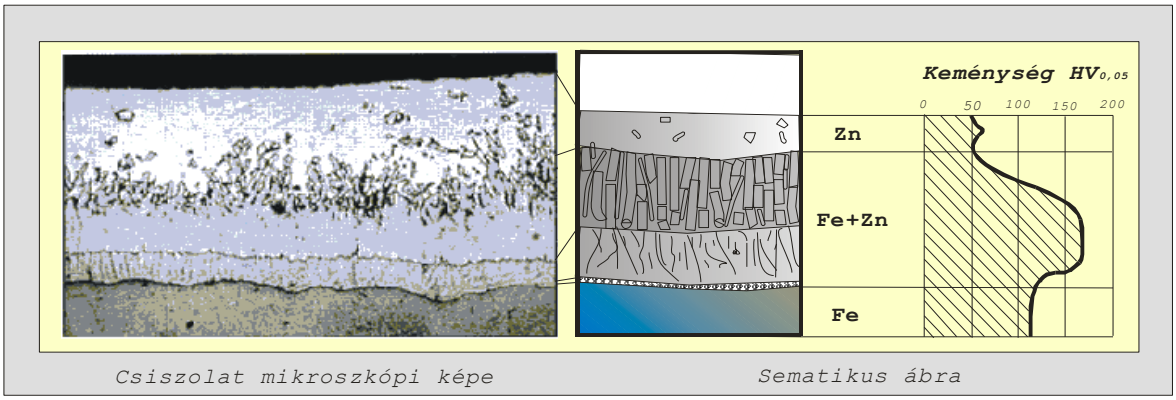


11. KÉP: Egymástól eltérő acélminőségek egy darabon belül

A fentiekhez hasonló jelenség figyelhető meg abban az esetben is, ha az acélszerkezet csak nagyon lassan tud lehülni. Ekkor a túl hosszú időn át tartó, „maradék" termodiffúzió miatt a legfelső tiszta horganyréteg is könnyen átötvöződhet vassal. Ez az ún. hőfoltosság jelensége (12. kép) . Ennek oka lehet, ha nagyon vastag az acélanyag, vagy nehezen hűlő zárt terek akadályozzák a hőleadását.

12. KÉP: A hőfoltosság a talplemezeken

A bevonat egyes fázisai – szerkezetükből és összetételükből adódóan – eltérő mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek. A tisztán horgany-vas ötvözetből álló fémréteg nagy felületi keménységgel rendelkezik, ebből adódóan kitűnően kopásálló (4. ábra), de ugyanakkor rideg.



4. ÁBRA: A horganybevonat keménységének alakulása

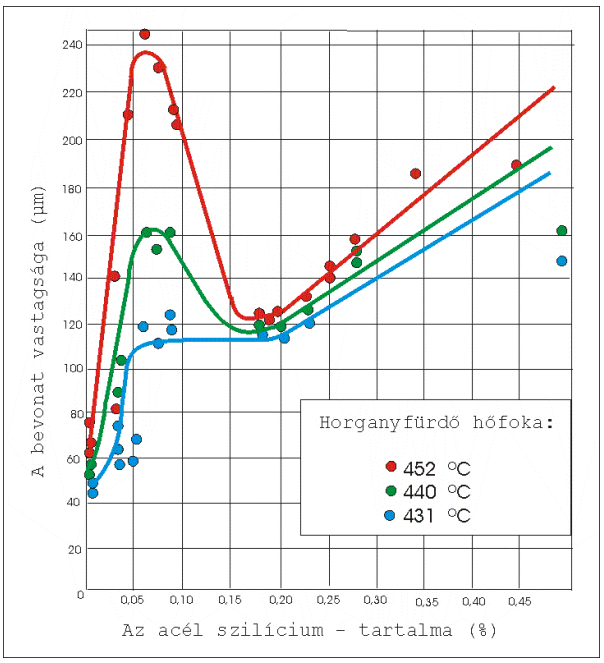
4. A SZILÍCIUM ÉS A FOSZFOR HATÁSA A BEVONAT TULAJDONSÁGAIRA

Tűzihorganyozhatók az ötvözetlen és gyengén ötvözött acélok, öntöttvasak. Nem tűzihorganyozhatók az ötvözött és erősen ötvözött acélok, magas kéntartalmú acélok (automata acélok). Az ötvözetlen és gyengén ötvözött acélokban levő *szilícium* (Si) mint ötvöző (dezoxidáló anyag), vagy mint szennyező (acélgyártási technológiából) kerülhet az acélba. A *foszfor (P)* az acélszerkezeteknél felhasznált acélminőségekben általában, mint kísérő elem van jelen.

4.1. A Si (szilícium) hatása a bevonat jellemzőire

Az ötvözetlen és gyengén ötvözött acélokban levő kémiai elemeket vizsgálva kimutatták, hogy az acél szilícium-tartalma és a bevonat teljes vastagsága, színe között szoros összefüggés van. A Si-hatását ún. Sandelin-görbével lehet jellemezni, melyet tapasztalati úton nyertek és megmutatja, hogy a Si-tartalom mennyiségének változásával miként módosul a bevonat vastagsága (5. ábra).

Ennek oka, hogy a szilícium erősen befolyásolja a bevonatképződés folyamatát.

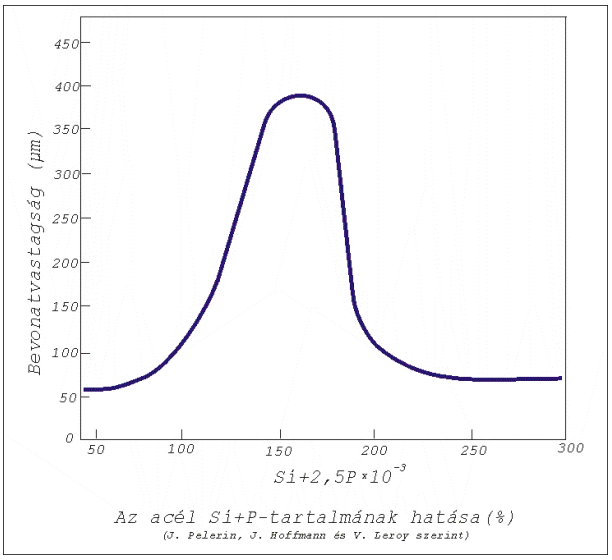


5. ÁBRA: A Sandelin-görbe [2]

A Sandelin-hatás a tűzihorganyzási olvadéktechnológia változtatásával részben csökkenthető, vagy megszüntethető. Későbbi kutatások bizonyították, hogy a 0,15-0,25% Si-tartalmú acéloknál (Sebisty-acéloknál) – a megszokottal ellentétben – magasabb hőmérsékleten jönnek létre a vékonyabb bevonatok (Sebisty-effektus).

4.2. A Si (szilícium) és P (foszfor) együttes hatása a bevonat jellemzőire

A foszfor hatásának vizsgálatakor a kutatók megállapították, hogy a szilícummal együttesen módosítja a Sandelin-görbét. Azaz együttes mennyiségeik még pontosabban írják le a bevonatra gyakorolt hatásaikat (6. ábra). A foszfor befolyásoló hatása elsősorban alacsonyabb szilícium tartalmú acéloknál (Si≤0,04%) mutatható ki.



6. ÁBRA: A Si és P együttes hatása a horganyréteg vastagságára [3]

Az eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy az ún. Sandelin-acélok (0,035 <Si%< 0,12) esetében a foszfor-tartalom növekedése erősen megnöveli a bevonat vastagságát, míg a magasabb Si-tartalmú acéloknál (Si> 0,12) a P hatása folyamatosan csökken. A kritikus Si-tartalmú ún. Sandelin-acélok gyártásának elkerüléséhez, illetve az acél kiválasztásánál ismert és az acélgyártásnál is elfogadott összefüggés: **Si+2,5P ≤ 0,09 (%).** Amennyiben ezt az empirikus összefüggésnek megfelel az acélminőség, általában optimális, gazdaságos, fényes lesz a lépződő horganybevonat.
Az elmúlt évek során empirikusan meg lettek határozva azok az acélosztályok is (Si és P-tartalom), melyek alapján már nagyobb biztonsággal lehet kiválasztani a tűzihorganyzáshoz optimálisan használható acélok minőségeit (3. táblázat).

Acélminőség	Si-tart.(%)	P-tart.(%)	S+P-tart.(%)	Minősítés
Normál	≤0,03	-	Si+2,5P≤0,09	Optimális
Normál	≤0,04	≤0,11	-	Optimális
Reaktív	≤0,03	-	Si+2,5P>0,09	Kedvezőtlen
Reaktív	≤0,04	>0,11	-	Kedvezőtlen
Reaktív	>0,04; <0,15	-	-	Kedvezőtlen
Normál	>0,15; <0,25	≤0,04	Si+2,5P≤0,325	Megfelelő
Reaktív	>0,25	-	-	Egyre kedvezőtlenebb

3. TÁBLÁZAT: Reaktív és optimálisan tűzihorganyozható acélok csoportjai

Amennyiben nem lehet pontosan meggyőződni arról, hogy a horganyzásra szánt acélminőség milyen kémiai összetétellel rendelkezik, úgy *próbahorganyzással* lehet és kell eldönteni a várható bevonati jellemzőket. A szerkezeti acélokra ajánlott előírásokat az **MSZ EN 10025**-2,-3,-4 szabvány 7.4.3 pontja, illetve az **MSZ EN ISO 14713-2** szabvány tartalmazza.

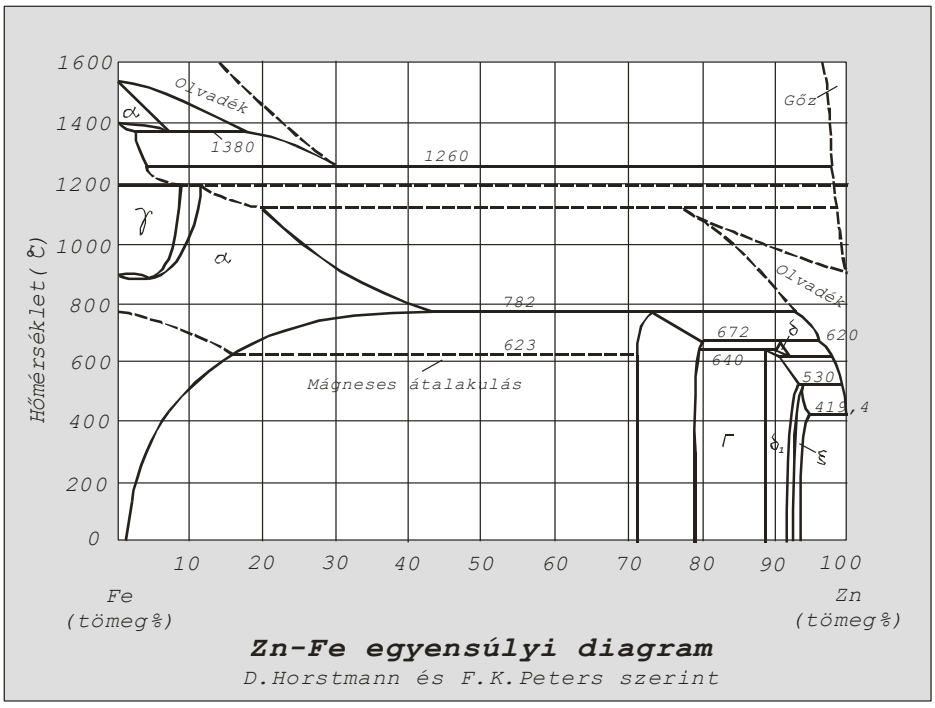
5. A BEVONATKÉPZŐDÉS MECHANIZMUSA

Acélszerkezeteinket, használati tárgyainkat, már lassan háromszáz év óta alkalmazott, és napjainkban is folyamatosan továbbfejlesztett technológiával, egy kiváló tulajdonságokkal rendelkező fémréteggel látjuk el. A horganybevonat évtizedeken át nemcsak a korrózió ellen védi az acélszerkezetek acélanyagát, hanem elsőrangú a mechanikai ellenálló képessége is. A védőbevonat három lépésben alakul ki, melyek a következők:

1. A Zn-Fe ötvözet fázisok képződése a horganyolvadék felszíne alatt.
2. Kiemeléskor a tiszta horganyréteg felrakódása az ötvözet-rétegre.
3. „Utánötvöződés” folyamata lehűléskor.

13. KÉP: Kiemelés a horganyolvadékból

A kb. 450 ˚C-os horganyolvadékba történő bemerítés során, fizikai-kémiai folyamatokkal, a munkadarab felületén levő flux-réteg (folyatószer) elbomlik, mely közben utólagos finompácolást ad a vasfelületnek, azt nedvesíti, ez pedig, elősegíti a hibamentes bevonatok kialakulását. Az olvadékban zajló kétirányú diffúzió eredményeképpen a folyamatok – a szilárd vas (Fe) és folyékony cink (Zn) között – D. Horstmann és F.-K. Peters szerint az 7. ábrának megfelelően játszódnak le.

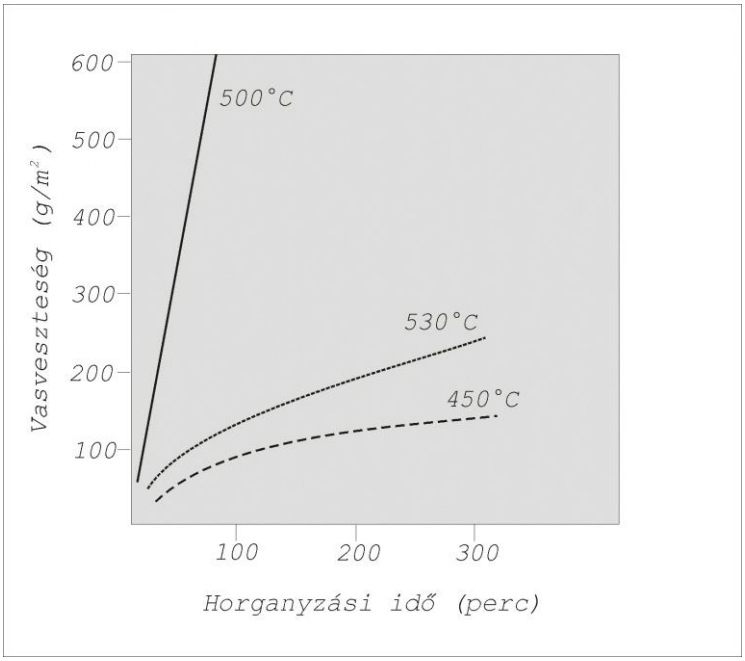


7. ÁBRA: A vas-cink egyensúlyi fázisdiagramja [3]

5.1. Az ötvözet-réteg létrejöttének mechanizmusa

A réteg kialakulásának bonyolult fizikai-kémiai folyamatai (anyagtranszport, metallurgiai átalakulások, kiválások, fémoldódás az olvadékba, stb.) következtében jön létre a bevonat. Az optimális horganyréteg nagyon kemény intermetallikus vegyületfázisokból és a legfelül tiszta cinkből áll.

Az ötvözeti rétegek képződésének újabb elmélete szerint, tűzihorganyzáshoz optimális acélminőségek esetében, a nagyon tömör delta$_1$-fázis (δ_1) miatt jelentősen lecsökken a fázishatáron folyó termodiffúzió sebessége, ezért vékonyabb lesz a horganyréteg. Kedvezőtlen (reaktív) acéloknál ez a kompakt delta$_1$-fázis nem, vagy csak nyomokban alakul ki, emiatt a vasfelület a fémolvadékban aktívabb marad egészen a kiemelésig, így vastag lesz az ötvözet-réteg. A legfelső, laza zéta-fázisból (ζ) folyamatosan horgany-vas ötvözet kristályocskák válnak le a horganyfürdőbe (vasveszteség). A fenti folyamatokkal kialakuló Fe-Zn rétegekre, a fémolvadékból történő kiemelés során, a horganyfürdő összetételével megegyező tiszta cink (η) rakódik rá. Az ötvözetképződés folyamata ötvözés, hőmérséklet és időfüggő. A horganyolvadékba merített acéllemezek vasvesztesége (anyagtranszport az olvadékba) összefüggésben van az ötvözetképződés sebességével.



8. ÁBRA: Az acélok vasvesztesége különböző hőmérsékleteken a merítési idő függvényében [3]

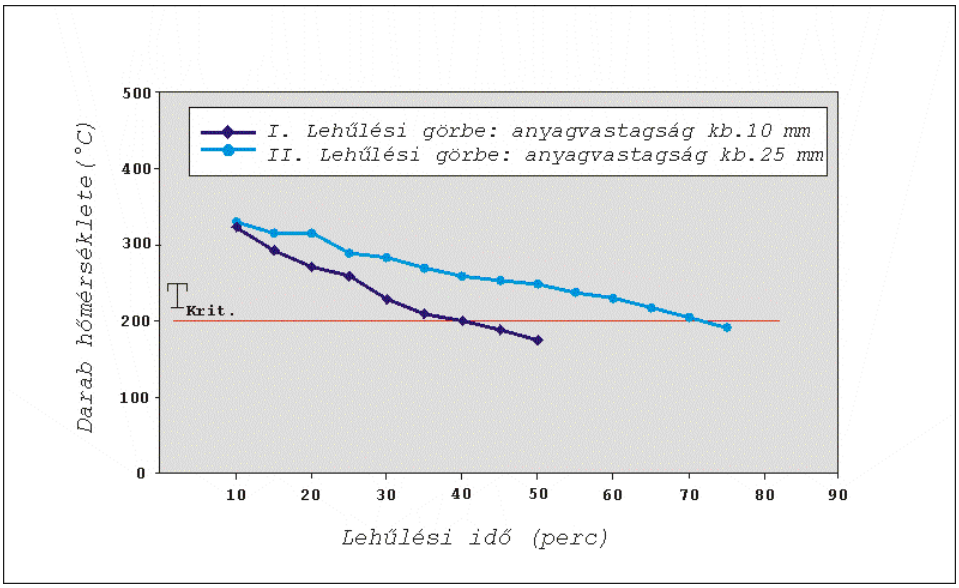
A tűzihorganyzás szokásos hőmérsékletén (~ 450˚C-on) a vasveszteség parabola függvény szerint változik, míg 500 ˚C-nál, egy meredek egyenes (lineáris hatás) szerint zajlik (8. ábra). Ebben a tartományban nem, vagy csak egy igen vékony δ_1, és rajta fekvő, laza ζ-fázis van jelen, melyek leúsznak le az olvadékba, a vasfelület folyamatosan aktív, reakcióképes állapotban van. Az ötvözeti rétegek vastagságának növekedésével - 480-520 ˚C közötti sáv kivételével – amikor a folyamatok nem a parabola-hatás szerint zajlanak, a horganyzási idő múlásával csökken a vasveszteség. Ilyenkor a bevonatok vastagságának növekedése fékeződik, és egy idő eltelte után az újonnan képződő ötvözeti elemek mennyisége, illetve a fürdőbe kerülő Fe-Zn ötvözetek mennyisége egyensúlyba kerül. Ennek köszönhető egyébként, hogy a nagyon tiszta acélból készült horganyzókádak anyaga (ARMCO-acél) hosszú éveken keresztül ellenáll a fémolvadék agresszív támadásának, és csak nagyon lassan vékonyodik. A grafikon 530 ˚C-os tartományban már nem képződik ζ-fázis, hanem csak Γ-, és δ_1-ötvözetek alkotják a teljes réteget. Az egyensúlyi fázisdiagram és az eddig tárgyaltak természetesen csak az Fe/Zn fémpárra vonatkoznak, azonban az acélokban levő különböző ötvözők és kísérőelemek, illetve egyéb feltételek ezt a folyamatot

módosíthatják. Az előzőekben bemutatott reakciókat, a rétegképződés mechanizmusát leginkább befolyásolják:

- Az acélban/vasban levő ötvözők, kísérőelemek.
- A fémolvadék hőmérséklete.
- A fémolvadékban tartózkodás időtartama.
- A fémolvadék kémiai összetétele.
- Az acél/vas felületének szerkezete.
- A munkadarab felületének topográfiája.

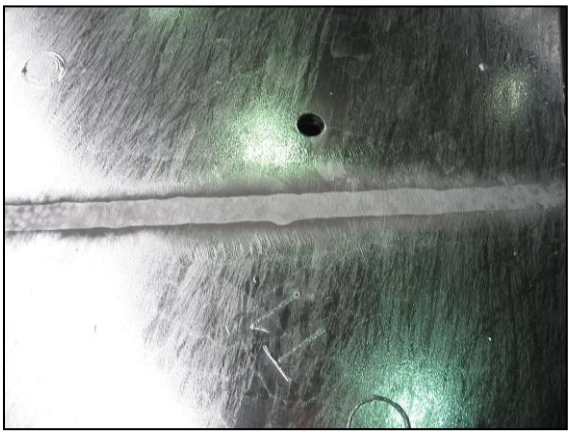
5.2. Tiszta horganyréteg felrakódása és az „utánötvöződés” folyamata

A kész horganybevonat létrejöttének harmadik, nem kevésbé látványos és fontos lépése a horganyolvadékból történő kiemelés után következik be. Ennek nem kisebb a jelentősége, mint az előzőeknek, ugyanis alapvető változások mehetnek végbe a még magas hőmérsékletű fémrétegben. Amikor az acélszerkezet felülete elhagyja a fémolvadékot, a fémfürdőben kialakult Zn-Fe ötvözetre vékonyabb, vagy vastagabb tiszta horganyréteg tapad, melynek kémiai összetétele ekkor még megegyezik az olvadékával. Ám ez csak egy pillanatnyi állapotot jelent. A fémréteg végső kialakulása további – hosszabb-rövidebb ideig tartó - termodiffúzióval megy végbe, mely az acélszerkezet anyagának lehűlése ideje alatt addig zajlik, ameddig az nem éri el a kb. 200 °C-os hőmérsékletet. Ennek a „maradék” anyagtranszportnak a következményeit két tényező határozza meg. Az első az acélminőség (4.2). Ennek megfelelően nagy, vagy éppen kicsi a tiszta horganyfázis megváltozásának sebessége. A másik fontos befolyásoló tényező, a lehűlés időtartama, azaz mennyi idő áll rendelkezésre a vas-és cink-atomok egyre lassuló diffúziójára. Erre mutat példát tájékoztatónk 9. ábrája.



9. ÁBRA: A vasanyag lehűlésének időtartama az anyagvastagság függvényében [4]

Annak megfelelően, hogy a milyen intenzitással, és mennyi ideig zajlik a maradék diffúzió, változik meg az ötvözet-rétegek szerkezete is, és alakul át a rájuk kiemeléskor feltapadt tiszta horganyréteg is. Az utóbbi részben, vagy teljesen átalakulhat Zn-Fe ötvözetté. Ez utóbbi esetben a fényes bevonat helyett matt-szürke, foltos, vagy hálómintás lesz a termék megjelenése (14. és 15. képek).



14-15. KÉP: Szürke és szürke foltos védőrétegek

6. A BEVONATOK SPECIÁLIS TULAJDONSÁGAI

A horganyrétegnek – korróziós ellenállásán túlmenően - vannak olyan speciális tulajdonságai, melyek a legtöbb más védőréteg fölé emelik jelentőségét.

6.1. Kiváló kopás-, és dörzsállóság

A tűzihorgany bevonatok kopás-, és dörzsállósága többszörösen meghaladja a gyakran használatos festékbevonatokét. A termékeket a felhasználás során a korróziós hatások mellett sokszor mechanikai igénybevételek is érik. Példaként lehet említeni a tényleges felhasználás előtti műveleteket (raktározás, szállítás, szerelés), ám a beépítés után is számos esetben koptató hatások érik a bevonatot (homokszóródás, kőszóródás, stb.), emiatt a védőrétegnek nem csak korrózióállónak, hanem a fizikai igénybevételeknek is ellenállónak kell lenni.
Tűzihorganyzási technológiával létrehozott bevonatok mindkét kritériumnak egyaránt megfelelnek. Ugyanis a vas-alappal kohéziós kapcsolatban levő horgany-vas ötvözet fázisok keménysége jelentősen meghaladja magának az alapfém a keménységét is.
Kutatásokat végeztek annak érdekében, hogy különböző típusú korrózió ellen védő bevonatokat hasonlítsanak össze (4. táblázat). Egy speciális koptatókészülék segítségével végezték el a kísérleteket, melynek eredményeit táblázatban foglaljuk össze [5].

Átvonó réteg, illetve fémbevonat	Körbefordulások száma a teljes leválásig	Kopási mélység fordulatonként (µm)	Koptatási ellenállási faktor
AK (alkid-gyanta)	178	0,11	2,3
PVC (poli-vinil-klorid)	247	0,08	3
EP (epoxi-gyanta)	140	0,25	1
PUR (poliuretán)	118	0,16	1,6
Porszórás horganyzatlan acélra	910	0,17	1,5

Porszórás horganyzott acélra	1188	0,10	2,5
DIN EN 10346 szerint (folytatólagosan horg.)	500 körbefordulás után 10 µm cink-kopás	0,02	**12,5**
DIN EN ISO 1461 NT (normál hőmérsékleten)			
DIN EN ISO 1461 HT (magas hőmérsékleten)			

4. TÁBLÁZAT: Különféle bevonattípusok koptató vizsgálatának eredményei [7]

A vizsgálatok szerint a tűzihorgany bevonatoknak mintegy tízszeres koptatási ellenállása volt, mint a szerves bevonatoknak.

6.2. A védőréteg tapadása

Egy védőréteg tapadása - a felhasználási követelmények miatt - egy nagyon fontos kritérium a korrózióvédelmi rendszerek minősítésénél. Darabáru tűzihorganyzással előállított védőrétegekkel szemben általában nem jelenik meg ez a vevői követelmény, azonban esetenként a duplex-eljárások alkalmazásánál, amikor mechanikai felület előkészítésre kerül a sor, a finom szemcseszórás (sweep-szórás) bizonyos követelményt állíthat. 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 [6], a horganybevonatok tapadása (DIN EN 24624) 12 és max. 37 N/mm^2 között volt (5. táblázat).

Si - szegény acéloknál (Si≤0,03%)	> 20 N/mm^2
Sandelin-acéloknál (Si:0,04-0,12%)	> 30 N/mm^2
Sebisty- acéloknál (Si:0,15-0,25)	10-25 N/mm^2
Si-ban gazdag acéloknál	>25 N/mm^2

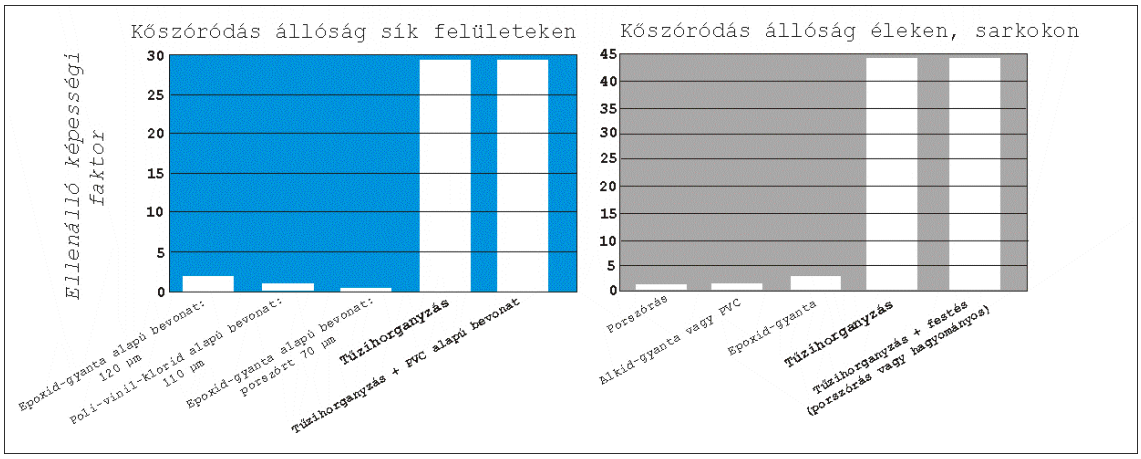
5. TÁBLÁZAT: Tapadási vizsgálatok eredményei [6]

Ezt összehasonlítva a festékbevonatok tapadásával, mely legtöbbször nem lépi túl az 5-7 N/mm^2 határt, láthatóak a horganybevonatok előnyös tulajdonságai.

6.3. A tűzihorgany bevonatok és festékbevonatok kőszóródás ellenálló képességének összehasonlítása

Az acélszerkezetek számos esetben ki vannak téve *kőzúzalékok* szóródásának, mely a bevonatban károkat okozva korróziós, az gócként jelenik meg. Egy Németországban elvégzett vizsgálat szerint [6], többféle bevonatot vizsgáltak meg, hogy mennyire

érzékenyek kőszóródásra (DIN 55991-1). A szórási kísérletek után a próbadarabokat *„kitéti" korróziós hatásoknak* vetették alá annak érdekében, hogy minősítsék az egyes rétegek ellenálló képességét (10. ábra).



10. ÁBRA: Kőszóródás állóság síkfelületeken és éleken [6]

Az értékelések után a következő eredmények születtek.
Síkfelületeken:

- A porszórt felületen, horganyzatlan acélalapon, azonnali korrózió jelentkezett az alapfémen.
- A hagyományos festési eljárásokkal bevonat felületeken 1 -4 napon belül alapfém korrózió jelentkezett.
- A horganyzott próbákon több mint 30 nap után sem jelentkeztek korróziós nyomok.

Éleken végzett vizsgálatoknál:

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

A kísérletek azt bizonyították, hogy a *tűzihorgany bevonatok* mind a mechanikai igénybevételekkel szemben, mind pedig a korróziós hatásokkal szemben *kitűnő védelmi értéket* képviselnek.

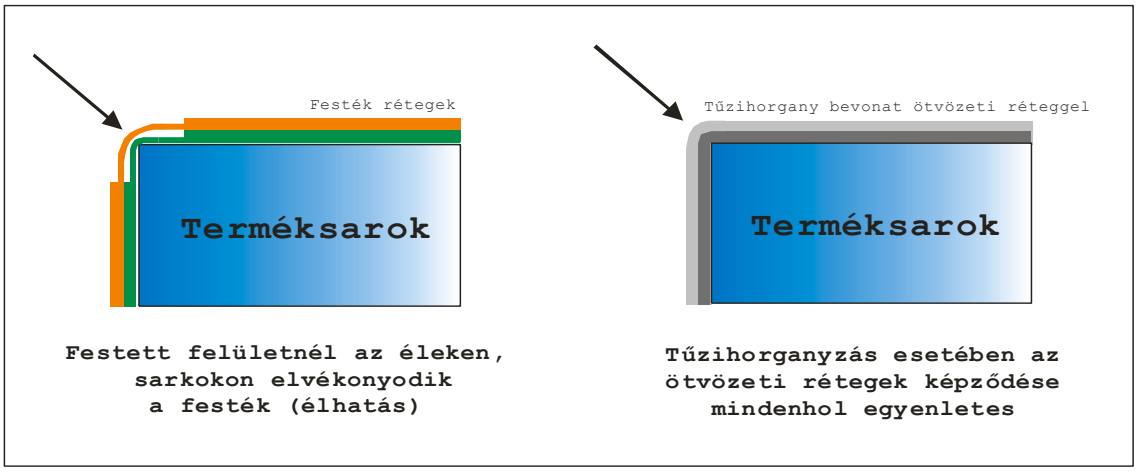
6.4. A horganybevonat a termék éleit, sarkait is kiválóan védi

Korróziós szempontból az acélszerkezeti termékek sarkai, élei sok esetben kritikusak lehetnek. Ugyanis a korrózió intenzívebb támadásnak teszik ki az említett felületeket, valamint a mechanikai igénybevételek további járulékos hatásokat okoznak (6. táblázat). Emiatt, ezeken a kényes területeken különösen oda kell figyelni a megfelelő korrózióvédelmi technológia tervezésénél és kivitelezésénél.

A korrózióvédelem képességeinek csökkenése a termékrészen (tapasztalati értékek)	
Síkfelületek	0 %
Sarkok és bemélyedések	10-20 %
Hegesztési varratok felületei (lemunkálatlan)	30-35 %
Csavarok, anyák felületei	50 – 60 %
Élek	60 %

6. TÁBLÁZAT: Tapasztalati értékek a korrózióvédelem tartósságával kapcsolatosan különféle felületeken

Az is közismert, hogy a felületen levő folyadékok a felületi feszültségük miatt az éleken, sarkokról lehúzódnak (élhatás) és ez által pont azok a részek, élek lesznek kevésbé védettek, melyek intenzívebb korróziós támadásnak és erősebb mechanikai igénybevételeknek lehetnek kitéve. A fentiek miatt, festés esetében, az éleken, sarkokon, kiemelkedéseken jelentősen vékonyabb a bevonat, mint ami kívánatos lenne.

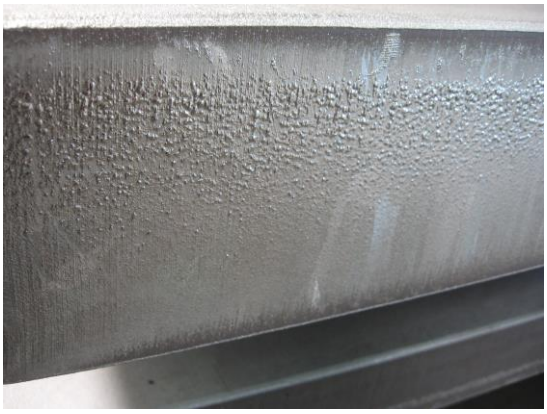


11. ÁBRA: A horganybevonat jól védi a termékek sarkait is

Ellenben tűzihorganyzásnál, a fémolvadékban az ötvözeti rétegek egyenletesen alakulnak ki a felületen, mely így kedvezően védi a sarkokat, éleket is (11. ábra). Ugyanis ezek a felülettel párhuzamosan épülnek fel. Majd erre rakódik kiemeléskor a tiszta horganyréteg.

6.5. A termikus vágás hatása az éleken kialakuló réteg tulajdonságaira

Frissen tűzihorganyzott felületeken esetenként megfigyelhető jelenség, hogy termikus eljárással előállított vágási éleken más színűek a bevonatok, vagy éppen a bevonat vastagsága jelentősen eltér a vágott felületektől kissé távolabb mért értékektől. A vágott éleken képződő horganybevonat lehet vékonyabb, de előfordul, hogy vastagabb, vagy érdesebb lesz, mint az acélszerkezeti elem más felületein (16-17. kép).



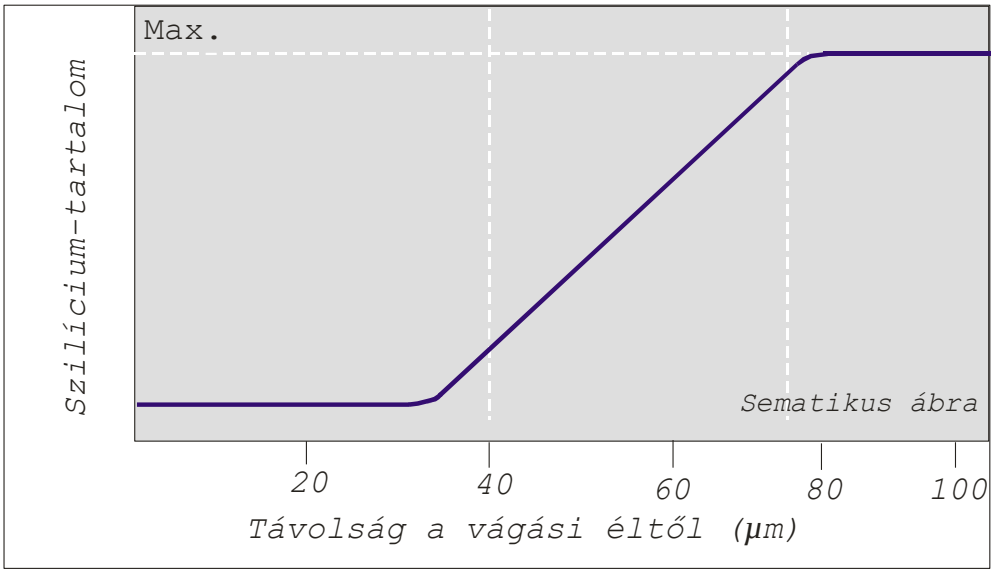
16-17. KÉP: Eltérő tulajdonságú bevonatok vágott felületeken

Minőségi kifogáshoz vezethet, ha a bevonatvastagságok nem érik el a szabványban előírt értékeket (7. táblázat). Különféle lemezalapanyagok és alakos szelvények darabolására már évtizedek óta használják az autogén-berendezéseket, míg mára már teret nyertek a plazma-, és lézervágási technikák. Szakemberek becslései szerint, az acélszerkezetek gyártása során az összes termikus vágás kb. 60 %-a autogén, 30 %-a plazma, míg 10 %-a lézervágási technikával készül [10].
Az eltérő technikák más-más vágási felületet eredményeznek. A vágás okozta hőhatás következtében különbözőképpen, de megváltozik a vágási felület és az átmeneti zónák kémiai összetétele és szerkezete is.

Lemez vastagság	Si	P	Si+P	Vágási él	**Horganyréteg vastagsága (µm)**					
					Autogén-vágás		*Plazma-vágás*		*Lézer-vágás*	
					1	2	1	2	1	2
8 mm	< 0,0060	0,0143	0,0203	lemunkálatlan szemcseszórt köszörült					100 80 80	77
12 mm	<0,0054	0,0102	0,0156	lemunkálatlan szemcseszórt köszörült	60 100 60	79	43 100 60	76		
30 mm	0,25	0,016	0,266	lemunkálatlan szemcseszórt mart: 100 µm 500 µm 1000 µm	126 126 344 354 359					
				lemart és polírozott 100 µm 500 µm 1000 µm	337 317 319					

7. TÁBLÁZAT: Termikus vágási eljárások után mért bevonatvastagságok egy kísérlet során [7]

A vágás hőhatására az acélban levő Si és P-tartalom (illetve együttes értékük is) értéke, a vágási felületen és a megfelelő átmeneti zónában, technológiától függően megváltozik. Szakirodalmi adatok szerint, az acélban levő szilícium – autogénvágás esetén – a vágási éltől 30…40 µm távolságig szinte teljesen eltűnik az acélból (12. ábra).



12. ÁBRA: A Si-tartalom változása a vágási felülettől távolodva [7]

Egy másik érdekes jelenség, hogy lézervágás esetében olyan éles lesz a vágási sarok, hogy a horganyréteg kisebb mechanikai igénybevétel hatására lokálisan leválik. Különböző vágási eljárások, más-más paraméterek és acélösszetétel miatt előre nem lehet meghatározni a kialakuló horganyréteg jellemzőit. A fentiek miatt, a tűzihorganyzásra 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. Erre alkalmas módszer a finom, simító köszörülés.

7. TŰZIHORGANY BEVONATOK ALKALMAZÁSA KÜLÖNFÉLE KÖZEGEKBEN

A tűzihorganyzás 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 (8. táblázat).

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

8. TÁBLÁZAT: A tűzihorganyzás javasolt alkalmazási területei

A horganybevonatok rendeltetése korrózió elleni védelem, mely kisebb-nagyobb mechanikai igénybevétellel is párosulhat. A tűzihorgany bevonatok szinte valamennyi területen megfelelnek az ilyen komplex hatásoknak. A 8. táblázatból látszik, hogy a

nemcsak légköri igénybevétel esetében lehet használni őket, hanem egyéb más területeken is. Korrózióvédelmi bevonatok tervezésénél itt is, mint minden esetben, döntés előtt meg kell vizsgálni, hogy az adott területen alkalmas-e a tűzihorgany bevonat a korróziós igénybevételek ellen.
A tűzihorgany bevonat nem alkalmas savas (<pH 5,5), vagy erősen lúgos közegekben (> pH 12,5), a 200 ˚C feletti hőmérsékletet tartósan nem bírja, a friss (még nem alakult ki rajta a cinkpatina) horganybevonat érzékeny a nagyon lágy vízre. Viszont problémamentesen alkalmazható nagyon sok szerves anyaggal és építőanyaggal érintkezésben. A legtöbb építőanyaggal történő együttes alkalmazása nem jelent problémát, de magas nedvességtartalmú speciális fafajtákkal összeépítve már nem ajánlható, vagy például savas kémhatású talajoknál csak járulékos védőintézkedések mellett alkalmazható. Betonban történő használta a pórusvíz magas pH-ja ellenére is ajánlott (7.5. fejezet).

7.1. A cink korróziós tulajdonságai

A tűzihorgany bevonatok korróziós élettartama

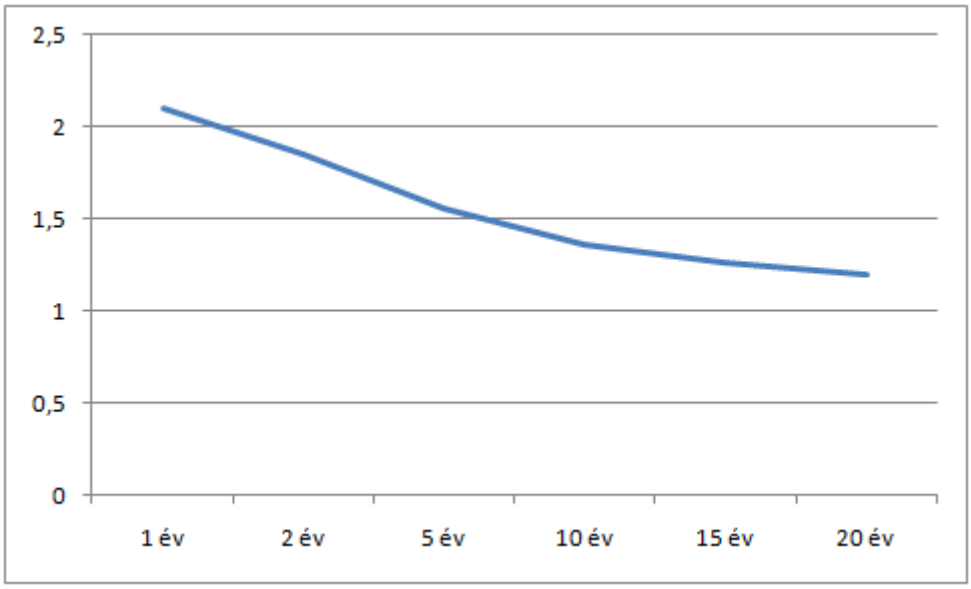
Több évtizedes tapasztalatok alapján különféle táblázatokban lettek összefoglalva a horganybevonatokra vonatkozó korróziós ráták (EN ISO 14 713-1:2009).

Kód (korróziós fogyás µm/év)	**Tipikus alkalmazási környezetek (példák)**	
	Beltér	**Kültér**
C1 ≤ 0,1 nagyon kicsi	Fűtött tér, jelentéktelen légszennyezéssel és alacsony relatív páratartalommal (pl. irodák, iskolák, múzeumok).	Száraz, vagy hideg kültéri klíma, nagyon alacsony légszennyezéssel, csekély nedvességgel. Példa: bizonyos sivatagok, Északi és Déli-sark központi területei.
C2 > 0,1 és ≤ 0,7 Kicsi	Fűtetlen belső tér, ingadozó hőmérséklettel, és relatív páratartalommal. Ritkán páralecsapódással és alacsony légszennyezéssel (pl. sportcsarnokok, raktárcsarnokok).	Mérséklet klíma, légköri igénybevétel, alacsony légszennyezéssel (SO_2<5 µg/m^3). Pl. vidéki területek, kisvárosok. Száraz, vagy hideg klímában légköri igénybevétel, rövid ideig tartó nedvességgel, pl. sivatagok, szubarktikus területek.
C3 > 0,7 és ≤ 2,0 Közepes	Beltér, alkalomszerűen lecsapódó párával, egyenletes a termelési folyamattól függő, az által generált légszennyezéssel. Pl.: élelmiszer feldolgozó üzemek, mosodák, pékségek, tejüzemek.	Mérsékelt égövi klíma, légköri hatások, közepes mértékű légszennyezés (SO_2: 5 - 30 µg/m^3), vagy kis klorid-szennyezés. Pl.: városi területek, tengerpart csekély klorid-tartalommal, szubtrópusi, vagy trópusi környezet csekély légköri szennyezéssel.
C4 > 2,0 és ≤ 4,0 Nagy	Beltér gyakori páralecsapódással, a levegőben a technológiai folyamatból származó légszennyezéssel. Pl.: ipari berendezések, uszodák.	Mérsékelt égövi klíma, magas légszennyezéssel (SO_2: 30 - 90 µg/m^3), vagy jelentős klorid-szennyezéssel. Pl.: szennyezett városi levegő, ipari terület, tengerpart sósvíz permet hatása nélkül, erős útsózás (jégolvasztó só), szubtrópusi és trópusi klíma közepes légszennyezéssel.

C5 > 4,0 és ≤ 8,0 Nagyon nagy	Beltér nagyon gyakori páralecsapódással és/vagy a termelési folyamatból származó légszennyezéssel. Pl.: bányák, ipari célú üregek, mélyedések, szellőzés nélküli pajták, színek trópusi, vagy szubtrópusi klímában.	Mérsékelt, vagy szubtrópusi klímaöv, légköri hatások nagyon magas légszennyezéssel (SO_2: 90 - 250 µg/m^3) és/vagy jelentős klorid-szennyezéssel. Pl.: ipari területek, tengerpartok, épületek a tengerparton.
CX > 8,0 és ≤ 25,0 Extrém	Közel folyamatos páralecsapódás a belső térben, vagy kiterjedt igénybevételi idővel és erős nedvesség behatással és/vagy magas a termelési folyamatból eredő légszennyezéssel. Pl.: szellőzetlen üregszerű belső terek, trópusi klímában kültérről beszivárgó légszennyezéssel, bezárólag levegő által közvetített klorid-szennyezéssel, szilárd részecskékkel, melyek elősegítik a korróziót.	Szubtrópusi és trópusi klíma (nagyon hosszú nedvességhatással), légköri igénybevétel nagyon erős légszennyezéssel (SO_2 >250 µg/m^3), beleértve kísérő, vagy technológiából származó légszennyezéssel és/vagy magas klorid-szennyezéssel. Pl.: extrém szennyezett ipari terület, tengerpart és közvetlen part menti terület, alkalmanként sósvíz felcsapódással.

9. TÁBLÁZAT: Korróziós ráták különböző klímákban (Forrás: EN ISO 14713-1:2009, EN 12944-2:2008)

A vizsgálatok során az egyes korróziós klímákat többféle csoportba sorolták. Minden klímatípusban (kültér és beltér, C1….CX) kellő mennyiségű vizsgálatot végeztek el annak érdekében, hogy a korrózióvédelmi tervezéshez jól felhasználható adatsorokat nyerjenek (9. táblázat). A táblázat a jelenleg aktuális, rövidtávú (1 éven belüli) korróziós veszteségeket mutatja. Tervezés szempontjából azonban javasoljuk, hogy a cink hosszútávú korróziós veszteségeire vonatkozó adatokat vegyék figyelembe, melyet az ISO 9224:2012 szabvány A.2 és B.1 táblázata tartalmazza. A védőréteg kialakulásának megfelelően, a cink korróziós fogyása időben csökkenő sebességű, azaz az idő előrehaladtával kisebbek korróziós ráták (13. ábra).



13. ÁBRA: C3(közepes) kategóriában, maximális korróziós veszteség alakulása (ISO 9224:2012)

Az elmúlt évtizedekben Európában jelentősen csökkent az ipari üzemek és az energiaipar természeti környezetünket érintő szennyezése és ez pozitív hatással volt a cink védelmi időtartamára is. Ennek következtében a fémünk korróziós élettartama ma lényegesen hosszabb, mint 40-50 évvel ezelőtt. Egy tudományos kutatás szerint

bebizonyosodott, hogy a savas esőkért leginkább felelős kén-dioxid (SO_2) kibocsátás csökkenésével arányosan egyre alacsonyabb a cink korróziójának sebessége is. Európában egyre csökkenő környezetszennyezés miatt, a cink növekvő korróziós élettartamával kell a jövőben számolni. A horganybevonat várható élettartamát egyszerűen lehet kiszámolni (14. ábra).

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

Zn B = Kiinduló bevonatvastagság(µm)
Zn min.= Minimális rétegvastagság a felhasználás során(µm)
Vf = Átlagos bevonat fogyás(µm/év)
T véd. = Várható védelmi időtartam(év)

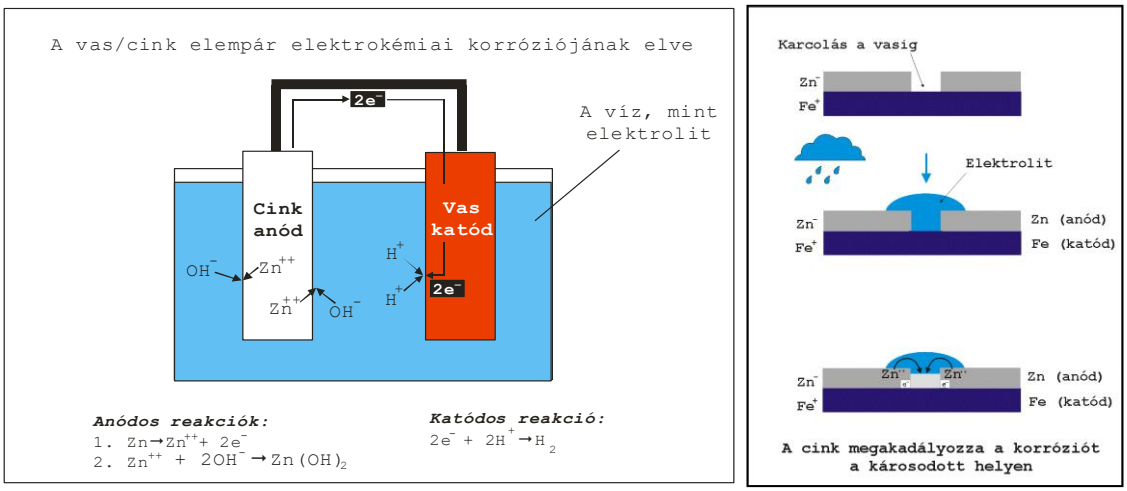
14. ÁBRA: Várható védelmi időtartam számítása

A védelmi időtartam azt jelenti, hogy a vizsgált időszak alatt a horganyréteg biztosítja az alapfém(acél) korrózióméntességét. Amikor a frissen kialakított horganybevonat korrodálódik, felületén főleg bázikus cink-karbonátokból álló védőréteg alakul ki. Ez rendkívül tartós és vízben csak nagyon nehezen oldódik. Az oxidáció miatt a bevonat elveszti eredetileg ezüstös-fényes színezetét, s az így kialakuló horganyfelület *világosabb, vagy sötétebb szürke* színű lesz. Egyes esetekben előfordulhat, hogy a vas-cink ötvözeti rétegek felületén *vöröses-barna elszíneződés* alakul ki, mely alatt általában még jelentős horganyréteg van, ez továbbra is védi az alapfémet a korróziótól. Amennyiben meg akarunk győződni a horganybevonat vastagságáról, méréseket kell végrehajtani és ha a mért vastagsági értékek 25-30 µm közé csökkennek, célszerű elgondolkodni a horganybevonat karbantartásáról (újrahorganyzás, lefestés).

A legtöbb európai országban az átlagos cinkveszteség jelentősen *0,8-1,2 µm/év* körül van. A darabáru tűzihorganyzással elérhető bevonatvastagság átlagosan 50-150 µm között van, emiatt hosszú évtizedekre (szokásosan 40-125 év) megoldott korrózió elleni védelemmel lehet számolni.

A cink katódosan védi az acélt

Az acélszerkezetek szállításakor, tárolásakor és szerelésekor nagy jelentősége van a bevonat mechanikai ellenállóképességének. A védőréteg mechanikai tulajdonságai ugyan kiválók, ám előfordulnak kisebb sérülések. Ilyenkor további védelmet jelent a cink katódos védőhatása. Ezt a tulajdonságát a gazdaság számos területén kihasználjuk. 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 (pl. csapadék, légnedvesség) jelenlétében - a cink fog korrodálódni és korróziós termékei eltömítik a kisebb sérüléseket, ezáltal megvédi az acélt a korróziótól. Az elektrokémiai korrózió a legjellemzőbb korróziófajta, mellyel szinte mindenhol találkozunk. A Fe/Zn korróziós elempárnál – normál alkalmazási körülmények között - a cink(Zn) lesz az anód (oldódó pólus), mely Zn-ionok keletkezésével oldatba megy (korrodálódik), míg a vason (katódon) más, a vasat nem károsító, ún. katódos folyamatok játszódnak le. Ez mindaddig folyik, ameddig a cink jelen van a sérülés környezetében (15-16. ábra és 18. kép).



15-16. ÁBRA: A cink katódos védőhatása

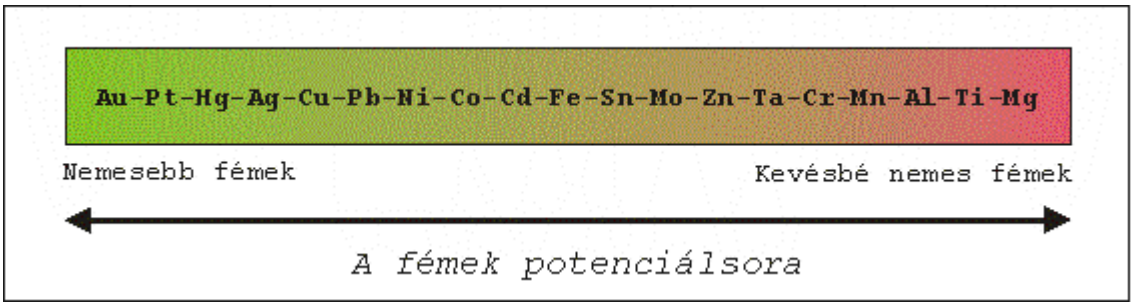
18. KÉP:Ugyanazon tűzihorganyzott acélszelvény vágási felülete egy és tíz és tizenöt év után

A cink katódos védőhatása a víz jellemzőitől függően kb. 50-60 ˚C hőmérsékletig biztosítja a vas elektrokémiai védelmét. E felett megfordul a polarítás és a vas lesz az áldozati anód, a cink a katód. Hőcserélők, magasabb hőmérsékleten működő szerkezetek, tartályok esetén célszerű figyelembe venni, mert a bevonat leválásához és a vas gyors korrodálódásához vezethet. A cinkbevonat katódos védelmének jelentőségét nem szabad túlbecsülni. A gyakorlati életben 2-3 mm-nél nagyobb „hatótávolsággal” biztonságosan nem lehet számolni. A katódos védelem erősen függ a korróziós közeg jellemzőitől és a horganyfelület szennyeződéseitől is. Egy-egy sérülés hossza helyett, annak szélessége a döntő a korrózió lefolyása szempontjából.

Az elektrokémai korrózió lehetőségét ki kell zárni

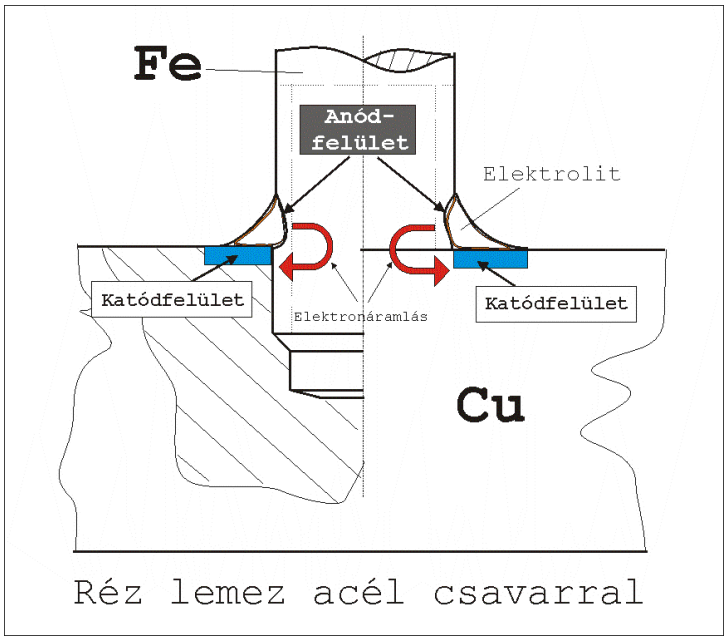
A gyakorlati életben többször előfordul, hogy a horganyzott szerkezetet különböző fémeket kell valamilyen kapcsolattal összekötni. Ebben az esetben, ha közöttük fémes érintkezés van, és elektrolit (pl. víz) fedi le a kapcsolatot (ami szinte mindig jelen van), akkor elektrokémiai (kontakt) korrózió lép fel, amely a kevésbé nemes fém gyors korróziójával jár. Az eltérő anyagi minőségű fémek ugyanazon körülmények között

eltérő mértékben korrodálódnak, a nemesebb fémek korróziós tönkremenetele kisebb, mint a kevésbé nemes fémeké. Ezt az egyes fémek eltérő elektródpotenciálja (17. ábra) okozza.



17. ÁBRA: A fémek potenciálsora

Amennyiben két fém összeépítésre kerül, fémesen érintkeznek, és körülöttük elektrolit van jelen, akkor a közöttük meginduló kontakt korrózió miatt megváltozik a külön-külön észlelhető korróziójuk. A fémes érintkezés miatt a nemesebb fém korróziójának sebessége csökken, míg a kevésbé nemesé megnő. Ennek oka, hogy a korróziós „cellában" a nemesebb fém lesz a katód, ahol a katódos redukciók zajlanak (pl. oxigén, vagy hidrogén gáz keletkezik), míg a kevésbé nemes fém lesz az anód, ahol az oxidációs folyamatok folynak (a fém ionos formában oldódik az elektrolitba). Így a nemesebb fém korróziója csökken, vagy teljesen meg is szűnhet, míg a kevésbé nemesé megnő. Ezt tapasztaljuk például, ha réz lemezt vas (szénacél) csavarokkal kötünk össze. A csavarok rövid időn belül károsodást szenvednek (18. ábra). De hasonló jelenség játszódik le, ha korrózióálló acél lemezeket horganyzott csavarral kötnek össze.



18. ÁBRA: Kontakt korrózió vas és réz között

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

- Azonos fémek, ötvözetek összeépítése.
- Olyan fémek (ötvözetek) összeépítése, melyeknél csak minimális a két fém közötti potenciálkülönbség.

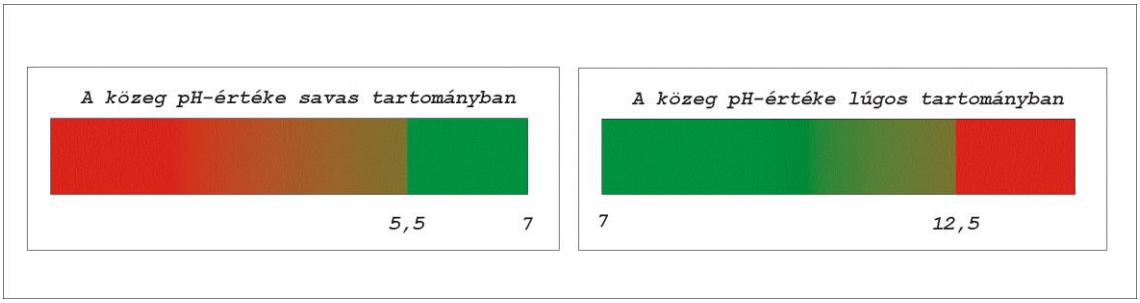
- A kevésbé nemes fémek felülete (anód) nagyon-nagy legyen a nemes fém felületéhez képest.
- A kevésbé nemes fém vastagsága lényegesen nagyobb legyen.
- A két fém tökéletes –fémes érintkezés nélküli –elszigetelése egymástól.
- Egyik fémen egy megfelelő fémből készített, vagy festék bevonat alkalmazása, vagy mindkét fém bevonása, azaz elszigetelése az elektrolittól (nincs korrózió).

Erre vonatkozó tájékoztatást mutat tájékoztatónk 10. táblázata.

KONTAKTKORRÓZIÓ KÜLÖNFÉLE FÉMPÁROKNÁL													
Kontaktkorrózionak kitett alapanyag(A)	**Felületarányok ***	**Alapanyag párok (B)**											
		Magnézium-ötvözet	Cink	Tűzihorganyzott acél	Alumínium-ötvözet	Szerkezeti acél	Gyengén ötvözött acél	Acélöntvény	Krómacél	Ólom	Ón	Réz	Cr-Ni acél
Magnézium- ötvözet	kicsi		e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e
	nagy		m	m	m	e	e	e	e	e	e	e	e
Cink	kicsi	m		a	e	e	e	e	e	e	e	e	e
	nagy	a		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
Tűzihorganyzott acél	kicsi	m	a		m	e	e	e	e	e	e	e	e
	nagy	a	a		a	a	a	a	a	a	a	a	a
Alumínium-ötvözet	kicsi	m	a	a		e		e		e		e	e
	nagy	a	a	m		a	a	m	m	e	e	e	e
Szerkezeti acél	kicsi	a	a	a	a		m	e	e	e	e	e	e
	nagy	a	a	a	a		a	a	a	a	a	a	a
Gyengén ötvözött acél	kicsi	a	a	a	a	a		a	e	e	e	e	e
	nagy	a	a	a	a	a		a	a	a	a	a	a
Acélöntvény	kicsi	a	a	a	a	a	m		e	e	e	e	e
	nagy	a	a	a	a	a	a		a	a	a		
Krómacél	kicsi	a	a	a	a	a	a			m	m	e	e
	nagy	a	a	a	a	a	a			a	a		a
Ólom	kicsi	a	a	a	a	a	a	a	a		a	a	
	nagy	a	a	a	a	a	a	m	a		a		a
Ón	kicsi	a	a	a	a	a	a		a	a			
	nagy	a	a	a	a	a	a	a	m	a			
Réz	kicsi	a	a	a	a	a	a		m	m	e		
	nagy	a	a	a	a	a	a	a		a	m		a
Rozsdamentes acél	kicsi	a	a	a	a		a	a		a	a		
	nagy	a	a	m	a	a	a	a	m	m	m	a	
***** A vizsgált fémpárok felületarányai(A/B)													
e: Erős korróziója a vizsgált fémnek.													
m: Mérsékelt korróziója a vizsgált fémnek (nagy nedvességtartalmú közegben).													
a: Alacsony korróziója a vizsgált fémnek, vagy egyáltalán nem korrodálódik.													
Forrás: Zink statt Rost (Beratung Feuerverzinken, Düsseldorf, Deutschland).													

10. TÁBLÁZAT: Kontakt korrózió lehetősége különféle fémpárok esetében [8]

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. Tűzihorganyzott szerkezetek használata savas közegekben 5,5 pH-értékig lehetséges, ez alatt a cink egyre erősebben oldódik, alkalmazása önálló bevonatként már nem ajánlható.



19. ÁBRA: A cink viselkedése savas és lúgos tartományokban

A horganybevonatok lúgos közegekkel szemben sokkal tartósabbak, mint a savasakkal szemben. 12,5 pH-értékig tartósak, csak e felett lehet számítani a bevonat károsodására. A savas, illetve lúgos közegben történő alkalmazás esetében ki kell kérni szakember véleményét, mert más tényezők is befolyásolják a horgany viselkedését (19. ábra).

A cink korróziós ellenállása szerves anyagokkal szemben általában kiváló
A szénhidrogének alkalmazása olyan széleskörű, hogy nem lehet elkerülni a horganybevonatokkal történő érintkezésüket. A horgany a legtöbb szerves vegyülettel szemben tartós, jó ellenálló képessége van (11. táblázat). Szerves savakkal (pl. citromsav, tejsav, ecetsav, stb.) szemben azonban nem ellenálló, ezért ilyen esetben a tűzihorganyzás alkalmazását kerülni kell.

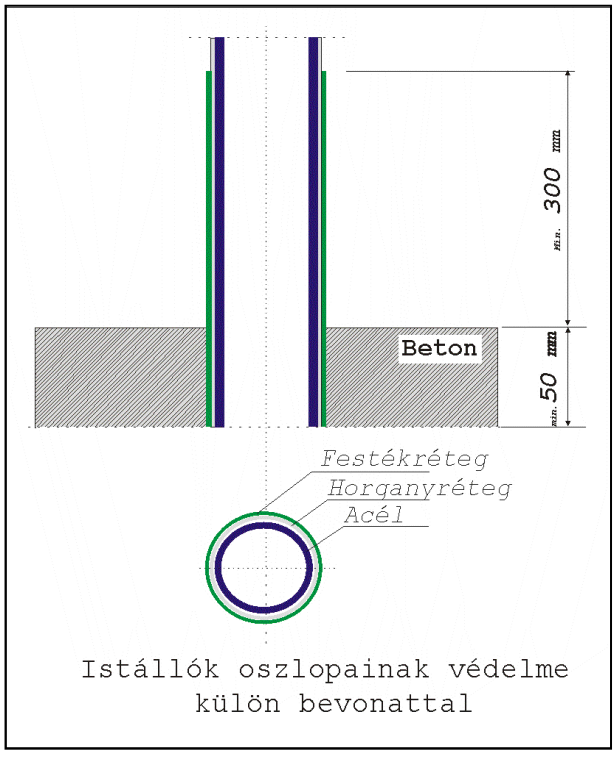
Szerves anyag megnevezése	Ellenálló képesség
Benzin:	jó
Dízel/fűtőolaj:	jó
Hígító:	jó
Terpentin:	jó
Kenőolaj:	jó
Zsír:	jó
Vízben oldódó festékek:	jó
Olajfestékek:	jó
Tisztító folyadékok:	jó

11. TÁBLÁZAT: Horganybevonat ellenállása szerves anyagokkal szemben [9]

Alkalmazás során információkat kell beszerezni arról, hogy a szerves anyag tiszta, vagy víz van-e jelen, illetve tartalmaz-e más korrózív anyagot, Fontos, hogy milyen a közeg hőmérséklete. Víz jelenlétekor, illetve magasabb hőmérsékletnél kedvezőtlen folyamatok léphetnek fel.

Mezőgazdasági létesítményeknél is kedvező megoldás a tűzihorganyzás
A cink korróziójára vonatkozó ismeretek itt is igazak, azaz kiváló korrózióvédelmet nyújt szinte valamennyi területen. Van azonban egy-két speciális terület, ahol a hosszú élettartam biztosítása érdekében járulékos intézkedések szükségesek.

Állattartó létesítmények (istállók)
Zárt istállókban különleges klíma alakulhat ki, azaz a levegő természetes összetevőin és általában nagyobb nedvességtartalmán kívül az állatok anyagcseréje következtében megváltoznak a korróziós viszonyok. Normatívák határozzák meg, hogy mennyi lehet a levegő szennyezőanyag, vagy NH_3, illetve CO_2-tartalma. Természetesen ezek az értékek függenek a zárt térben tartott állatok darabszámától is.
A padlóvonaltól 30 cm-es magasság felett végzett külföldi kísérletek szerint átlagosan 4 µm/év bevonat fogyással lehet számolni, ami megfelelően szellőztetett és karbantartott létesítmények esetében – 100-150 µm vastag horganybevonatnál - átlagosan 25-37 éves bevonat élettartamot eredményez. Ennél azonban nagyobb veszteségekkel szükséges számolni, amennyiben a zárt térben gyakori a páralecsapódás, rosszul szellőztetett az épület (lásd: 9. táblázat).
Amennyiben a horganybevonat trágyával, trágyalével kerül állandó, vagy időszakos kapcsolatba (istállók), akkor az erős korróziós támadás megakadályozása érdekében a bevonatot megfelelő magasságban erre alkalmas kiegészítő festékbevonattal, zsugorfóliával, vagy porszórással kell ellátni. Ez a beépítés előtt végrehajtott bevonás akkor hatásos, ha az utólagosan bevont rész legalább 5 cm-rel a betonpadló alatt kezdődik és minimum 30 cm magasságot ér el a padlószint felett (20. ábra).



20. ÁBRA: Istállók oszlopainak védelme a padlószint csatlakozásnál [10]

Ha a horganyzott felület csak alkalmanként kerül érintkezésbe a bevonat *trágyalével*, akkor az érintkezést követően bő, tiszta vízzel alaposan le kell mosni (pl. szippantó autók tartályainak kiöblítése, lemosása).

19. KÉP: Terménysilók tűzihorganyzott elemekből

Terménytároló berendezések, szárítók és egyéb berendezések esetében (19. kép), általában jellemző, hogy a szemes takarmányok szárazak, vagy csak ideiglenesen nedvesek. Korróziós szempontból nem jelentenek az átlagosnál nagyobb terhelést. Ugyanakkor a silózott zöldtakarmányok tárolásakor a horganybevonatot festéssel kell védeni a *növényekben levő savak* okozta erős támadásoktól. Amennyiben csak rövid ideig éri a támadás a horganyréteget, a használat után bő vízzel alaposan le kell mosni, más kezelést nem igényel.
Mezőgazdasági *termékek feldolgozására* szolgáló eszközök esetében egyedileg kell megvizsgálni a horganyréteg alkalmasságát. Száraz és nem higroszkopikus anyagok esetében, illetve mezőgazdasági gépek és eszközöknél, melyeket atmoszférikus körülmények között használnak, nem kell számolni különleges korróziós veszéllyel.

A tűzihorganyzás élelmiszeripari felhasználása korlátozott
Tűzihorganyzott acéloknak közvetlenül az élelmiszerekkel történő találkozását - amennyiben nedvesség is jelen lehet - általában el kell kerülni. Ilyenek például a zöldségfélék, gyümölcsök, tej és tejtermékek, gyümölcslevek és ételek, mivel ezeknek erős korróziós hatásuk van, és gyorsan károsítják a horganyt és ez által a termék ízét, illetve fogyaszthatóságát korlátozzák. Ez a szabály szinte valamennyi emberi fogyasztásra alkalmas élelmiszerre vonatkozik.
Egyetlen kivételt a horganybevonatok *ivóvíz* célú felhasználása jelent, ahol a tűzihorganyzás megengedett abban az esetben, ha a bevonat tisztasága és összetétele megfelel az ivóvíz vezetékek céljára készített tűzihorganyzott csövekre érvényes előírásoknak (EN 10240).
Amennyiben a horganyzott felületek közvetlenül nem érintkeznek az élelmiszerekkel, a horganybevonatok alkalmazása minden tekintetben megfelel a követelményeknek, és hosszú távú védelmet biztosítanak a szerkezeteknek.

7.2. A tűzihorgany bevonat légköri korróziója

A tűzihorganyzás klasszikus alkalmazási területe a légköri igénybevétel (20-21. képek). Mivel a horganybevonatok szinte teljes egészében cinket tartalmaznak, ezért a levegő és összetevői hatására lejátszódó folyamatok jól modellezhetők a tiszta cink korróziós tulajdonságaival.

20-21. KÉP: Légköri igénybevételnek kitett acélszerkezetek

Általános korróziós tulajdonságok

A horgany (Zn) kémiai jellemzőit vizsgálva azt gondolhatnánk, hogy a fémtiszta felületű cink kevésbé korrózióállóbb a vas (Fe)-nál (a vas nemesebb). A valóságban azonban a cink legtöbbször sokkal jobb korróziós tulajdonságokat mutat. Ennek az oka, hogy a kezdeti gyors korróziót követően, a horgany (cink) felületén egy vékony, nagyon tömör, vízben alig oldható, szabad szemmel láthatatlan védő oxidréteg (cinkpatina) alakul ki, mely csak nagyon lassan pusztul le, a cink-alapból újratermelődik, közben védi az alatta levő horganyt a további korróziótól. Ezért a horgany egy passziválódásra hajlamos fém. Ez az elsődleges oka annak, hogy a vasalapú tárgyak védelmére horganybevonatokat lehet alkalmazni. A cink korróziójának termékei – a bonyolult légköri hatások miatt általában nem tiszta alakjukban jelennek meg, hanem az egyes formák keverékeként vannak a horganyzott felületen (12-13. táblázatok).

Légköri hatás	Korrózió termék neve	Korróziót okozó anyag	Korrózió sebesség	Korrózió terméke	Szín	Víz-oldha-tósága	A reakció általános megítélése
Oxidréteg képződés tiszta, száraz levegőn	Oxidréteg	O_2	gyors	ZnO	fehér, de vékonysá-ga miatt nem látható	nagyon alacsony	Pozitív: a védőréteg kiinduló terméke
Védőréteg képződés tiszta levegőn	Cinkpatina	$O_2+CO_2+H_2O$	nagyon lassú	$ZnCO_3$ $Zn(OH)_2$ $+Zn(OH)_2$ $+ZnO$	világos szürke	nagyon alacsony	Pozitív: védőréteg a cink felületen
Kondenzvíz korrózió	Fehérrozsda (cinkrozsda)	$H_2O+(O_2)$ Kondenzvíz rosszul szellőző helyen	gyors	$Zn(OH)_2 \rightarrow$ $ZnO+H_2O$	fehér-mattszürke	magas és nagyon magas	Negatív: Cinkveszteség
Korrózió	Cink korrózió termék	Ipari, illetve városi levegőn: $SO_2+H_2O \rightarrow H_2SO_3$ Tengeri levegőn: $Cl^- + H_2O$	gyors	$ZnSO_3+H_2O \rightarrow$ $ZnO+H_2SO_3$ $ZnSO_4+H_2O \rightarrow$ $ZnO+H_2SO_4$	fehértől a szürkéig	magas	Negatív: cinkveszteség

12. TÁBLÁZAT: A cink korróziós folyamatai légköri igénybevételnél [1]

Megnevezés	Összetétele	Színezete	Megjegyzés
Cink-oxid	ZnO	fehér	1. fázis: normál igénybevételnél *Képződésének sebessége:* 1Å/ 100 óra
Cink-karbonát	$ZnCO_3$	fehér	2. fázis: normál igénybevételnél Rövid időn belül bázisos cink-karbonáttá alakul át.
Bázisos cink-karbonát	$2ZnCO_3 \cdot 3\ Zn(OH)_2$ $ZnCO_3 \cdot Zn(OH)_2$ $ZnCO_3 \cdot Zn(OH)_2 \cdot 2H_2O$	világos-szürke	3. fázis: tisztán, normál igénybevételnél alakul ki.
Cink-hidroxid	Hat módosulata van. A legfontosabbak: β - $Zn(OH)_2$ ε - $Zn(OH)_2$	fehértől- a világos szürkéig	A β -módosulat fordul elő a leggyakrabban. Az ε -módosulat a legstabilabb, gyakorlatilag nem oldódik vízben.
Cink -oxid-klorid	$ZnCl_2 \cdot 4Zn(OH)_2$ $ZnCl_2 \cdot 6\ Zn(OH)_2$	fehér	Oldhatatlan, csak tengerpartokon alakul ki.
Bázisos -cink-szulfát	$ZnSO_4 \cdot 4\ Zn(OH)_2$	világos szürke	A cinkpatinában elhelyezkedve részben oldhatatlan só, csak városi és ipari klímában képződik.
Cink-szulfát	$ZnSO_4 \cdot 7\ H_2O$	fehér	Oldható só, mely ipari atmoszférában alakul ki.

13. TÁBLÁZAT: A cink korróziótermékei [1]

Cink-oxid létrejötte

Amennyiben a frissen tűzihorganyzott termék (19. kép) száraz, tiszta levegőre kerül, akkor felületén, először cink-oxid réteg alakul ki. Ennek az oxidnak a képződési sebessége, szobahőmérsékleten kb. 0,0001μm (1 Å)/ 100 óra, vastagságának növekedése időben nagyjából állandó. Alig vízoldható, stabil oxidfilm. A tűzihorganyzás magas hőmérséklete miatt a rétegképződés sebessége is nagyobb, s így a frissen horganyzott darabokon akár 1 000 Å vastagságú cink-oxid réteg is kialakulhat. Ez az oxidréteg a tiszta levegőn, a légnedvesség hatására részben átalakul cink-hidroxiddá, részben bázisos-cink-karbonáttá, részben pedig beépül a cink-patinába. Többek között ennek köszönheti kiváló oldhatatlanságát a cinkpatina. Amennyiben a levegő nedvességet tartalmaz, a frissen horganyzott elemek felületén egyre nagyobb sebességgel képződik cink-hidroxid, illetve ipari klímában cink-szulfát [1].

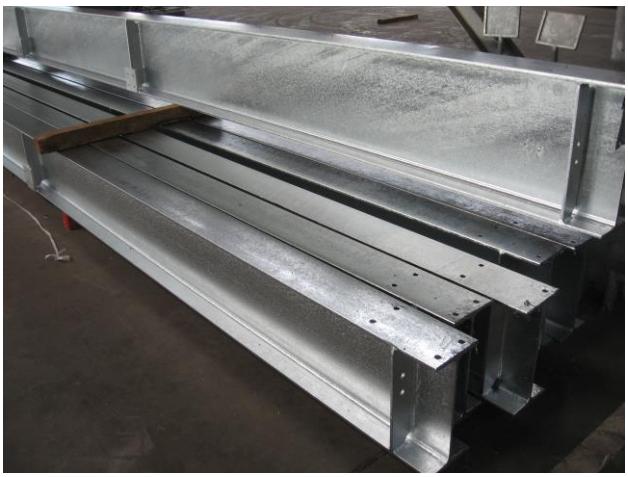
A cinkpatina kialakulása

Normál, nem szennyezett levegőn a légnedvesség és a szén-dioxid (CO_2)-tartalom hatására bázisos cink-karbonátokból, cink-oxidból, illetve maradék cink-hidroxidból álló védőréteg (cinkpatina) jön létre a cinkfelületen. Ez a folyamat csak akkor játszódik le ilyen optimálisan, ha a frissen horganyzott termék felülete nedvesedés (pl. eső) után meg tud száradni, tehát a szellős tárolásnak jelentős szerepe van a frissen készített horganybevonat további sorsát illetően. Az, hogy milyen sebességgel alakul ki, függ a levegő nedvességtartalmától, a mikroklímától. Tapasztalati eredmények alapján, az alábbi adatokat lehet megadni a cinkpatina kialakulásának sebességére vonatkozóan:

- Száraz levegőn - ~ 100 nap
- 33%-os relatív légnedvesség tartalomnál - ~ 14 napon belül
- 75% relatív légnedvesség tartalomnál – 3 napon belül.

A levegő korróziós támadásának hatására ez a védőréteg lassan fogy, de az alatta levő cinkből folyamatosan „pótlódik”, szükés-horganyvirágos, vagy egyszínű szürke (22-24. képek). Hosszabb időn át végzett mérési eredmények alapján, léteznek táblázatok és grafikonok, melyek különböző klimatikus viszonyokra tartalmazzák a horgany

korróziós rátáit (g/m^2/év, vagy μm/év. lásd: MSZ EN ISO 9223 és MSZ EN ISO 9224, A.2 táblázat). Az MSZ EN ISO 9223 szabvány a cink rövidtávú (1 éves), az MSZ EN ISO 9224 szabvány a gyakorlatban fontos, hosszú távú (>20 év) korróziós fogyását tartalmazza.



22. KÉP: Frissen tűzihorganyzott acélszerkezetek

23-24. KÉP: Több éve tűzihorganyzott termékek

Optimális esetben, a horganybevonat legfelső rétege tiszta cink és ez alatt helyezkednek el az ötvözet fázisok. Hosszabb idő után a legfelső réteg teljesen lepusztulhat, és ekkor a védelem szerepét a felszínre kerülő vas-cink ötvözet rétegek veszik át, melyek védőértéke nem rosszabb, de a bevonat színe már *sötétszürke*, vagy ritkán, nagyon hosszú idő után *vöröses árnyalatú* lehet. Tapasztalatok szerint, a horgany korróziójának sebessége időben nem lineáris lefutású, hanem egy kezdeti gyors korrózió után, a kialakuló védőréteg hatására folyamatosan lelassul, de teljesen soha nem áll meg (13. ábra). A bevonat végső tönkremenetelekor a lepusztulás felgyorsul. Cinkpatina csak ott tud kialakulni, ahol a friss bevonatot időnként nedvesség (főleg kondenzvíz, eső) ugyan éri, de közben meg is tud száradni a felület. Kedvező, ha szellős helyen tárolják a terméket. Ahol azonban a *frissen* tűzihorganyzott felületet folyamatosan nedvesség éri (eső, kondenzvíz, hólé, páralecsapódás, stb.) ott az ún. fehérrozsdásodás veszélyével kell számolni. Amennyiben a cinkpatina már kialakult, fehérrozsdásodás már nem lép fel.

Fehérrozsda és kialakulása

Az erős fehérrozsda egy kóros állapotot mutat, nemkívánatos korróziótermék. A laza szerkezetű, fehér színű anyag vízben oldódva tejszerű, egyébként fehér por (25. kép). Fő alkotója, az a cink-hidroxid, melynek kialakulása közbenső lépése a cinkpatina létrejöttének, de túlzott mértékét már fehérrozsdának nevezzük (26. kép). Ez akkor jön létre, ha *a frissen tűzihorganyzott felületet* folyamatosan nedvesség éri, nem tud megszáradni, így a levegő szén-dioxid tartalma segítségével a felületen nem tud létrejönni a passzív védőréteg (a bázisos cink-karbonátokból álló film).

25-26. KÉP: A fehérrozsda megjelenése (balra enyhe és jobbra erős)

A fehérrozsda kialakulásának *tipikus okai*:

- Frissen tűzihorganyzott felületű termék.
- Szabad-, vagy zárt térben folyamatos csapadék, nedvesség, páralecsapódás.
- A horganyzott felület nem tud leszáradni (nincs lefolyás, vagy szabad leszáradás).
- A horganyzott felület folyamatosan nedves más anyaggal érintkezik.

Milyen körülmények vezethetnek a fent említett okok kialakulásához?

Raktározás esetén (példák):

- A *frissen* tűzihorganyzott termékeket fedetlen helyen, szabadtéren tárolják és a felületek nem szellőznek (pl. légmentes letakarás).
- A termékeket úgy helyezték el, hogy a felületeken összegyűlő nedvesség nem tud elfolyni.
- A darabokat úgy csomagolták, hogy felületeik összeérnek és a kapilláris hatás miatt, a víz a közéjük kerül.
- A raktározás, csomagolás során fólia alá helyezték a frissen horganyzott darabokat, mely esetben a szellőzés akadályozott.
- Nedvesség kondenzálódhat a felületekre, ha a hideg termékeket átmenet nélkül a meleg levegőre (raktárba, üzembe) helyezik el.

Szállításnál (példák):

- Amennyiben a frissen horganyzott termékeket esőben, ködben, hóban nyitott gépkocsival szállítják.
- A hideg téli napokon szállított termékeket meleg, fűtött csarnokba szállítják és raktározzák.
- Forró nyári napokon a hűvös raktárakból a termékeket meleg, zárt rakterű gépkocsikban szállítják.

Minden esetben a hangsúly a *frissen* tűzihorganyzott terméken van. Amikor már cinkpatina borítja, nem alakul ki.

Hogyan lehet elkerülni a túlzott fehérrozsda képződést?
A fentiek miatt a fehérrozsda (elsősorban cink-hidroxid) kialakulásának kockázatát mérsékelni kell és lehet (14. táblázat). Ennek egyik, de darabáru horganyzásnál talán a legfontosabb módja, hogy a frissen tűzihorganyzott termékeket megfelelő módon tárolják.

Passzív intézkedések	Aktív intézkedések
Utókezelés a tűzihorganyzóban	Káros mértékű nedvesség elkerülése
Egyéb felületi kezelések	Kondenzáció képződés elkerülése
	Megfelelő tárolási szabályok betartása

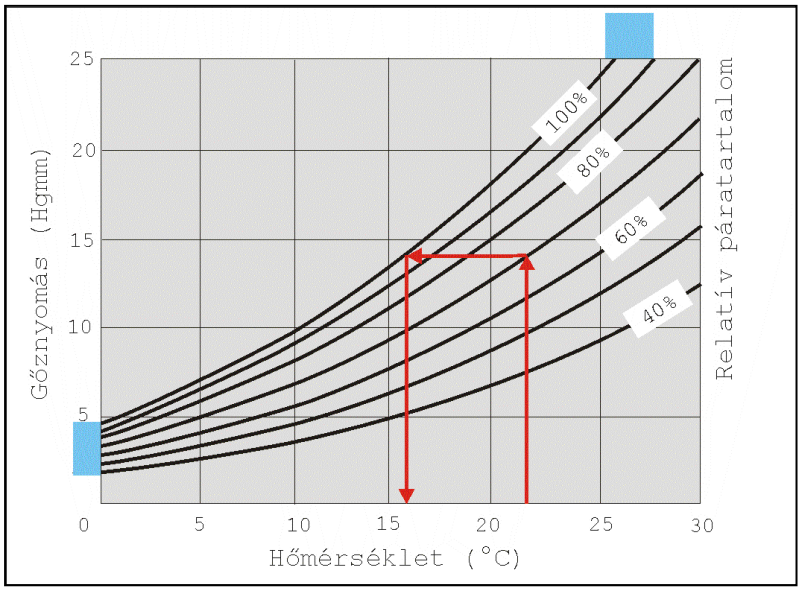
14. TÁBLÁZAT: Fehérrozsda képződés elkerülésének lehetőségei

Az üzemi gyakorlatban szóba jöhetnek különböző *korrózió gátló olajok, átmeneti védelmet szolgáló lakkok* alkalmazása. Ebben az esetben azonban szigorúan ellenőrizni kell, hogy az anyag nem károsítja-e a horganyt, illetve a termék utólagos felhasználásánál nem jelent-e hátrányt ez az átmeneti védelem.

Ajánlható legfontosabb intézkedések a fehérrozsda okozta károk elkerülésére?
Raktározásnál, a *kondenzáció elkerüléséért* (példák):
- Frissen horganyzott és hideg anyagot, csak fokozatos felmelegítés után szabad meleg raktárban tárolni.
- Fűtetlen raktárakból a fűtött gyártócsarnokba csak annyi frissen bevont terméket szabad átvinni, amennyit gyorsan felhasználnak.
- Az olyan raktárakat, melyekben frissen tűzihorganyzott, de hideg anyagot tárolnak, csak lassan, fokozatosan szabad felfűteni.
- Az olyan csarnokokban, ahol frissen tűzihorganyzott termékeket tárolnak, a teljes csarnokfűtés helyett inkább lokális fűtést kell alkalmazni.
- Hideg felületű és frissen horganyzott anyagoknál – ha meleg helyre viszik őket - nem szabad szorosan egymás mellé állítani, mert hidegblokkok alakulnak ki és lecsapódik a pára a felületekre.

Szállításnál javasolt intézkedések a *kondenzáció elkerülése* érdekében (példák):
- Forró nyári napokon a frissen horganyzott termékeket nyitott kocsival szállítsák
- Hideg napokon ajánlatos, ha lehet, megvédeni a termékeket a lehűléstől

A páralecsapódás várható hőmérséklete elméleti úton is meghatározható (21. ábra).



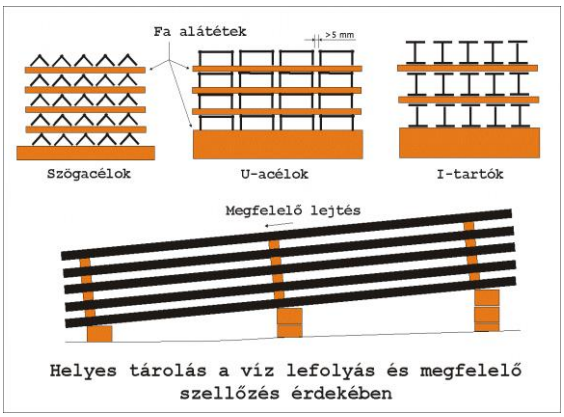
21. ÁBRA: Harmatpont meghatározása [11]
(Pl. léghőmérséklet 22˚C, relatív légnedvesség tartalom 70%, a harmatpont 16,5˚C-nál lesz)

Raktározásnál, *általában* (példák):

- Frissen horganyzott termékeket esőben, hóban, ködben ne tároljanak hosszú ideig a szabadban.
- A horganyzott darabokat nem szabad magas fűben, alátét nélkül a talajon tárolni, legalább 20 cm-re kell a nedves közeg fölé emelni alátétekkel.
- Fólia és szoros ponyvalefedés nem ajánlott, mert a felületek között nem tud a levegő szabadon áramolni.
- A felületekre esetleg rákerülő nedvesség lefolyását biztosítani kell (dőlési szög).
- Ne legyenek összefekvő felületek a termékek között (térközök alkalmazása).

Szállításnál, *általában* (példák):

- A frissen tűzihorganyzott termékek felületei között biztosítani kell a szabad légáramlást (22. ábra, 27. kép).
- Finomárukat (lemezeket, vékony szerkezeteket, nagyfelületű és tömegárukat), nedvességtől elzárva, hideg időben száraz, zárt rakterekben kell szállítani.
- A tömegárukat csak tiszta, víztől és kemikáliáktól mentes konténerekben szabad szállítani.



22. ÁBRA: Helyes tárolási módok

27. KÉP: Helyesen csomagolt tűzihorganyzott elemek

Mit lehet tenni, ha káros mértékű fehérrozsda alakult ki a felületeken?

Amennyiben a nem megfelelő tárolási, szállítási körülmények miatt kialakult ki a fehérrozsda a felületen, annak mértékétől függően kell kiválasztani az eljárást, mellyel el lehet távolítani a horganyfelületről.

Fel kell hívni azonban a figyelmet arra, hogy amennyiben a szerződésben a megállapodó felek nem kötik ki, hogy a frissen tűzihorganyzott termék felületén nem lehetnek fehérrozsda nyomok, akkor ez szabvány szerint nem reklamálható abban az esetben, ha a korrózió alatti részen a bevonat vastagsága eléri a szabványos értéket. Ennek az oka, hogy a korróziós termék a horgany természetes velejárója, mely normális esetben megelőző lépése a cinkpatina kialakulásának. Káros mértéke természetesen nem megengedett. Amennyiben olyan termékről van szó melyet a fehérrozsdásodástól különösen óvni kell, akkor a frissen horganyzott elemeket ennek megfelelően kell tárolni, szállítani és kezelni.

Foltok eltávolítása *gyenge fehérrozsda* esetén:

- Ennek eltávolítása a legtöbb esetben nem szükséges. Amennyiben mégis emellett dönt a felhasználó, akkor egy *puha műanyag kefével* (acél és rézszálú kefe nem ajánlott). Ezt követően semleges, tiszta vízzel le kell öblíteni a felületet, majd szárazra törölni.

  Az enyhe és természetesen kialakuló elszíneződés (mely cink-hidroxidot is tartalmaz), általában átalakul és eltűnik a felületről, illetve beépül a passzív védőrétegbe, és kialakul a jól védő cinkpatina.

- Vegyipari vállalatok egy kis része foglalkozik olyan vegyi anyagok gyártásával, amelyeket kifejezetten erre a célra fejlesztettek ki, és kémiai úton távolítják el a felületről a fehérrozsdát.

Foltok eltávolítása *erős fehérrozsda* esetében:

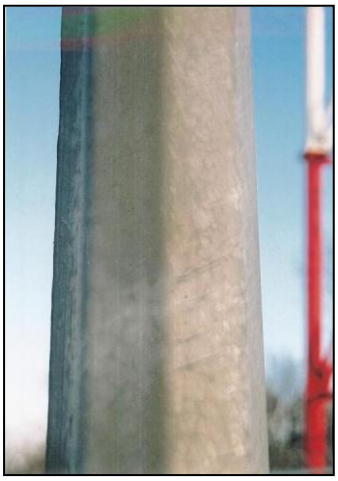
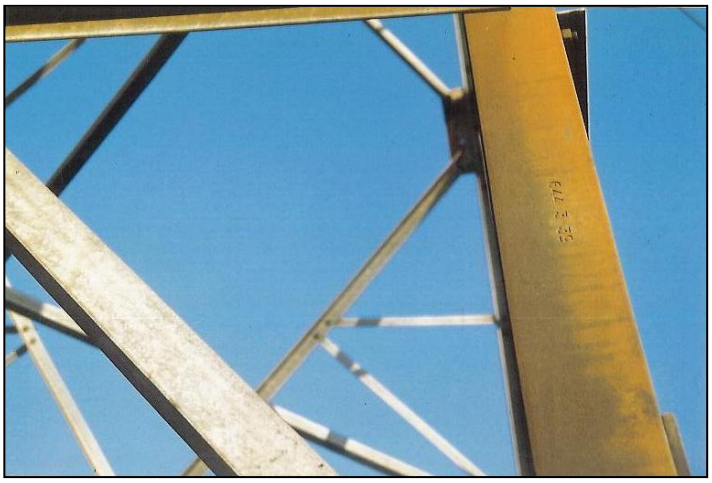
Korrodált felületekről a laza, fehér por nagyobb része könnyen eltávolítható. Alatta kisebb-nagyobb gödröcskéket, egyenetlen felületet lehet találni.

- *Első lépésként* egy puha szálú műanyag kefével (nem réz és nem acélszálas) le kell tisztítani a fehérrozsda nyomokat a felületről, majd bő vízzel le kell öblíteni, és majd szárazra törölni.
- *Második lépésben* meg kell győződni arról, hogy a horganyréteg vastagsága kielégíti-e szabványban foglalt értékeket, amennyiben nem, akkor a szabvány szerint kell eljárni.
- Az előző pontban említett vegyszerek különösen alkalmasak a korróziós termék eltávolítására.

Amennyiben az erősebb korróziós nyomokat eltávolítottuk, arra lehet számítani, hogy a felület megjelenése már nem fog megegyezni az eredeti állapottal, a javítás környezetével. A duplex-eljárások különösen érzékenyek a fehérrozsdás felületre, ezért ott különös gonddal kell eljárni.

A bevonatok vöröses-barna elszíneződése

Tűzihorganyzáskor az acél felületére a horganyréteg vas-cink ötvözeti fázisokkal, metallurgiai kötésekkel kapcsolódik. Optimális esetben ezekre a rétegekre tiszta cink rakódik, míg reaktív acélok esetében a teljes bevonat tisztán ötvözeti rétegekből áll. Ritkán, szennyezettebb, ipari környezetben, elsősorban reaktív acélok felületén (4.2 pont) szokott előfordulni a horganybevonat vöröses-barna elszíneződése (28-29. kép), mely *nem a horganyzás hibája.*

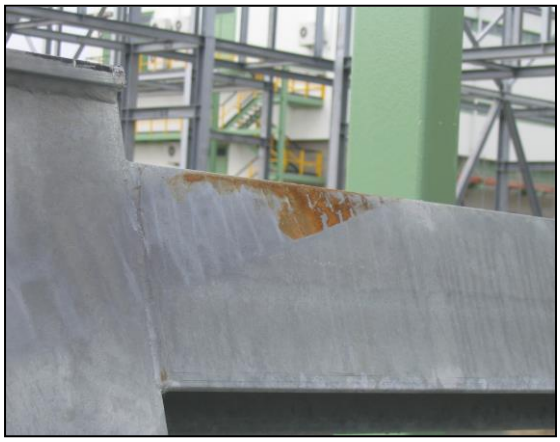



28-29. KÉP: A vöröses-barna elszíneződés nem horganyzási hiba

Ekkor, a Fe-Zn ötvözeti rétegben levő vas korróziótermékek elszínezik a felületet. Az elszíneződés alatt általában még megfelelő vastagságú horganyréteg van (horgany-vas ötvözet), mely továbbra is védi az acélt a korróziótól. Amennyiben megjelenése zavaró, akkor óvatos mechanikus felülettisztítás után (kefézéssel, csiszolással) eltávolítható, vagy festhető.

Az ún. idegen rozsda, kezelési, tárolási, vagy megmunkálási hiba

A horganyfelületen megjelenő barna elszíneződés zavaró lehet. Ezek a foltok az esetek döntő hányadában a horganyzott termék felületére utólagosan kerülnek. Ilyen hatások például: tűzihorganyzás utáni helytelen tárolás, kezelés, vagy megmunkálás következményei. *Idegen rozsdának* szokás nevezni azokat a vöröses színű rozsdafoltokat, melyek nem a horganyréteg hibájának következményei, hanem *utólagos beavatkozások* nyomán alakulnak ki (30-32. képek).



30-31-32. KÉP: Idegen rozsda a tűzihorganyzott felületeken (köszörülés nyoma, rozsdás acéldrót, rozsdásodó acéllemez nyoma)

A képeken látható és hasonló jelenségek okai sokfélék lehetnek. Abban megegyeznek, hogy a horganyzott termék felületén vörös színű rozsdafoltokat eredményeznek.

Az idegen rozsda létrejöttének leggyakoribb okai:

- A horganyzott felület felett hegesztenek, köszörülnek, forgácsolnak, fúrnak.
- A tiszta horganyzott termékeket kezeletlen acéldróttal kötegelik.

- Hegesztik a horganyzott termékeket, de nem javítják le a sérült felületeket.
- Termikus eljárással alakítják a horganyzott termékeket.
- Rozsdás felületű, vagy rozsdásodó acélszerkezetet tesznek és tárolnak a tűzihorganyzott felületen.
- Rozsdásodó acélszerkezetről ráfolyik a korróziótermék a horganyzott felületre.

Tűzihorganyzott szerkezetek alkalmazása zárt épületekben, klimatizálás nélkül
A tűzihorgany bevonatok általános felhasználás esetében, zárt terekben minden gond nélkül, kiválóan alkalmazhatóak (15. táblázat). Speciális feltételek esetére külön vizsgálatokat végeztek [1] annak megállapítására, vajon erősen párás, vagy párás-meleg helyeken miként viselkedik a horganyréteg.

Vizsgált klímaviszonyok	Horganyréteg fogyás (µm/év)
Fűtött pincében (téli időjárásnál)	0,31
Tetőtérben, víztartály a térben	0,15
Konyhában	1,5
Szén és cementőrlő üzemben	0,26 – 0,77

15. TÁBLÁZAT: A horganybevonat korróziós fogyása különféle zárt terekben [10]

Külön területet képviselnek a növénytermesztés céljára szolgáló üvegházak, fóliasátrak. A mérések bizonyítják, annak ellenére, hogy ezekben a helyiségekben magas a páratartalom, a léghőmérséklet, illetve magas a CO_2 koncentrációja is, a horgany korróziós rátái lényegesen kisebbek a kültéri igénybevételnél mért értékeknél.

Klimatizált épületekben:
Az ilyen helyiségekben elhelyezett raktári áruk miatt, a levegő hőmérséklete, nedvességtartalma, sőt sokszor a portartalma is szigorúan szabályozott. Ezért korróziósebesség igen csekély. A klimatizálás és légnedvesség szabályozás következtében nincs lehetőség a kondenzvíz lecsapódásra, mely fehérrozsdásodást okozhat. *Kiválóan alkalmazhatóak* a tűzihorganyzott szerkezetek.

7.3. A horgany viselkedése különböző talajokban

A talajok a talajalkotó anyagokon kívül tartalmaznak még sókat, savakat, alkalikus anyagokat, szerves anyagok keverékeit, mikroorganizmusokat, oxidáló és redukáló gombákat, stb. Ezek mellett, az adott talaj fizikai jellemzői, mint a szellőzöttség, azaz levegőellátottság, a víztartalom is lényeges, befolyásoló tényezők. A fent említett tényezők bonyolult hatásmechanizmusa következtében, a talajokban lejátszódó korróziós folyamatok nem írhatók le pontosan, akár évszakok szerint is jelentős mértékben változhatnak. A talajkorróziós hatásoknál elsősorban a gyakorlati *tapasztalatokra* lehet támaszkodni. Más-más országokban a horgany korróziós fogyásával kapcsolatban eltérő eredmények is lehetnek. Például dániai mérések szerint a cink átlagos fogyása a 90-es évek elején 5 µm/év értéket mutatott. Erre vonatkozóan Magyarországról felhasználható adatok nincsenek, de szokásos esetben legfeljebb 1-2 µm/év fogyással lehet számolni.
Irodalmi adatok alapján léteznek táblázatok, melyek a cink, illetve a tűzihorganyzott acélok összehasonlító korróziós eredményeit tartalmazzák (16. táblázat).

	I. Gyengén agresszív talaj	II. Közepesen agresszív talaj	III. Erősen agresszív talaj
	Kezdeti anyagfogyás a korrózió következtében (µm/év)		
Fe	50	60	68
Zn	7	15	55
Horganyzott acél	3	30	55
	Állandósult korróziós fogyás (µm/év)		
Fe	7	15	68
Zn	5	7	44
Horganyzott acél	2	3	36
	Extrapolálással megállapított érték 50 évre (mm)		
Fe	0,44	1,92	3,68
Zn	0,24	0,37	2,23
Horganyzott acél*	0,12	0,20	1,86
*csak összehasonlításhoz, mivel a megadott értékek itt már meghaladják a horganybevonat vastagságát			

16. TÁBLÁZAT: Korróziós vizsgálatok eredményei [10]

A táblázatban megjelölt III. jelű talajok valamennyien *rosszul szellőzöttek* voltak. Az egyes talajtípusoknak megfelelően, más és más korróziós fogyások várhatóak, melyek függenek még az adott talaj más jellemzőitől is (17. táblázat).

Talajtípus	Agresszivitás
Meszes, márgás, meszes-törmelékes, homokos-márga	alacsony
Homok, kavics	gyenge
Humuszos, vályog, tőzeges, mohás erdei talaj	erős

17. TÁBLÁZAT: Egyes talajtípusok agresszivitása a cinkre [12]

Az alkalmazás lehetőségét az adott talaj esetében mindig külön kell megvizsgálni.

7.4. A cink korróziós ellenállása vízben

Általános jellemzők

A horgany (Zn) víz hatására létrejövő korróziója kémiailag lényegében egy oxidációs folyamat. E folyamat során lényegében két egymással párhuzamos kémiai reakció játszódik le.

Anódos oxidáció az, mely során fémionok képződnek (a fém korrodálódik):

Például:

$$Zn = Zn^{++} + 2e^{-} \quad (1)$$

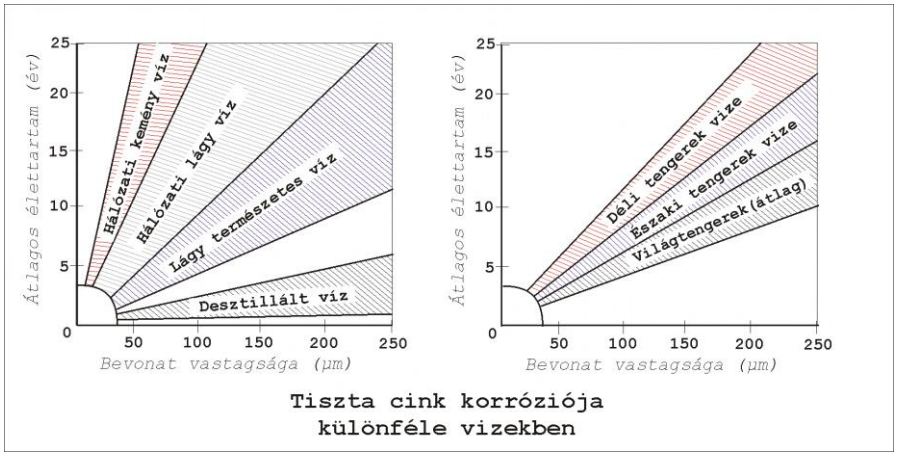
Katódos redukciós folyamat az, mely során a szabad elektronok egy oxidáló közeg által felhasználódnak:

Például:

$$O_2 + 2H_2O + 4e^{-} = 4OH^{-} \quad (2)$$

$$2H_2O + 2e^{-} = H_2 + 2OH^{-} \quad (3)$$

Semleges pH-érték (pH=7) esetén, a katódos reakció a 2. egyenlet szerint játszódik le és a 3. reakcióhoz képest elhanyagolhatóan lassú.
Az egyes víztípusok lehetnek lágy és kemény vizek (pl. vezetékes víz), brakkvíz (édes és sósvíz keveréke), vagy sós tengervíz, ezek különbözőképpen hatnak a vas korróziójára, ezért a víznek megfelelő fémbevonatot kell kiválasztani. A horganybevonatok korróziós ellenállását a víz kémiai összetétele döntően befolyásolja, emellett még a víz nyomásának, hőmérsékletének, áramlásának, oxigéntartalmának, illetve a vízben áramló szilárd szemcséknek is jelentős hatása van. Példaként említhető, hogy a cinket lágy, hideg vízben erős korróziós támadás éri, akárcsak 50˚C és 80 °C között lekondenzálódó víz esetében (pl. szaunákban). Nem szélsőséges esetekben a horganybevonaton egy *védőréteg képződik*, és kiváló védelmet biztosít. Amennyiben a víz hőmérséklete kb. 50 ˚C alatt van, a bevonat sérülése esetén a cink *katódos védelmet nyújt* az vasnak, fellette elveszti ezt a képességét, ezért alkalmazása nem előnyös. Ennek különösen hőcserélők esetén van nagyobb jelentősége. Megjegyezzük, hogy ez a hőmérsékleti határ függ a víz jellemzőitől, főleg kémiai összetételétől.
A horgany számára agresszív lágy vizekben a víz hőmérsékletének különösen nagy jelentősége lehet a korrózió sebességére. A kutatások szerint ugyanis a kb. *55 ˚C feletti hőfok esetében* a cink felületén képződő védőréteg durvaszemcsés szerkezetű lesz és elveszti a tapadását a horganyfelületen. Ezáltal a friss horganyfelületet gyors korróziós támadás éri. A korrózió sebessége kb . 70 ˚C-nál egy maximális értéket ér el, majd 100 ˚C-os hőmérsékleten nagyjából azonos az 50 ˚C-on mért értékekkel. Általában elmondható, hogy a horganybevonatok *hideg és kemény vízben jobban korrózióállók*, mint melegebb és lágyabb vizekben.
Vizsgálatok szerint, a víz *áramlási sebességének* is nagy jelentősége van a védőréteg kialakulása szempontjából. Egyes mérések kimutatták, amennyiben az áramló víz sebessége folyamatosan meghaladja a 0,5 m/másodperc sebességet, akkor a friss horganyfelületen nem tud megfelelő védőréteg kialakulni.
Mivel az ivóvízhálózatokban levő víz megfelelő mennyiségű oldott sót (kalcium és magnézium sók) tartalmaz, ezért a tűzihorganyzás alkalmazása megengedett, csak a csövek gyártásánál , horganyzásánál be kell tartani az ide vonatkozó előírásokat (EN 10240). A víz alatti korróziós hatások bonyolultsága miatt – akárcsak a talajoknál - nincsenek egyértelmű szabályok és mutató számok, ezért egyedileg kell megvizsgálni az alkalmazhatóságot. Különféle mesterséges és természetesen vizekre azért léteznek hozzávetőleges tapasztalati értékek (23. ábra).



23. ÁBRA: A horgany korróziós rátái irodalmi adatok szerint [12]

A cink viselkedése természetes vizekben

Amennyiben egy tűzihorganyzott szerkezetet valamilyen természetes vízben (folyók, tavak) kívánunk elhelyezni (33. kép), jellemző, hogy a horganyréteg felületén ekkor is kialakul a *védőréteg*. Ennek védőértéke jelentősen függ a víz kémiai jellemzőitől, áramlási sebességétől, szilárdanyag tartalmától, a vízben élő és lerakódó élőlényektől és természetesen a víz hőmérsékletétől. A legnagyobb jelentősége a víz pH-értékének van, mely az elektrokémiai reakciókra van döntő hatással. Amennyiben csak a víz pH-értékét tekintjük, a cink korróziója 5,5-12,5 pH között, 0˚ - 20 ˚C tartományban stabilan alacsony mértékű.

Mivel természetes vizeink nagymennyiségű oldott sót is tartalmaznak, hőmérsékletük nem tér el az optimális értéktől, a horganyrétegek alkalmazása megfelelő védelmet nyújt, azonban ellenőrizni kell területenként az adott folyóvíz, vagy tó vizének hatásait (pl. különlegesen erős koptató hatás).

33. KÉP: Tűzihorganyzott elemek alkalmazása vízben és víz felett

A horganybevonat viselkedése csapadékvizek esetében

Az eső és a páralecsapódás (kondenzvíz) lágy víz, oldott sókat nem tartalmaz. A frissen horganyzott felületek esetében (*amennyiben a cinkpatina még nem alakult ki!*), erősebb korróziós támadással kell számolni. Amennyiben a horganyrétegről az eső és páralecsapódás után ciklikusan le tud száradni, a levegő szén-dioxid tartalma segítségével kialakul a *cinkpatina* és a továbbiakban kiváló védelmet nyújt az esővíz és pára ellen is (klasszikus atmoszférikus igénybevétel). A korróziós „kitéti” vizsgálatok azt mutatják, hogy az esőnek kitett oldalakon valamivel nagyobb a cink korróziójának sebessége, mint az esőtől védett felületen. Egy 54 hónapon keresztül tartó mérés [3] esetében az alábbi eredmények születtek:

Esős oldal: esőtől védett oldal = 18,1 µm : 5,8 µm.

Ez azt jelentette, hogy azon az oldalon, ahol a csapadék folyamatosan érte a horganyfelületet ~ 4,0 µm/év, a védett oldalon csupán 1,3 µm/év volt az átlagos korróziós veszteség.

A horganybevonatok viselkedése tengervízben

Tűzihorganyzott acélszerkezetek tengervízben történő alkalmazásával kapcsolatosan – a körülményekhez képest - kedvező tapasztalatok vannak. A kutatások szerint, egy kezdeti gyorsabb korróziós fogyás után a tengervízben levő oldott sók segítségével a horganybevonat felületén egy védőréteg alakul ki, mely nagymértékben csökkenti a további cinkveszteséget. Ez a védőréteg különféle cinkvegyületeket tartalmazhat [3].

Például:
$ZnCl_2 \cdot Zn(OH)_2$, $ZnSO_4 \cdot Zn(OH)_2$, ZnO, $Mg_2(OH)_3Cl$, de találhatóak bennük még CaO $Al_2O_3 \cdot SiO_2$, foszfátok és vasvegyületek is.
Azonban a felcsapódó vizek zónájában további járulékos igénybevételek is megjelennek, melyek jelentősen befolyásolják a korrózió sebességét (18. táblázat). Idővel a horganyfelületen kialakult védőréteg a támadó közeg hatására vékonyodik, de a horganyalapból újraképződik. Ez a folyamat egy időben stabil, átlagos cinkfogyáshoz, így a bevonat általános vastagság csökkenéshez vezet. Irodalmi adatok szerint, más-más értékek adódnak a különböző igénybevételeknél.

A tűzihorgany réteg korróziós rátái tengervízben	
Felcsapódó víz zónájában	~ 8 µm/év
Időlegesen víz alá kerülő zónákban	~ 10 µm/év
Állandóan víz alatt levő horganyréteg esetében	~ 10 µm/év

18. TÁBLÁZAT: A tűzihorgany bevonatok korróziós rátái tengervízben [3]

Amennyiben idővel a bevonat legfelső, tiszta cinkből álló rétege lepusztul, felszínre kerülnek a vas-cink ötvözeti fázisokból álló védőrétegek, melyek termékei beépülnek a védőrétegbe. Ennek következtében ez a védőréteg vörösbarna elszíneződést kaphat.

A cink viselkedése mesterséges vizekben
Az ipari és lakossági felhasználásra kerülő, vízművekből származó vizek, vagy éppen a már felhasznált elfolyó vizek sokszor jelentősen eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek. Emiatt a cink viselkedése, korróziós jellemzői is különbözhetnek. Mivel a korróziós értékek lényeges különbségeket mutatnak, ezért külön-külön kell megvizsgálni az egyes közegeket.

Legfontosabb jellemzők ivóvíz célú felhasználás esetén
A folyamat itt is azzal kezdődik, hogy a frissen horganyzott cső belső felületén egy vékony védőréteg képződik, melynek jellemzői függenek a víz kémiai és fizikai paramétereitől. A tiszta cinkréteg elfogyása után a Fe-Zn ötvözeti fázisok korróziótermékei beépülve a védőrétegbe továbbra is biztosítják az acél védelmét. A vízben zajló korrózió sebessége nagymértékben függ az oldott szén-dioxid mennyiségétől. A vízben levő CO_2 hatására ugyanis egyszerű kémiai reakció után hidrogén-ionok keletkeznek (4), mely a már kialakult védőréteg károsodáshoz vezethet, mivel a víz pH-értéke jelentősen lecsökkenhet (5).

$$CO_2 + H_2O = H^+ + HCO_2^- \quad (4)$$

$$Zn_5(OH)_6(CO_3)_2 + 8H^- = 5Zn^{2+} + 2HCO_3^- + 6H_2O \quad (5)$$

A szén-dioxid koncentrációja mellett jelentős szerepet játszik még a vízcserélődés mértéke, mivel ez által a fenti folyamatok befolyásolhatóak. A víz folyási sebességének növekedésével a cink korróziós lehordása arányosan növekszik, tehát a vízbetáplálástól távolodva csökken, mely a szén-dioxid mennyiségének csökkenésével, illetve a cink-ionok számának növekedésével függ össze. Egy vízzel nem, vagy csak alig táplált rendszerben a korrózió sebessége minimálisra csökkenhet, és nyugalmi állapot alakulhat ki. *Hidegvizes* rendszerekben lokális korrózió csak nagyon ritkán alakul ki.
Amennyiben *melegvízzel* érintkezik a horganybevonat, nagyobb a hajlandósága arra, hogy a belső csőfalon nem egyenletes korrózió alakul ki. Ez pedig azzal függ össze,

hogy a melegített vízben képződő védőréteg teljesen más tulajdonságokkal rendelkezik, mint a hidegvízben kialakult védőrétegek. Ugyanis míg a hidegvízben létrejött cink-hidroxid és bázisos cink-karbonátok nem vezetik az elektromos áramot, addig a melegvízben kialakuló cink-oxid félvezető, azaz a katódos folyamatokat elősegíti, mely elektrokémiai korrózióhoz vezet (2). Hasonló folyamatokhoz jutnak, amennyiben horganyzott és réz elemeket egy rendszerbe összeépítenek, melynek következtében a réz-ionok helyi lerakódásainál erős elektrokémiai korróziós folyamatok alakulnak ki, ezért az ilyen vegyes-rendszereket el kell kerülni (lásd: 7.1 fejezet).

A horganyréteg viselkedése uszodák vizeiben
A folyamatok hasonlóak, mint azt az ivóvíz esetében látni lehetett. Mivel az uszodák vize egy állandó körforgásban van, ezért a vízben levő szén-dioxid mennyisége csökken, illetve a cink-ionoké nő, ezáltal a korróziós folyamatok lelassulnak. A vízhez adagolt fertőtlenítő szerek (klór és klórvegyületek) mértéke és a víz pH-értéke szigorúan szabályozott, mely határok között a tűzihorganyzás alkalmazása lényegében *problémamentes.* Az erre vonatkozó korróziós adatokat az ISO 9224 tartalmaz.

Alkalmazás nyitott hűtővíz rendszereknél
Ott, ahol a hűtővizet hűtőtornyokon keresztül vezetve hűtik, a tűzihorganyzás alkalmazása *sokkal kedvezőbb*, mint ivóvíz rendszerek esetében. Mivel a vízben levő CO_2 nagyobb részét a víz a hűtőtoronyban elveszti és a cink-ionok mennyisége nő. Viszont hátrányos, hogy a vízpárolgás miatt más korróziós ágensek felszaporodnak. A szulfát és klorid-ion koncentráció túlzott növekedése kedvező a gyorsabb korrózió kialakulására, míg a kalcium és magnézium sók vízkő képződéséhez vezetnek. Ezeken kívül az ilyen nyitott rendszerek esetében, még biológiai folyamatokkal is kell számolni. A fenti problémák megelőzése érdekében, különféle *adalékokkal, vízkezeléssel* lehet optimalizálni a víz összetételét, mely azt eredményezi, hogy a tűzihorganyzott szerkezetek *jól alkalmazhatóak* a nyitott vízrendszerek esetében.

Zárt hűtő- és fűtővíz rendszerek
Ezeknél a zárt rendszereknél egy idő után a vízben levő szén-dioxid és a vízben oldott oxigén felhasználódik és felszaporodik a cink-ionok mennyisége. Ilyen körülmények között, a korrózió csak hidrogénfejlődés következtében gyorsulhat fel, melynek intenzitása a víz hőmérsékletének növekedésével nőhet. A hidrogén felszaporodását megfelelő gáztalanító berendezéssel lehet elkerülni. A felhasználás során nem lehet kizárni, hogy más fém maradványok (pl. réz) kerüljenek be a zárt rendszerbe. Ezért belső felületek tűzihorganyzása ilyen esetekben nem javasolható, ugyanis ilyen feltételek mellett a *felületkezelés nélküli acél jobban megfelel* az alkalmazási célnak.

A horganybevonat viselkedése esővíz elvezető rendszerekben
Vidéki klímában, esőcsatornáknál és különféle csapadékelvezető csőrendszereknél, tartályoknál a tűzihorgany bevonatok alkalmazásával kapcsolatosan már évtizedek, sőt évszázadok óta kifejezetten *pozitív* tapasztalatok vannak. Viszont ipari, vagy erősen szennyezett klimatikus körülmények között, duplex-rendszerek, titáncink, tiszta cink, vagy egyéb alternatív megoldás alkalmazása előnyösebb, mert magasabbak a korróziós ráták. Az utóbbi évtizedekben Európában szerencsére a csökkenő környezetszennyezés miatt nő a cink, illetve a horganyrétegek élettartama is (savas esők csökkenő savassága).

Alkalmazás háztartási szennyvizek elvezetésénél
Az ilyen vízrendszereknél a tűzihorganyzás feladata, hogy alapot nyújtson egy műanyag bevonatnak. A műanyag bevonatú csövek, alkatrészek sérülése esetén a cink megakadályozza az alározsdásodást, és ez által kiválóan szolgálja a korrózió elleni védelmet.

Tűzihorgany bevonatok alkalmazása szennyvíztisztító berendezések esetében
A tűzihorganyzott acélszerkezetek alkalmazásának lehetősége függ a tisztító eljárás típusától, amelyet szennyvíz jellemzői határoznak meg. Az eddigi hazai és nemzetközi tapasztalatoknak megfelelően, tűzihorganyzás alkalmazása általában kifejezetten előnyös, különösen ott, ahol a szerkezeti elemek atmoszférikus igénybevételnek vannak kitéve. Azokon a helyeken, ahol különösen intenzív korróziós hatásokkal kell számolni, előnyösebb a duplex-eljárások (tűzihorganyréteg + festékbevonat) alkalmazása, mert a szinergia-hatás miatt a festékbevonat – a horganyréteg miatt - erős védelmet élvez.
Szennyvízzel közvetlenül érintkező zónákban általában kiváló korrózió elleni védelmet nyújt, azonban néhány alapvető, tapasztalati mutatót feltétlenül figyelembe kell venni.

- A víz pH-értéke 6,5 – 9,0 közé essen (rövid ideig max. pH: 9,5).
- A vízben levő Cl^--ion tartalom legfeljebb 300 mg/l lehet (rövid ideig: 1000 mg/l).
- Más semleges sóknak nincs nagy jelentősége, de a 100 mS/cm értéket ne lépje túl.
- A szennyvíz réz-koncentrációja nem lépheti túl a 0,064 mg/l értéket, mert ennél magasabb értékek esetén jelentősen megnő a kockázata a réz-által indukált helyi elektrokémiai korróziós károknak.

Derítő, víztisztító berendezéseknél a tűzihorganyzott acélszerkezetek már évtizedek óta bizonyítottak és hosszú évek után az esetleg károsodott bevonatok egy karbantartás során újrahorganyzással ismét, évtizedekre biztos védelmet nyújtanak. A duplex-eljárások nagymértékben meghosszabbítják a korróziós élettartamot. Erősebb korróziós hatásoknál indokolt az alkalmazása, mert nagyon vastag horganyrétegeket technikailag nem lehet megfelelő minőségben létrehozni. A megfelelő védelem elérése érdekében, horganyrétegek festésével 500 – 800 µm vastagságú bevonat-rendszert kell létrehozni [10].

7.5. Tűzihorganyzott betonacélok alkalmazása

Az utak sózása, a levegő szennyezettsége mind-mind olyan tényező, melyek károsítják a magas költséggel felépített vasbeton anyagú szerkezeteket. A lakóépületek, vagy éppen vasbeton hidak tervezői sokszor nem gondolnak arra, hogy 20-30 év múlva már számolni kell a betonalapú szerkezetek jelentős károsodásával, amennyiben annak felületkezeléséről, rendszeres karbantartásáról nem gondoskodnak. Ennek oka, hogy a beton egyébként magas pH-értékű (>12,5) pórusvizének pH-értéke lecsökkenhet (pl. karbonátosodás, Cl-ionok támadása), a betonacél felülete szabaddá válik, ez pedig a betonacél súlyos korróziójához vezet (24. ábra).
Amennyiben hagyományos állapotú, tehát felületkezelés nélküli betonacélt alkalmaznak, a bebetonozás után – a betonban levő nedvesség hatására - a betonacél felületi rétegei korrodálódnak (1. lépés). Ha a beton pH-értéke magas marad, a betonacél kiválóan ellátja feladatát, mert az acél passzív állapotba kerül. Ha azonban a környezeti hatások következtében a pórusvíz pH-értéke csökkenni kezd, akkor az említett passzív állapot nem jön létre, hanem folyamatos és intenzív vaskorrózió kezdődik (2. lépés). A korrózió termékei megjelennek a betonba ágyazott acélbetét körül, és nyomófeszültséget keltenek a betonmátrixban (3. lépés).

24. ÁBRA: Kezeletlen betonacél korróziója és következményei

A folyamatosan vastagodó rozsdaréteg réteg miatt, az egyre halmozódó belső feszültség hatására a betonban repedések keletkeznek, melyek felületi leválásokhoz, sőt súlyos statikai problémákhoz vezethetnek (4. lépés). Ez jól láthatóan megjelenik (34. kép).

34. KÉP: Erősen károsodott vasbeton szerkezet

Amennyiben tűzihorganyzott betonacélokat alkalmazunk, a korróziós folyamat [13] egészen más végeredménnyel jár (25. ábra). A tűzihorganyzott betonacélon levő horganyréteg a bebetonozás után – a magas pH-érték miatt - egy kezdeti gyors korróziót szenved (10-15 µm), mely a beton pórusvize következtében jön létre (1. lépés).

25. ÁBRA: Tűzihorganyzott betonacél viselkedése

A cink korrózió termékei folyamatosan eloszlanak a betonacél körül (2. lépés). A továbbiakban a cink korróziójának sebessége folyamatosan csökken, ahogy a

horganyréteg felületén egy védőréteg kialakul (2. lépés). A cink korróziótermékei a betonmátrixba szöknek és ott egy a horganyzott betonacélt körülvevő védőzónát alakítanak ki (3. lépés). A cink korróziójának termékei nem fejtenek ki feszítő hatást a beton szerkezetére (nincs lényeges térfogat növekedés), ezáltal megóvják a betontakarást, így a betonfelületen levő korróziós ágensek nem érik el a tűzihorganyzott betonacélt (4. lépés).
Tűzihorganyzott betonacélok alkalmazása két fő területen indokolt:

- Karcsú, vékony vasbeton szerkezetek építésénél.
- Klorid-ion behatásnál.
- Beton karbonátosodásának veszélye esetén.

Világviszonylatban különféle vizsgálatokat végeztek a tűzihorganyzott betonacélok betonban való kötéserősségének ellenőrzésére. Egy angol kutatás szerint [1], az alábbi összehasonlító adatok születtek, sima felületű betonacélok esetében:

- Tűzihorganyzott betonacél esetében – 3,3 -3,6 MPa
- Horganyzás nélküli betonacél esetében – 1,3- 4,8 MPa

Tűzihorganyzott betonacélok alapanyagai, külföldi szabványok
Magyarországon a vasbeton szerkezetek építésénél gyakorlatilag teljesen hiányzik a tűzihorganyzott acélbetétek alkalmazása. Ettől kivételt csak néhány esetben, pl. tűzihorganyzott acélszerkezetű és bebetonozott oszlopcsonkok és néhány esetben betonacélok jelentenek. De például az USA-ban, Kanadában, Japánban, vagy éppen Németországban már évtizedek óta hagyománya van a tűzihorganyzott betonacélok beépítésének [14], az utóbbi országban egyre növekvő tendenciát mutat. Németországban 1981 óta engedélyezett a tűzihorganyzott betonacélok alkalmazása (19. táblázat).

Rúdacélok vasbeton szerkezetekhez	BSt 420 S (111 S) BSt 500 S (IV S)
Betonacél hálók	BSt 500 M (IV M)
Huzalok betonacélhoz	BSt 500 P (IV P) BSt 500 G (IV G)
Acélgyűrűk betonacélból	BSt 500 WR (IV WR) BSt 500 KR (IV KR)

19. TÁBLÁZAT: Tüzihorganyozható betonacélok DIN 488 szerint.

Az USA-ban az alábbi szabványok foglalkoznak a tűzihorganyzásra kerülő betonacélok acélalapanyagának kérdésével:

- A 615/A, 615 M
- A 706/A, 706 M
- A 616/A, 616 M
- A 617/A, 617 M

Az egyes acélalapanyagoknál, mint más acéltípusoknál, itt is a szilícium és a foszfor mértéke határozza meg a képződő bevonatok tulajdonságait.

Egyéb előírások
Az Európai Unióban még nincs a betonacélok tűzihorganyzására vonatkozó egységes szabvány, a bevonat tulajdonságainak az ISO 1461 szabványnak kell megfelelni. Az USA-ban a ASTM A 767 szabvány írja elő a tűzihorgany bevonatokra vonatkozó követelményeket. A tűzihorganyzott betonacélnak a betonban történő kötéserősségének ellenőrzését az ASTM Teszt Módszer segítségével a 944 szabvány szerint végzik el,

míg a betonacélok mechanikai tulajdonságaira vonatkozóan az ASTM A 767 és ASTM A 143 szabványok intézkednek. A tűzihorganyzott betonacélok szerelésére és a betonadalékokra vonatkozóan az alkalmazó országokban külön előírások vannak.

35. KÉP: Tűzihorganyzott betonacélok

Betonacélok tűzihorganyzása

A betonacélok tűzihorganyzása (35. kép) nem kíván különleges eljárásokat, sajátos technológiát. Azonban néhány speciális óvintézkedést kell alkalmazni a megfelelő minőségű tűzihorganyzott betonacél előállítására. Németországban az acélbetétek tűzihorganyzására külön előírás van (DiBt Zulassung: ABZ 1.4-165:2014).

8. HORGANYZÁS + FESTÉS (DUPLEX-ELJÁRÁS)

A tűzihorganyzott felületek szokás szerint egyáltalán nem igényelnek utólagos festést (36. kép), mert korróziós képességeik a legtöbb esetben megfelelnek a követelményeknek. Léteznek azonban olyan speciális esetek, amikor indokolt lehet a horganyréteg bevonása. Nemzetközileg elfogadott irányelvekben rögzítették a duplex-eljárások kivitelezésének legfontosabb követelményeit (EN ISO 12944), a szabványban megtalálhatóak a megfelelő felületelőkészítő előírások, illetve a festésre és festékanyag kiválasztására vonatkozó irányelvek. A duplex-védelem fogalomkörébe veszi a szakirodalom egy része a tűzihorganyzott felületre történő *porlakkok* felhordását is, mellyel ismertetőnk nem foglalkozik.

36. KÉP: Duplex-védelemmel ellátott villamos távvezeték oszlop

8.1. Mikor kell festeni egy horganyréteget?

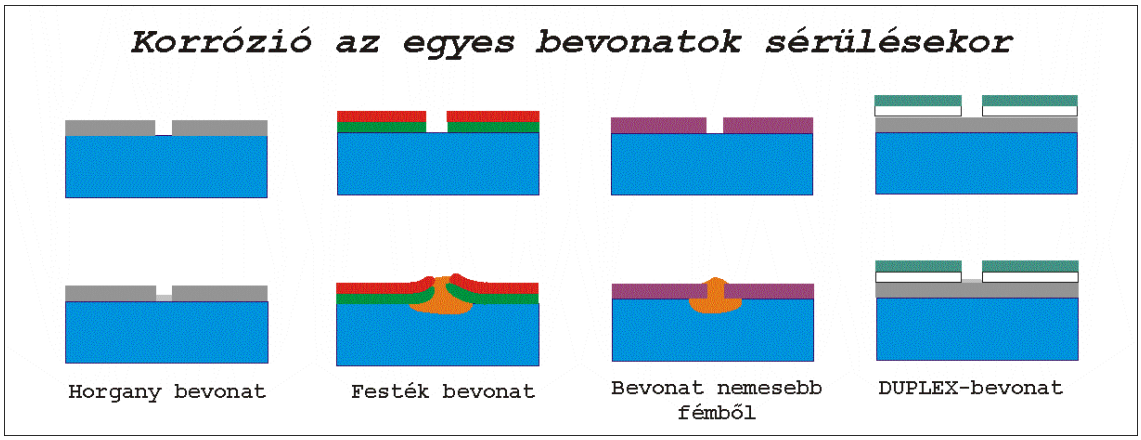
A tűzihorganyzás önmagában is kiváló védelmet nyújt a korróziós hatások ellen. Amennyiben a felhasználók olyan speciális követelményeket támasztanak vele szemben, hogy mégis festékbevonattal kell őket ellátni, akkor olyan bevonati rendszert nyernek, melynek élettartama legalább 1,5-2,5-szeresen meghaladja magának a horganyzott szerkezet egyébként is hosszú az élettartamát.
Négy fő oka van, amikor a tűzihorgany réteget festeni kell:

- Ha a festékbevonatnak különleges esztétikai szerepe van.
- Ha nagyon hosszú védelmi időtartamot kell biztosítani.
- Ha a lokális korróziós hatások intenzitása olyan nagy, hogy duplex-rendszert kell alkalmazni.
- A kontakt-korrózió elkerülése érdekében.

A tűzihorganyzás és a festés kombinációjával mindkét rendszer előnyeit felhasználjuk úgy, hogy együttes alkalmazásuk esetén az ún. *szinergia-hatás* érvényesül.

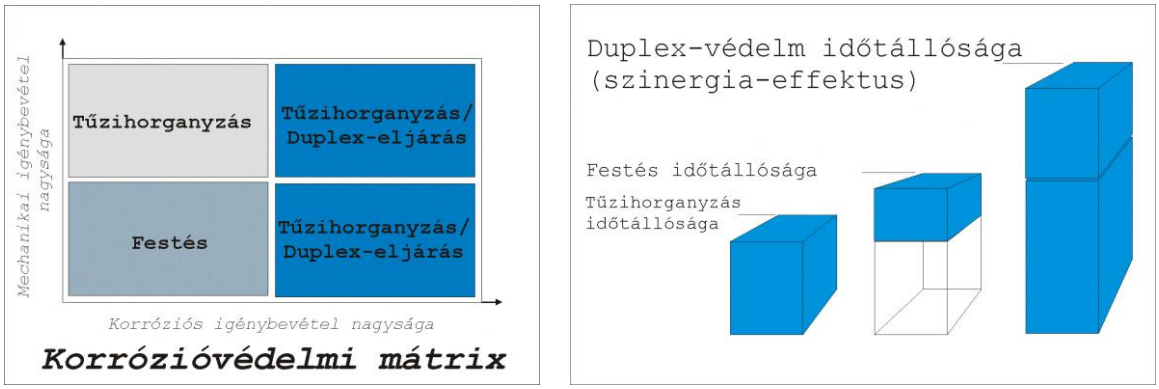
8.2. Mit jelent a duplex-védelem?

Amennyiben a horganybevonatokat utólagosan festik, ebből kétszeres előny is származik. Egyrészt a festékbevonat védi az alatta levő horganyréteget az időjárás hatásaitól, másrészt a horgany megóvja a felette levő festékréteget a leválásoktól. Ugyanis a festékrétegeken a szállítás, tárolás, felhasználás során karcolások, horzsolások, repedések keletkeznek, a legtöbb esetben az acélalapig. Ilyenkor azonban a horganybevonat megakadályozza az acélon levő festékréteg ún. alározsdásodását (26. ábra).



26. ÁBRA: Különféle bevonat típusok korróziós támadása

A *„festék védi a horganyt – a horgany védi a festéket”* folyamatok úgy érvényesülnek, hogy amikor a festékréteg sérülési helyein a korróziós hatások elérik a horganyréteget, akkor a cink korrózió termékei eltömítik a repedéseket és megakadályozzák a rozsda tovaterjedését a festék alatt. Ezt az is lehetővé teszi, hogy a cink korrózió termékeinek térfogata – a vassal ellentétben - alig különbözik attól az anyagmennyiségtől, amiből képződött, így a horgany megvédi a festéket a leválástól. A festék védi az alatta levő horganybevonatot a korróziótól, és a horganyréteg védi a festékréteget a leválástól. Hatásuk egymást erősíti és ennek köszönhető a kimagaslóan jó élettartam (27-28. ábra).



27-28. ÁBRA: Korrózióvédelmi technikák összehasonlítása és a szinergia-hatás

A duplex-rendszerek magukban foglalják a tűzihorgany bevonat kiváló mechanikai tulajdonságait is, ezért az igényes korrózióvédelmi megoldásokhoz egyre nagyobb mennyiségben kerül alkalmazásra (37-41. képek).

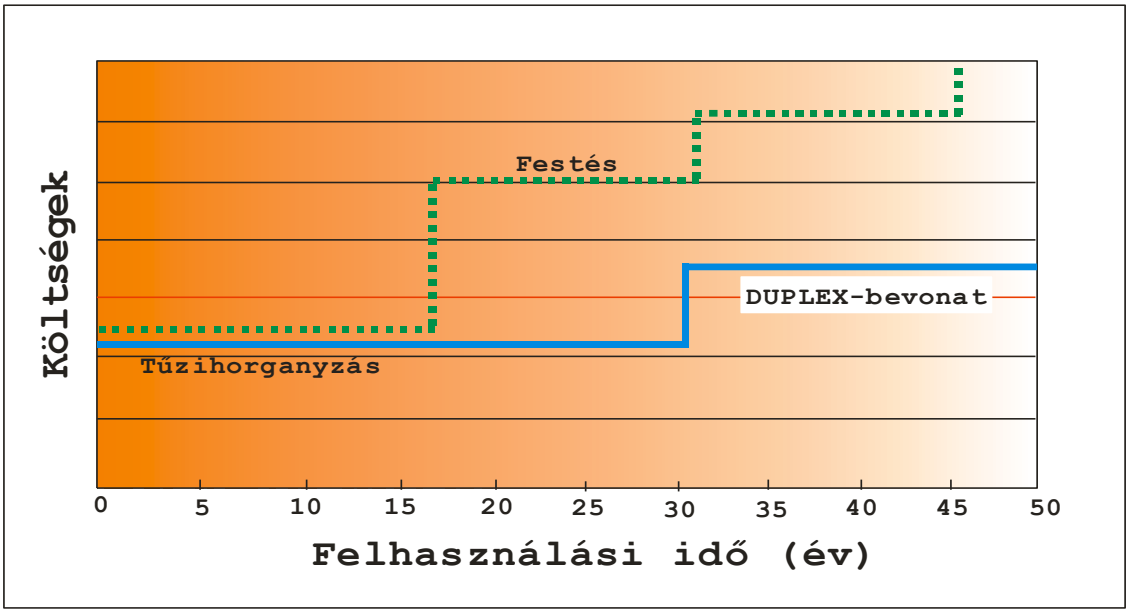
37-41. KÉP: Duplex-eljárással védett acélszerkezetek

8.3. Mennyibe kerül a duplex-védelem?

A még ma is élő tévhitekkel ellentétben, a *tűzihorganyzás fajlagos költsége nem magasabb, mint egy jó minőségben kivitelezett, kétrétegű festés várható költsége*, sőt sokszor *kisebb* is lehet.

Egy korrózióvédelmi rendszer *várható költségeinek elemzésénél* a bekerülés költségeit nemcsak az első védelem költségei jelentik, hanem az objektum *teljes működési időtartama során fellépő, a karbantartásra és felújításra kifizetett pénzösszegek is hozzáadódnak* (élettartam költségek). Egy projekt tervezésénél ezeket a várható jövőbeni kifizetéseket a jelenbe vetítve lehet megbecsülni a várható költségek nagyságát. Ebben a formában már sokkal reálisabb összehasonlítani a különböző felületvédelmi technológiák tényleges bekerülését.

A fenti vetületben vizsgálva, a tűzihorganyzott és duplex védelemmel ellátott szerkezetek jelentik a leggazdaságosabb megoldást, mert igen hosszú idők telnek el a szükséges felújításig (szokásosan 40-80 év).



29. ÁBRA: Az egyes korrózióvédelmi technikák összehasonlítása [15]

A *tűzihorgany bevonatok* esetében átlagosan több évtized után lehet szükséges a felújítás, vagy védőfestés, míg a *horganyzott +festett* acélszerkezetek esetében még ezt is jelentősen meghaladó karbantartásmentes időtartamok érhetőek el (29. ábra).

8.4. Mire kell vigyázni duplex-bevonatok kialakításánál?

A tűzihorganyzott acélfelületek festése nem kíván szokatlan technológiai megoldásokat, azonban a festékréteg megfelelő tapadása érdekében néhány fontos szempontot különösen figyelembe kell venni (20. táblázat).

Megfelelő legyen az acélszerkezet konstrukciója.	A korróziós követelményeknek megfelelő konstrukció. A tűzihorganyzás követelményeinek megfelelő konstrukció.
A tűzihorgany bevonat minősége feleljen meg a rá vonatkozó előírásoknak.	Hibahely mentesség. Megfelelő rétegvastagság.
A tűzihorganyzott felületek festéséhez alkalmas felületelőkészítő eljárást kell kiválasztani.	Függ a festés időpontjától (friss, vagy már korrodált felület). Függ a felhordásra kerülő festékanyagtól.
A horganyzott felülethez megfelelő festékminőség kiválasztása, mely alkalmas az igénybevételnek, és technológiának.	Nem minden festékanyag alkalmas horgany bevonatra történő felhordásra. A korróziós igénybevétel függvényében kell megválasztani.
A festési körülményeknek megfelelő technológia kiválasztása és betartása.	A festékanyag és a technológia összhangjának megteremtése. A gyári előírások betartása a kivitelezése során.

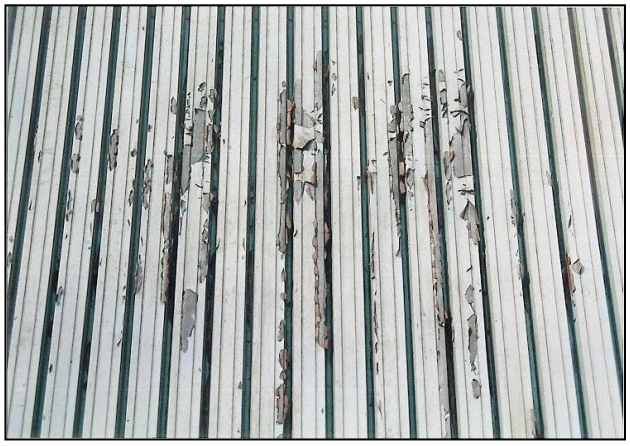
20. TÁBLÁZAT: Fontos szempontok a duplex-védelem kivitelezéséhez

A tapasztalatok szerint a nem megfelelő duplex-bevonatok kivitelezési hibái a 21. táblázat szerint alakulnak.

Gyakori hiba okok	**Tűzihorganyzott acél**	**Horganyzatlan acél**
Nem megfelelő festékanyag kiválasztása.	50 – 70 %	5 – 10 %
Korróziótermékek a felületen (nem megfelelő felületelőkészítés).	20 – 30 %	50 – 60 %
Zsírok és más anyagok a felületen.	5 - 10 %	1 – 2 %

21. TÁBLÁZAT: Leggyakoribb hiba okok festett acélszerkezeteknél [16]

A festékek kiválasztásakor az alapfémnek, a korróziós és fizikai igénybevételeknek megfelelően kell a festéktípust kiválasztani. A festéshez szükséges felületelőkészítés, a felhordási technika, illetve a száradási, vagy kikeményedési idő összhangját meg kell teremteni. A festékgyárak széles választékot kínálnak a különböző típusú és tulajdonságú festékekből. Nem megfelelően megválasztott feltételek esetén számolni kell azzal a kockázattal, hogy rövid időn belül leválhat a festékbevonat a felületről (42-43. kép).



42-43. KÉP: Leváló festékbevonat, nem megfelelő kivitelezés miatt

A felületelőkészítés és legfontosabb eljárásai

A festékrétegek hosszú időn át tartó, megfelelő tapadása elsőrendű jellemzője a jó minőségű festésnek. Nem megfelelő tapadásból származó károkat könnyen el lehet kerülni, egyebek mellett, amennyiben betartják a felületelőkészítésre vonatkozó előírásokat. A tűzihorganyzott felületre történő festés előtt célszerű *mintafestést* végezni, majd azt megvizsgálni a megfelelő festékanyag és technológia kiválasztása érdekében.

Frissen tűzihorganyzott felületek tulajdonságai

Mivel a darabáru tűzihorganyzás során termékről-termékre és időről-időre azonos felületi jellemzőkkel rendelkező horganyréteget nem lehet előállítani, ezért ez negatívan befolyásolja a követő festés technológiáját. Ugyanis a horganybevonat jellemzői (szín, kémiai összetétel, érdesség) erősen függ az acélalapanyag minőségétől (lásd: 3.-4.-5. fejezet). A festési technológiával (felületelőkészítés + festés) kell kiküszöbölni a tűzihorgany rétegek különbözőségéből adódó hátrányokat. Ez egy darabon belül is fontos követelmény lehet.

Ilyen felületi eltérések lehetnek:

- Esetenként túl vastag bevonatok.
- Horganyozatlan helyek, pórusok.
- A horganybevonat nem azonosan erős tapadása az acélalapon.
- Horganycsúcsok.
- Horganysalak és keményhorgany szemcsék a felületen.

Tároláskor, szállításkor a frissen tűzihorganyzott felületeken a levegő nedvessége, illetve összetevői hatására először cink-oxidból és cink-hidroxidból és cink-karbonátokból álló korróziótermékek (fehérrozsda) alakulnak ki. Mivel ezek a korróziótermékek ronthatják a festékbevonat tapadását, ezért festés előtt *maradéktalanul* el kell távolítani a szennyeződéseket a horganyzott felületről.

Már korrodálódott horganybevonatok tulajdonságai

Az időjárás és a különféle korróziós tényezők hatására a szabadon álló horganybevonatok felületén kialakul a cinkpatina. Azonban a felületek nem teljesen homogének, mert még maradék cink-oxidon, cink-hidroxidon és a cink-karbonátokon kívül további reakciótermékek pl. cink-szulfát, cink-klorid található a felületen (lásd: 17. táblázat). Ezek rontják a festékréteg tapadását, ezért ezeket is tökéletesen el kell távolítani a felületről. Ugyanis megindulhat az elbomlásuk a festékréteg alatt, ami a tapadás megszűnéséhez vezet, mert hólyagok, leválások jöhetnek létre. Ugyanez vonatkozik azokra a tűzihorganyzott elemekre, melyeknek felületén a Fe-Zn ötvözeti fázisok korróziójából kialakult rozsdabarna elszíneződés jelent meg, azt is el kell távolítani.

A duplex-védelemhez legfontosabb felületelőkészítő eljárások

A felületelőkészítés során, a horganyfelületen található szennyeződéseket, mint a keletkezett korrózióternékeket (fehérrozsda, szulfátok, karbonátok, kloridok, stb.), zsírokat, olajokat, egyéb szennyeződéseket maradéktalanul el kell távolítani.

Felületelőkészítés technikája	Művelet üzemben	Művelet az építés helyén	Festés (EN ISO 12944)	Porszórás (üzemben)	Megjegyzések
Nincs	▲	▪	▲	▪	
Lemosás	▲	▲	▲	▪	Csak kis felületeknél
Zsírtalanítás	▲	▲	▲	▪	Csak kis felületeknél
Kefézés	▲	▲	▲	▪	Csak kis felületeknél
Tisztítás vízzel	▲	▲	▲	▪	
Nagynyomású vizes	▲	▽	▲	▪	
Sweep-szórás	▲	▲	▲	▲	Technológia betartása
Vegyszeres mosás	▽	▲	▲	▪	Kis felületeknél
Kromátozás	▲	▪	▪	▲	
Foszfátozás	▲	▪	▪	▲	
Jelmagyarázat:	▲: alkalmas	▽: korlátozottan	▪ : alkalmatlan		

22. TÁBLÁZAT: Felület előkészítő eljárások alkalmazásának lehetőségei [17]

A megfelelő technológiát gondosan kell kiválasztani 22. táblázat). Üzemi körülmények között az acélszerkezetek felületelőkészítésére leggyakrabban alkalmazott az ún. *sweep-szórás* (könnyű szemcseszórás), melynek alkalmazásánál különös figyelmet kell fordítani a technológiai paraméterek betartására (MSZ EN ISO 12944-4).

Példák a duplex-eljárás alkalmazási területeire

A horgany + festék bevonatok az építés széles területein alkalmazhatóak, mint

- Villamos távvezetékoszlopok.
- Transzformátor állomások.
- Telekommunikációs tornyok.
- Vasúti felsővezeték tartó szerkezetek.
- Épület acélszerkezetek.
- Szállító és bányaipari berendezések, konvejor pályák.
- Zajvédelmet szolgáló acélszerkezetek.
- Közlekedési utak, autópályák acélszerkezetei.
- Hídépítés.
- Vasúti jelzőberendezések.
- Csővezetékek.
- Kerítések, kapuk, stb.

9. AJÁNLOTT TERVEZÉSI ÉS GYÁRTÁSI SZEMPONTOK

9.1. Általános alapszabályok tűzihorganyzott acélszerkezetek tervezéséhez

Tűzihorganyzásra kerülő acélszerkezetek konstrukciójához nem szükségesek különleges előírások, csak azt a néhány általános szabályt kell betartani, melyekkel biztosítani lehet a horganyzási technológia optimális követelményeit. Ezek egyszerűek, könnyen érthetők Néhány alapvető tudnivalót a 23. táblázat tartalmaz.

Alapvetően miden szerkezeti és alacsonyan ötvözött acél, öntöttvasak tűzihorganyozható.	Lágyforrasztás nem alkalmas tűzihorganyzásra, mert a forrasz olvadáspontja túl alacsony.	A felfüggesztések lehetőségeit biztosítani kell.
A szerkezeti elemek kialakításánál, a rendelkezésre álló horganyzó kádak méreteit mindig figyelembe kell venni.	A horganyzásra kerülő termékek felületének mentesnek kell lenni festék, vastag zsír, bitumen, stb. maradványoktól.	Az acélszerkezeti elemek olyan saját merevséggel rendelkezzenek, hogy önsúlyuk következtében ne deformálódjanak el.
Az acélszerkezeti elemeken a megfelelő be-, és kifolyó nyílásokat ki kell alakítani.	Öntvények felületét még a horganyzóba történő szállítás előtt koptatással, szórással kell megtisztítani.	A darabok keresztmetszeteit úgy kell kialakítani, hogy az a hőhatás miatt káros deformációkhoz ne vezessen (főleg lemezszerkezetek).
Csavarkapcsolatoknál az összeilleszthetőség érdekében min. 1 mm-rel nagyobbra kell fúrni a furatokat.	Átlapolt felületek alkalmazását lehetőség szerint kerülni kell, ha ez nem lehetséges, akkor megfelelő módon biztosítani kell a zárt felület biztonsági kilevegőzését.	A gyártás során ügyelni kell arra, hogy az acélszerkezetbe csak a minimálisan szükséges belső feszültségeket vigyük be (hegesztés okozta zsugorodás).

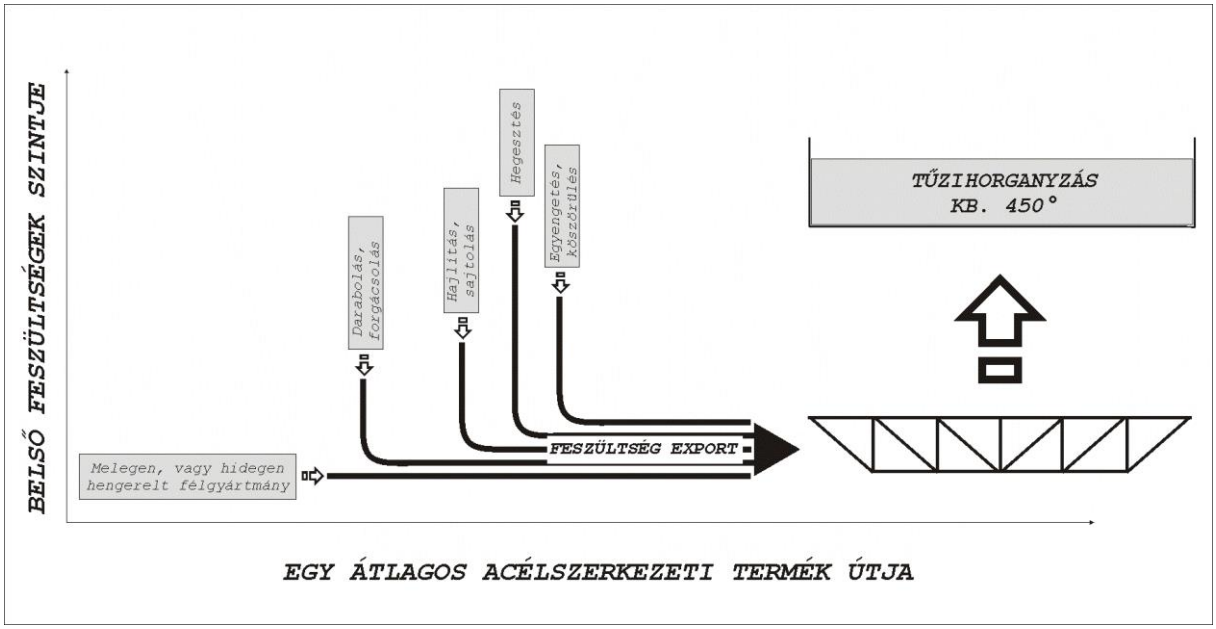
23. TÁBLÁZAT: Főbb tervezési szempontok

9.2. A káros deformációk elkerülése

Tűzihorganyzáskor az acélszerkezeteken kialakuló deformációknak két fő oka lehet. Ezek:

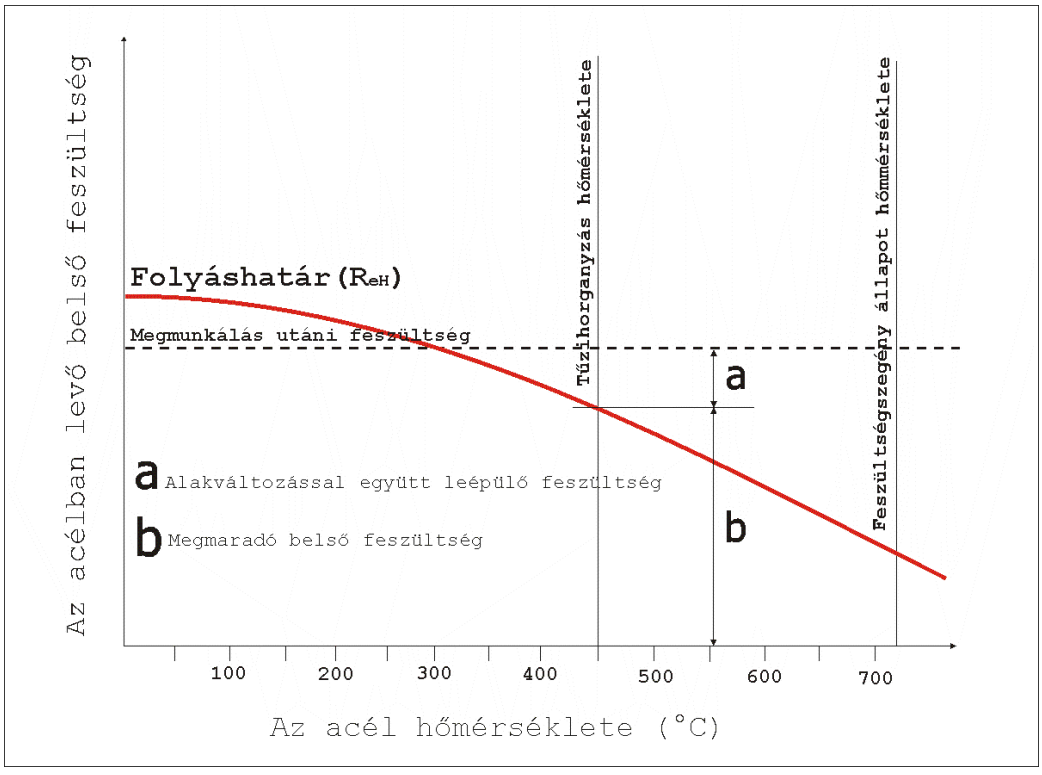
- Az acélszerkezetben levő gyártási (saját) feszültségek.
- Az acélszerkezet anyagának térfogatváltozása a hő hatására.

Gyártási feszültségek és hatásaik
Az acél féltermékek és szerkezetek gyártása során az anyagszerkezetben különféle irányú és nagyságú belső feszültségek keletkeznek (30. ábra).



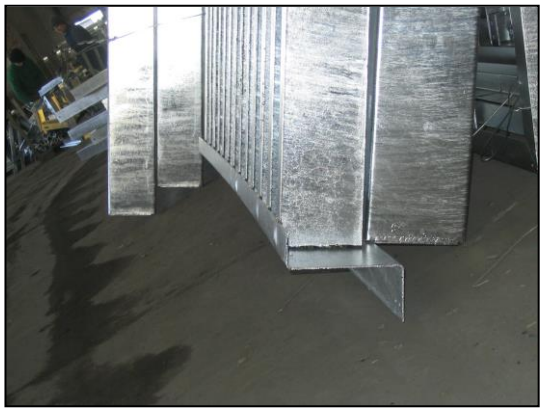
30. ÁBRA: Feszültség „export" a megmunkálások során

Amennyiben az anyagszerkezetben kialakuló feszültségcsúcsok elérik az acél folyáshatárát, leépülnek, közben lokális anyagfolyások mellett, alakváltozások keletkeznek. A normál hőmérsékletű tűzihorganyzás kb. 450°C hőmérsékleten történik. Az acélok folyáshatára a hőmérséklet növekedésével jelentősen lecsökken, ezért azok a feszültségcsúcsok, melyek meghaladnák a fémfürdő hőmérséklete miatt lecsökkent folyáshatárt, leépülnek (31. ábra).



31. ÁBRA: Az acélok folyáshatárának változása és hatásai a tűzihorganyzás hőmérsékletén [1]

A termékek gyártása során a gyártási (saját) feszültségek (szaggatott vonal) a különböző megmunkálások (hengerlés, hajlítás, hőkezelés, hegesztés, darabolás, stb.) következtében jönnek létre. A tűzihorganyzás magas hőmérsékletén az acél folyáshatárának csökkenésével, a gyártásból származó sajátfeszültségek egy része az anyagban marad („b" szakasz), míg másik része feloldódik („a" szakasz), és ez utóbbinak köszönhetően kisebb-nagyobb alakváltozások jöhetnek létre (44. kép).



44-45. KÉP: Káros deformációk

Mint láttuk, az említett alakváltozások alapvető oka, hogy a hagyományos szerkezeti acélok szilárdságuk jelentős hányadát, hőmérsékletük növekedésével elvesztik. Rugalmassági modulusuk például adott esetben, szobahőmérsékleten 215 $N \cdot mm^{-2}$, míg a tűzihorganyzás kb. 450 ˚C-os hőmérsékletén, 170 $N \cdot mm^{-2}$. A termékfelhasználás szempontjából fellépő káros alakváltozások viszont megfelelő tervezési, gyártási intézkedéssel teljes mértékben kiküszöbölhetőek.

Az acélszerkezet hő okozta térfogatváltozása

Az acélok jellemző tulajdonsága, hogy anyaguk hőmérsékletének változásával a tér minden irányába megváltoztatják méreteiket. Ez azt jelenti, hogy a tűzihorganyzás hőmérsékletére történő felmelegedéskor kb. 5 mm/m térfogat növekedéssel, lehűléskor pedig, általában sokkal lassabban egy ellenkező folyamat történik. Ebből következik, hogy a fémolvadék felszíne felett levő hideg, és a fémfürdőben levő meleg szerkezetrész között jelentős méretkülönbségek alakulnak ki, mely belső szerkezeti feszültségekhez, szélsőséges esetben káros alakváltozáshoz vezethet. Az acélszerkezetek tervezésénél tehát mindkét szempontot szem előtt kell tartani. Példaként említjük, hogy amennyiben egymáshoz képest nagy vastagságkülönbségű anyagokat hegesztenek össze, akkor az eltérő hőtágulási idők miatt a vékony lemezen maradandó alakváltozások jönnek létre (45. kép). Ez az időeltérés akár 20-30 másodpercet is elérhet.

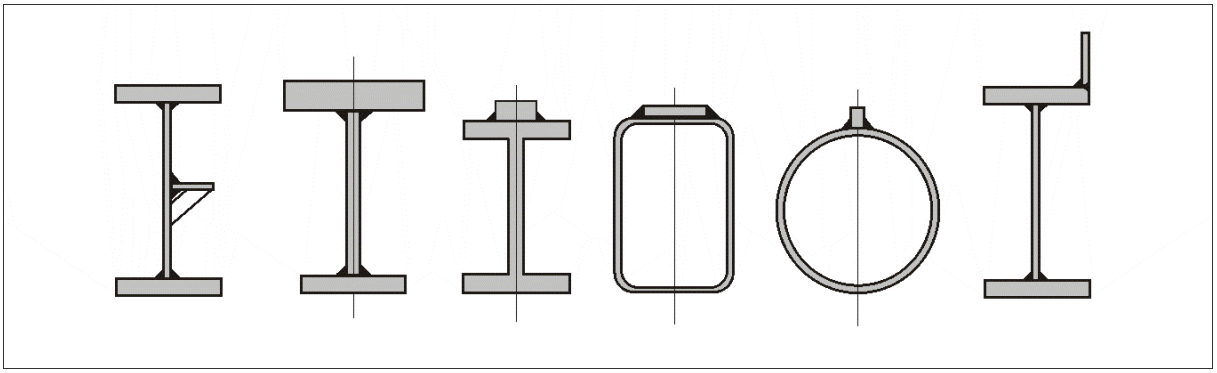
Az ajánlott tervezési szempontok nem merülnek ki a nagyméretű acélszerkezetek deformációs kockázatainak minimalizálásával, hanem további elvek vannak, melyek a technológia sajátosságaiból adódnak.

Rúdszerű szerkezetek tervezése

A technológia végrehajtása szempontjából a legkedvezőbbek közé tartoznak a rúdszerű elemek. Gyártásuk és horganyzásuk általában egyszerű, és nem okoz semmiféle nehézséget. Keresztmetszetük többségükben nem bonyolultak, de gyártástechnológiáik mégis előidézhetnek kellemetlen meglepetéseket.

- *Szimmetrikus keresztmetszetek választása*

Az alakváltozások okai a termékek anyagában levő belső feszültségek, melyek egy része a tűzihorganyzási hőfokon (kb. 450°C -on) részben felszabadul, ahol elérik (meghaladják) az acél lecsökkent folyáshatárát (31. ábra). Eközben a belső feszültségállapot megváltozása miatt kisebb-nagyobb alakváltozások jöhetnek létre az acélszerkezeten. Persze ez a folyamat nem csak bonyolultabb szerkezeteknél, hanem egészen egyszerű rudaknál is kialakul és az acél anyagában levő kristályrács torzulások, hibák kialakulásában ölt testet. Amennyiben valamilyen mód nyílik az ilyen feszültség-viszonyok megváltozására, létrejöhetnek a feszültség leépülések, így a vele járó alakváltozások. A fentiek miatt, már az acélszerkezetek tervezése, gyártása során célszerű arra törekedni, hogy a rúdszerű termékben levő belső feszültségek legalább két merőleges tengelyre *szimmetrikus eloszláshoz* közelítsenek. Ezért ezeket a szempontokat a darabolási, hegesztési, stb. terveknél, és a végrehajtásnál is egyaránt figyelembe kell venni. Nemkívánatos feszültségszerkezet esetén, a deformálódott elemet már a gyártás után ki kell egyengetni, de az a horganyzást követően ismét deformálódni fog. Előfordul az is, hogy rúdtermékeknél már darabolás után is alakváltozások jönnek létre, amely hengerműi technológiai hibára utalnak. Az elmondottak alapján kívánatos a legalább két tengelyre szimmetrikus termékkeresztmetszetek tervezése. 32. ábránkon – a probléma érzékeltetése céljából - néhány *nem javasolt* konstrukció látható.



32. ÁBRA: Példák a helytelen konstrukciókra, melyek káros deformációhoz vezetnek

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.

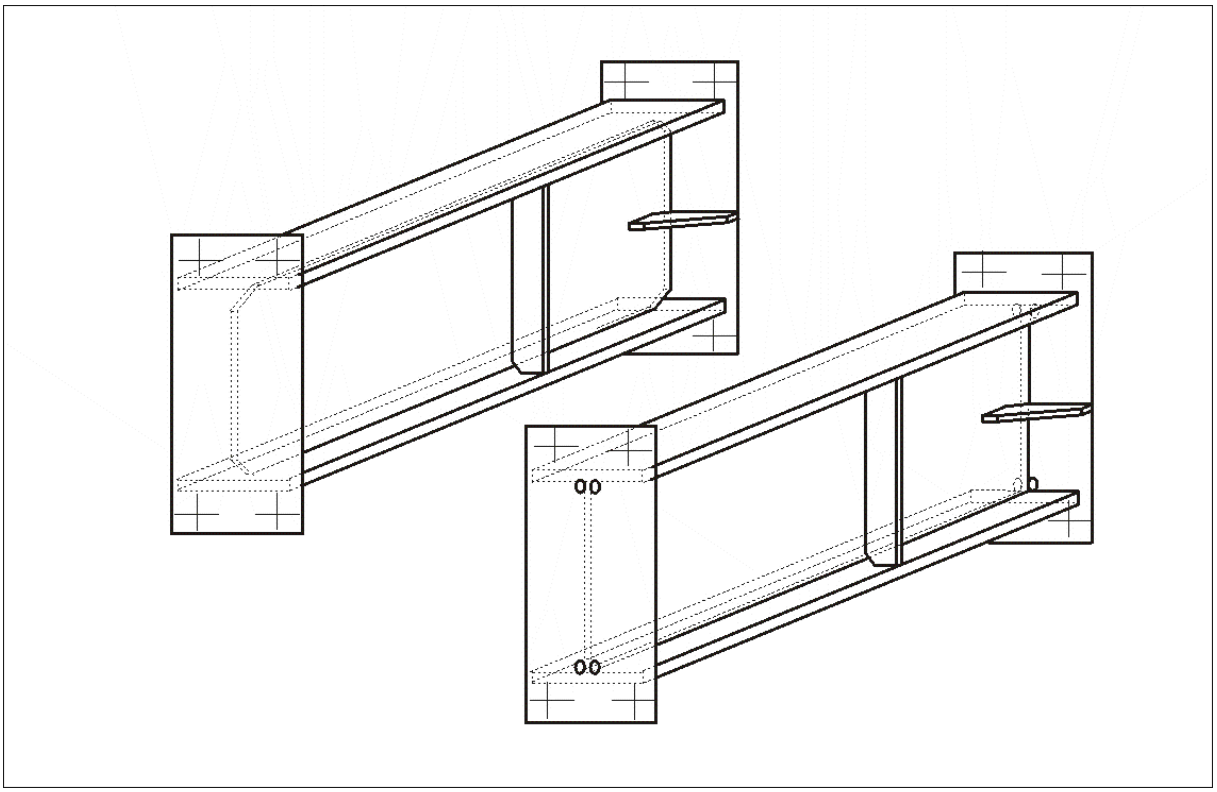
9.3. Technológiai nyílások, zárt szelvényből készített acélszerkezeteknél

Az elmúlt évtizedek közkedvelt acél féltermékei a különféle zártszelvények, melyeket nagy tömegben alkalmaznak az acélszerkezetek tervezésénél és gyártásánál. Festett acélszerkezeteknél a szelvények belső tereit nem védik a korrózió ellen (csak külső festés). A tűzihorganyzás egyik nagy előnye, hogy a szerkezetek *belső felületei* is egyenértékű korrózióvédelmet kapnak, mivel ebben az esetben a munkadarabok elzárt felületeivel is érintkezni kell a kezelő folyadékoknak (43. kép), illetve a horganynak. Ahhoz, hogy a kezelő folyadékok és a horganyolvadék maradéktalanul a felületekhez jussanak, a gázoknak, a levegőnek, illetve a salakanyagoknak tökéletesen ki kell jutniuk

a zárt szelvények, zártabb terek belsejéből. Így a légzsákok megelőzése céljából, optimális helyekre megfelelő méretű és számú ún. *kilevegőző nyílásokat* kell elhelyezni. Ugyanakkor a munkadarabok kiemelése során valamennyi folyadékmaradványnak ki kell folyni, tehát ún. folyadékzsebek, visszatartó küszöbök sem maradhatnak a szerkezetben, mert ez anyagveszteséget és minőségi gondot okoz. Ezért megfelelő méretű, számú és pozíciójú *kifolyó nyílásokat* is alkalmazni kell (46-47. kép).

46-47. KÉP: Kiemelés a kezelő folyadékokból

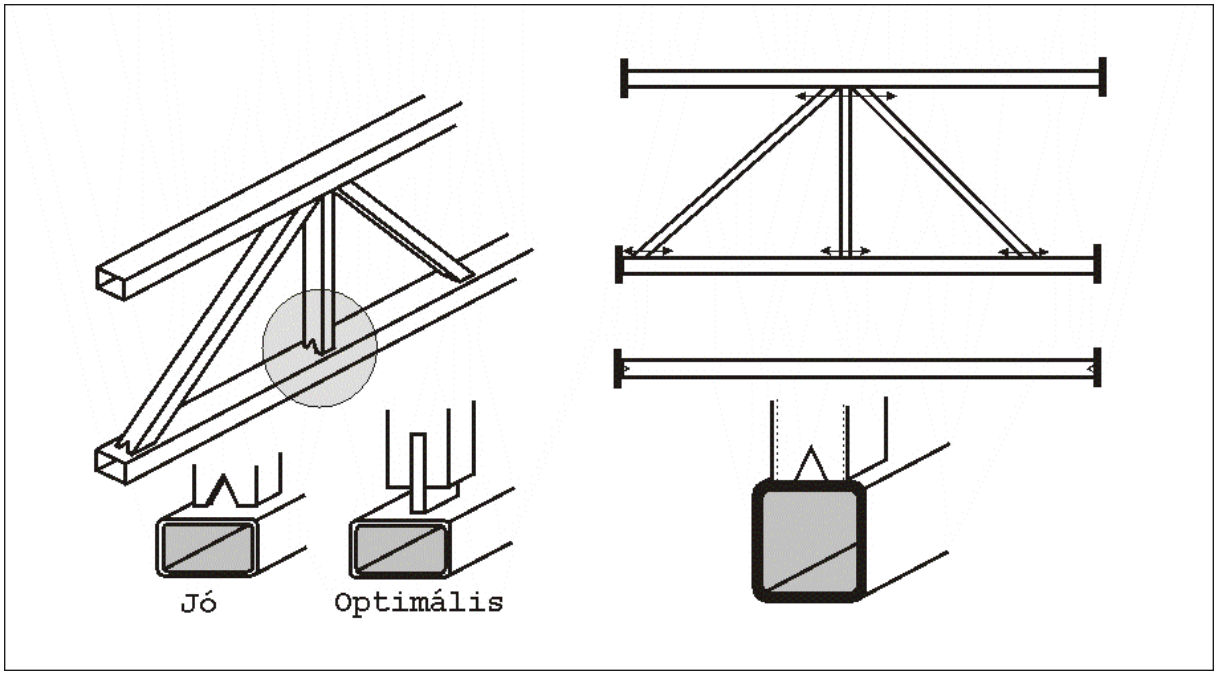
A fenti általános követelmények nemcsak különféle zártszelvények esetében igazak, hanem az lehatárolt tereket, sarkokat alkotó merevítő bordák kialakításánál is, például a gerinclemezes tartóknál (33. ábra).



33. ÁBRA: Fontosak a megfelelő lesarkalások kicsípések

Számos alkalommal találkozunk olyan rácsos acélszerkezetekkel, melyeknél különösen ügyelni kell a megfelelő technológiai nyílások kialakítására. Amikor a zárt terekben megmaradó folyadékok a horganyfürdőben hirtelen gőzzé válnak, akár több száz bar

nyomást is kifejthetnek, így nem csak magát a *szerkezetet tehetik tönkre*, hanem az esetleges robbanással *baleseti veszélyforrást is jelentenek*. Egy rácsos szerkezet kialakításának elvi sémáját mutatjuk be 34. ábránkon.



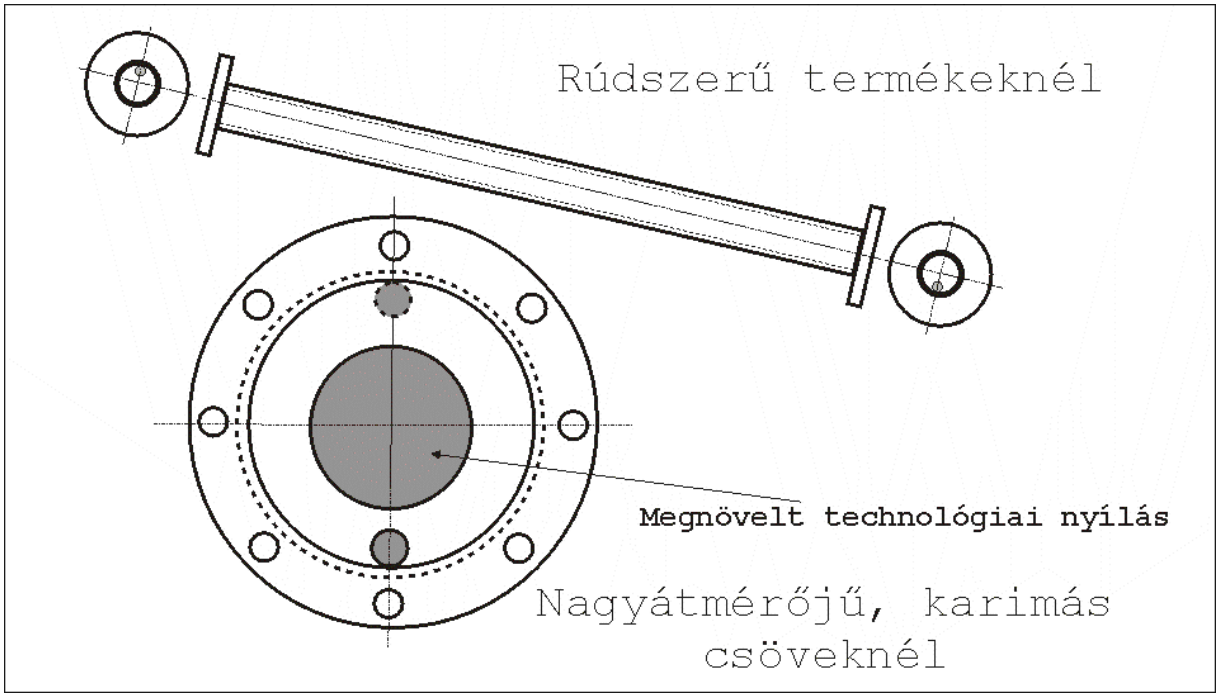
34. ÁBRA: Rácsos tartó alkalmas technológiai nyílásokkal

Amennyiben nem tartják be a nyílásokra vonatkozó előírásokat, nemcsak légzsákok, horgany-, és folyadékmaradványok, hanem salakfeltapadások is rontani fogják a termék minőségét (48-49. kép).

48-49. KÉP: Folyadékmaradvány a sarokban- tipikus folyadékzseb és salakfeltapadás

A technológiai nyílások pozíciója, méretei

A felsorolt okok miatt nyilvánvaló, hogy a technológiai nyílások meglétének, méreteiknek, illetve elhelyezkedésüknek kitüntetett szerepük van.



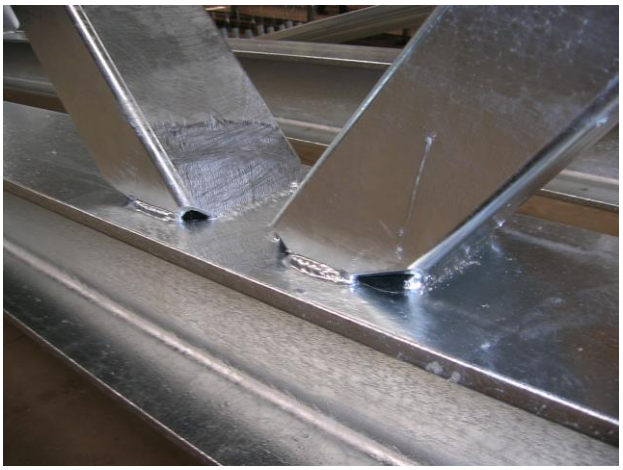
35. ÁBRA: Fontos a nyílások megfelelő elhelyezése

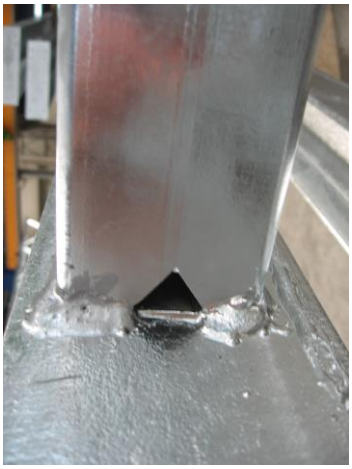
A pozíció mellett nagy jelentősége van még a nyílások *méreteinek*. Ennek oka, hogy elsősorban a horganyfürdőbe történő bemerítés, de a kiemelés is minél gyorsabban végrehajtható legyen. Fontos költségtényező a fémolvadékban történő tartózkodás ideje, azaz általában a technológiai időket a lehetséges minimálisra kell szorítani. Ez azt jelenti, hogy a szerkezeteken az ésszerűen legnagyobb számú, valamint átmérőjű furatot, kicsípést, sarkalást kell elhelyezni (24. táblázat, 50-51. képek.).

Zártszelvény mérete (mm)			**Lyukátmérő (mm)**		
			Különböző lyukak darabszáma		
			1	**2**	**4**
15	15	20 x 10	8		
20	20	30 x 15	10		
30	30	40 x 20	12	10	
40	40	50 x 30	14	12	
50	50	60 x 40	16	12	10
60	60	80 x 40	20	12	10
80	80	100 x 60	20	16	12
100	100	120 x 80	25	20	12
120	120	160 x 80	30	25	16
160	160	200 x 120	40	25	16

200	200	260 x 140	50	30	16
250	250	300 x 200	65	35	25
300	300	350 x 260	80	50	30
400	400	450 x 350	100	60	40
500	500	550 x 450	120	80	50

24. TÁBLÁZAT: Szükséges furatátmérők

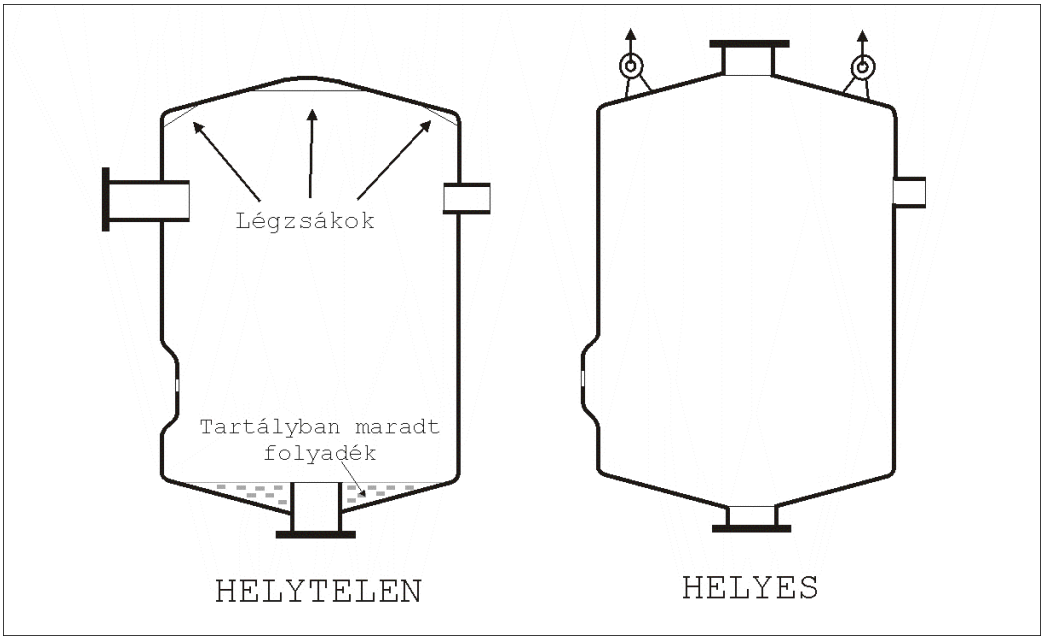




50-51. KÉP: Technológiai nyílások

Tartályok és hőcserélők kialakítása

A technológiával szinte egyidős horganyzási feladat a különböző méretű tartályok bevonása, melyeket kívül-belül horganyréteggel látnak el (52. kép). Mivel ezek az eszközök legtöbbször nagy belső terekkel és viszonylag kisméretű használati nyílásokkal rendelkeznek, különösen oda kell figyelni, a megfelelő technológiai nyílások elhelyezésére (36. ábra).

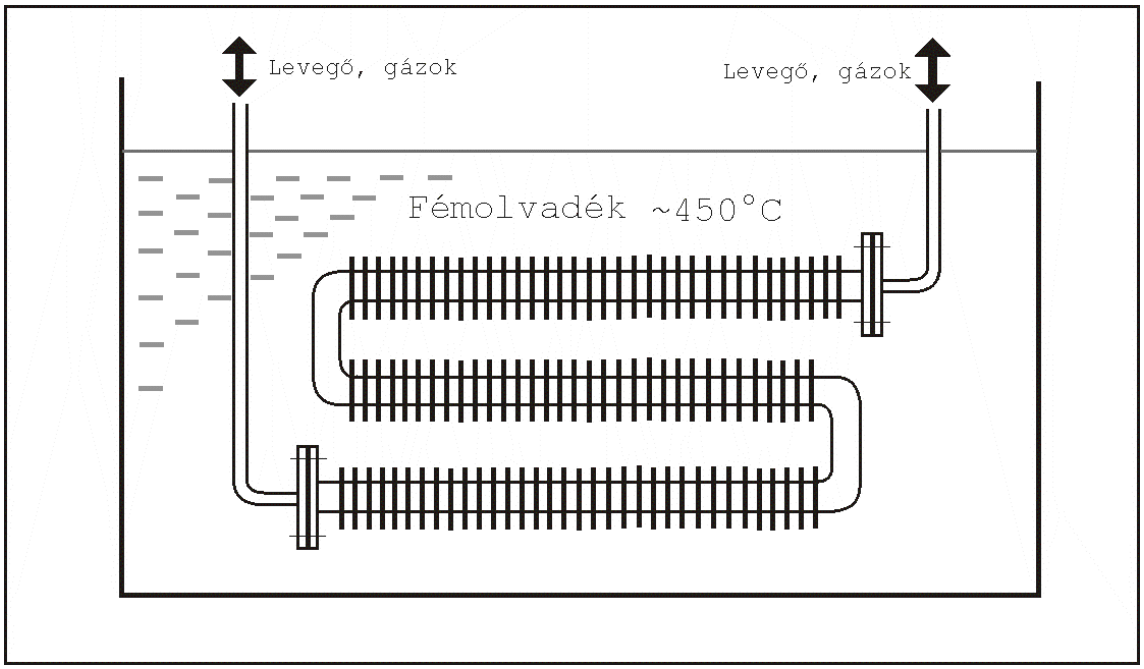


36. ÁBRA: Helytelen és helyes kialakítások

Rossz megoldások kiválasztásánál a belső terekben légzsákok, salakfeltapadások, horganymaradványok megjelenésével, és külső réteghibákkal kell számolni.

52. KÉP: Nagyméretű tűzihorganyzott tartály

Van azonban a zárt, belső felületekkel rendelkező termékeknek egy olyan szűk köre, amelyeknek *csak a külső felületet kell tűzihorganyozni*. Ezek a hőcserélők. A feladat bizonyos mérethatárokig általában problémamentesen végrehajtható, de biztonsági szempontból mindenképpen nagyobb kockázatot jelentenek. Ugyanis a levegővel telt munkadarabokat speciális szerszámokkal a *fémfürdő felszíne alá kell kényszeríteni*, mely nagy odafigyelést, gondos tervezést és hozzáértést igényel. A robbanásveszély megelőzéséért az ilyen szerkezeteket megfelelő technológiai csonkokkal kell ellátni, melyek bemerítésnél a fürdő fölé nyúlnak (37. ábra).



37. ÁBRA: Hőcserélő kívülről történő tűzihorganyzása

Ezeken a nyílásokon keresztül történik a belső és külső tér nyomásának kiegyenlítődése. Az ilyen, általában sok, a hőcserét segítő fémlamellával ellátott konstrukciónál fokozott jelentősége van a *megfelelő acélminőségnek*, mert óriási felületekkel rendelkeznek (1.

fejezet). A tűzihorganyzás szempontjából nem optimális acélminőségből gyártott termékek jelentős többletköltséget, többlettömeget fognak eredményezni, nem is beszélve az esztétikai problémákról.

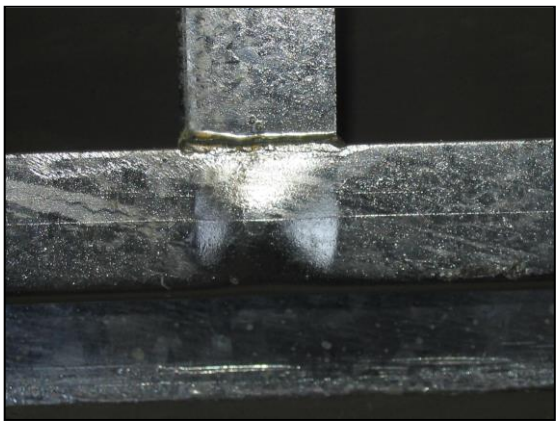
Átlapolt felületek alkalmazása

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

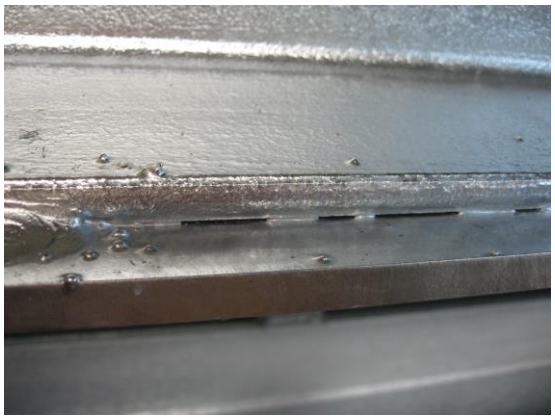
Ennek legfontosabb okai:

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

Amikor átlapolt kapcsolatokat alakítanak ki, a két érintkező felület között elegendő a hely arra, hogy már a gyártás során valamiféle szennyeződés (rozsda, olaj, zsír, festék, stb.) maradjon, de ahhoz nem elég nagy a rés, hogy a felületek között szabályos horganybevonat alakuljon ki. Ehhez járulhat még hozzá, hogy, ha a hegesztett kötés nem vízzáró, és a felületelőkészítési technológiából adódóan nedvesség juthat a lezárt térbe. A felületek közé szorult nedvesség, szennyeződés a fémfürdő magas hőmérsékletén (kb. 450°C-on), a sokszor kis tágulási térben hirtelen *nagynyomású gőzzé*, gázzá válik (több száz bar) és nemcsak az átlapolt rész tönkremenetelét (53. kép) okozza, hanem egyben súlyos baleseti veszélyforrást is jelenthet.



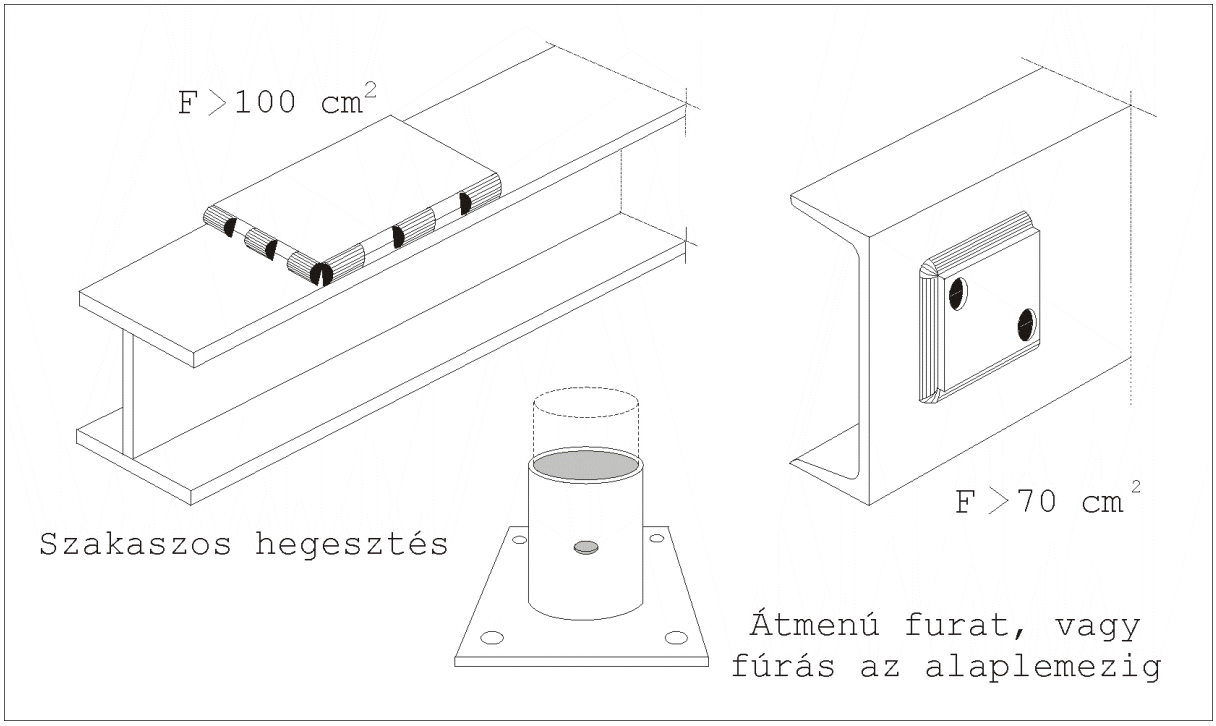
53. KÉP: A gőznyomás miatt felfúvódott felület



54. KÉP: Átlapolás horganyzás után

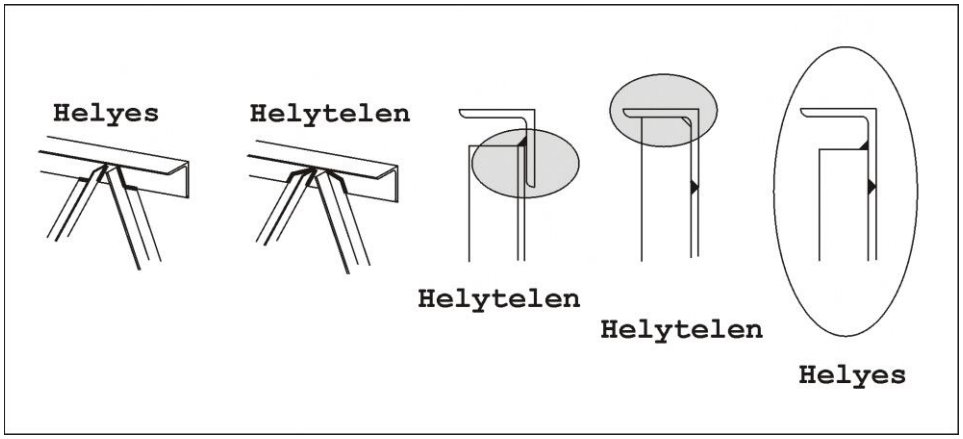
A horganybevonat nem minden esetben tömíti el a két felület közötti rést (54. kép), emiatt a lemezek közötti részek később korróziós gócként viselkednek.

Egymásra fektetett felületek alkalmazásánál legcélszerűbb csavarkötést alkalmazni, de ha ez nem lehetséges, akkor a felső felület átfúrásával, illetve legvégső esetben szakaszos hegesztési varratok létrehozásával lehet elkerülni a károkat (38. ábra).



38. ÁBRA: Átlapolt felületek biztonságtechnikai kialakításai

Különféle idomacélokból (L,U,T) gyártott rácsos oszlopok, tartók gyakran szerepelnek a tűzihorganyzó üzemek horganyzási palettáján. Itt az esetek többségénél klasszikus „átlapolásos" megoldásokat használnak, mely nem optimális. Ilyenkor arra kell törekedni, hogy az átlapolt felület nagyságát minimalizálják, és a szögacélok szárát lehetőleg ne engedjék be a másik szögacél felületéig (39. ábra)



39. ÁBRA: Helyes és helytelen kialakítás szögacél tartókon

Feltétlenül meg kell említeni még, hogy a technológiai furatok helyének, méreteinek és számának meghatározása nem a gyártóüzem feladata, hanem még a *tervezőasztalon* kell velük foglalkozni. Már az acélszerkezetek legyártásakor, vagy azután sokszor csak kedvezőtlen kompromisszumot tudunk kötni lehetőségeinkkel. Ez azt eredményezheti, hogy az acélszerkezet bevonása nehézségekbe ütközik, esetleg esztétikai hibák, hiányosságok is felléphetnek. Ha mégis elkerülhetetlen az átlapolt kapcsolatok alkalmazása a 25. táblázatban foglalt előírások szerint célszerű eljárni.

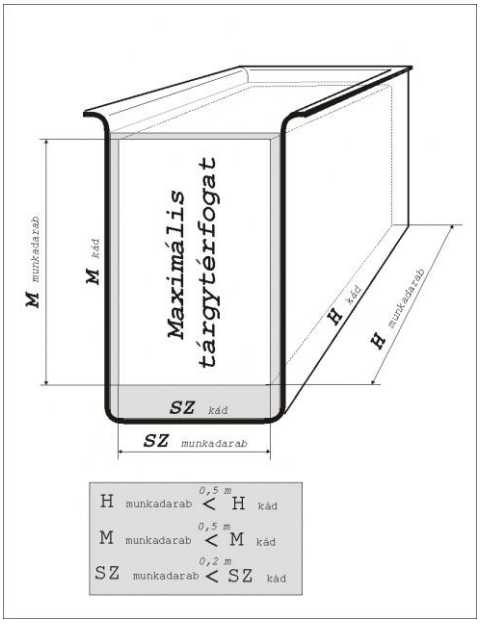
Átlapolt felület nagysága (cm^2)	Lemezvastagság (mm)	Intézkedés
<100	Minden lemezvastagságnál	Tömören körbe kell hegeszteni.
100 - 400	< 12 > 12	∅10 mm-es furat az alaplemezig, vagy 25 mm-es kihagyással szakaszos varratok Tömören körbe kell hegeszteni.
400 - 2500	Minden lemezvastagságnál	∅12 mm furat 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

25. TÁBLÁZAT: Átlapolt kapcsolatok horganyzástechnikai előírásai

Helyes tervezéssel kapcsolatos információk részben megtalálhatóak az *MSZ EN ISO 14713-2* szabványban, ez azonban nem helyettesíti a részletesebb szakmai információkat. Ma már számos szakmai útmutató, tájékoztató, és magyar nyelvű szakkönyv, internetes oldal áll rendelkezésre. Amennyiben az adott esetben kéznél levő információk kevésnek bizonyulnak, úgy tűzihorganyzással foglalkozó szakemberek, vállalatok, a szakmai szövetség szívesen áll a megrendelők rendelkezésére.

9.4. „Túlméretes” acélszerkezetek konstrukciója és tűzihorganyzása

Alapvető tervezési szempontok közé tartozik, hogy a tervezőnek tisztában kell lenni a rendelkezésére álló horganyzó kád méreteivel. Ezért fel kell venni a kapcsolatot a kiválasztott tűzihorganyzó vállalattal, és információkat kell beszerezni a rendelkezésre álló kezelőkádak legnagyobb technológiai méreteiről. Egy adott szerkezeti elem befoglaló méretének általában a kezelőkádak *hosszánál 0,5 m-rel*, *szélességénél, 0,2 m-rel*, míg *mélységénél 0,5 m-rel* kell kisebbnek lenni (40. ábra). A munkadarabok *egyenkénti tömege* nem haladhatja meg az üzemben rendelkezésre álló emelőgépek teherbírását.

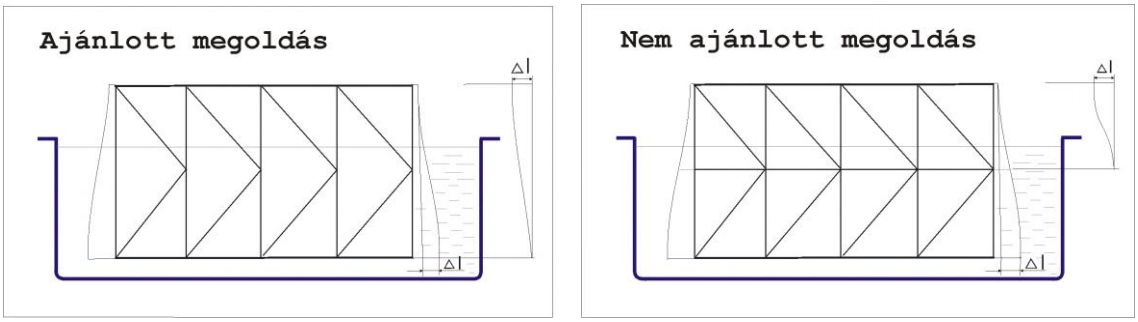


40. ÁBRA: A munkadarabok legnagyobb befoglaló méretei

Kivételes esetben arra is van lehetőség, hogy a fent említett technológiai mérethatárokat átlépve, nagyobb terjedelmű darabokat horganyozzanak le. Ekkor azonban megnőhet a nemkívánatos alakváltozások kockázata. Ebben az esetben káros deformációk fő oka, az acél hő okozta térfogatváltozásából adódik. Ugyanis a „túlméretes" szerkezetek tűzihorganyzása esetében, a 450°C-os horganyfürdőben levő tárgyrész térfogata a tér minden irányában megnő (kb. 5 mm/m). A kialakuló hosszkülönbség növekedés pedig jelentős belső feszültségek keletkezését idézi elő az anyagszerkezetben, szélsőséges esetben még törésekhez, illetve szakadásokhoz vezet. Ennek ellenére – bizonyos elvek betartásával - mégis lehetőség nyílik, a túlméretes szerkezeti elemek bevonására, csak figyelembe kell venni a meglevő kockázatokat.

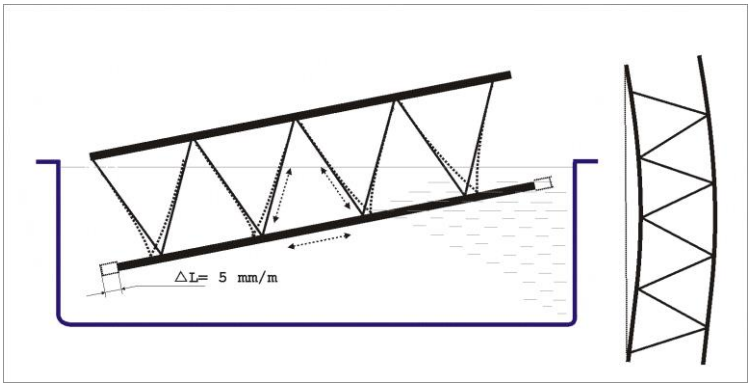
- *Túl magas rácsos tartók konstrukciója és tűzihorganyzása*

A kezelő kádak mélységéhez képest túl magas rácsos szerkezek is tűzihorganyozhatóak. Ekkor a termékeket egyszeri forgatással vonják be . A horganyfürdőben levő rész jelentősen megnyúlik, míg a tárgy szabad levegőn levő másik felének mérete alig változik. Emiatt a rácsrudak kissé torzulnak, az alsó övek megnyúlnak (41. ábra).



41. ÁBRA: Magas rácsos szerkezet konstrukciója

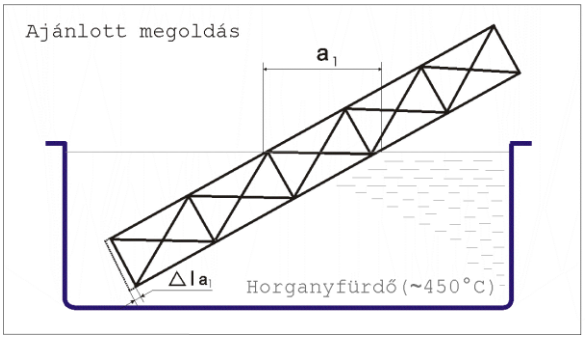
Amennyiben a tervező nem hagy lehetőséget arra, hogy a horganyfürdőben levő megnyúló rész okozta hossznövekedést egy hosszabb rúdszakaszon lehessen levezetni (az ábra bal oldala), akkor káros alakváltozások jöhetnek létre (jobboldali ábra). Magas tartóknál a tűzihorganyzó üzemeknek minden esetben törekedniük kell arra, hogy a szerkezetet a lehető legrövidebb időn belül a horganyfürdő szintje alá merítsék (zuhantatás) annak érdekében, hogy a hő okozta torzulásoknak minél kisebb legyen a lehetősége. Ellenkező esetben – amikor nagyon hosszú idő telik el a magas szerkezet alsó, illetve felső övrészének bemerítése között – akkor kellően hosszú időtartam áll rendelkezésre ahhoz, hogy káros, maradandó deformáció jöjjön létre a szerkezeten (42. ábra).

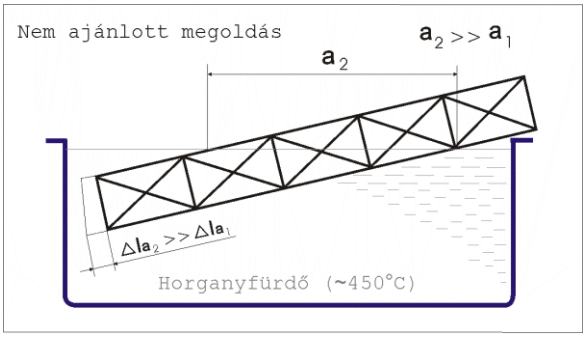


42. ÁBRA: Káros alakváltozás kialakulása a túlzottan lassú horganyfürdőbe merítés miatt

- *Hosszú magas tartók tűzihorganyzása*

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





43. ábra: Hosszú szerkezet 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 törekednie kell arra, hogy a lehető legnagyobb szögben történjen a fémolvadékba eresztés (43. ábra). Kétszeri horganyzás miatt a két horganyrétegnek majd át kell fednie egymást, mely miatt kisebb-nagyobb színeltérések lehetnek az összeérő felületek között (55-56. kép).

55-56. KÉP: Hosszú szerkezetek kétszeri horganyzással

9.5. Nagy vastagságkülönbségű elemek összeépítése

A tűzihorganyzás során alkalmazott expozíciós (bemerítési) idő általában a munkadarab befoglaló méreteinek és falvastagságának és a technológiai nyílások méreteinek függvénye. Ahhoz, hogy a horganyréteg kialakuljon, a termék teljes keresztmetszetének át kell venni a horganyolvadék kb. 450 °C-os hőmérsékletét. Ez azt jelenti, hogy a legnagyobb falvastagságú elem *időszükséglete* fogja meghatározni az expozíciós idő hosszát. (ettől eltérés csak a nagy belső zárt terekkel rendelkező termékek esetében van, ahol mást kell figyelembe venni). A minőségi hibák kiküszöbölése érdekében javasoljuk az oldhatatlan kötéssel (hegesztés) egyesített részegységek falvastagságának egyeztetését, összehangolását. Amennyiben jelentős eltérés van az egyes elemek vastagságai között, akkor az alábbi hátrányokkal lehet számolni.

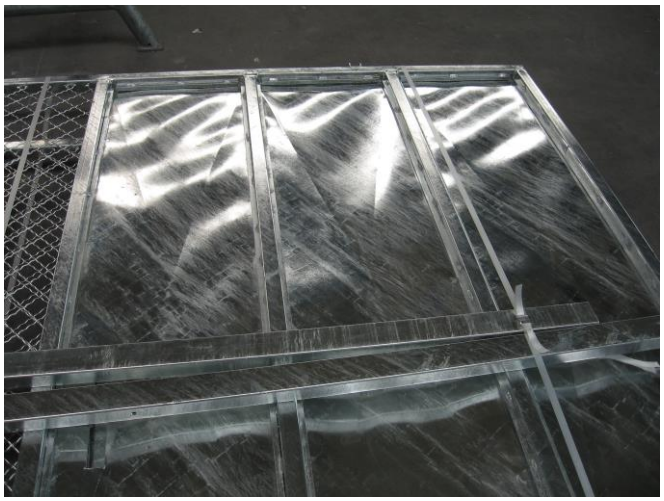
- A vékonyabb falvastagságú elemek felületén esetleg lényegesen vastagabb bevonatok alakulnak ki, mint ami kívánatos.
- Az eltérő időtartamú hőtágulások miatt, alakváltozások, repedések, szakadások alakulhatnak ki.

A fenti kockázatok csökkentése érdekében a tervezésnél el kell kerülni az extrém vastagságkülönbségek alkalmazását, illetőleg oldható kapcsolatot kell alkalmazni, melyet horganyzás után kell kialakítani.
Célszerű betartani a következő szabályokat:

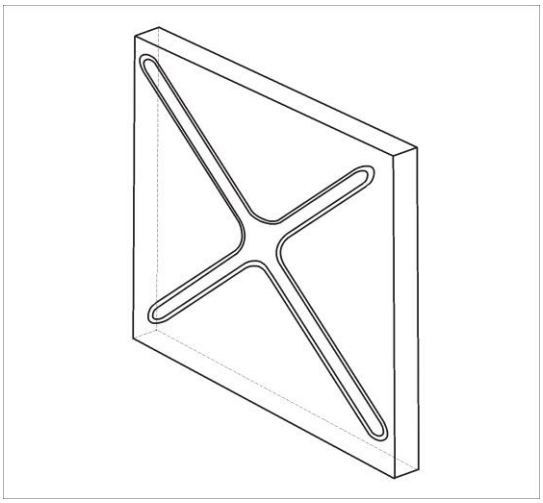
- Egy önálló, összehegesztett szerkezeten belül a legvékonyabb és legvastagabb anyagrész között legfeljebb 3,5-szeres különbség legyen, de ez a szám minél kisebb annál kedvezőbb.
- Különösen a vékonyabb falvastagságú elemeknél gondosan el kell kerülni a felületen, sarkokon az éles bemetszéseket.
- Az acélszerkezet gyártás során kerülni kell az anyagszerkezetben keletkező nagy belső feszültségeket, felkeményedéseket.

9.6. Vékony lemezből készített acélszerkezetek tervezése, gyártása

A hidegebb szerkezeti részek miatti, akadályozott hőtágulás miatt, acélszerkezeteink káros deformációkat szenvedhetnek el. Ez különösen igaz a lemezekből készített, vastagságukhoz képest nagy felületű konstrukciókra. Tapasztalatok szerint, 5 mm-es lemezvastagság alatt egyre nagyobb a kockázata a káros mértékű alakváltozásnak (57. kép). Ezeknél a szerkezeteknél – megfelelő felületi merevítések hiányában – biztosan számolni kell a tűzihorganyzásból adódó káros deformációkkal. Az alakváltozások kiküszöbölésének lehetséges módja, hogy a lemezfelületeket megfelelően merevíteni kell, mely kizárólagosan erre alkalmas méretű és alakú bordák felületbe történő sajtolásával történik (44. ábra).



57. KÉP: Káros deformációt szenvedett lemezszerkezet

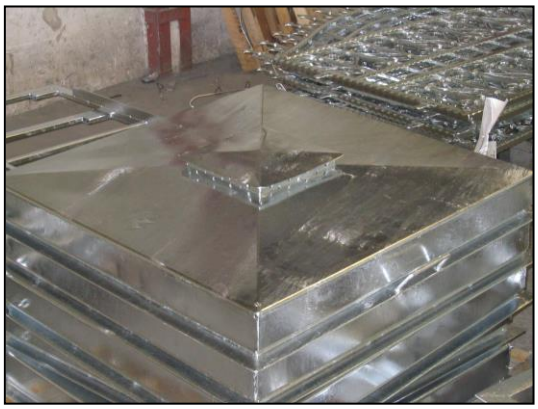


44. ÁBRA: Lemezfelület merevítése bordákkal

Alapvető lehetőségek a káros alakváltozások elkerülésére (58-59. kép):

- A kérdéses lemezfelületek merevítése megfelelően elhelyezett bordák, hajlítások besajtolásával.

- A lemezt külön kell bevonni, így már tűzihorganyzott kivitelben kell beépíteni. (itt azonban ügyelni kell arra, hogy a folyamatos horganyzó soron bevont lemezeken található horganyréteg vastagsága lényegesen alacsonyabb, mint ami az EN ISO 1461 szabványban elő van írva).



58-59. KÉP: Megfelelően merevített lemezszerkezetek

9.7. Öntvények tűzihorganyzása

Ezeket a termékeket bizonyos feltételek betartása mellett tökéletes minőségben lehet bevonni. Az EN ISO 14713-2: 2009 szabvány 6.1 pontjának megfelelően a szürke öntvények (lásd: EN 1561), illetve a temperöntvények (lásd: EN 1562) - az MSZ EN ISO 1461: 2009 szabványnak megfelelően - problémamentesen tűzihorganyozhatók. Az acélöntvények anyagminőségének megválasztásánál a már korábban ismertetett irányelveket javasolt szem előtt tartani. Öntvényeknél a fő problémát felületük tisztasága jelenti. Ugyanis az öntésükből származó anyagmaradványok (pl. formahomok, grafit, oxid) eltávolításához szükséges technológiák a legtöbb horganyzó üzemben nem állnak rendelkezésre. Ezek maradéktalan letisztítását (pl. szemcseszórással, koptatással) még a bevonásra történő beszállítás előtt el kell végezni. A kereskedelmi üzletláncokban kapható „kovácsoltvas jellegű” termékek egy része – gyártási technológiájuk miatt – nem tűzihorganyozható, ezért beszerzésük előtt próbahorganyzás javasolt. Amennyiben apró öntvényekről van szó, akkor az ilyen darabokat ún. tömegáruként ajánlott kezelni és speciális technológiával (centrifugával kiegészített tűzihorganyzás) kell bevonni.

9.8. Hegesztés tűzihorganyzás előtt

Káros deformációk elkerülése

Már az acélszerkezetek tervezési fázisában figyelembe kell venni a tűzihorganyzás egyszerű, de fontos technológiai követelményeit. Az egyes elemek összehegesztésénél arra kell törekedni, hogy a gyártás során bevitt megmunkálási feszültségek a lehető legkisebbek legyenek, illetve a keresztmetszet súlypontjára szimmetrikus legyen az eloszlásuk.

Az alábbi főszabályok betartása indokolt:

1. Ésszerű intézkedésekkel minimalizálni kell az acélszerkezetre tervezett hegesztési varratok számát annak érdekében, hogy a zsugorodásból 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 legvégére 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 nagyobbnak lenni, mint ami statikailag indokolt.
6. A szerkezetet „belülről-kifelé” haladva kell hegeszteni a zsugorodásból származó belső feszültségek minél alacsonyabban tartása érdekében.
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 lehetséges legkisebbek lesznek és egyenletesen oszlanak meg a termék keresztmetszetében.

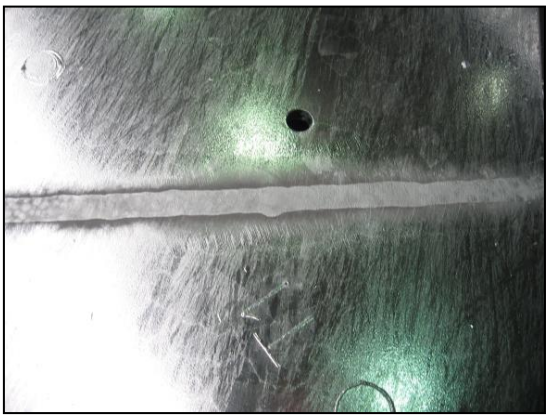
A hegesztési varratok külleme horganyzás után:
A kutatások többségének egybehangzó állítása szerint, a tűzihorganyzás alatti „hőkezelés” általában kedvezően hat a hegesztett szerkezetek feszültség viszonyaira. A hegesztési varratok minőségéről a legtöbb esetben már a külleme információkat nyújthat. Amennyiben a hegesztés külleme, folytonossága hibás, az a tűzihorganyzást követően megmarad, sőt esetenként kontrasztosabbá válik a probléma (60. kép).

60. KÉP: Hibás hegesztési varrat

A hegesztésre vonatkozó általános előírások nagy többségükben igazak a tűzihorganyzott acélszerkezetek esetében is.
A legfontosabb kivitelezési követelmények:

- Bevonatos elektródával történő hegesztés esetén a képződő salakot maradéktalanul el kell távolítani.

- Védőgázos hegesztésnél, helytelen hegesztési paraméterek alkalmazásánál, a varratszéleken vékony salakmaradványok alakulnak ki, melyeket szintén el kell távolítani.
- A feltapadások megelőzésére szolgáló spray-k alkalmazása esetén, csak szilikon-, és olajmentes terméket szabad használni.
- A hegesztési hibák, kráterek, beégések horganyzás után is megmaradnak, ezeket kerülni kell.
- Szakaszos varratok alkalmazását lehetőleg ki kell küszöbölni.
- A varratfugák szélessége olyan legyen, hogy csak a minimálisan szükséges varraterősség, szélesség legyen kialakítva.
- Törekedni kell a síkvarratok (tompa varratok) alkalmazására, mert a sarokvarratok megnövelik a hibák kockázatát.
- A gyökhegesztéseket különösen gondosan kell elvégezni.
- Hosszú varratok kialakításánál a hegesztést a munkadarab közepétől kiindulva a szélek felé haladva kell végezni.



61. KÉP: Szürke hegesztési varrat

62-63. KÉP: Fényes hegesztési varratok

A hegesztéshez használt elektródák, huzalok esetében a legtöbb alapanyag relatíve magas szilícium-tartalommal rendelkezik (1. fejezet), ezért a horganyolvadékban lezajló termo-diffúziós folyamatok a varratok felületén lényegesen intenzívebbek lehetnek, mint a varrat környezetében, ezért ezeken a hegesztéseken szürkébb, vastagabb bevonatok alakulhatnak ki. Ez különösen szembetűnő, ha a varratot a hegesztés után síkba köszörülik (61. kép). Rendkívüli esztétikai követelmények esetén, célszerű a

hegesztő anyag összetételét úgy megválasztani (Si-, és P-tartalom), hogy az egyenletes színezetet eredményezzen (62-63. kép).
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.

9.9. Már tűzihorganyzott szerkezetek hegesztése

Általános javaslat, hogy tűzihorganyzott acélszerkezeteket utólagosan már ne hegesszenek, ugyanis a hegesztés környezetében a bevonat leég, és ezzel védőértéke károsodik. Ritkán mégis vannak olyan esetek, amikor nem lehet elkerülni a tűzihorganyzott acélszerkezetek utólagos hegesztését. Sokszor ennek az oka, hogy a rendelkezésre álló tűzihorganyzó kád méretével nem egyeztethető össze, vagy nem lett összeegyeztetve a munkadarab befoglaló mérete. Már a tervezésnél be kell szerezni a szükséges információkat a legnagyobb horganyozható méretről. Különleges intézkedések végrehajtásával viszont el lehet elvégezni a már tűzihorgany bevonattal rendelkező szerkezetek utólagos hegesztését. Normál vastagságú horganybevonatnál (v <100μm) kialakított hegesztési varrat tulajdonságai nem különböznek a nem horganyzott acél varratainak jellemzőitől. Amennyiben ennél vastagabb a horganyréteg, akkor óvatosan le kell munkálni és a már szabad acélfelület előírás szerint hegeszthető. Hegesztés után a sérült részt a horganyzott felületek javítására vonatkozó előírások szerint kell javítani (MSZ EN ISO 1461).

Ha horganyzott felületet kell hegeszteni, akkor a következőket célszerű figyelembe venni.
A hegesztés során figyelembe veendő szempontok:

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

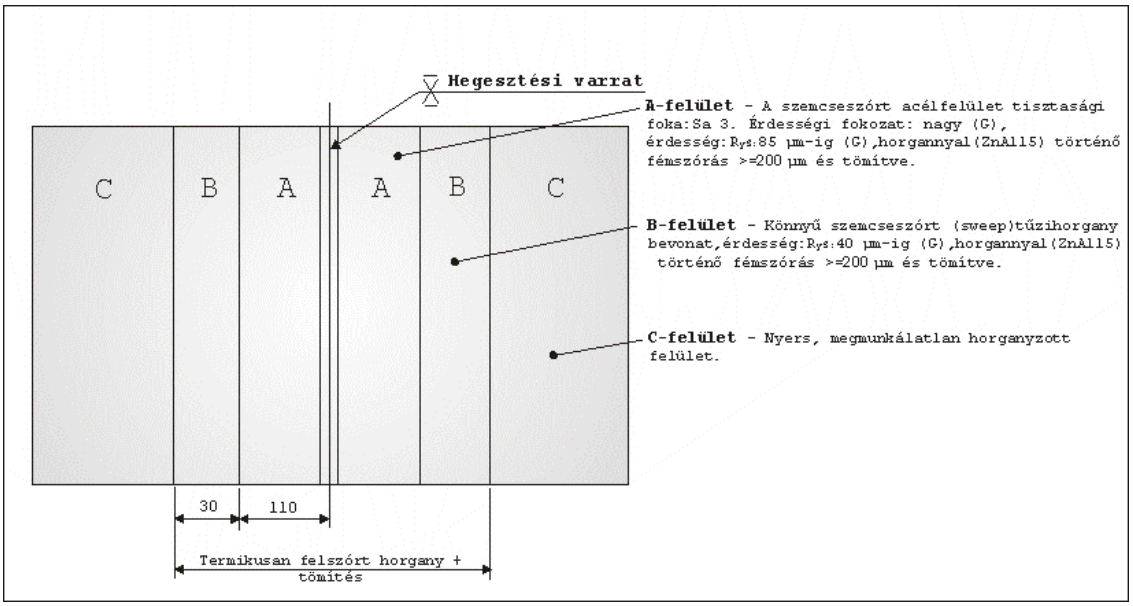
Biztonságtechnikai előírások:

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

Hegesztés utáni felületjavítás

A helyszíni hegesztést követően, az érintett részeken a bevonat megsérül, illetve a hegesztett részeken helyre kell állítani a felületvédelmet. Németországban 2014 óta engedélyezik kis-és középfesztávolságú hidaknál a tűzihorganyzott tartószerkezeteket. Az esetenként elkerülhetetlen helyszíni hegesztések miatt, a korrózióvédelem helyreállításához a tervezők és kivitelezők részére ajánlásokat tettek, mely módszer alkalmazását javasoljuk. Ennek lényege, hogy megfelelő felülettisztítást követően, helyszíni fémszórással vonják be a sérült részeket (45. ábra). A fémszórt felületet utólag – a horganybevonathoz illeszkedő színű festékkel - le kell festeni (tömíteni kell). Ennek oka, hogy a fémszórt bevonat porózus szerkezetű. Az ezzel kapcsolatos eredményeket és előírásokat egy külön dokumentumba foglalták (Pkt. 5.5 „ZTV-ING: Baustellenschweißstöße [18]). Ezzel a megoldással több évtizedes, karbantartásmentes védelem érhető el.



45. ábra: Helyszíni hegesztés utáni bevonat javítás követelményei [18]

Kisebb igénybevételek esetében (C3 és alatta), a cink katódos védőhatásának fenntartása érdekében, legalább 90% cinkport tartalmazó, egy-vagy kétkomponensű festéssel legalább 100 µm száraz rétegvastagsággal + 60 µm átvonó festéssel, szintén hosszú időre (>20 év) biztosítható a javított rész védelme (EN ISO 12944-5). A szükséges rétegvastagság függ a korróziós igénybevétel nagyságától ISO 9223).

9.10. Tűzihorganyzott kötőelemek alkalmazása

Ha „horganyzásról” beszélünk, nem minden szakember ugyanazt érti. A szó nem jelent automatikusan tűzihorganyzást, mert több olyan technika is létezik, melyekkel horganyt (cinket) lehet felvinni a tárgyak felületére. Acélszerkezetek gyártásánál gyakorta felmerülő kérdés, hogy milyen kötőelemeket alkalmazzanak tűzihorganyzott acélszerkezetek összeszerelésénél. Mivel az egyes horganyzási eljárások eredményeképpen más-más tulajdonságokkal rendelkező bevonatok jönnek létre (26. táblázat), ezért helyesen kell megválasztani a kötőelemek korrózióvédelmi technológiáját. A tűzihorganyzás rendeltetése korrózió elleni védelem, melynek hatékonysága, időtállósága szorosan összefügg a kötőelemeken levő bevonat vastagságával (64-66. kép).

Eljárás típusa	**Szokásos bevonat vastagság** (μm)
Galvanikus (elektrolitikus) horganyzás	5-10
Sherardizálás	~15
Tűzihorganyzás (EN ISO 1461)	**~50**

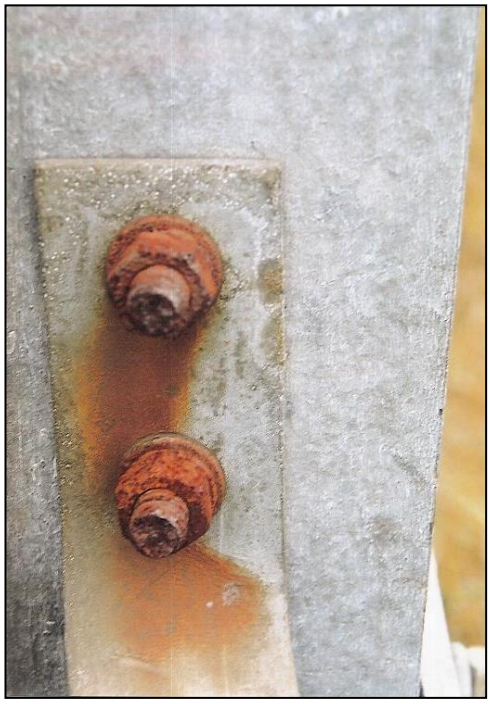
26. TÁBLÁZAT: Bevonatvastagságok különféle horganyzási módoknál

Az acélszerkezeteken kialakított bevonatok vastagsága szokásosan 50-150 μm, ezért az egységes korrózióvédelmi képességek fenntartása érdekében ilyen *acélszerkezetekhez,* mindig *tűzihorganyzott kötőelemek* (rétegvastagság min. 50 μm) alkalmazása javasolt.

64-65-66. KÉP: Tűzihorganyzott kötőelemek alkalmazása helyes megoldás

Amennyiben helytelenül választják meg a tervezők/kivitelezők az acélszerkezetekhez felhasznált kötőelemeket, számolni kell azzal, hogy rövid időn belül korróziós gócok

alakulnak ki a kötőelemeken (pl. ha galvanikusan horganyzott kötőelemeket alkalmaznak kültérre – 67-68. kép)



67-68. KÉP: Helytelenül megválasztott, galvanizált kötőelemek, évek után

Nagyszilárdságú feszített kapcsolatok (NF) esetében, a tűzihorganyzás nem jelent semmiféle nehézséget, azonban alkalmazásakor néhány szempontot itt is figyelembe kell venni. A horgany (Zn) lágy és sima fém (súrlódási tényezője: $\mu<0,2$), azonban a horganybevonat szerkezetétől függően (ötvözeti 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 (27. táblázat).

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

27. TÁBLÁZAT: Elcsúszó felületek érdesítésének módja (HV csavarok alkalmazása)

10. SZABVÁNYOK

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 tűzihorganyzott acélszerkezetek gyártói, forgalmazói, alkalmazói, stb., illetve a tűzihorganyzó üzemek, mint egységes mércét alkalmazhatják az érintett szabványokat, de ezektől el is lehet térni, amennyiben abban a szerződő felek jogszerűen megállapodnak. Sőt a korábban érvényes szabványok előírásait – a felek kölcsönös elfogadása esetén - még ma is alkalmazhatják.

10.1. A MSZ EN ISO 1461: 2009 legfontosabb előírásai

Rövid magyarázatunk során csak az általunk legfontosabbnak gondolt részekkel és azok rövid értelmezésével kívánunk foglalkozni.
A szabvány magyar címe:
„Tűzihorganyzással kialakított bevonatok kész vas- és acéltermékeken. Követelmények és vizsgálati módszerek (ISO 1461: 2009)”

Már a cím is mutatja, hogy a direktíva nem csak a készre gyártott acéltermékek bevonatainak jellemzőivel, hanem az azokon levő horganyrétegek vizsgálatával is foglalkozik. A következőkben röviden tekintsük át a normatíva felhasználók számára legfontosabb részeit.

- *Alkalmazási területe (a szabvány 1. pontja)*

A normatíva a 2%-nál több egyéb más fémet nem tartalmazó horganybevonatokra vonatkozik. Ez a kitétel azért lényeges, mert léteznek olyan eljárások, melyek a cink mellett jelentős mennyiségben még más fémet is tartalmaznak.

Nem érvényes az alábbi területekre:

– Folytatólagosan tűzihorganyzott lemezre, huzalra és az abból gyártott termékekre (hegesztett hálók és fonott hálók).
– Automatikus berendezéseken tűzihorganyzott csövekre.
– Olyan termékekre (pl. kötőelemekre), melyekre más, külön szabványok léteznek.

- *Szakkifejezések és meghatározásuk* (*a szabvány 3. pontja*)

Lényeges kérdés esetenként a bevonat vastagsága. Mivel a tűzihorganyzás esetén többfázisú ötvözeti réteg alakul ki, és ezek a rétegek is ugyanolyan hatékonyan védik a korrózió ellen az acélalapot, ezért ezek az ötvözeti rétegek is fontos részei a bevonatnak. Sőt, mint közismert, vannak csak tisztán ötvözeti fázisokat tartalmazó bevonatok is (3.4 pont).

- *Általános követelmények (a szabvány 4. pontja)*

Olvasóink számára feltétlenül érdekesnek számít, amit e szabvány elveiben feltételez, illetve igényel, egy szoros *együttműködést a horganyzómű és megrendelője között.* Ugyanis a normatíva 4.2 és 4.3 pontja a fémbevonást végző üzem mellett a horganyzást megrendelő fél számára is tartalmaz bizonyos követelményeket.

Az előírás 4.3 alfejezete *„A megrendelő által adandó kötelező tájékoztatás”*-ról szól. A horganyzó részére adandó kötelező tájékoztatásának (28. táblázat) az a célja, hogy a majd elkészülő bevonat minősége megfeleljen a későbbi felhasználási követelményeinek.

FEJEZET		ELŐÍRÁS
A1		Ennek a nemzetközi szabványnak a számát (ISO 1461).
A2	a.)	Az alapfém (acél, vas) összetétele és bármely tulajdonsága, amely befolyásolhatja a tűzihorganyzást, ideértve az acél gyártási feltételeire vonatkozó előírásokat (EN 10025, EN 10163-3 és EN 10204 szerint). Egyéb megjegyzések az eredeti szabványban.
	b.)	Lángvágott, lézervágott, vagy plazmavágott felületek jelenléte a munkadarabon.
	c.)	Lényeges felületek azonosítása például rajzokkal, vagy mintával.
	d.)	Rajz, vagy egyéb jelölés az egyenetlen felületek, pl. cseppek, megfolyások, készüléknyomok, stb. azonosítására, melyek a későbbi felhasználást lehetetlenné teszik. Erről meg kell állapodni a tűzihorganyzóval.
	e.)	Amennyiben a termékek zárt üregeket tartalmaznak, még mielőtt a tűzihorganyzó a munkát elvállalná, a megrendelő írásos bizonyítékot kell, hogy szolgáltasson annak érdekében, hogy a szükséges technológiai nyílások megfelelő elhelyezését és méretét biztosítani tudja.
	f.)	Minták, vagy egyéb más lehetőség a megkívánt kikészítés bemutatására.
	g.)	Különleges előkezelési követelmények.
	h.)	Különleges rétegvastagságok előírása (szabvány 6.2 pontja).
	i.)	Centrifugált bevonat szükségessége, vagy elfogadhatósága (a szabvány 4. táblázatának követelményeit elégíti ki).
	j.)	Bármely utókezelés, vagy a tűzihorgany bevonatra kerülő más bevonat.
	k.)	A termékátvételre vonatkozó megállapodások, igények.
A3		A tűzihorganyzó üzemnek kérésre meg kell adni:
	a.)	Az üzem birtokában levő lényeges információkat, beleértve a bevonat nélküli területek javításának módszerét.
	b.)	Szükség esetén tanúsítvány az ISO 10474 szerint.
	c.)	Amennyiben a tűzihorganyzó tanúsítva van, akkor igazolja azt, hogy az elvégzett munkát az ISO 9001 szabvány szerint tanúsított horganyzó végezte el. Megjegyezzük, hogy más tűzihorganyzókra vonatkozó tanúsítások is léteznek (Pl. DASt-Richtlinie 022:2014).

28. TÁBLÁZAT: A megrendelő által adandó tájékoztatás (MSZ EN ISO 1461)

A bevonatképzés hibátlan végrehajtása, illetve a termékek állagmegóvása és az esetleges üzemi balesetek elkerülése érdekében a normatíva 4.4 pontja fontos követelményeket ír elő (a szabvány B-melléklete).

- *Átvételi vizsgálat és mintavételezés (a szabvány 5. pontja)*

A fejezet felsorolja, hogy a horganyzott tételszám függvényében minimum milyen mennyiségű terméket kell megvizsgálni a bevonatvastagság ellenőrzése érdekében.

- *A bevonat tulajdonságai* (*a szabvány 6. pontja*)

A tűzihorganyzott termékek minőségével kapcsolatos reklamációk, észrevételek jelentős hányada a fémbevonatok külső megjelenésével (6.1) kapcsolatos. Érdemes idézni az előírás egy-egy hosszabb részét.

> „Az átvételi vizsgálatkor az összes tűzihorganyzott darab lényeges felülete(i) szabad szemmel, legalább 1 m távolságból vizsgálva mentes(ek) legyen(ek) csomóktól, hólyagoktól (azaz szilárd fémhez való kötődés nélküli, kiemelkedő területektől), érdességtől és éles csúcsoktól (ha azok sérülést okozhatnak), valamint bevonat nélküli területektől.”

Feltétlenül ki kell emelni a meghatározásban szereplő „lényeges felületei” kifejezést, melyeket már a megállapodás megkötésekor azonosítani kell (32. táblázat). Azaz a megrendelőnek közölni kell, hogy melyek számára a termékei felhasználása tekintetében a fontos, kiemelt figyelmet érdemlő felületek.

> „Sötétebb, vagy világosabb szürke területek (pl. hálómintás sötétszürke területek), vagy kismértékű felületegyenetlenség nem ok a visszautasításra;…”

Itt lényeges megjegyeznünk például az acélalapanyag megválasztásának kérdéseit (1. fejezet), illetve az alkalmazott szelvényvastagságok hatásait (9.5 fejezet).

> „Nem ok a visszautasításra a fehérrozsda folt sem, elsősorban bázisos cink oxid (amely a tűzihorganyzás utáni nedves körülmények közötti tárolás során jön létre), feltéve, hogy a bevonat vastagsága az előírt legkisebb érték felett marad.”

Az ún. fehérrozsdásodás kérdésénél meg kell említenünk, hogy ez helyes tárolási körülmények megválasztásával kiküszöbölhető. Elkerülésének feltételeiről - a későbbi félreértések elkerülése miatt – már szerződéskötéskor célszerű megállapodni a horganyzóval. Fontos megjegyeznünk, hogy darabáru horganyzásnál - csak a korróziós szempontokat tartva szem előtt - a fehérrozsda lényegesen kisebb veszélyforrást jelent, mint horganyzott lemezek (folytatólagos technológiával horganyzottak) esetében, mert ez utóbbi a termékeknél sokkal kisebb a bevonatvastagság (legtöbbször 10-20µm). Ezért igen nagy a kockázata a bevonat teljes, vagy nagy részben történő tönkremenetelének (69. kép).

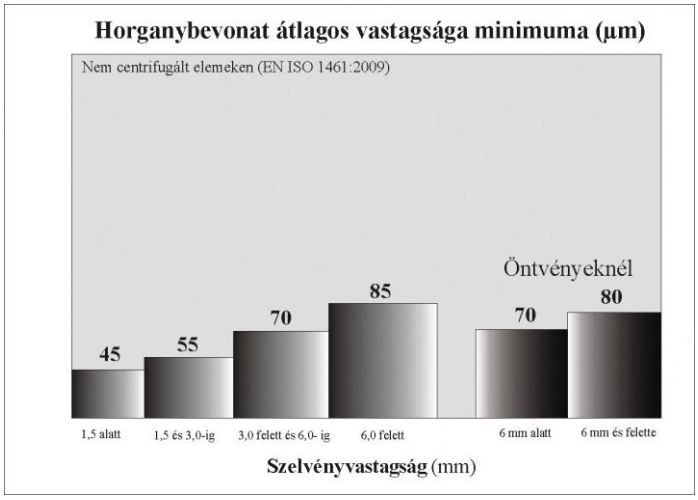
*69. KÉP: Fehérrozsda horganyzott lemeztermékné*l

A tűzihorgany bevonatok vastagsági előírásaival a szabvány 6.2. fejezete foglalkozik. Lényeges, hogy a fényes és szürke bevonatok korrózióállóságukat tekintve egyenértékűek, ellenálló képességük pedig hozzávetőlegesen arányos vastagságukkal. Erősen agresszív körülmények indokolhatják vastagabb bevonatok alkalmazását, melynek eléréséről meg kell állapodni a horganyzó vállalattal. Lényegesen vastagabb rétegeket lehet kapni az ehhez helyesen kiválasztott acélminőség alkalmazásával (EN 10025), szemcseszórással előkezelve, illetve kisebb mértékben technológiai beavatkozásokkal.

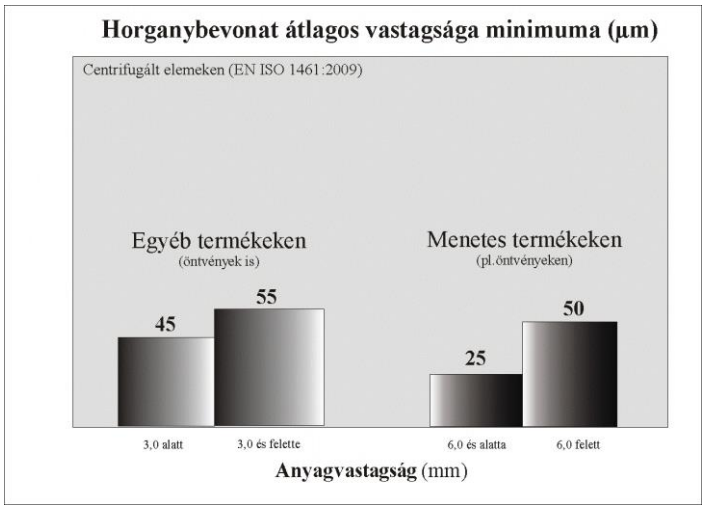
Az MSZ EN ISO 1461: 2009 szabvány több vizsgálati módszert említ (6.2.2.) a bevonatok vastagságának ellenőrzésére. Legáltalánosabban alkalmazott módszernek az ISO 2178 szerinti mágneses elven működő mérőberendezések használatát javasolja (70. kép).

70. KÉP: Mérés külön szondás rétegvastagság mérővel

A szabvány szerinti eljárással felvitt bevonatok vastagsági előírásaira vonatkozóan a grafikonok adnak tájékoztatást. A grafikonokon szereplő vastagsági értékek a legkisebb átlagos értékeket mutatják (46-47. ábra). A szabványban szereplő legkisebb helyi értékekre külön adatok vonatkoznak, melyek alacsonyabb határértékeket engednek meg.

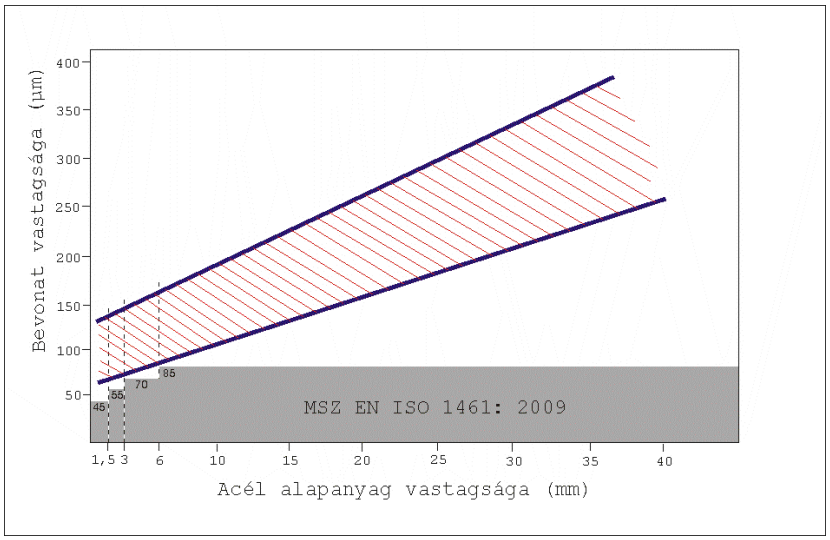


46. ÁBRA: A legkisebb rétegvastagságok nem centrifugált mintákon



47. ÁBRA: A legkisebb rétegvastagságok centrifugált mintákon

A tűzihorganyzás gyakorlatában mért értékek szinte minden esetben biztonsággal meghaladják a szabványban szereplő határokat (48. ábra).



48. ÁBRA: Tapasztalati értékek a gyakorlatban [2]

A normatíva 6.2.3 fejezete részletesen tárgyalja a mérések végrehajtásához szükséges vonatkoztatási területek kijelölésének kérdéseit. Az elvégzett mérések eredményeit kell megfeleltetni a szabványban szereplő értékekkel (a szabvány 3. és 4. táblázata). A bevonatok vastagsága mellett a másik lényeges terület a folytonosság. A technológia zavarmentes, tökéletes végrehajtása esetén a kialakuló fémréteg egyenletes, esztétikus. Mivel darabáru horganyzás során a munkadarabok felrögzítése különféle szerszámokkal (szerszámokra), eszközökkel történik, ezért néhány esetben számolni kell azzal, hogy a megfogások helyén folytonossági hibahelyek alakulnak ki, melyet a horganyzó üzemnek ki kell javítani.

A szabvány 6.3 fejezete szerint a tűzihorganyzó által kijavítandó felület nagysága nem haladhatja meg az adott munkadarab teljes felületének 0,5%-át, és egy-egy javítandó felület nagysága ekkor is legfeljebb 10 cm^2 lehet. Ellenkező esetben – ha a felek között erről más megállapodás nincs – újra kell horganyozni a darabot.

A *javítással* kapcsolatban sokszor felmerül, hogy mivel lehet szakszerűen javítani. Ezeket a lehetőségeket a szabvány szépen ismerteti az alábbiak szerint.

- Termikus fémszórással (cink) – EN 2063 szerint.
- Cinkben dús festékkel (ISO 3549 szerinti festék), vagy cinkpehely tartalmú festékkel.
- Cinkpasztával.
- 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 kockázatossá válik a termék későbbi felhasználhatósága. Szakszerűen javított felületeken mért bevonatvastagságoknak minimálisan *100 µm* vastagnak kell lenni, amennyiben a felek között erről más megállapodás nem született.

Feltétlenül említést érdemel még a horganybevonatok *tapadásának* témaköre (6.4). A MSZ EN ISO 1461: 2009 szerint, amennyiben a horganybevonat kialakul a felületen,

biztosítani fogja azt a szükséges tapadást, mely az e szabvány szerinti bevonatok rendeltetésszerű alkalmazásához kell. Ha a tapadás valamilyen okból különleges követelmény, akkor a módszerről és a vizsgált felületekről előzetesen meg kell állapodni a horganyzónak és megrendelőjének. Jelen pillanatban nincs nemzetközileg elfogadott vizsgálat a tűzihorgany bevonatok tapadásának ellenőrzésére, de természetesen vannak nemzeti előírások, melyek a tapadás ellenőrzésével foglalkoznak (pl. DIN 50978, ISO 16276-2). Csak korróziós igénybevételek esetén a tapadásnak ténylegesen nincs semmi jelentősége. Egyéb részletek olvashatók a szabvány 6.4. pontja alatt.

A szabvány 6.5 pontja a termékek átvételi feltételeit tartalmazza, melyből érdemes kiemelni az alábbiakat.

> *„Ha a termékek több, különböző vastagságú acélból állnak, akkor minden egyes vastagságtartományt külön terméknek kell tekinteni,…”.*

Azaz, minden egyes ilyen résznek külön meg kell felelnie a szabvány előírásainak. További részletek a szabványban olvashatók.
A MSZ EN ISO: 1461: 2009 előírás A, B, C és D melléklete számos gyakorlati információt tartalmaz. Külön említést érdemel az *A melléklet*, mely részletesen tárgyalja a megrendelők számára termékeik minőségét meghatározó nagyon fontos tudnivalókat.

11. TŰZIHORGANYZOTT ACÉLSZERKEZETEK TŰZÁLLÓSÁGA

Amennyiben egy tűzihorganyzott acélszerkezet esetében tűzállóságról beszélünk, *azonos kockázatokkal* kell számolni, mint egy általános acélszerkezet esetében. A horganyréteg nem biztosít tűz elleni védelmet, ugyanakkor nem is jelent nagyobb kockázatot, mint egy festett acélszerkezet. A horgany megolvadásakor nem lép fel többletveszély, illetve elégésekor keletkező cink-oxid minimális mértéke nem jelent az átlagosnál nagyobb veszélyt a környezetre, ezért oltásnál nincs szükség további kiegészítő védelmi intézkedésekre (29. táblázat).
Megjegyezzük, hogy tűzihorganyzott felület hegesztésénél légzésvédő készüléket kell alkalmazni az influenzaszerű tünetekkel járó fémgőz láz elkerülése érdekében. Ez rövid idő alatt tünet és hátrányos következménymentesen gyógyul.

A horganybevonat nem gyúlékony.	Nem védi az acélt a tűz ellen.
Esetleges elégésekor nem bocsát ki mérges gázokat.	Nem jelent veszélyt a tűzoltók számára.

29. TÁBLÁZAT: A horganybevonat tűzállósága

12. HORGANYBEVONATOK KÜLLEME, JELENSÉGEK ÉS HIBÁK

A tűzihorganyzó, illetve megrendelője között a legtöbb vitás eset nem a deformációk, vagy a bevonat vastagsága miatt keletkezik, hanem a munkadarabok felületén megjelenő, esetleg a későbbi felhasználást zavaró kisebb-nagyobb eltérésekből.

12.1. Acélminőség hatása

Egy adott tűzihorganyzott termék felületi tulajdonságainak megítélése sokszor nem objektív, hanem nagymértékben függ a darab felhasználásának körülményeitől. Szélsőséges példaként említhető, hogy egy nagyforgalmú épület oldalán elhelyezett gyalogos korlát felületének minőségével, küllemével szemben jóval nagyobbak az esztétikai elvárások, mint egy hegytetőn elhelyezett telekommunikációs torony acélszerkezetén levő horganyréteggel szemben. Ma már a műszaki követelmények mellett (ezeket a vonatkozó szabványok rögzítik) – a *piaci szempontok* – is nagy szerepet játszanak. A tűzihorganyzott termékek vevői minősítése műszaki és piaci követelmények alapján egyaránt megtörténik. Egy acélszerkezetek bevonatának küllemét döntően lehet befolyásolni már a *tervezés fázisában*, melyhez hozzájárul a későbbi *gyártás* és a legvégén a fémmel történő *bevonás*. Sok más tényező mellett, a kezelendő acélszerkezet felületi állapota is nagy hatással van a darabon kialakuló bevonatra.
A horganyzás előtt álló termék felületi állapotát jellemzi:

- az alapanyag felületének érdessége,
- kémiai jellemzői,
- feszültségállapota,
- tisztasága.

12.2. A felületi érdesség megjelenése tűzihorganyzott termékeken

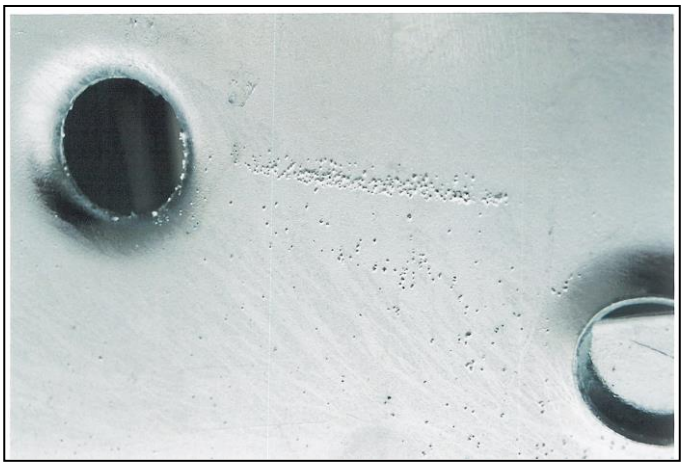
A tűzihorganyzott felületek érdessége relatív fogalom. Vannak szándékosan érdesített felületek, mint például szemcseszórt acélszerkezeteké, melyekkel a gyártók célja, hogy a hegesztési technológiához megfelelő felületi tisztaságot érjenek el, illetve másodlagos hatása, hogy bizonyos mértékben lehet növelni vele a horganyréteg vastagságát is (+15-25%). Az így kapott bevonat – optimális esetben - egyenletesen homogén, finoman érdes, fényes, vagy szürke lesz (71. kép).

71. KÉP: Szemcseszórt, horganyzott felület megjelenése

Felületi érdesség megjelenése horganyzás után

A szemcseszórt felületből adódó érdesebb felületet nem szabad összetéveszteni az ezután tárgyalásra kerülő, egyéb felületi eltérésekkel. Több esetben hosszabb-rövidebb viták, nézeteltérések alakulnak ki a partnerek között a horganybevonaton látható és tapintható felületi egyenetlenségek miatt. Ezek legtöbbször csak esztétikailag zavarók, máskor érdes felületük a kezek sérülésének veszélyét is magukban hordozzák. Az okok sokrétűek, természetük szerint nagyrészt az alapanyag felületi minőségére vezethetők vissza, de ritkábban a horganyzó technológiai hibájának is felróható.

A felület érdessége, mivel relatív fogalom, a tűzihorganyzásnál sincs egyértelműen megfogalmazott, mérhető kritériuma. Azt mindig az adott termékkel szemben támasztott felhasználói igények határozzák meg, tehát szubjektív tényezők is szerepet játszanak a megítélésben. Egy felület lehet úgy is érdes, hogy tetszetős (pl.: szemcseszórt), és persze ennek az ellenkezője is igaz, hogy néhány apró érdes rész vitákhoz vezet. Egyenletesen szemcseszórt felületű acélszerkezeten kialakult bevonat enyhén érdes tapintású és mégsem vezet nézeteltérésekhez. Ugyanakkor egy igen sima felületen megjelenő szemcsecsoport, csík, vagy vonalak bonyodalmakhoz vezethetnek főleg, ha egy tükörsima felületen feltűnőek (72. kép).



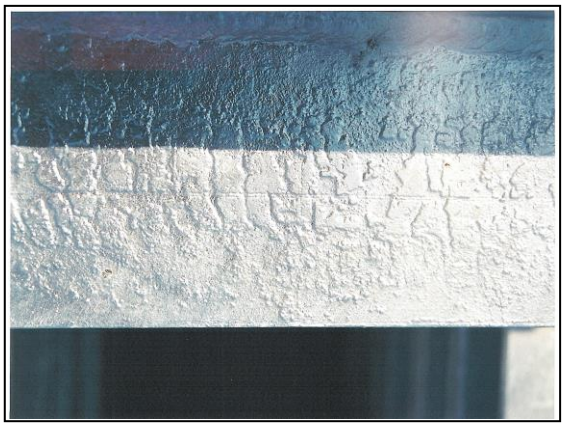
72. KÉP: Apró szemcsék a felületen

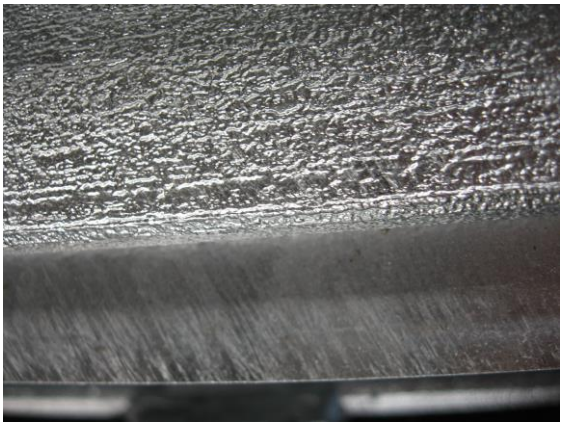
A megjelenő érdességnek, inhomogenitásoknak alapvetően két csoportja van:

- Azok a felületi kiemelkedések, melyek csak a *horganybevonatba épülnek be, vagy annak szerves részei.*
- Az *alapanyag előzetes megmunkálásából származó* felületi hibák, vagy jelenségek.

A horganybevonatba beépült felületi egyenetlenségek:

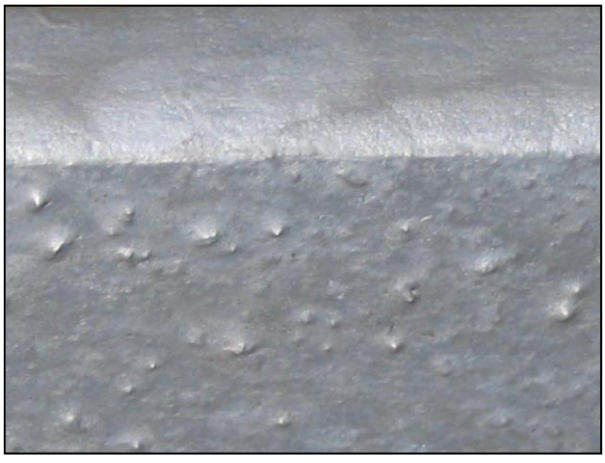
Ezek a kiemelkedések a technológia végrehajtása során kerülhetnek a fémrétegbe és, vagy a többfázisú bevonat szerves részét képezik, esetleg tényleges szennyezőként, idegen testként vannak jelen a bevonatban. Mint azt korábbi fejezeteinkből megtudhattuk, a tűzihorganyréteg termodiffúzió eredményeképpen alakul ki és elsődlegesen nem esztétikai célú bevonat. Ahol a diffúzió intenzívebb és hosszabban tart, ott vastagabb, ahol gyengébb, ott vékonyabb ötvözeti fázisokból fog állni a fémréteg. Az utóbbi esetben nemcsak az ötvözeti fázisok lesznek vékonyabbak, hanem általában a teljes réteg is. Olyankor, amikor az acélfelület kémiai összetétele, vagy feszültségviszonyai anomáliákat mutatnak, foltokban, csíkokban, vonalakban vastagabb bevonatok jöhetnek létre (73-74. kép).





73-74. KÉP: Kedvezőtlen minőségű acélok bevonatai

A képen látható acélok felületén a helyenként feldúsult kémiai elemek (Si, P) vezettek a durvább bevonathoz. A vastagabb rétegek lehetnek nagyobb foltokban, illetve kisebb csoportokban, pontokban, vonalakban is, ilyenkor az ötvözeti fázisok hegycsúcsszerűen emelkednek ki környezetükből. A pontszerű felületek sokszor összetéveszthetőek más bevonati problémákkal, ezért ilyen esetekben nagy szakértelemmel, vagy csak metallográfiai vizsgálatokkal lehet eldönteni az eltérések igazi okát. A vázolt jelenség az egyik, sajnos többször előforduló bevonati eltérés, mely nem horganyzási hiba, hanem az acélminőségre jellemző. Ismételten felvetődik bizonytalan acélminőségeknél a gyártás előtti *próbahorganyzások* fontossága, illetve a megbízható forrásból beszerzett, kiváló minőségű alapanyagok jelentősége.
Vannak azonban olyan jelenségek is, amikor nem a fenti probléma okozza a bevonaton észlelhető eltéréseket. Egyes esetekben a horganyfürdőből származó, az olvadékban, a felület közelében lebegő szennyeződések, például a *keményhorgany szemcsék* (Zn - Fe ötvözet) épülnek be a bevonat felső rétegébe. A termék kiemelésekor felrakódó szemcsék nemkívánatos részei a rétegnek. A fémolvadékban levő megjelenésük elkerülése darabáru horganyzásnál technológiailag megoldhatatlan és természetes jelenség, ugyanakkor mennyiségüket állandóan korlátozni kell, és meg kell akadályozni felületre történő feltapadásukat. Mértéküket az MSZ EN ISO 1461: 2009 szabvány 6.1 pontja általánosan szabályozza. Felületbe záródott keményhorgany szemcséket mutat be 75-76. képünk.



75-76. KÉP: A felületeken megtapadt keményhorgany szemcsék

A megtapadó keményhorgany szemcsék mellett előfordulhatnak még, az alumíniummal ötvözött fürdők esetén, *vas-alumínium zárványok* is, melyek a fürdő tetején összegyűlve okozhatnak felrakódásokat. Vannak azonban olyan esetek is, amikor az acél alapanyag gyártásának technológiája vezet felületi egyenetlenségekhez.

12.3. Az acélalapanyagok gyártásából származó felületi eltérések

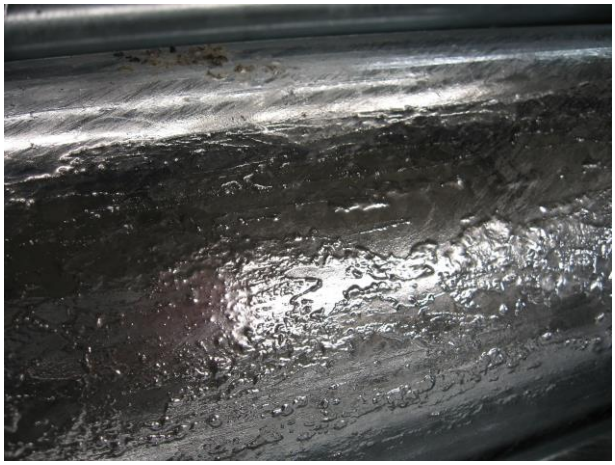
A gyakorlatban vannak olyan esetek is, amikor az acélszerkezet alapanyagának gyártási technológiája vezet ahhoz, hogy tűzihorganyzás után érzékelhetően érdes felületek alakulnak ki.

Az acélalapanyagok, féltermékek gyártásából származó felületi eltérések
A melegen hengerelt, vagy húzott (durvalemezek, melegen hengerelt lemezek, idomacélok és csövek), illetve a hidegen hengerelt, hajlított, sajtolt termékek alapanyagok gyártása során fellépő hatások a küllem szempontjából szintén fontosak lehetnek. Az acéltermékek felülete általában homogén, a felületi kéreg kémiai összetétele egyenletes. Ekkor várhatjuk azt, hogy a bevonat színe, vastagsága azonos lesz egy adott acélminőség esetében, és így egyenletesen homogén lesz a szerkezet megjelenése (77. kép). Azonban, ha tűzihorganyzás szempontjából eltérő acélminőségeket egyesítünk, akkor részenként azonos megjelenésű, de mégis eltérőek lesznek a bevonatok (78. kép) tulajdonságai (1. fejezet).

77. KÉP: Homogén, szürke bevonat

78. KÉP: Eltérő acélminőségek megjelenése

Természetesen, az eltérő színezettel rendelkező termékek egyaránt megfelelnek a bevonattal szemben támasztott korróziós követelményeknek. Az időjárás hatására bekövetkező felületi változások némileg csökkentik a színeltéréseket. Nem lehet elmenni szó nélkül az acélok felületi rétegében levő *kémiai összetétel* különbségek mellett (1. és 12.1. fejezetek). A ma már egyre ritkábban előforduló zavarok foltokban, vagy a teljes felületen megjelenő elváltozásokban jelennek meg, melyek jelentősen, vagy kevésbé eltérő vastagságú helyeket jelenhetnek a horganybevonatban (79. kép).



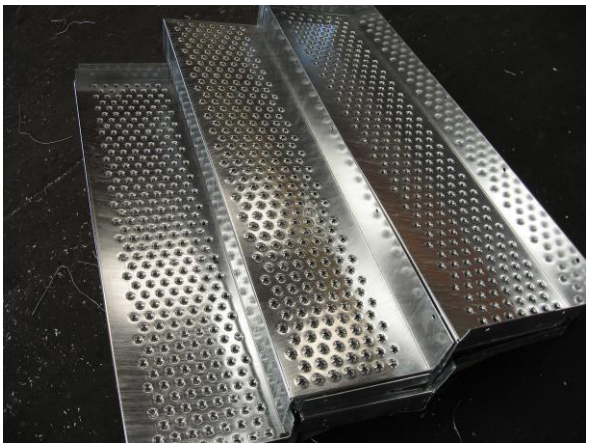
79. KÉP: Lokálisan durva, vastag bevonat

Az említett esetben a lokálisan gyorsabb ötvözetképződés miatt alakulnak ki a fenti felületi elváltozások. Itt kell megemlítenünk azokat a hibákat is, melyek a melegen, vagy hidegen történő hengerlés, húzás, hajlítás, egyéb alakítási művelet során létrejött felületi elváltozásokban jelennek meg. Ezek az alapanyag felhasználhatóságát tekintve, legtöbbször nem lényegesek, azonban a tűzihorganyzási technológia alatt mégis befolyásolhatják a képződő bevonat tulajdonságait. Általánosságban elmondható, hogy az acélszerkezetek alapanyagának gyártása során, a termékfelület ért mechanikai hatások, hibahelyek nyomai felismerhetőek lesznek a horganyzást követően is. Ilyen jelenségek a felületbe hengerelt *zárványok, pikkelyek, felszakadások, mélyedések,* stb. Ezek a horganybevonat létrehozása után sokszor csak egészen közelről, máskor már több méter távolságból is észlelhetőek (80-81. képek).

80.-81. KÉP: Az acélfelületek hengerlési hibái tűzihorganyzást követően is megmaradnak

Melegen hengerelt idomacélok, lemezek esetenként előforduló felületi hibája, hogy a gyártástechnológia során a felületbe hengerelt, de ahhoz nagyrészt nem kötődő fémlemezkék a tűzihorganyzási technológia során a fémfelszíntől részben elválnak és a bevonatból kiállva érdes, sokszor a kezet sértő felületet eredményeznek (82. kép). Ezek sokszor szabad szemmel is jól láthatóak.

82. KÉP: Az acélfelületből kiálló hengerlési hibák

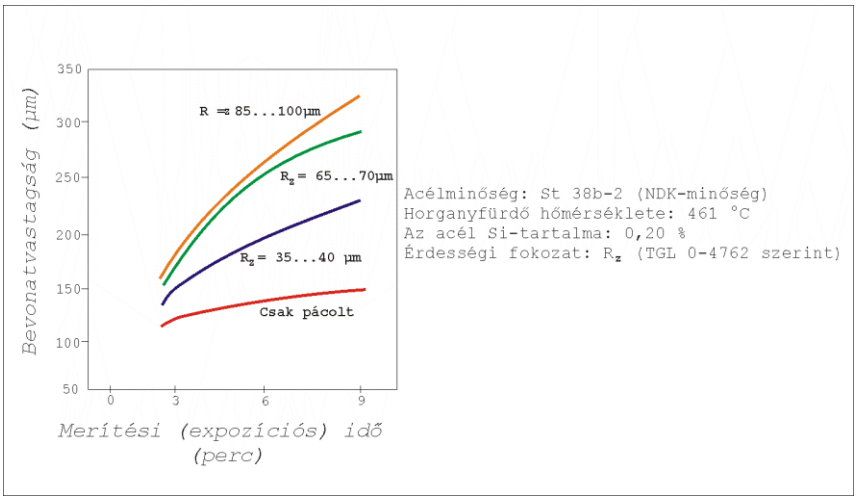


83. KÉP: Hidegen hengerelt termék fényes bevonata

Ha a megoldást keressük, akkor csak részben tudunk megnyugtató választ adni. Ugyanis a felületen keletkezett mélyebb lyukak, belehengerelt zárványok csak körülményesen (javítással) szüntethetők meg, míg a kiálló részecskék egy része szemcseszórással leválasztható. A

tűzihorganyzást megelőző pácolással csak a különféle oxidokat tudjuk eltávolítani, de komolyabb felületi eltérések „kiigazítására” ez nem alkalmas a módszer.
Hidegen hengerelt lemezalapanyagokból készített hajlított, sajtolt elemek bevonatának minősége szinte *minden esetben kitűnő*, amennyiben optimálisra választották az acélminőségeket (83. kép).

Általános tapasztalat, hogy minél érdesebb a felület, annál vastagabb lesz a kialakuló bevonat (a bevonat tömege is nagyobb), mely elméletileg is könnyen belátható. Több kísérletet is végeztek a kutatók az összefüggések feltárására, melyek általában igazolták, hogy amennyiben más meghatározó tényező nem játszott szerepet, akkor a felület érdességének hatása érzékelhető változást mutat a rétegvastagságban. A 49. ábra egy korábban elvégzett kísérletsorozat eredményeit foglalja össze.



49. ÁBRA: A felületi érdesség hatása a horganybevonat vastagságára, különböző expozíciós idők esetén [3]

Az ábrán szereplő acélminőség az egykori NDK (Német Demokratikus Köztársaság) szabványos előírásai között szerepelt. A kísérletek azt is mutatták, hogy a csak pácolt felületekhez képest jelentősnek mondható a vastagságkülönbség. Ezt a gyakorlati életben, sok esetben igyekeznek kihasználni, amikor egy előzetes szemcseszórás érzékelhetően növeli a horganyréteg vastagságát.

12.4. A helytelen konstrukció negatív hatásai

A tervezőasztalon vétett hibákat az acélszerkezet gyártása során csak a legritkább esetben lehet helyrehozni. A legfontosabb tervezési hibákat és következményeiket a 30. táblázat mutatja.

Tervezői hiba	Következmény
Aszimmetrikus termékkeresztmetszet	Káros mértékű deformációk
Technológiai nyílások hiánya	Légzsákok, horganyhiányos helyek, horganymaradványok, robbanásveszély
Túl kicsi, vagy nem megfelelő helyre elhelyezett technológiai nyílások	Horganyhiányok, megfolyások, túl vastag horganybevonat
Túl nagy vastagságkülönbségű lemezek összehegesztése	Káros mértékű deformációk a vékony lemezeken
Túl nagy termék befoglaló méret	Nem lehet horganyozni a terméket
Nem megfelelően kialakított átlapolások	Deformációk, robbanásveszély
Nem megfelelő felfüggesztési helyek	Termékdeformációk

30. TÁBLÁZAT: Fontosabb tervezői hibák és következményeik

A táblázatban szereplő hibák kiküszöbölésére vonatkozóan a 9. fejezet ad megfelelő tájékoztatást.

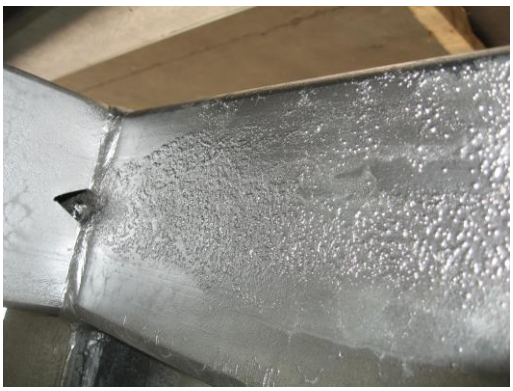
12.5. Acélszerkezet gyártás nem kívánatos hatásai

Helyes tervezés esetén, számos esetben előfordul, hogy az acélszerkezetek gyártása folyamán a gyártómű hibákat vét, melyeket a bevonást követően sok esetben ki kell javítani. Bizonyos hibák nyomtalanul már nem is javíthatók. A leggyakoribb gyártói hibákat és következményeiket a 31. táblázat mutatja.

Gyártói hiba	Következmény
Hibás hegesztések	Horganyhiányok, korróziós gócok
Szilikon-tartamú fröccsenésleválasztó spray használata	Horganyhiányos, fekete csíkok a hegesztési varratok mellett
Nagyon éles lézer-, vagy plazmavágott felületek	Sérülékeny bevonat a termék éleken
Termikusan vágott, le nem köszörült darabolási élek	Eltérő, sok szor kisebb bevonatvastagság, mint ami megengedett
Festékes, lakkos, bitumenes, ragasztós, stb. felületek	Horganyhiányok, korróziós gócok
Deformálódott termékek	Horganyzást követően további deformációk
Nem tiszta öntvényfelületek	Horganyréteg hiányok
Hengerlési hibák, megmunkálási sorják, szerszámnyomok	Nem egyenletes horganybevonat, feltűnő kiemelkedések, esetleg horganyhiányok
Le nem zárt hegesztési varratok	Utólagos kifolyások, korróziós nyomok
Erősen rozsdás (vakrozsdás) anyag alkalmazása	Nem esztétikus, esetleg horganyhiányos felület
Tűzihorganyzás szempontjából erősen eltérő acélminőségek összehegesztése	Erősen eltérő színű, simaságú és vastagságú horganybevonatok
Acélsörét szórás maradványai	Sarkokban, felületeken a bevonatba ágyazott szemcsék

31. TÁBLÁZAT: Fontosabb gyártói hibák és következményeik

A táblázatban említett hibák és káros következményeik elkerülése érdekében javasoljuk betartani az 3.-6., 9.,12.1.- 12.3. fejezetben foglaltakat.
De itt tartjuk fontosnak megemlíteni, hogy az acélszerkezetek gyártásakor alkalmazott acélsörétes felülettisztítás maradványait – még tűzihorganyzóba szállítás előtt- a gyártónak kell eltávolítani, mert a bevonatba épülve esztétikai hibához vezet (84. kép).



84. KÉP: Acélsörétek maradványai a bevonatban

13. TŰZIHORGANYZOTT TERMÉKEK KEZELÉSE ÉS MEGMUNKÁLÁSA

Mint tudjuk, a tűzihorganyzás elsődleges rendeltetése a korrózió elleni védelem. Emiatt kiemelten fontos szerepe van, hogy a horganybevonat épségét megőrizzük és felhasználás során csak ennek megfelelő hatások érjék. Ez azt jelenti, hogy a bevonat csak akkor tudja ellátni védelmi szerepét, ha annak folytonossága megmarad, illetve esetleges sérülése esetén, a bevonat hiányosságot szakszerűen javítsák ki. A tűzihorgany rétegnek kiválóak a korróziós és mechanikai tulajdonságai. Megfelelő a vastagsága, az acélalaphoz ötvözeti réteggel, kémiailag kapcsolódik, és erre az ötvözeti rétegre épül rá – optimális esetben – egy tiszta cinkből álló fémréteg. Az ötvözeti rétegek kemények és kopásállók, a rajtuk levő tiszta cinkréteg pedig, lágy és alakítható, így a kettő együtt kitűnő védőértéket kínál. Általános elv, hogy egy acélszerkezeten a szükséges megmunkálásokat (pl. fúrás, darabolás, hegesztés, hajlítás, stancolás, stb.) még *horganyzás előtt* kell végrehajtani annak érdekében, hogy a bevonat ne sérüljön meg. Léteznek azonban a gyakorlati életben olyan példák is, amikor a fentiektől mégis el kell térni. A cink (Zn) nem káros az egészségre, érintése, darabolása problémamentesen végrehajtható. Ehhez a 32. táblázatban foglaltakat célszerű figyelembe venni.

Biztonságtechnikai javaslatok tűzihorganyzott termékekkel történő munkavégzésnél	
	Tűzihorganyzott termékekkel történő munkavégzésnél, az esetleges sérülések elkerülése érdekében, megfelelő védőkesztyűt kell használni.
	Szállítás előtt, vagy a feldolgozás során, a horganycseppekre, horganytüskékre ügyelni kell, és szakszerűen el kell őket távolítani.
	Amennyiben az derül ki, hogy a termékek felületén rendszeresen horganytüskék, cseppek vannak, a problémáról konzultálni kell a horganyzóművel, annak érdekében, hogy a legkisebb ráfordítással és szakszerűen lehessen megszüntetni a hiba okokat.

32. TÁBLÁZAT: Fontos biztonságtechnikai előírások

Akkor, ha a már tűzihorganyzott elemeket további megmunkálásoknak vetik alá, figyelembe kell venni a bevonatok jellemzőit (olvadáspont, párolgáspont, fizikai jellemzők, kémiai tulajdonságok, stb.), s csak ezeknek megfelelően szabad végrehajtani az utólagos beavatkozásokat.

13.1. Tűzihorganyzott termékek helyes tárolása

További feldolgozásra, vagy szerelésre váró, tűzihorganyzott termékeket megfelelő módon kell tárolni. A *frissen bevont* munkadarabok esetében fennáll annak a veszélye, hogy a fémfelületekre nedvesség csapódik le. Ez önmagában nem jelent problémát, amennyiben a horganyzott felületek ciklikusan le tudnak száradni. Ellenkező esetben számolni kell az ún. *fehérrozsda* kialakulásának veszélyével. Ez pedig károsíthatja a védőréteget, illetve kockázatokat jelenthet a további felhasználás szempontjából (7. fejezet). Gyakorlati felhasználás során vannak olyan esetek, amikor a raktározott termékek olyan anyagokkal érintkeznek, melyek a bevonat elszíneződését, sőt korróziójának megindulását okozzák (85-86. képek).

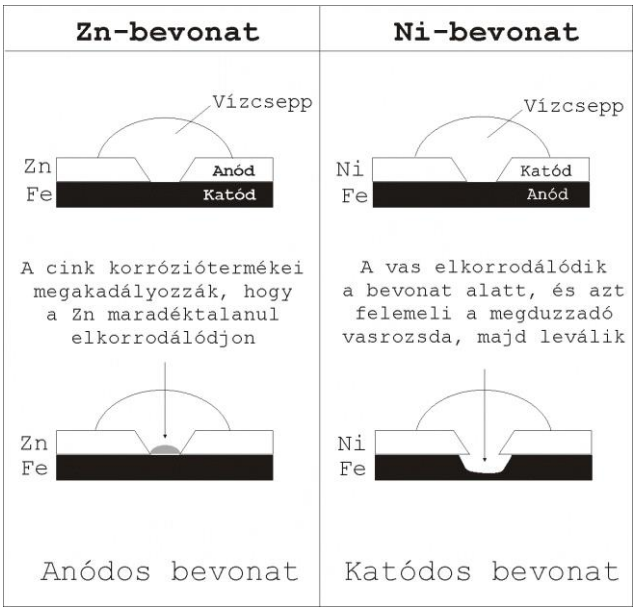
Helyes tárolásnál ügyelni kell arra, hogy a horganyzott termékek közé kellően tiszta felületű, önmagából savas anyagokat nem kibocsátó alátéteket, távtartó fákat használjanak. Erre legalkalmasabbak a tiszta, száraz, szabványos alátétfák.

85-86. KÉP: A rozsdás acélcső és a szennyezett alátétfa helytelen megoldás

13.2. Tűzihorganyzott termékek hidegalakítása

A darabárukat tűzihorganyzó vállalatoknál ritkán jelennek meg olyan lemeztermékek, melyeket bevonást követően még meg kell munkálni. A folytatólagos horganyzó sorokon bevont lemezek viszont kifejezetten alkalmasak az utólagos hajlításra, darabolásra. Az utólagos darabolások lehetségesek, de néhány szempontot itt is figyelembe kell venni.

Hajlítás, stancolás, vágás lehetőségei
Horganybevonatos termékek további alakítása ugyanúgy történik, mint a bevonat nélküli félkész termékeké, azzal a különbséggel, hogy itt minél jobban meg kell őrizni a horganyréteg épségét. Ezért csak a bevonat alakíthatóságának megfelelően nagy sugárban szabad csak hajlítani a darabokat. Ehhez kellő tapasztalat szükséges. Azonban minden esetben számolni kell a rétegsérülések, leválások kockázatával. A bevonat alakíthatósága elsősorban a védőréteg szerkezetétől, tiszta cink/ötvözeti fázisok arányától és vastagságától függ. Mivel *darabáru tűzihorganyzásnál* a képződő rétegek általában vastagabbak (50-150 μm) és bennük jelentős arányban vannak jelen a vas-cink ötvözeti fázisok, ezért alakíthatóságuk erősen korlátozott.
Az alakított, vagy vágott éleken a horganyréteg minimális mértékben deformálódik, sérül, azonban a cink *katódos védőhatása* miatt – bizonyos sérülés szélességig - nem lép fel a vas szokásos korróziója. A cink katódos védőhatása annak köszönhető, hogy a vasfelületen levő cinkréteg sérülése esetén a cink áldozati anódként védi a vasat a sérülés helyén, azáltal, hogy korrodálódik, és korróziótermékei eltömítik a kisméretű karcolásokat, repedéseket (50. ábra).



50. ÁBRA: Anódos és katódos bevonat

A magyarázat abban rejlik, hogy a fémek ún. *normálpotenciál sorában* (33. táblázat) a cink kevésbé nemes (a hidrogénhez képest negatívabb töltésű), mint a vas, és emiatt elektrokémiai reakciókban (korróziós cellában), anódként viselkedve, Zn-ionok formájában (pl. hidroxid) oldatba megy, míg a vason játszódnak le a katódos, redukciós folyamatok (pl. hidrogén-fejlődés).

Fém	Normálpotenciál (mV)
Cink	-763
Króm	-710
Vas	-440
Nikkel	-250
Ón	-136
Ólom	-126
Hidrogén	± 0
Réz	+340
Ezüst	+799
Arany	+1500

33. TÁBLÁZAT: A fémek normálpotenciál sora

A katódos védelem hatásterülete függ a korróziós körülményektől (hőmérséklet, az elektrolit elektromos vezetése, stb.), erre pontos értéket nem lehet megadni. A gyakorlatban 2-3 mm-ig általában biztos védelmet nyújt a vasnak, a védőhatás annál erősebb, minél jobb az elektrolit áramvezető képessége. Erre jó példa, hogy a katódos védelem (védelmi rádiusz) desztillált, vagy kondenzvízben kisebb, mint 1 mm. Agresszívebb klímában jobb a katódos védelem hatása, amennyiben a védőréteg (cinkpatina) még csak kevéssé fejlődött ki, azaz oldódni tud a horgany [19]. Évtizedes tapasztalatok azt mutatják, hogy tűzihorganyzott lemezeknél (v: 0,65 – 1,25 mm) szinte egyáltalán nem látható korrózió a vágási éleken. Ennek oka a katódos védőhatás, illetve, hogy vágáskor a lágy horganybevonat „elkenődik” a vágott élen. A felhasználók szerint, akik tűzihorganyzott és festett finomlemezekkel dolgoznak, a katódos védelem 1-2 mm távolságban biztosan hat. Vastagabb lemezeknél a vágási felületen – az első időben – esetleg enyhén vöröses-barna elszíneződés látható, amely csak és minimális, felületi

vas-korróziót mutat. 87. képünk egy 1,5 mm vastag 20x20 mm-es tűzihorganyzott zártszelvény vágási éleit mutatják 1-10-15 év elmúltával, kültéri hatásoknál. Ezek a képek hitelesen bizonyítják a katódos védelem működését, a vöröses elszíneződés is eltűnt a felületről.

87. KÉP: Ugyanaz a vágási felület 1-10-15 év után

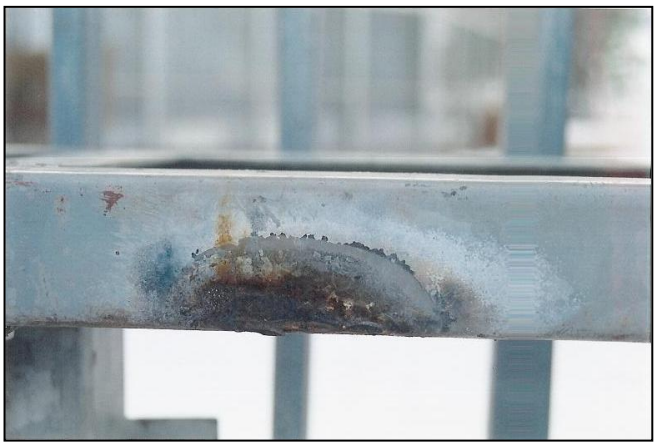
Vastagabb lemezeknél (v>3 mm) azonban célszerű a vágási éleket szakszerűen javítani, pl. előírt minőségű festékkel bevonni.

13.3. Tűzihorganyzott termékek melegalakítása

Amennyiben a tűzihorganyzott felületet melegítjük, akkor kb. 200 ˚C-ig változásmentesen, nagyon hosszú időn át képesek a hőhatásokat elviselni. Korlátozott ideig még 200-300 ˚C fok közötti hőmérsékleten is ellenállóak. E felett azonban hőállóságukat elvesztve megindul a bevonat károsodása, rétegközi szétválása. A cink olvadáspontja 419 ˚C, illetve 907 ˚C-on elpárolog, a vas-cink ötvözeti fázisoknak ugyan ennél magasabb az olvadási pontja (600-700 °C), ám 300 °C felett a horganyréteg szerkezetében már olyan kedvezőtlen változások lépnek fel, hogy szétválnak (88. kép). Ennek a fő oka, hogy 200 ˚C felett a horganybevonatban termodiffúziós folyamatok indulnak meg, melyek tartós hőhatás esetén, jelentős feszültségeket indukálnak a bevonat szerkezetében (*Kirkendall-hatás*).

88. KÉP: Szétvált horganyréteg

Mivel melegalakításkor (pl. lángvágáskor) a szerkezetet érő hőhatások mértéke jelentősen meghaladja a fentebb említett hőmérséklethatárokat, ezért számolni kell azzal, hogy a bevonatok sérülni fognak, és fehéres színű cink-oxid képződése mellett leégnek (89. kép).



89. KÉP: Leégett horganybevonat

A sérülések helyeit a szabványban (MSZ EN ISO 1461) rögzített módon javítani kell, annak érdekében, hogy a korrózióállóságot megfelelő módon helyreállítsuk.

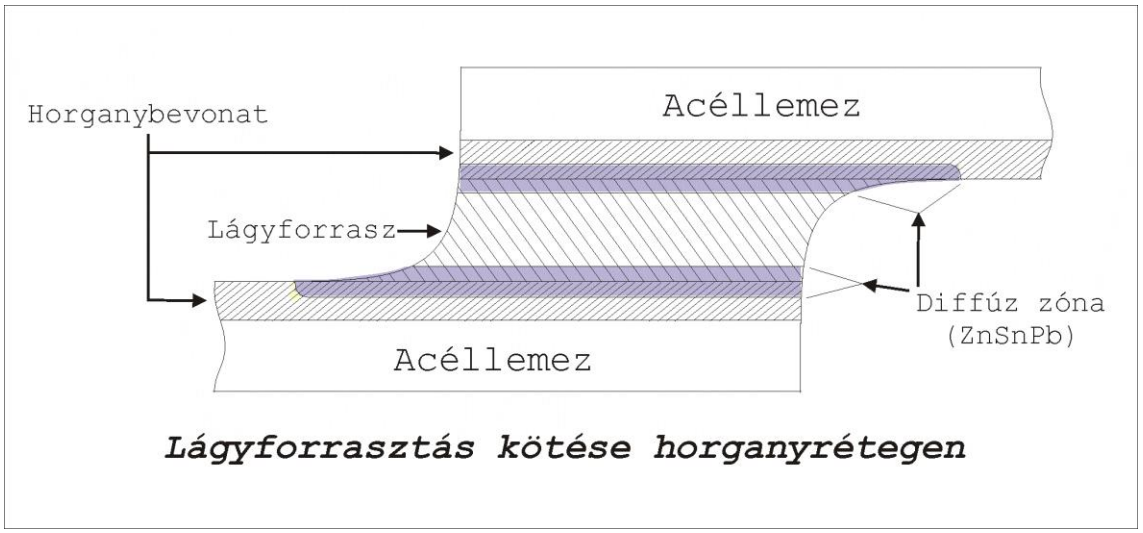
13.4. Tűzihorganyzott termékek lágy-, és keményforrasztása

A különféle forrasztási eljárások, mint javítási, vagy mint oldhatatlan kötési módok alkalmasak a tűzihorganyzott termékek esetében is. A hibahelyek javításán túlmenően, azonban lehetséges a horganyzott alkatrészek, lemezek forrasztással történő egyesítése is. A kemény, vagy más néven magas hőmérsékletű forrasztás (950 ˚C felett) lényegesen szilárdabb kötést biztosítanak, mint a lágyforrasztás.

Lágyforrasztás lehetőségei
A forraszanyagok túlnyomórészt ón-ólom, ón-réz, és ón-ezüst ötvözetek. A forrasztás munkahőmérséklete relatíve alacsony (183-250 ˚C), melyet gázláng (pl. propán), vagy elektromosság segítségével érnek el (EN 29453). A lágyforrasztásnak a tűzihorganyzott lemeztermékek, de az elektrolitikusan horganyzott termékek esetében is számos előnye van.
Legfontosabb előnyök:

- Alacsony hőmérsékleten folyik a forrasztás (max. 300 ˚C-ig)
- Gyors forrasztási sebességet lehet elérni
- Nem vetemedik el a munkadarab
- Könnyű megmunkálás

A forrasztás következtében a forraszanyag és a horganyréteg határán *interkrisztallit diffúz zóna* [20] alakul ki, mely stabil, kohéziós kötést biztosít (51. ábra).



51. ÁBRA: A lágyforrasztás kapcsolata a horganybevonattal [20]

A kialakult diffúz zóna (pl. Zn-Sn-Pb ötvözet) és a horganybevonat egyaránt kiváló korrózióvédelmet biztosít. A jó forrasztás előfeltétele, a fémtiszta és zsírtalanított horganyfelületek. A forrasztási hőmérsékletet a horgany olvadáspontja (419 ˚C) alatt kell meghatározni. A forraszanyag minőségét a megkívánt kötéserősségnek megfelelően kell kiválasztani. Megfelelőek az EN 29453 szabvány szerint megválasztott ón-ólom ötvözetek, 60% Sn és 40% Pb (S-Sn60Pb40). Előnyben részesíthető még a S-Pb60Sn40, illetve S-Pb58Sn40Sb2, vagy a S-Pb50Sn50 minőségek. Az antimonszegény ötvözeteket szerencsés alkalmazni, mert a magasabb antimon-tartalmú lágyforraszok a kötés felkeményedését okozzák [20]. Forrasztásnál felhasznált forrasztó anyagok elektrokémiai potenciáljukat tekintve különbözően nemes anyagok, a tapasztalatok szerint az ún. kontakt-korrózió jelenségével, a kedvező felületarányok (nagyfelületű anód, kisfelületű katód) miatt nem kell számolni.

Keményforrasztás lehetőségei

Keményforrasztással elérhető kötési szilárdság lényegesen meghaladja a lágyforrasztását. A keményforrasztás technikai színvonala már olyan magas, hogy egyre több helyen kiszorítja az eddig megszokott hegesztési technikákat is. Példaként említhető, hogy egy S235 szilárdságú acéllemez forrasztásánál, hasonló kötéserősséget lehet elérni, mint egy korszerű hegesztési technikával. Ugyanakkor a keményforrasztás gyakran sokkal gazdaságosabb is, mint a hegesztés, mert a forrasztási sebesség lényegesen meghaladja a hegesztését, illetve kevesebb utómunkálatot igényelnek. Emellett a forrasztásnál alkalmazott hőbevitel lényegesen alacsonyabb, ezáltal kisebb a káros deformációk előfordulásának veszélye. Tűzihorganyzott lemeztermékek hagyományos hegesztésénél, mivel a hegesztés hőmérséklete meghaladja a cink párolgási pontjának értékét (907˚C), a hőhatás zónájában a bevonat elég, emiatt javításra szorul. Ezzel ellentétben keményforrasztásnál már olyan technikák vannak, melyeknél a horganyréteg sérülése, korróziós képességeinek csökkenése nélkül végre lehet hajtani a forrasztást. Ugyanis a cink a hőhatás zónájában megolvad, majd a forrasztást biztosító gázláng továbbhaladása után visszafolyik a forrasztott felületre, és ismét kialakul egy védőbevonat, amely kifogástalan védelmet nyújt. A cink oxidációjának megakadályozása érdekében megfelelő folyató adalékokat (flux) alkalmaznak. A forrasztó ötvözet itt is *diffúz réteggel* kapcsolódik a fémalaphoz, és szilárdsága meghaladja az alapanyagét [20].

A gyakorlati tapasztalatok alapján, a rézbázisú forrasztóanyagok kiválóan alkalmasak a horganyzott felületek forrasztására, ugyanis a megolvadó, de el nem párolgó cinkkel ötvözetet alkot (bronz) és kiváló védelmet nyújt. A forrasztott kötés szerkezete átmenetben, a bronztól a tiszta rézig terjed. A forrasztáshoz ajánlott például a CuSi3 (3% Si-tartalom) forrasztó anyag. A *kontakt-korrózió* a kedvező felületarányok miatt (kis katód, nagy anód) – a gyakorlati tapasztalatok szerint – nem jelent veszélyt, annak ellenére sem, hogy a kötés anyaga (a katód) lényegesen nemesebb fém, mint a cink. A forrasztáshoz kiváló, sokcélú eljárások, berendezések léteznek (pl. argon védőgázos MIG/MAG ívforrasztó eljárás) [21].
A kivitelezésre többféle eljárást alkalmaznak:

- Keményforrasztás lánggal.
- Keményforrasztás indukciós eljárással.
- Keményforrasztás elektromos ív segítségével.

Fontos, a témához kapcsolódó szabványok: EN 1044, EN 1045, EN 29454, DIN 8513.

13.5. Tűzihorganyzott termékek fúrása és köszörülése

A fontos tervezési szempontok egyike, hogy az acélszerkezet szereléshez szükséges furásokat és egyéb forgácsolással járó megmunkálásokat már *tűzihorganyzás előtt* el kell végezni. Gyakorlati felhasználáskor azonban néha előfordulnak olyan esetek, amikor például az előre elkészített furatokat nagyobbra kell fúrni, vagy éppen a hiányzó lyukakat kell pótolni. Ilyenkor fokozottan kell ügyelni arra, hogy a *fúrások* során keletkezett fémforgácsokat maradéktalanul eltávolítsák a horganyfelületről, mert ha nedvességgel érintkeznek, csúnya vörös rozsdafoltokat fognak eredményezni (90-91. képek).

90-91. KÉP: Fúrásból származó forgácsok korróziója (idegen rozsda)

Fúrásokkal okozott bevonatsérüléseket megfelelő festékbevonattal helyre kell állítani. Ugyanaz vonatkozik a hegesztő elektródák maradványaira is, melyektől meg kell tisztítani a felületeket. Az ún. *idegen rozsda* utólagosan kefézéssel (erős szálú műanyag kefével- acél és rézszálú kefe nem ajánlott) eltávolítható. Hosszabb idő, 2-3 hónap után azonban már nehezen, vagy egyáltalán nem tüntethető el a rozsda nyoma. Horganyzott szerkezeteken utólagosan már nem ajánlott *köszörüléseket* végezni, mert fennáll a bevonat sérülésének veszélye. Olyan esetekben, amikor ez elengedhetetlen, gondoskodni kell arról, hogy a köszörülésből származó szikrák, olvadt fémcseppek ne kerülhessenek a horganyrétegre. Ugyanis a nagy sebességgel

érkező és forró fém, vagy egyéb szemcse belesül a bevonatba és ott barnásvörös korróziós nyomokat hagy (92. kép).

92-93. KÉP: Horganyfelületbe égett fémszemcsék és elköszörült horganyréteg korróziója

Ugyanez vonatkozik a horganyzott szerkezetek mellett történő hegesztés, vagy lánggal történő darabolás műveleteire is. Az ilyen, a felületbe ágyazódott szemcsék eltávolítása már körülményes, és mindenképpen rontani fogja a bevonat esztétikai értékét. Ennél még súlyosabb károkat okozhat a nem kellő elővigyázatossággal végzett köszörülés, mely teljes mértékben lerontja a kérdéses szerkezeti elem minőségét (93. kép).

13.6. Tűzihorganyzott termékek termikus vágása

A már tűzihorganyzott acélszerkezetek utólagosan elvégzett termikus darabolását nem ajánljuk, mert a bevonat a hőhatási övezetben leég. A termikus darabolás során, ahol a vágási hőmérséklet meghaladja a horgany párolgási hőfokát (907 ˚C), ott elég a cink. Természetesen vannak olyan eljárások, melyeknél ez a károsodás kisebb mértékű (pl. plazmavágás, lézervágás), más esetekben nagyobb (autogén berendezéssel történő vágás).
Amennyiben elkerülhetetlen a horganyzott elemek utólagos darabolása, az alábbiakat célszerű betartani:

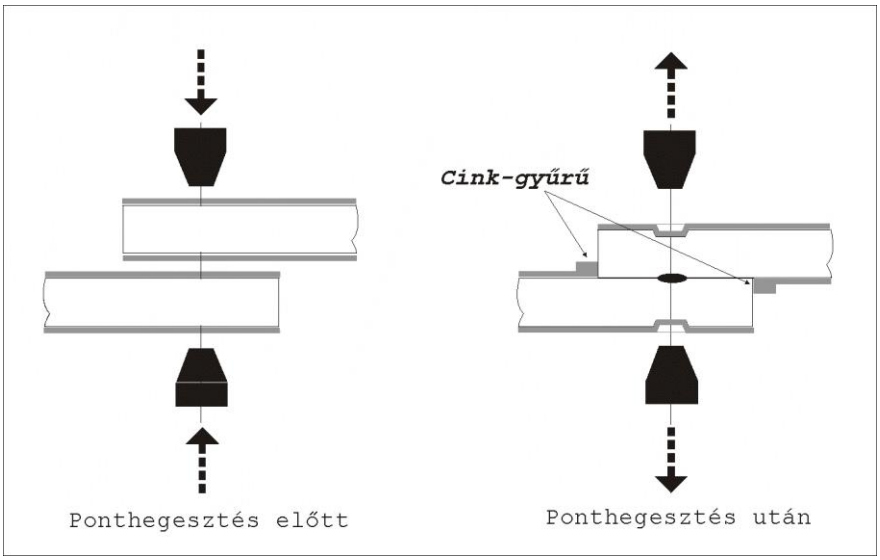
- Vékonyabb lemezeknél termikus vágás helyett, meg kell fontolni a hidegen történő darabolás lehetőségét, illetve az autogénnel történő darabolás helyett, más fejlettebb technológiát (lézer, plazma) alkalmazzanak.
- Minél több hőt viszünk be a vágás során, annál nagyobb mértékű lesz a bevonat sérülése, illetve az esetleges maradó alakváltozás.
- Termikus daraboláskor keletkező folyékony salak-, illetve fémcseppektől a horganyzott felületet hőálló takarással kell védeni annak érdekében, hogy a cseppek a bevonatra kerülve ne ágyazódjanak be, ne maradjanak korróziós gócok a felületen.
- Vágás során, a horgany cink-oxid formájában, fehéres füsttel a légtérbe eltávozik. Ez a füst belélegezve ún. fémgőz lázat okozhat. Ennek influenzaszerű tünetei vannak, mely 1-2 nap alatt tünetmentesen elmúlik. Vágásnál azonban megfelelő szellőztetésről, vagy helyi elszívásról kell gondoskodni. Fémgőz láz gyanúja esetén azonnal orvoshoz kell fordulni.

13.7. Tűzihorganyzott termékek hegesztése

Nagyméretű acélszerkezetek terjedésének megfelelően sokszor igény van a tűzihorganyzott acélszerkezetek helyszíni hegesztésére, mely nem jelent különösebb problémát. A sérült bevonatrészek javításához korszerű megoldások állnak rendelkezésre. A javítási technológiákra vonatkozóan a 9.9. fejezet ad részletes tájékoztatást.

A tűzihorganyzott felületű lemeztermékek fontos felhasználási területein, elsősorban az autói-, építő, de az elektronikai iparágakban is egyre nagyobb mennyiségben használnak fel folyamatos gyártósorokon gyártott tűzihorganyzott lemezeket. A préselt, vagy éppen mélyhúzott horganyzott elemek hegesztését korszerű eljárásokkal végzik. A hegesztések végrehajtása után a bevonat védőértéke érdemben nem változik.

Horganyzott lemezek ponthegesztése
A tűzihorganyzott vékonylemezek *kiválóan ponthegeszthetők*. Az autókarosszériák lemezei esetén a jelentős autógyáraknál, már többtíz éve sikerrel alkalmazzák a horganyzott lemezekből összeállított elemeket (ajtók, vázelemek, stb.). Felületvédelem nélküli, hidegen hengerelt, nyers karosszérialemezek esetében, az összehegesztett lemezperemek között erős korrózió indul meg, mert a felületek közötti rést utólag lehetetlen tökéletesen konzerválni, védeni az elektrokémiai korrózió ellen. Míg a mindkét oldalon horganyzott lemezek esetében, a hegesztési nyomás közben körben kinyomódó olvadt cink, a hegesztési lencse körül egy „cinkgyűrűt” képez, mely kiválóan védi az összefekvő felületeket a korróziótól (52. ábra).



52. ÁBRA: Ponthegesztett kapcsolat horganyzott lemez esetében

A lemez vágási élei, a felületeken keletkezett kisebb sérülések, karcolások, pedig minden esetben katódosan védettek lesznek (13.2. fejezet). Az így előállított karosszéria elemekre akár 12 éves átrozsdásodás elleni garanciát is vállalnak az autógyárak. Miután a horganyzott elemeket még több rétegben festik, lakkozzák, ennél is jóval hosszabb időn át biztosítanak védelmet az acélnak (duplex-védelem).

Horganyzott elemek lézerhegesztése
Tűzihorganyzott lemezekből összeállított termékeknél nemcsak ponthegesztett kötésekre, hanem hosszabb hegesztési kapcsolatokra is szükség van. Ilyenkor, az autóiparban is széles

körben alkalmazzák a lézerhegesztést (Nd:YAG, CO_2-lézer). Ennek a hegesztési eljárásnak egyik nagy előnye a varratzónába történő lokális és minimális a hőbevitel, emiatt a horganyréteg sérülése is minimális lesz. Például 0,8 mm vastag horganyzott lemez esetében a bevonat sérülése kisebb, mint 1 mm szélességű sávban van, mely helyeken a cink *katódos védőhatása* tökéletesen érvényesül. További nagy előnye az eljárásnak, hogy az így kialakított hegesztési kötések nagyszilárdságúak és kiválóan alakíthatóak, sőt mélyhúzhatók is.

13.8. Horganyfelületek javítása

Mivel a tűzihorganyzás fémolvadékban történik, ezért a fémfürdőből történő kiemelés során a folyékony fém rövid időn belül megdermed és némileg vastagabb lesz az anyag keresztmetszete.

Egymáson elmozduló, elforgó felületek
Általános szabály, hogy egymáson elforgó, elcsúszó elemek (sarokpántok, tolózárak, stb.) esetében, az elemeket egymástól *külön-külön kell tűzihorganyozni*, majd ezután összeszerelni. Ilyenkor számolni kell a horganybevonat (általában oldalanként 50 – 150 μm) okozta anyagvastagság növekedéssel. Ugyanez vonatkozik a retesz és ékpályákkal ellátott acélszerkezetekre is. Ha valamilyen oknál fogva az egymáson elmozgó, elcsúszó felületeket tartalmazó szerkezetet nem lehet szétszerelni, akkor a folyékony horgany megszilárdulása után összeforraszthatja az egyes darabokat (94. kép).

94. KÉP: Tolózár

Ilyen esetben, csak a fém újbóli megolvasztásával lehet ismét működésbe hozni a szerkezetet. Megfelelően finom gázlánggal (dissous-gáz), folyamatos mozgatás mellett úgy kell kiolvasztani a bedermedt horganyt, hogy az ne gyulladjon meg, majd kefézéssel a felesleget el kell távolítani a felületekről. Ez a munka megfelelő hozzáértést igénylő feladat, de hibamentesen végrehajtható.

Menetes orsók, anyák
Több esetben előfordul, hogy az egyedi szerkezetek, vagy speciális, nagyméretű menetekkel (92-93. képek) ellátott rudakat (pl. lehorgonyzó csavarokat), esetleg a hozzájuk tartozó anyákat kell hagyományos, normál hőmérsékletű eljárással horganyozni. A MSZ EN ISO 1461: 2009 szabvány csak általános követelményeket tartalmaz, a kötőelemekre speciális szabvány létezik (EN 10 684:2004). Amennyiben a menetes részek olyanok, hogy nem

feleltethetőek meg a fenti előírásnak, akkor a szerződő feleknek a bevonatra vonatkozó jellemzőkben (rétegvastagság) meg lehet állapodni. Menetes részek tűzihorganyzása után, a menetközökben maradt felesleges horganyt gázlánggal ki lehet olvasztani úgy, hogy a horgany ne gyulladjon meg. A keményszálú drótkefével történő kikefélés után tisztán vas-cink ötvözetű horganybevonat marad a menetek felületein, melynek védőképessége azonos a tiszta horganyéval.

95-96. KÉP: Tűzihorganyzott kengyelek és csavarok (az anyákba utólag fúrják a menetet)

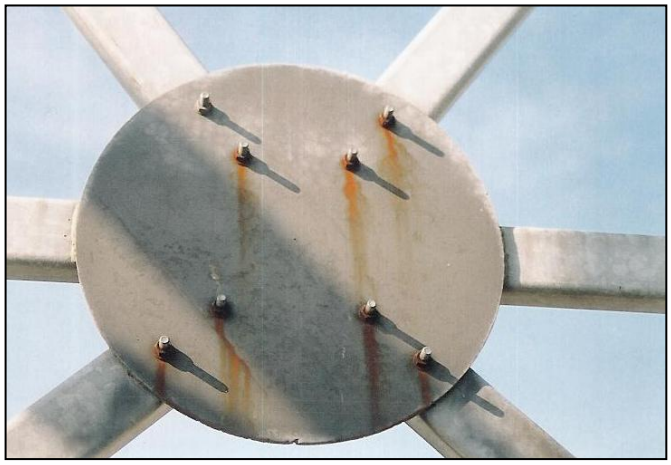
Akkor, ha nem szükséges az acélszerkezeten levő menetek tűzihorganyzása, *speciális festékek, bevonó anyagok, szalagok* alkalmazásával el lehet érni, hogy ne alakuljon ki bevonat a menetes helyeken. Erről a tűzihorganyzó üzemek nyújtanak megfelelő tájékoztatást (97-98. képek).

97-98. KÉP: Külső belső menetes részek védelme

Horganyzást követően a felületen maradt kokszosodott anyagmaradványokat kefézéssel, vagy menetfúrással el lehet távolítani, majd a menetet olajozni kell.

Bevonat nélküli kötőelemek okozta minőségi hibák javítása

Ha a tűzihorganyzott acélszerkezetek összeszerelésénél azt a hibát követik el, hogy bevonat nélküli (nyers) csavarokat használnak fel, rövid időn belül rozsdacsíkok alakulnak ki (99. kép).



99. KÉP: Bevonat nélküli csavaranyák alkalmazásának végeredménye

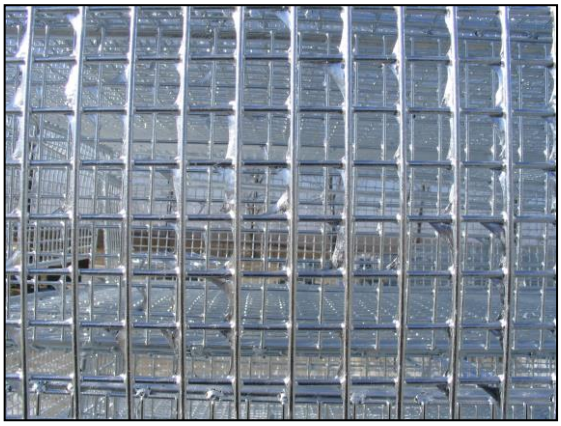
Ezekben az esetekben a kötőelemeket tűzihorganyzott kötőelemekre kell kicserélni. Ugyanez a jelenség tapasztalható akkor is, ha szerkezeteinkhez nem tűzihorganyzott, hanem galvanizált kötőelemeket használnak, melyeknél a védőréteg vastagsága általában túl kicsi, legtöbbször csupán 5-10 μm (100. kép).

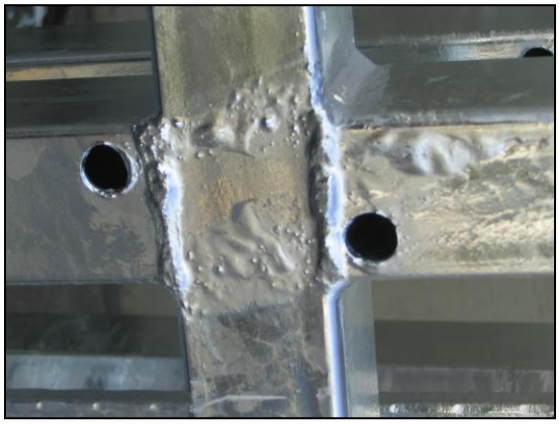
100. KÉP: Galvanizált kötőelemek rozsdásodása

Galvanizált kötőelemek inkább csak beltéri felhasználásra, vagy kültérre csak pótlólagos korrózióvédelemmel (pl. átfestéssel) ellátva ajánlhatóak.

Horgany megfolyások cseppek eltávolítása

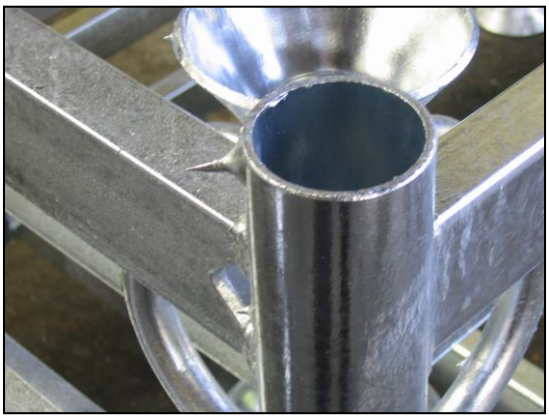
A tűzihorganyzás termikus eljárás, melynél a fémolvadékba merített darabokat kiemelik a fémfürdőből. Eközben esetenként a tárgyak sarkain, élein kisebb-nagyobb felvastagodások, cseppek, hártyák maradhatnak. Ezek az acélszerkezet korrózióállóságát ugyan nem befolyásolják, de a felhasználást zavarhatják (100-101. képek).





100-101. KÉP: A vékony hártyák és megfolyások nem mindig akadályozzák a felhasználást

Lehetséges, hogy a horganyzó üzem figyelmetlenségéből, vagy a termék konstrukciójából adódóan éles tüskék maradnak a sarkokon. Ezek balesetveszélyesek, és még a tűzihorganyzóban el kell őket távolítani (102-103. képek).



102- 103. KÉP: A hegyes tüskék balesetveszélyesek, el kell őket távolítani

Az ilyen cseppek, tüskék, zavaró megfolyások megszüntetése többféle módon történhet.
Óvatos *reszeléssel, vagy csiszolással* lehet eltávolítani a zavaró csúcsokat. Ügyelni kell arra, hogy a javítás után az előírt bevonatvastagság megmaradjon, ellenkező esetben festéssel kell kijavítani a sérülést (104. kép).

104. KÉP: A túlreszelt bevonatot ismét javítani kell

Szintén megoldást jelenthet a már nagyobb felkészültséget igénylő, *gázlánggal* történő leolvasztás, amikor az óvatosan megolvasztott cseppeket fémkefével, vagy spatula segítségével, könnyen le lehet tisztítani a felületektől. Minden esetben a piaci igények határozzák meg, hogy mely felületek minősülnek a termék funkciójából adódó lényeges felületeknek, melyeknél különös gondossággal kell eljárni.

Salakfeltapadások eltávolítása

A tűzihorganyzásra vonatkozó szabvány a felületen nem engedi meg a horganyzói technológiából származó salakfeltapadásokat, mert azok klorid-tartalmúak, így erős korróziót okoznak.

105. KÉP: Horganyzói salak, hamu nem megengedett

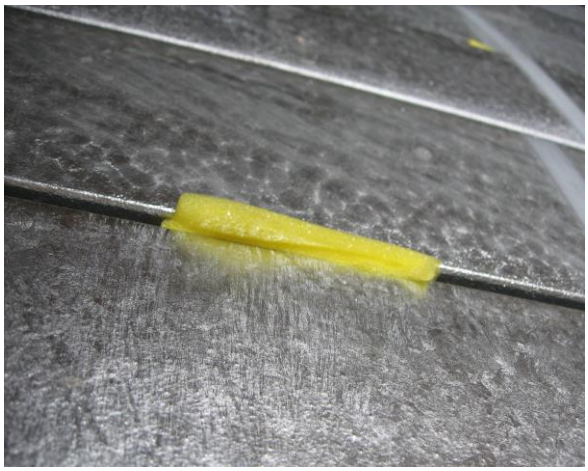
A salakfeltapadásokat már a tűzihorganyzóban kell eltávolítani, helyüket tisztítani és szükség esetén kijavítani. Ugyanis a salak, hamu erősen higroszkopikus és a légnedvességet magába szívva, sokszorosára növekszik, szétterül, majd korróziós gócként károsítja a horganyfelületet (105. kép). Az ilyen hibahelyek javításakor a salak, hamu maradéktalan eltávolítása után, fémtiszta felületet kell elérni, melyet bő tiszta vízzel le kell öblíteni, ezután száradni kell hagyni. Amennyiben a salakfeltapadás alatt a bevonat megsérült, vagy hiányos, akkor az MSZ EN ISO 1461:2009 szabvány 6.3 pontja szerint leírt javítási módokat lehet választani. Javítás történhet termikus cinkszórással, alkalmas cinkpor dús festékkel, vagy cinkötvözetű forrasztással.

Bevonathiányok megelőzése tűzihorganyzott acélszerkezetek szerelése esetén

Az acélszerkezetek felszerelése után a megrendelő részére, csak kifogástalan minőségű horganybevonattal szabad átadni az acélszerkezetet. A horganybevonat sajátos tulajdonságaival összhangban kell megválasztani a szerelésekhez felhasznált eszközöket és módszereket (106. kép).

106. KÉP: Tűzihorganyzott acélszerkezetek emelése műanyag hevederek segítségével

Különösen igaz ez a nagytömegű, nagytérfogatú, vagy nehezen mozgatható, sérülékeny acélszerkezeti elemekre. Bevonatos acélszerkezeteket - élvédők alkalmazása nélkül - nem ajánlatos acélsodrony kötéllel, vagy lánccal átkötni. Szerencsésebb a megfelelő szilárdságú *műanyag hevederek, műanyag kötelek* alkalmazása, illetőleg olyan emelőeszköz felhasználása, mely nem sérti meg a bevonatot. Amennyiben közvetlenül tűzihorganyzás után történik a nagykeresztmetszetű acélszerkezeti elemek emelése, vigyázni kell arra, hogy a műanyag emelőeszközök a hőtől ne károsodjanak. Sérülés veszélyének különösen az acélelemek élei, sarkai vannak kitéve, ezért az emeléshez élvédő papucsok használata ajánlott. Tűzihorganyzott elemek tárolásánál is a műanyag sarok(él)védők (107. kép) használata előnyös. Amennyiben a bevonat mégis megsérült, az előírt javítási módszereket kell alkalmazni.



107-108. KÉP: Műanyag sarokvédők és távtartók használata

Tűzihorganyzott termékek csomagolásánál, tárolásánál alkalmas megoldás a műanyag szalagok, mint védőanyagok használata (108. kép).

A bevonathiányok javításának lehetőségei

Az MSZ EN ISO 1461:2009 szabvány szabályozza a horganybevonatok hibahelyeinek nagyságát, javításának módjait. A fenti előírás szerint, a kijavítandó bevonat nélküli összes terület nem haladhatja meg az alkatrész teljes felületének 0,5 %-át. Ugyanakkor egyetlen javítandó bevonat nélküli terület sem lehet több mint 10 cm^2. Ha a bevonat nélküli területek ennél nagyobbak, akkor az alkatrészt újra kell horganyozni, amennyiben erről más megállapodás nincs a felek között. A tűzihorgany bevonatok nem csak korrózióállóak, de nagyon jó mechanikai tulajdonságokkal is rendelkeznek. E tulajdonsága miatt is egyre közkedveltebb, mert a festési eljárásoknál igen gyakoriak a bevonati sérülések, melyeket a helyszínen kell kijavítani. A horganybevonat jó ellenálló képessége dacára, mégis előfordulhatnak kisebb felületi sérülések, vagy éppen szándékos beavatkozások (utólagos hegesztés, darabolás, stb.), melyek miatt megsérül a fémbevonat. Az ilyen sérüléseket a szakelőírások szerint ki kell javítani, azaz helyre kell állítani a sérült hely korrózióvédelmi képességét. A sérülések kijavítására vonatkozóan az MSZ EN ISO: 1461: 2009 szabvány ad útmutatásokat (10.1. fejezet), de természetesen erről a szerződő felek is megállapodhatnak különleges javítási módokban.

14. TŰZIHORGANYZÁS GAZDASÁGOSSÁGA

14.1. A költségek tervezéséről általában

Amikor egy létesítmény tervezési időszakában gazdasági elemzéseket kell végezni, fontos, hogy a teljes üzemelési ciklust (létesítmény életciklusa) átfogó, előre tervezhető valamennyi pénzmozgást figyelembe vegyük. Ez azt jelenti, hogy egy acélszerkezet esetében nemcsak az első beruházás költségeit, hanem a sokszor ismétlődő fenntartási, felújítási költségeket, sőt ma már a lebontás utáni hulladék elhelyezés vonzataival is számolni kell. Amennyiben az üzemelés alatti kifizetésekkel nem számolnak, könnyen túlbecsülik a várható profiteredményeket. Ahhoz, hogy megfelelő korrózió elleni védelmi technikát tudjunk kiválasztani, van néhány fontos szempont, melyek az optimális korrózió elleni védelmi eljárás kiválasztásakor mindenhol érvényesek (34. táblázat).

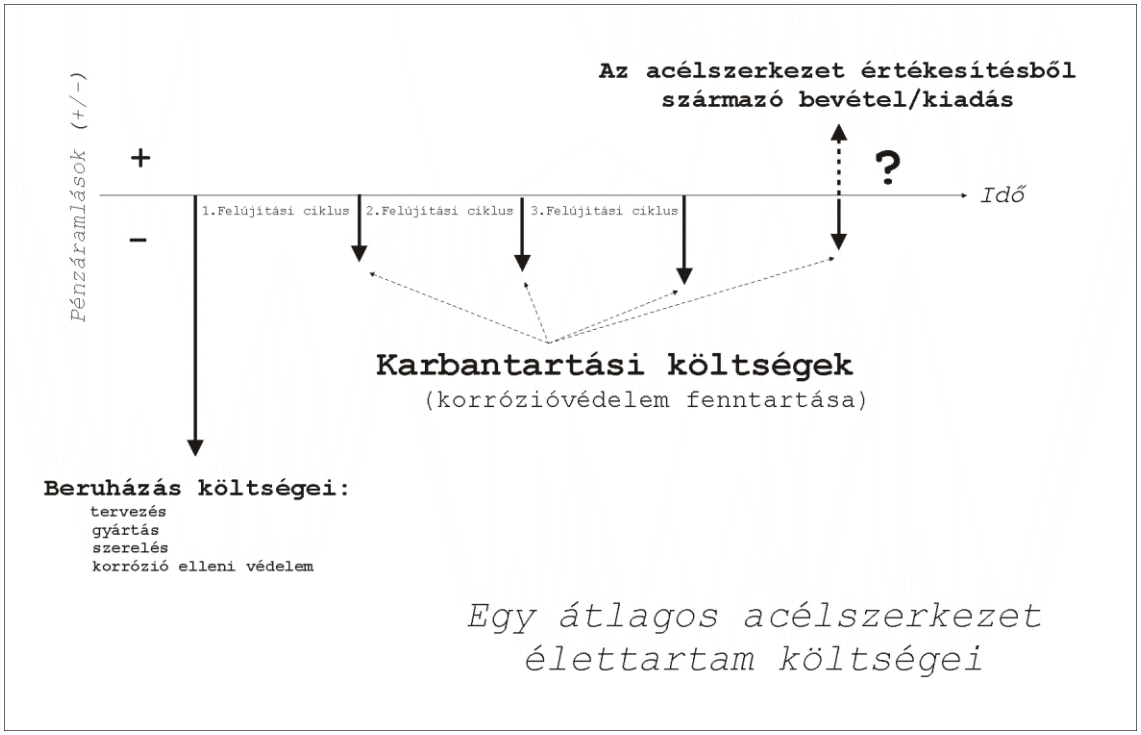
	Az eljárás megbízhatósága.
	Az első védelem költségei.
	Az objektum tervezett működési időtartama.
	Az atmoszférikus korróziós igénybevétel jellemzői (besorolás az ISO 9223 szerint).
	A kialakított bevonat védőképessége (korróziós veszteségek- ISO 9224).
	A korrózióvédelem felújításának gyakorisága és ezek várható költségei.

34. TÁBLÁZAT: A korrózióvédelmi eljárás kiválasztásának kritériumai

Korábbi, nem kellően alapos szemléletmód szerint, korrózióvédelem esetében döntőek voltak az igénybevételnek történő megfelelés, illetve az első védelem költségei. Ma már elengedhetetlenül fontos az ún. élettartam-költségek alkalmazása. Egy acélszerkezetes épület „élettartama” során a következő fő költségek (leendő pénzáramlások) merülhetnek fel (53. ábra).

- A tervezés költségei.
- Az acélszerkezet legyártásának és felszerelésének költségei.
- Az első korrózióvédelem költségei.
- A korrózióvédelem képességeinek fenntartási költségei (felújítás, karbantartás).

o A szerkezet feleslegessé válása utáni költségek, vagy bevételek (hulladék költség, vagy maradványérték).



53. ÁBRA: Egy épület acélszerkezet korrózióvédelmével kapcsolatos pénzáramlásai az idő függvényében

Mivel egy festett, vagy egy tűzihorganyzott acélszerkezet összehasonlításánál a felsorolt költségek közül a tervezés és az acélszerkezet gyártás költségei lényegében azonosak, ezért az első korrózióvédelmi költségeket, a fenntartási költségeket, illetve a maradványérték lehetséges vonzatait kell majd összehasonlítani.

14.2. A tűzihorganyzás vagy festést válasszunk?

Amennyiben össze akarjuk hasonlítani az acélszerkezetek felületvédelmére leggyakrabban alkalmazott különféle technikákat, így a tűzihorganyzást és a festést, át kell tekinteni az egyes eljárások legfontosabb tulajdonságait.

Az egyes technológiák összehasonlítása
A tűzihorganyzás és festés előnyeit és hátrányait a 35. és 36. táblázatban foglaljuk össze.

A tűzihorganyzás tulajdonságai:

TŰZIHORGANYZÁS			
Előnyök		*Hátrányok*	
Élettartam*	Általában 30 év feletti.	**Szín**	Egyféle (szürke, vagy ezüstös).
Bevonat minőség	Ellenőrzött, üzemi gyártás.	**Darabonkénti termékméret**	Korlátozott (horganyzókád méretétől függő).
Réteg vastagsága	Mindenhol szabványnak megfelelő.	**Réteg vastagság**	Függ az acélszerkezet anyagától, konstrukciójától, vastagságától.
Bevonat kopásállóság	Kiváló (ötvözetréteg kb.170 HV).		
Bevonat tapadás	Kiváló (16-35 N/mm^2), metallurgiai kötéssel a vashoz.		
Katódos védelem	Kiváló (min. 3-4 mm-ig)**.		
Ár/érték arány	Kiváló.		
Létrehozás időtartama	Rövid (max.6-9 óra).		
*Önálló bevonatként legfeljebb C4 kategóriában javasolt alkalmazni (ISO 9223:2012). **Szokásos korróziós körülmények esetén.			

35. TÁBLÁZAT: A tűzihorganyzás előnyei és hátrányai

A festés tulajdonságai:

FESTÉS			
Előnyök		*Hátrányok*	
Élettartam	Választható, de ált. max. 15 év.	**Élettartam**	Nagyon rövid is lehet (<10 év).*
Szín	Szinte korlátlanul választható.	**Bevonat minőség**	Általában helyszíni kivitelezés miatti minőségi kockázatok.
Darabonkénti termékméret	Nincs felső korlát (helyszíni kivitelezés esetén).	**Bevonat kopásállóság**	Alacsony.
Réteg vastagság	Rétegszámmal és technológiával többé-kevésbé szabályozható.	**Bevonat tapadás**	Relatíve alacsony (5-10 N/mm^2).
		Katódos védelem	Csak néhány festéktípusnál (90% feletti cink-pigment tartalomnál).
	.	**Réteg vastagsága**	Nem egyenletes, éleken sokszor vékony (élhatás).
		Létrehozás időtartama	Legtöbbször több nap, de néhány hét is lehet.
		Ár/érték arány	Erősen változó.
*Nem megfelelő festékminőség, rétegszám és hanyag technológiai végrehajtás esetén.			

36. TÁBLÁZAT: A festés előnyei és hátrányai

A táblázatokból jól látszik, hogy mindkét eljárás előnyökkel és hátrányokkal is rendelkezik, de összességében a tűzihorgany bevonatok jóval több jellemzőnél mutatnak komoly előnyöket.

A horganybevonatok élettartama és vastagáguk megválasztása

Az acélszerkezeteket a felhasználáskor érő légköri korróziós hatásokra (kül-, és beltér) vonatkozóan kiadványunk 7.1. alfejezete nyújt tájékoztatást. A 9. táblázatban determinált korróziós hatásoknak (C1-CX) megfelelően kell besorolni az acélszerkezetet érő környezetet, és a festékek típusát és rétegrendjét, technológiáját is ennek megfelelően kell kiválasztani (EN

ISO 12944). A horganybevonatok előírt, minimális értékeire vonatkozóan az EN ISO 1461 szabvány ad információkat (10. fejezet). A horgany korróziója időben nem lineáris egyenes szerint zajlik, hanem egy kezdeti gyorsabb bevonatfogyást folyamatosan lassuló korrózió követ. Ennek oka, hogy a horganyfelületen kiépülő oxidréteg (cinkpatina) lassítja a bevonat fogyását (lásd: 7.1. alfejezet 13. ábra).
A fentiek miatt, a cink hosszú távú korróziós rátáit tartalmazó EN ISO 9224: 2012 szabvány A.2 és B.1 táblázata adja meg a fém korróziójának maximális irányadó értékeit a különböző korrozivitási kategóriákra (37. és 38. táblázat). Hosszabb távú igénybevételnél (>2 év), ezekkel az értékekkel célszerű számolni.

Maximális kopása (µm/év)	**Korrozivitási kategória**	**Kitéti idő** (kivonat az ISO 9224 szabvány, A.2 táblázatából)					
		1 év	*2 év*	*5 év*	*10 év*	*15 év*	*20 év*
Horgany	*C1*	0,1	0,2	0,4	0,6	0,9	1,1
	C2	0,7	1,2	2,6	4,5	6,3	8
	C3	2,1	3,7	7,8	13,6	19	24
	C4	4,2	7,4	15,5	27,3	38	48
	C5	8,4	14,3	31,1	54,6	75,9	95,9
	CX	25	44	93	162	226	286

37. TÁBLÁZAT: A cink hosszú távú, maximális korróziós fogyása

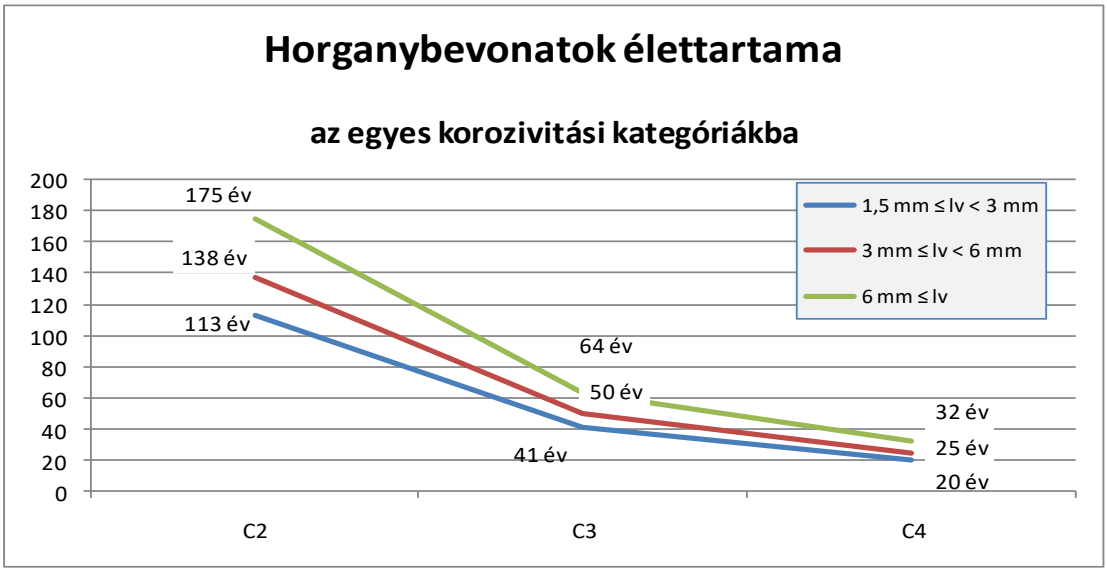
Tehát egy C4 korrozivitási kategóriájú környezetbe kihelyezett termék felületéről 15 év alatt maximálisan 38 mikron horgany kopik le. Láthatjuk, hogy a horgany kopása a valóságban nem lineáris, míg egy év alatt 4.2 µm a kopás, addig 15 év alatt csak 38 µm a 15 év x 4,2 µm = 63 µm helyett. Ez azért van, mert az első években, míg a stabil cinkpatina nem alakul ki, a környezeti hatások komolyabb korróziós károkat okoznak a horganybevonaton. Ha a bevonatot hosszú időtartamra kívánunk tervezni, akkor a 38. táblázat adatait kell figyelembe venni.

(Kivonat az ISO 9224:2012 szabvány B.1 táblázatából)					
Átlagos korróziós kopás az első 10 év alatt a különböző korrozivitási kategóriákban					
C1	*C2*	*C3*	*C4*	*C5*	*CX*
$r_{av} \leq 0,07$	$0,07 < r_{av} \leq 0,5$	$0,5 < r_{av} \leq 1,4$	$1,4 < r_{av} \leq 2,7$	$2,7 < r_{av} \leq 5,5$	$5,5 < r_{av} \leq 16$

Lineáris korróziós kopás (r_{lin}), kopás az első 30 év alatt a különböző korrozivitási kategóriákban					
C1	*C2*	*C3*	*C4*	*C5*	*CX*
$r_{lin} \leq 0,05$	$0,05 < r_{lin} \leq 0,4$	$0,4 < r_{lin} \leq 1,1$	$1,1 < r_{lin} \leq 2,2$	$2,2 < r_{lin} \leq 4,4$	$4,4 < r_{lin} \leq 13$

38. TÁBLÁZAT: A cink hosszú távú, átlagos korróziós fogyása

Itt nyer értelmet a szabvány által előírt rétegvastagságoknál vastagabb bevonatok alkalmazásának lehetősége, ugyanis az élettartam és a bevonatvastagság között hosszú időtáv esetén lineáris kapcsolatot lehet feltételezni. Egy adott bevonatvastagságot tekintve, egy kétszer olyan vastag bevonat élettartama legalább kétszer akkora ideig áll ellen. A fenti példa kiszámított adatait az 54. ábra foglalja össze.



54. ÁBRA: 45µm (lv:1,5-3 mm) - 55 µm (lv:3-6 mm) - 70 µm (lv:≥ 6mm) vastag horganybevonatok hosszú távú élettartama (C2-C4 kategóriákban)

Az ábrán látható élettartamok a bevonatok *helyi minimális* rétegvastagságával lettek számolva. Ennél az átlagos minimális rétegvastagságok a gyakorlatban legalább 10-15 µm-rel nagyobbak, sőt a tényleges bevonatvastagságok sokszor még ezt is meghaladják (48. ábra). A korróziós kopási sebességeknél is a 10 esztendő alatti átlagos fogyás maximális értékei lettek figyelembe véve. A valósághoz közelebbi, átlagos bevonatvastagsággal és alacsonyabb korróziós kopási sebességgel számolva, még ezeknél is hosszabb élettartamokat kapnánk. Extrém hosszú élettartamokat a bevonat vastagságának növelésével érhetünk el, ami az acél alapanyag Si tartalmának célzott megválasztását (MSZ EN 10025 szabvány szerint, Si: 0,12-0,25%) jelenti (lásd: 4. fejezet).

Festékbevonatok élettartama és jellemzőik megválasztása

Festékbevonatoknál a gyártók az adott korróziós környezeti kategóriákhoz (EN ISO 9223, EN ISO 12944) különböző élettartamú bevonatrendszereket ajánlanak. Ha tehát például egy élelmiszer feldolgozó üzemet kívánunk építeni (C3 korróziós környezeti hatás) és az üzemet 15 évig kívánjuk üzemeltetni, akkor a festékgyártók erre az igényre összeállított bevonatrendszert ajánlanak. Egy példa egy ilyen rendszer elemeire:

- $Sa2^1/_2$ felület előkészítés,
- epoxy alapozó 120 µm vastagságban,
- PUR átvonó 80 µm vastagságban.

Az élettartam növelésére több lehetőség adódik, változtathatjuk a festék anyagát, növelhetjük a felhordott rétegvastagságot vagy a rétegszámot, és természetesen fordítva is igaz, ha rövidebb élettartamú bevonatot kívánunk létrehozni.

A bevonatok létrehozásának költségei

Az árak összehasonlításánál nehézséget okozhat, hogy míg a festékbevonatok esetén felületegységre vonatkozó árunk van (Ft/m^2), addig a horganyzási árakat tömegegységre vonatkoztatva tüntetik fel (Ft/t, vagy Ft/kg). Mint később látni fogjuk, ezek között összefüggéseket lehet találni. Példaként a következő festékbevonat rendszert mutatjuk be (39. táblázat).

C4 _ 15 év felett		C4 _ 5 - 15 év	
Kézi szemcseszórás		Kézi szemcseszórás	
Cinkporos epoxy alapozó 60 µm		Cinkporos epoxy alapozó 60 µm	
Epoxy közbenső 120 µm		Epoxy közbenső 80 µm	
PUR átvonó 60 µm		PUR átvonó 60 µm	
Díj összesen	3 898 Ft/m^2	Díj összesen	3 771 Ft/m^2
C3 _ 15 év felett		C2 _ 15 év felett	
Kézi szemcseszórás		Kézi szemcseszórás	
Cinkfoszfátos epoxy alapozó 120 µm		Cinkfoszfátos epoxy alapozó 100 µm	
Cinkfoszfátos PUR átvonó 80 µm		Cinkfoszfátos PUR átvonó 60 µm	
Díj összesen	2 930 Ft/m^2	Díj összesen	2 738 Ft/m^2
C3 _ 5- 15 év		C2 _ 5 - 15 év	
Kézi szemcseszórás		Kézi szemcseszórás	
Cinkfoszfátos epoxy alapozó 100 µm		Cinkfoszfátos PUR 40 µm	
Cinkfoszfátos PUR átvonó 60 µm		Díj összesen	2 303 Ft/m^2
Díj összesen	2 738 Ft/m^2		

39. TÁBLÁZAT: Egy festékbevonat rendszer és kialakításának költségei

Az épület acélszerkezet bérhorganyzási árainak összehasonlíthatósága érdekében, a gyakorlatban járatos melegen hengerelt acélszelvények egységárait a 40. táblázatban mutatjuk be Ft/kg és Ft/m^2 egységárakban.

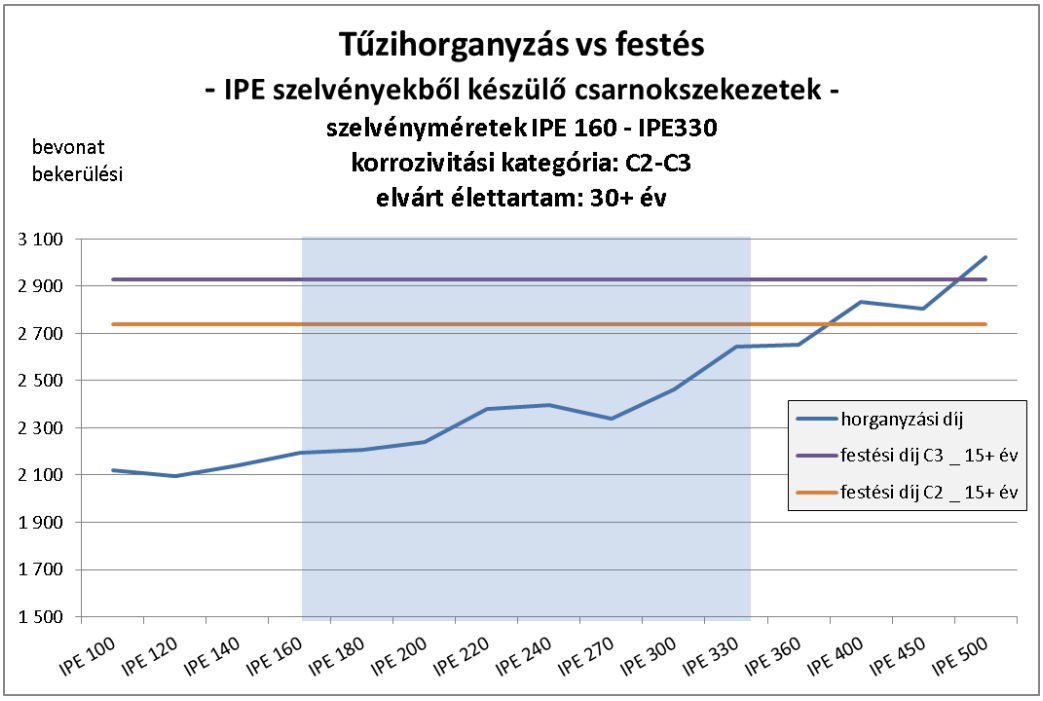
Szelvény típus	Horganyzási díj		Szelvény típus	Horganyzási díj		Szelvény típus	Horganyzási díj	
IPE	Ft/kg	Ft/m^2	HEA	Ft/kg	Ft/m^2	HEB	Ft/kg	Ft/m^2
100	110	2 121	100	90	2 539	100	90	3 060
120	100	2 097	120	90	2 530	120	85	3 152
140	95	2 142	140	85	2 542	140	80	3 210
160	90	2 194	160	80	2 576	160	75	3 328
180	85	2 207	180	75	2 507	180	70	3 319
200	80	2 240	200	70	2 509	200	65	3 320
220	80	2 382	220	70	2 719	220	65	3 521
240	75	2 398	240	65	2 760	240	60	3 467
270	70	2 340	260	65	2 879	260	60	3 577
300	70	2 462	280	60	2 761	280	60	3 679
330	70	2 644	300	60	2 976	300	55	3 575
360	65	2 651	320	58	3 110	320	55	3 796
400	65	2 835	340	55	3 105	340	55	3 920
450	60	2 805	360	55	3 242	360	55	4 068
500	60	3 023				400	55	4 263
						450	55	4 479

40. TÁBLÁZAT: Épületszerkezetek járatos alapanyagai szokásos bérhorganyzási díjai

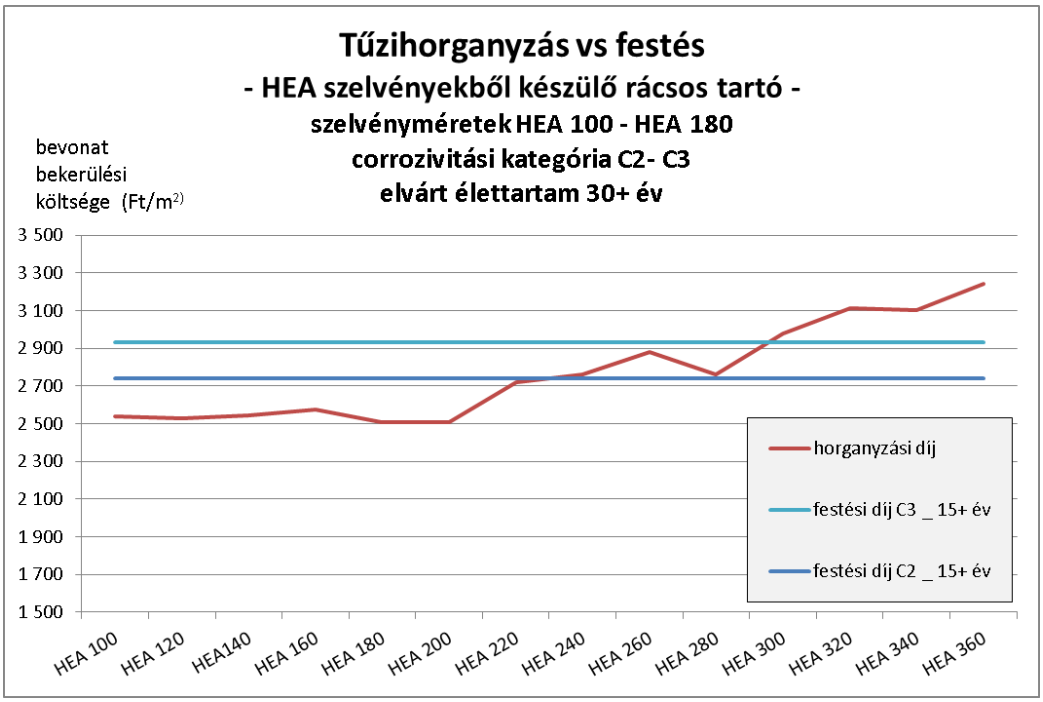
A fenti két táblázatot felhasználva az alábbi típuspéldákat állíthatjuk össze:

- IPE szelvényekből készülő, rúdszerű elemekből álló csarnokszerkezetek
- HEA (HEB) szelvényekből készülő, rácsos tartókból álló csarnokszerkezetek
- HEB szelvényekből készülő technológiai tartószerkezetek.

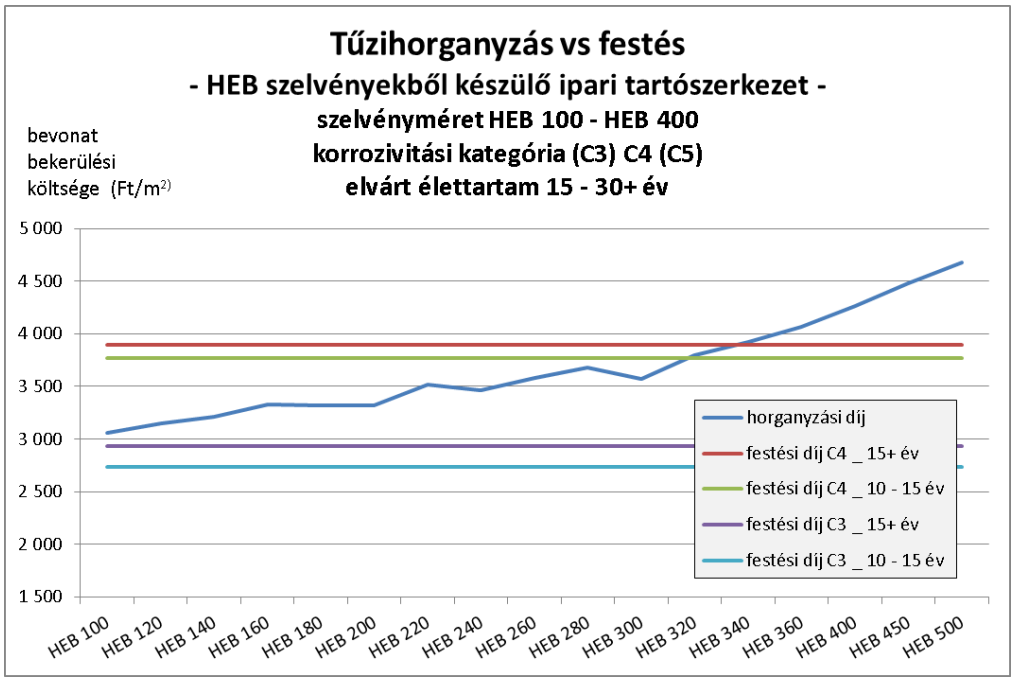
A fenti példákat az 55-57. ábrákon mutatjuk be szemléletesen.



55. ÁBRA: Egy IPE-szelvényből készített acélszerkezet bérhorganyzási és festési díjainak összehasonlítása



56. ÁBRA: Egy HEA-szelvényből készített acélszerkezet bérhorganyzási és festési díjainak összehasonlítása



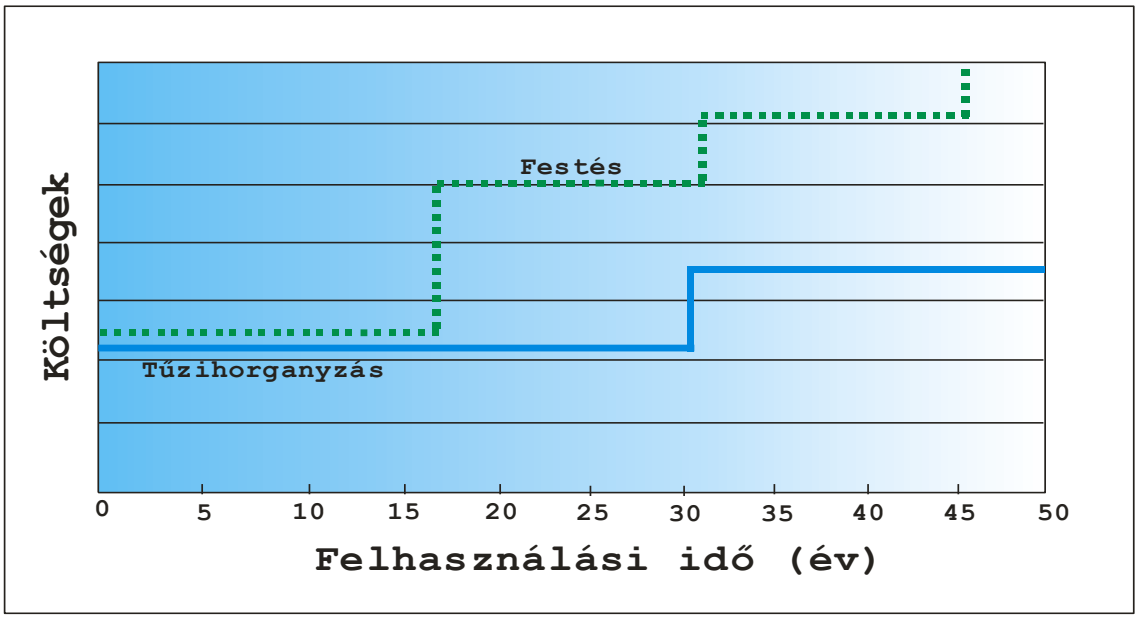
57. ÁBRA: Egy HEB-szelvényből készített acélszerkezet bérhorganyzási és festési díjainak összehasonlítása

A fenti példák alapján általános következtetésként elmondható, hogy a horganyzás a bemutatott termékcsoportoknál versenyképes a festéssel ár tekintetében. A festék bevonatrendszer csak akkor olcsóbb, ha a szerkezetünk tervezett élettartama nagyon rövid (ilyen lehet egy ideiglenes szerkezet, vagy egy olyan technológiai tartószerkezet, ahol a gyors technológiai fejlődés/váltás következtében a felépített rendszert előre tervezett időszakonként teljesen újraépítik) vagy a korróziós hatás kicsi. Ebben az esetben azonban még mindig racionális döntés lehet a horganyzás.
Ugyanis a horganybevonat *karbantartásmentesen* képes ellátni a feladatát ilyen korróziós hatások között akár 50+++ éven keresztül is. Nem öregedik el, nem teszi tönkre az UV sugárzás, sérülések helyén is véd, stb. Ez a festékbevonatokról nem mondható el. Régi festett épületeket, csarnokokat, szerkezeteket megtekintve azt látjuk, hogy a festékbevonatuk tönkrement, repedezett, és rozsdás. Ez nem csak korróziós probléma, hanem higiéniai, esztétikai szempont is. Tehát, ha gondos gazdaként akarunk eljárni, ezeket a festékbevonatokat karban kell tartani, fel kell újítani. A felújítási költségeket azonban már nagyon nehéz meghatározni, de valószínűleg, ha ezeket a munkálatokat a helyszínen végezzük el, a költségek biztosan elérik vagy meghaladják az üzemi körülmények között elkészített első bevonat bekerülési költségét. Így a szerkezet teljes élettartamát tekintve a korrózióvédelem festékbevonattal lényegesen drágább lesz.

14.3. A darabáru tűzihorganyzásnak kiváló élettartam/gazdaságosság mutatói vannak

A felhasználók azt gondolhatnák, hogy a tűzihorganyzás drága eljárás, mert igen hosszú távra biztosítja az acélok megfelelő minőségű korrózió elleni védelmét. Ezzel szemben – mint az előző fejezetben is láthattuk – ezek, az általában 50-150 µm vastagságú horganyrétegek a

vevők számára már azonnal kedvezőbb költségviszonyokat teremtenek, mint az általában két-háromrétegű és jó minőségű festékbevonatok (58. ábra).

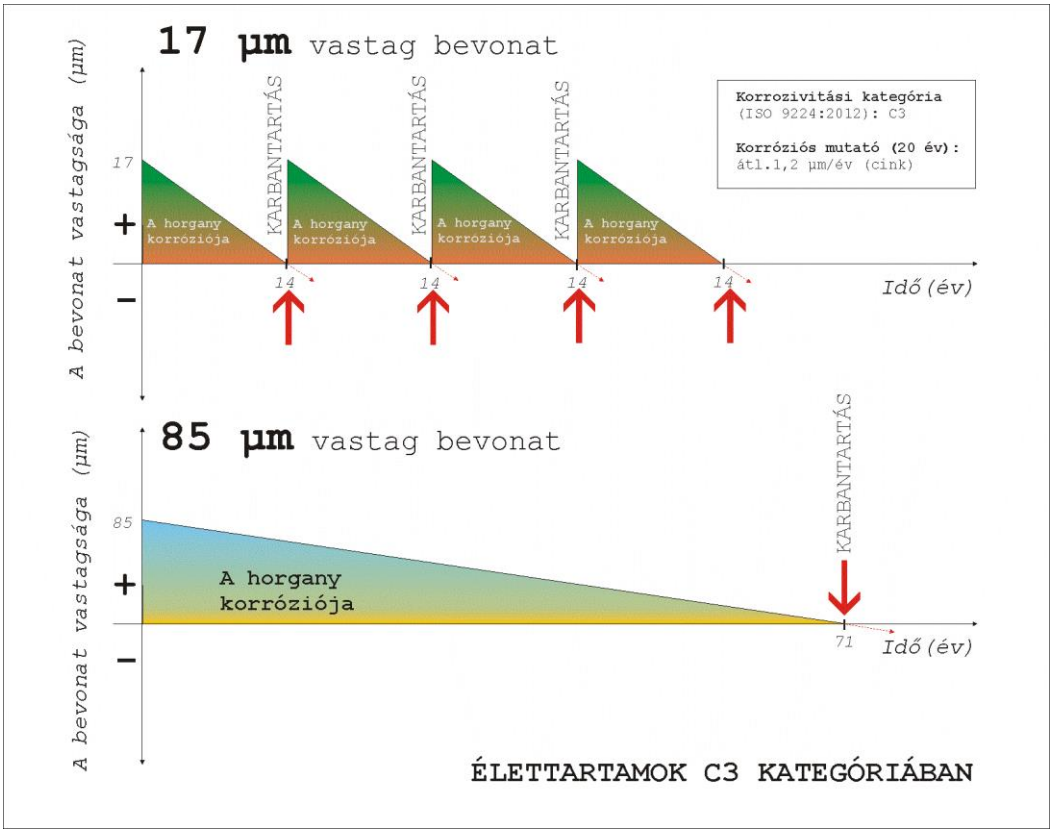


58. ÁBRA: A tűzihorganyzás költség hatékony védelmi eljárás

Egy kb. 100 µm vastag bevonat, általános atmoszférikus igénybevétel esetében minimálisan 30-50 év karbantartásmentes védelmet biztosít acélszerkezeteinknek. A horganybevonatok kiváló tulajdonságainál és hosszú távú gazdaságosságánál csak a tűzihorganyzott és festett (DUPLEX-védelem) rendszerekkel ellátott acélszerkezetek képességei haladják meg.

14.4. A vékonybevonatos, horganyzott termékek gyorsabban felújításra szorulnak

A gyakorlatban egyre gyakrabban lehet találkozni olyan profilszelvényekkel, melyeket tűzihorganyzott lemezből utólag hajlítottak teherviselő elemmé. Ezek a zömmel 4 mm vastagság alatti, horganybevonatos féltermékek sok esetben 10-20 µm vastagságú horganybevonattal rendelkeznek, így alkalmazásuk csak olyan körülmények között indokolt, ahol a korróziós hatások ezt lehetővé teszik (7.1. fejezet, 9. táblázat). Amennyiben ezt a szempontot nem tartják be a beruházók, tervezők, akkor a 14.3. pont alatt tárgyalt festéshez hasonlóan, idő előtti cserére, vagy festésre szorulnak (59. ábra).



59. ÁBRA: Karbantartási költségek alakulása vékonybevonatos és darabáru horganyzott termékeknél

Az ábra egy 17 µm vastag vékonybevonatos szerkezet, illetve egy 85 µm vastag tűzihorgany bevonat korróziós élettartamát mutatja közepes korróziós hatásoknál (ISO 9224:2012, C3 kategória). Az említett vékonybevonatos termékeket folytatólagos lemezhorganyzással állítják elő, majd a hasított lemezcsíkokból görgőzéssel különféle idomokat hajlítanak. Az elmúlt években kültérre alkalmazott ilyen termékek, már néhány év elteltével több helyen korróziós nyomokat mutatnak (109-110. képek).

109-110. KÉP: Vékonybevonatos horganyzott csövek korróziója néhány év elteltével

14.5. A tűzihorganyzott acélszerkezetek használtan is nagy értéket képviselhetnek

Egy adott objektum, mely funkcióját már betöltötte, a legtöbb esetben elbontásra kerül.
Festett acélszerkezetek esetében a festék, mint veszélyes anyag, környezetvédelmi problémákhoz vezet, amennyiben azt el akarjuk távolítani a felületről. Ezzel szemben a használt tűzihorganyzott szerkezetek számos előnyös tulajdonsággal és lehetőséggel rendelkeznek.

Használt tűzihorganyzott acélszerkezet előnyei

- Tűzihorganyzott acélszerkezetek esetében, amennyiben a szerkezet acélműi újrafeldolgozásra kerül, a cinket filterpor formájában elkülönítik, majd ez *újrahasznosítható*.
- A tűzihorganyzott acélszerkezeteken levő bevonatok *időtállóak* és a szerkezet újbóli felállítása esetében is további védelmet nyújtanak.
- Amennyiben a már igénybevett bevonat vastagsága, vagy színezete nem felel meg az újbóli felhasználás igényeinek, úgy kiváló alapot nyújt a *DUPLEX -bevonati rendszer* kialakításához. Ezzel egy megbízható hosszú távú védelmi lehetőség kínálkozik.

14.6. A gazdaságosság további javításának lehetőségei

A tűzihorganyzás árképzésénél döntő szerep jut a horgany (cink) árának, mely az összes költségnek akár a 35 - 40 %-át is elérheti.

A cink tőzsdei termék, melynek beszerezési árát a horganyzók számára a tőzsdei ár, és pillanatnyilag a saját fizetőeszköz ereje (valutaárfolyam) határozza meg. A cink ára a londoni fémtőzsdén fél éven belül akár 30-40 %-kal is megváltozhat.

A tűzihorganyzást végeztető vállalatok számára több kisebb lehetőség mellett jelentős megtakarítást jelenthet az, hogy a termékére csak a szükséges mennyiségű horganymennyiség kerüljön.

A túlzott cinkfelhasználás okai a gyártó részéről:

- Nem optimális acélminőség megválasztása.
- Nem optimális konstrukciós kialakítás.

Tapasztalatok és elemzések szerint, a felsorolt két tényező okozza a túlzott horganyfelhasználás mintegy 80-90 %-át.

Optimális acélminőség és ajánlott konstrukció megválasztásával, akár 3-10 %-kal lehet csökkenteni a horganyzásért fizetendő díjakat, a szerkezetgyártás költségeit!

A fentiek miatt kiemelten fontos szerepe van az acélszerkezetek tervezésénél és gyártásánál a tűzihorganyzáshoz optimális acélminőségek alkalmazásának és a megfelelő konstrukciós kialakításoknak.

15. A CINK ÚJRAHASZNOSÍTHATÓ

15.1. Cinkfelhasználás a világban

Tűzihorganyzás közben keletkező horganytartalmú „melléktermékek” nem megsemmisítendő hulladékok, hanem teljes egészében újrahasznosíthatók. Ugyanez vonatkozik a tűzihorganyzott kivitelű acélszerkezetekre és a horganytartalmú ötvözetekre is. A cinkfémet nemcsak az acélok felületbevonásához alkalmazzák, hanem számos más felhasználási területe is van. Ezek:

- Sárgarézben és egyéb ötvözetekben
- Járművekben, háztartási eszközökben
- Szerelvényekben, szerszámokban
- Gyógyszeriparban, kozmetikában, orvosi készülékeknél
- Gumiárukban, takarmányokban
- Műtrágyákban

Fő felhasználási területenként, az összes felhasználást tekintve, a részesedéseket 41. táblázat tartalmazza.

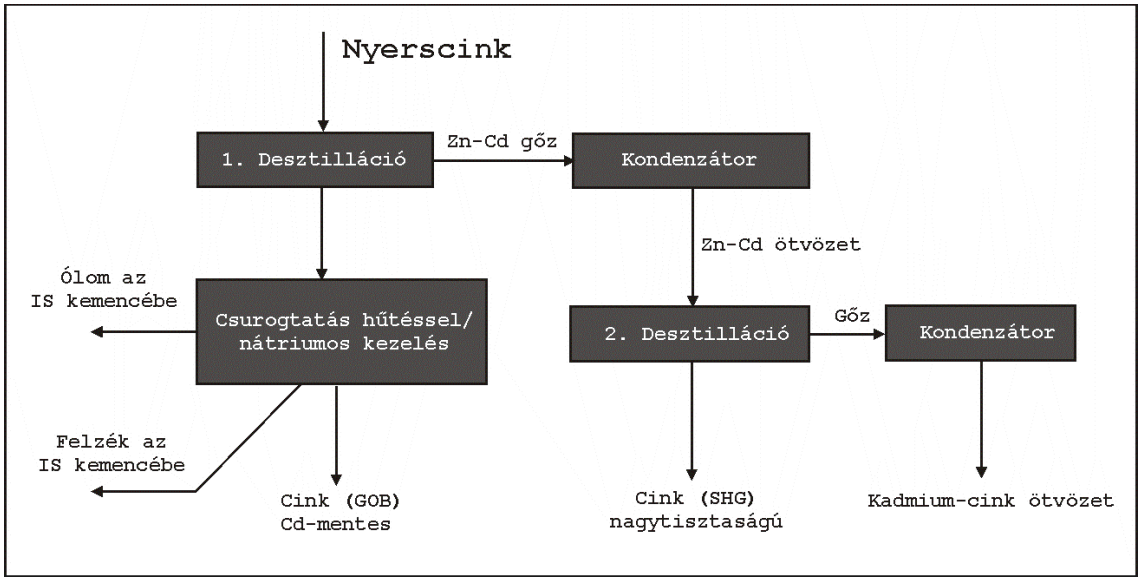
Felhasználási cél	Világban (%)
Horganyzás + galvanizálás	50
Horgany-ötvözetek	17
Sárgaréz és bronz	17
Félgyártmányok	6
Vegyipar	6
Egyéb	1

41. TÁBLÁZAT: A cink felhasználása fő alkalmazási területenként (Forrás:www.ilzsg.com)

A világban 2015-ben felhasznált horgany mennyisége megközelítette a 14 millió tonnát, melynek kb. 35-40%-át újrahasznosított termékekből nyerik. A Föld cinkkészletei még sok évszázadon át fedezni fogják az emberiség igényeit, sőt az egyre növekvő újrahasznosítási arányok miatt még kedvezőbbek a kilátások.

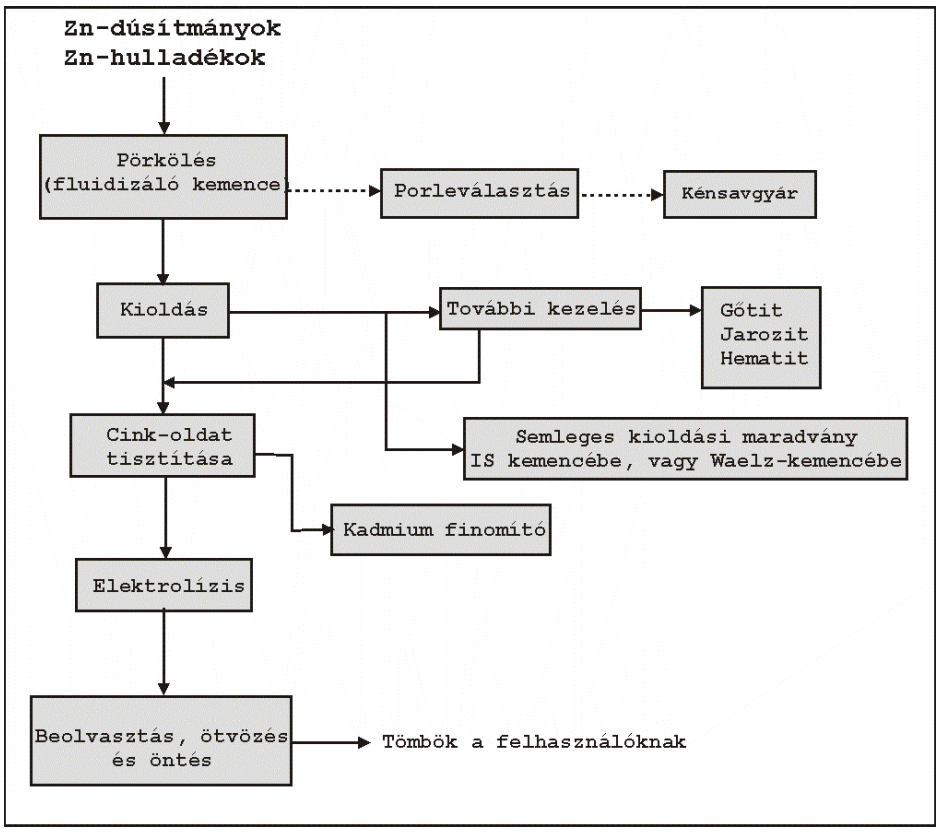
15.2. A fémcink előállításának folyamata

A cinket piro-, és/vagy hidrometallurgiai eljárásokkal állítják elő. Bármilyen pirometallurgiai eljárással előállított horganyt még tovább kell finomítani. A legelterjedtebb módszer a továbbfinomításra a frakcionált desztillálás. Az első lépés során a berendezést alul, a sok ólommal és egyéb nem illanó anyagokkal szennyezett cinkolvadék hagyja el, a felül eltávozó cinkgőz pedig, a cinken kívül még kadmiumot is tartalmaz. A cink további tisztítása érdekében a kadmium tartalmú cinkgőzt egy másik lepárló berendezésbe vezetik, amelynek alján a tiszta cink kifolyik és a felül eltávozó gőzből Zn-Cd tartalmú ötvözetet nyernek. A desztillálás folyamatát a 60. ábra szemlélteti.



60. ÁBRA: A cink tűzi finomításának elvi sémája [22]

Ennél az eljárásnál jóval elterjedtebb a hidrometallurgiai eljárás, ugyanis a világ cinktermelésének kb. 80 %-át ezzel állítják elő. Itt a szulfidos cinkport (ezt a szulfidos ércből nyerik), fluid ágyas berendezésben pörkölik. A kén-dioxid tartalmú gázból kénsavat állítanak elő. Az oxidos pörköléket kénsav oldattal lúgozzák ki. A lúgzási maradványokat tovább kezelik az értékes anyagok kinyerése és a károsak eltávolítása céljából. Az oldatot tisztítják, és cinktartalmát elektrolízissel választják le. Az így kapott horgany minimálisan 99,9% tisztaságú. Az eljárás elvi vázlatát a 61. ábra mutatja.



61. ÁBRA: A cink hidro-metallurgiai előállításának elvi sémája [22]

15.3. Fémtartalmú cinkhulladékok újrafeldolgozása

A szekunder-cinkipar számára fontos fémes hulladékok és maradványok a következők [22]:
- Rézötvözet-gyártási szállópor
- Öntészeti maradványok
- Horganyzóipari hamu, salak, keményhorgany
- Elhasználódott burkolatok és egyéb lemezanyagok
- Autóroncsok és más lemezalapú termékek színesfém frakciója
- Acélgyártási és öntöttvasgyártási szállóporok
- A cink vegyipari felhasználásánál képződő maradványok és elégetett gumiabroncsok

Az, hogy ezekből az anyagokból milyen módon nyerik ki a horganyt, függ a cinkelőfordulás fajtájától, a szennyezettségtől és a cink koncentrációjának mértékétől. A csak horganyt tartalmazó fémhulladékok (lemezek, önvények, megmunkálási hulladékok, stb.) megfelelő válogatás és szeparálás után közvetlenül átolvaszthatók. Az ötvözetekből származó hulladékok esetében nehezebb dolga van a feldolgozóknak, mert egyszerű átolvasztással nem nyerhető megfelelő tisztaságú cink, ezért további finomításra szorul (pl. frakcionált desztillálás), vagy más területen kerülnek felhasználásra. A tűzihorganyzó üzemeknél keletkező alsósalak (keményhorgany – 111. kép), illetve felsősalak (horganyzói hamu – 112. kép) kezelése, illetve feldolgozása tökéletesen megoldott.

111-112. KÉP: Keményhorgany és horganysalak

A keményhorgany és horganysalak feldolgozása

A *keményhorgany* tisztán fémes anyag, mely több mint 90%-ban cinket tartalmaz, emellett a legnagyobb mennyiségben vas található benne. Ez az anyag a horganyzókádak alján gyűlik össze, majd időnként onnan el kell távolítani. A keményhorgany nem veszélyes hulladék, ám mégis elkülönítve és megfelelő módon kell kezelni. Feldolgozása során először vastalanítják mégpedig alumínium hozzáadásával. Majd a keletkezett Al-tartalmú cinket vagy közvetlenül felhasználják, vagy továbbfinomítják. A *horganyzói hamu*, hasonlóan a keményhorganyhoz, nem veszélyes hulladék, de elkülönítetten kell kezelni és begyűjteni. A hamu a horganyolvadékok felületén keletkezik, mely tiszta fémet (Zn, Al, stb.), illetve a fluxsó elégéséből származó szennyezőanyagokat (pl. kloridokat) és egyéb anyagokat is tartalmaz. Feldolgozása során először a maradék fémes állapotú tiszta cinket nyerik ki belőle (sokszor ezt már nagy részben a horganyzó üzemben megteszik), majd a maradék még sok tiszta horganyt tartalmazó anyagból a cinket kioldják, majd elektrolízis segítségével tiszta cinket állítanak elő.

Cinktartalmú, nemfémes hulladékok feldolgozása
Azoknak az anyagoknak (pl. filterporok, salakok, cinkércek lúgzási maradványai, iszapok stb.), mely sok horganyt tartalmaznak, de nemfémes formában, legnagyobb részüknek szintén megoldott a feldolgozása. Ezekből megfelelő piro-, vagy hidrometallurgiai eljárással állítják elő a tiszta cinket [23].

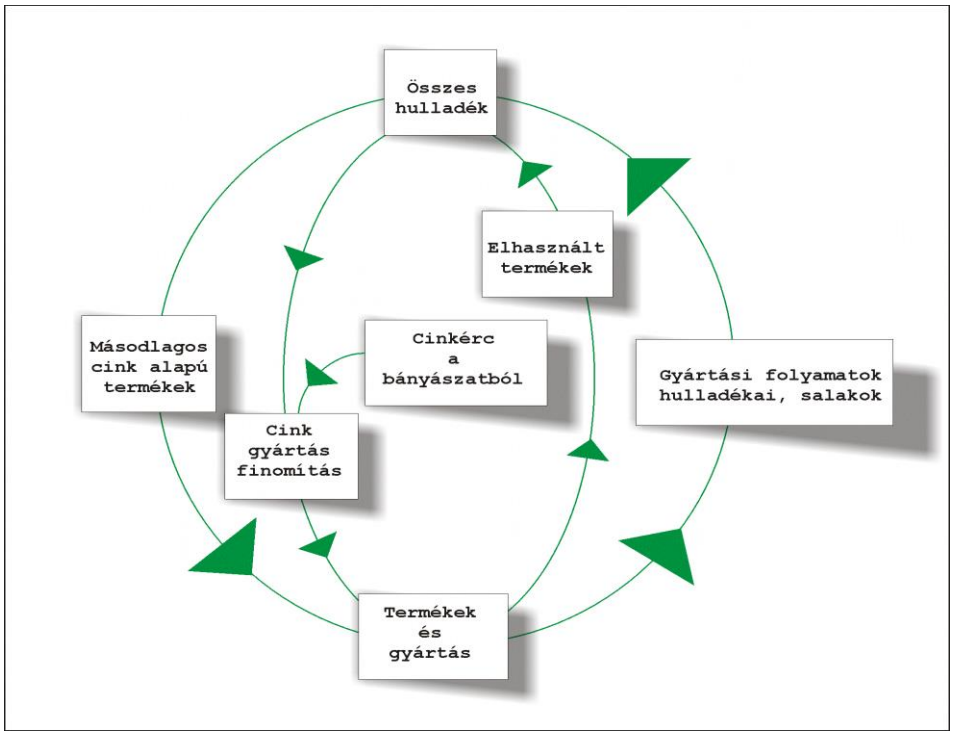
A cink beolvasztása és ötvözése
A másodlagos horganyt olvasztókemencékben- a cink párolgásának csökkentése érdekében - legfeljebb 450 ˚C-os hőmérsékleten megolvasztják, majd szükséges mennyiségben ötvözőket (Al, Bi, Ni, stb.) is adagolhatnak hozzá [23]. Így állítják elő a tűzihorganyzáshoz gyakran használt előötvözeteket (pl. Technigalva®, Zamak, stb.). A szennyezőanyagok mennyiségének csökkentése érdekében salakképző pótlékokat is adagolnak a fémolvadékhoz, mely a cink tetejére felúszik és lefölözik, majd a tiszta fémet általában kokillákba öntik. A tűzihorganyzó iparban használatosak a 20-25 kg-os *kézi tömbök* (113. kép), illetve az 1-1,2 tonna súlyú ún. *jumbó-tömbök*.

113. KÉP: Tűzihorganyzásnál használatos kisméretű tömbök

16. A CINK ÉS A KÖRNYEZET

16.1. A horgany körfolyamata a világunkban

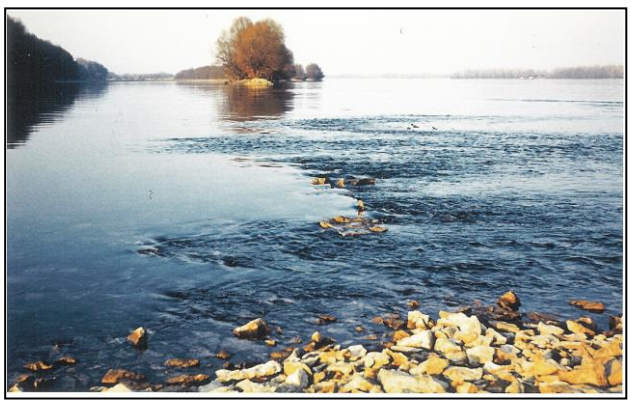
A horgany (Zn) a földkéregben átlagosan 70 mg/kg (száraztömeg) fordul elő, ezért a viszonylag ritka fémek közé lehet besorolni. Mért átlagos értékei 10 és 300 mg/kg határok között vannak (Malle, 1992). A földből még szabadon kibányászható készletek becslései állandóan változnak, egy néhány évvel ezelőtti feltevés szerint, mintegy 185 millió tonna, de a becsült értékek egyre növekvő tendenciájával. Ám vannak olyan adatok is, melyek szerint, nagyságrendileg nagyobb mennyiségek állnak rendelkezésünkre. A ma kb. 10 millió tonnára becsült világfelhasználás [24] nem jelenti azt, hogy ezzel megegyezően csökkennek a tartalékok, mert a világban a cinktartalmú termékek újrafelhasználása (Recycling) szerencsénkre fontos kérdéssé vált (62. ábra).



62. ÁBRA: Cink újrahasznosítás körfolyamata [25]

Az, hogy melyik ország milyen mértékben épít az újrafelhasználható alapanyagoknak a termelési ciklusba történő visszaforgatására, erősen változó. Az viszont tény, hogy az európai országok többsége az elmúlt 30-35 évben jelentős lépéseket tett az újrahasznosított termékek és az ezt szolgáló technológiák elterjedése érdekében. Erre jó példa *Németország*, ahol 35-40 évvel ezelőtt a teljes németországi horganyfelhasználásnak még csak kb. 25 %-a származott újrahasznosított anyagból, míg ma már becslések szerint ez az érték meghaladja a 35-40 %-ot. Ugyanitt a rendelkezésre álló cinkmennyiség mintegy 80%-a már újrahasznosításra kerül [25].

A cink a természet szerves része (114. kép), az élőlényeknek, így az embernek is fontos építőeleme. A legtöbb kőzet és ásvány valamilyen mennyiségben tartalmaz cinket, de megtalálható a levegőben, a talajban és a vizekben is. A természetes erózió hatására a kőzetekben, talajban levő cink egy kis mennyisége állandó mozgásban van. Vulkanikus tevékenység, vagy éppen az erdőtüzek, és a vízben úszó természetes hordalék, hasonlóan mozgásban tartja a természetes horgany egy részét.



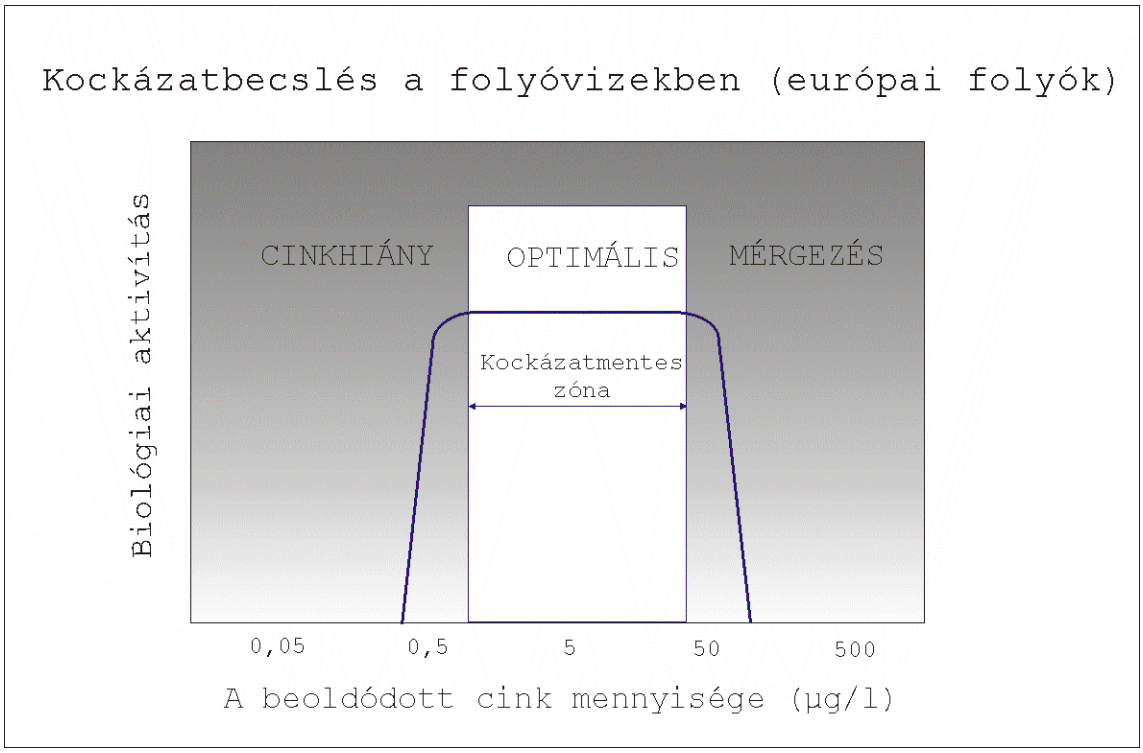
114. KÉP: Természetes vizeinkben, így a Dunában, annak partján és alján kis mennyiségben, de megtalálható a cink

Ez az állandó transzport eredményezi, hogy a fémnek, egy ennek megfelelő eloszlása alakult ki a természetben (42. táblázat).

Közeg	Cink-tartalom
Levegő (vidéki környezet, µg/m^3)	0,01 – 0,2
Talaj (általában, mg/kg szárazanyag)	10 - 300
Kőzetek (ppm) ▪ eruptív bazalt ▪ eruptív gránit ▪ pala és agyag ▪ homokkő ▪ olajpala	 48 – 240 5 – 140 18 – 180 2 – 41 34 - 1500
Horganyérc (%)	5 - > 15
Felszíni vizek (µg/l) Nyílt óceán (felszín) Tengerparti vizek (belső tavak) Édesvíz: ▪ Síkvízi folyók, melyek tápanyagokban és kis mennyiségben előforduló kémiai elemekben dúsak ▪ Hegyvidéki folyók idős, kimosott kőzetekkel ▪ Nagy tavak ▪ Az érclelőhelyeken áthaladó folyók	 0,001 – 0,06 0,5 – 1 5 – 40 < 10 0,09 – 0,3 (oldott) > 200

42. TÁBLÁZAT: A cink (összes cink) természetes eloszlása különféle anyagokban [25]

A természetes vizekben kialakuló cinkkoncentráció függ a geológiai formák állapotától, korától, melyeken a víz keresztülfolyik, illetve az adott biológiai-fizikai és kémiai feltételektől. Ugyanakkor a szezonális eltérések is befolyással vannak a kialakuló koncentrációkra. Mivel a talaj, a kőzetek a cinket természetes mennyiségben tartalmazzák, ezért a biológiai körforgásban hatékonyan részt vesz, annak szerves és nélkülözhetetlen eleme. Ez könnyen belátható, hiszen a növények táplálkozása során felveszik az életkörülményeknek és szükségleteiknek megfelelő fémeket, mint nyomelemeket, majd az állatok és az ember által elfogyasztott táplálékként a magasabb rendű létformák létfontosságú elemeivé válnak. A Földön kialakult és folyamatosan változó ökoszisztémák, tehát változó mennyiségben, de nem nélkülözhetik a cinket sem.
Az is megállapítható, hogy az élő szervezetek számára a szükséges mennyiség fontos, azonban túlzott jelenléte káros hatással van az élővilág fejlődésére (63. ábra).



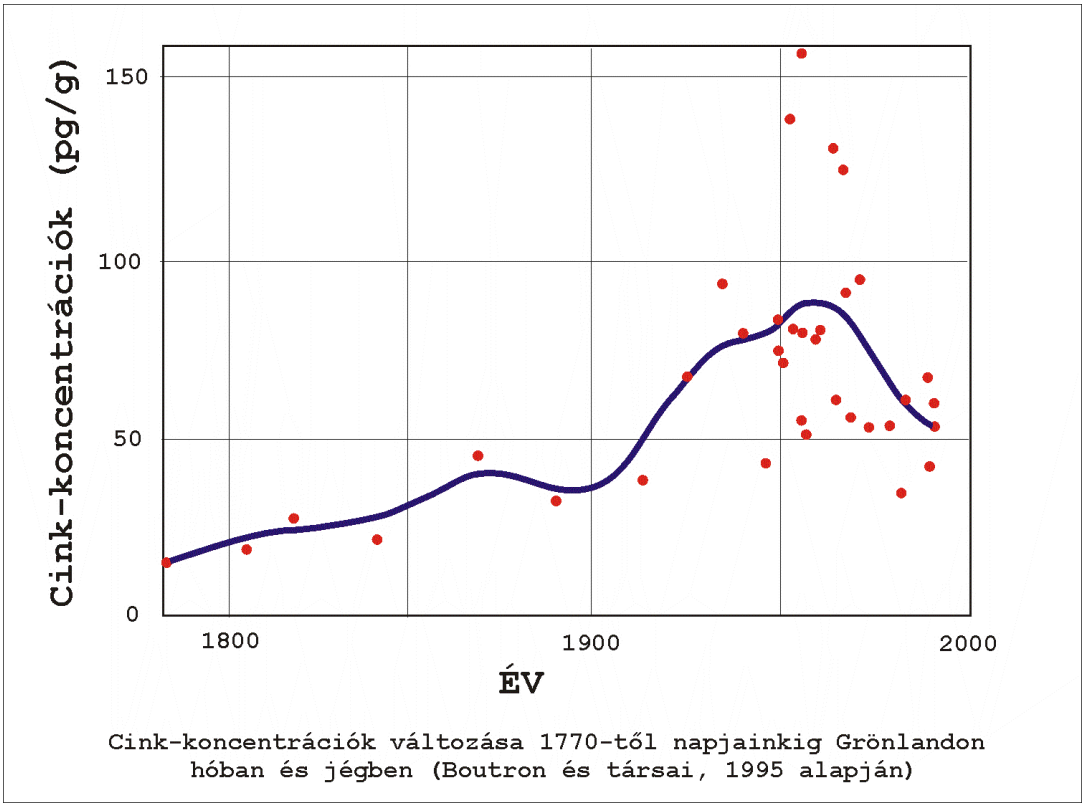
63. ÁBRA: Az élőlények számára létfontosságú a szervezetükben levő nyomelemek megfelelő koncentrációja a megfelelő anyagcsere érdekében, ugyanakkor hiányuk, de többletük is káros [25]

Az elmúlt században, a 80-as évek végén, kilencvenes évek elején méréseket végeztek Nyugat-Európában a folyóvizekben levő cink-koncentrációra vonatkozóan, és megállapították, hogy nem jelent semmiféle veszélyt az élővilágra. A Rajna-folyóban mért koncentrációk (3 – 25 µg/l) is mutatják a fém kockázatmentes koncentrációját a folyóban (Heymen és Vander Weijden, 1991). Az erőteljesen növekvő ipari tevékenység sok esetben káros következményekkel járt. Eleinte lokálisan, és ma már sajnos lassan globálisan megterheljük a Föld légkörét, vizeit, és talaját különféle korábban nem ismert, vagy éppen csak kis mennyiségben előforduló anyagokkal. Ilyenek a különféle fémek, melyek túlzott mennyisége a természetes egyensúly megbomlásához, és a fejlődési formák elváltozásaihoz vezet. Ezért fontos felismerni, hogy az *antropogén hatások* jelentős korlátozásával őrizhetjük csak meg környezetünk még élhető állapotát utódaink számára. A cink felhasználása esetében nagyon fontos szempont a fém környezetet terhelő *emissziójának fokozatos csökkentése*, a minél magasabb fokú újrahasznosítás. Ugyanis ez által nemcsak az újonnan kitermelt mennyiséget, és az ezzel járó környezetrombolást és felesleges energiafelhasználást lehet visszafogni, hanem bioszféránk nemkívánatos terhelése is csökkenthető.

16.2. A káros anyagok emissziójának csökkentése a korróziósebesség csökkenéséhez vezet

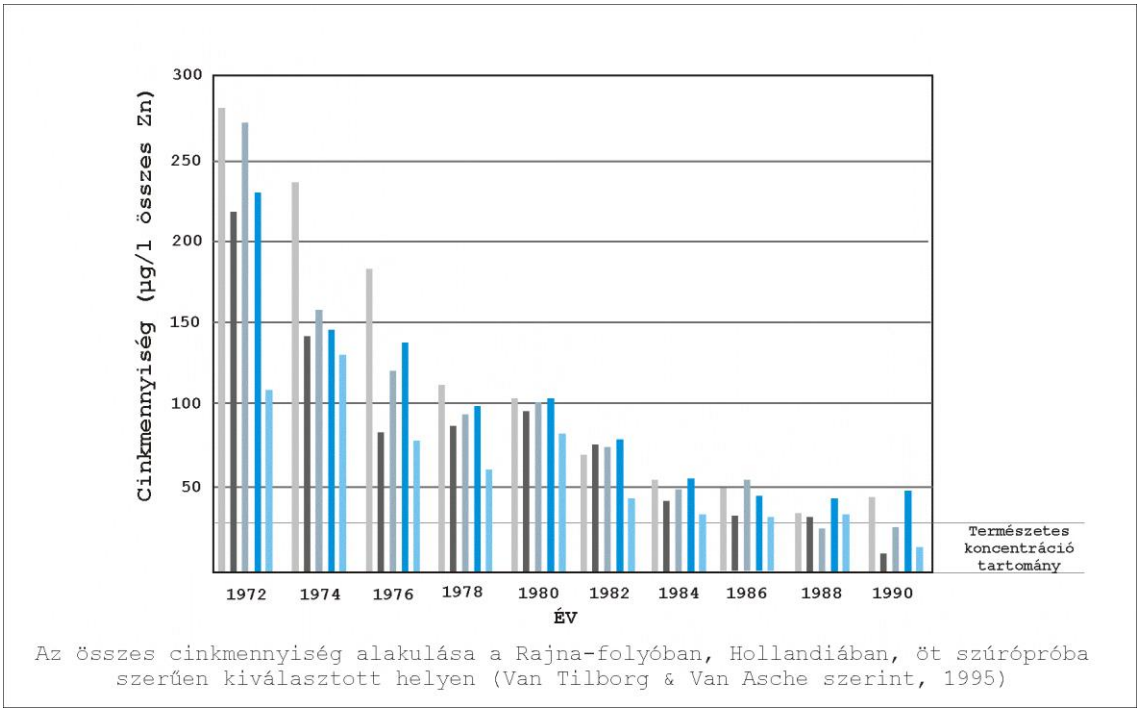
A horgany nélkülözhetetlen az emberiség számára, akár a különféle horganytartalmú termékekre, vagy a korrózióvédelmi megoldásokra gondolunk. Jó példa erre, hogy az acélok korrózió elleni védelmével nagymennyiségű új acél előállítását lehet meggátolni, mely jelentős környezeti ártalmakat is magában hordoz. A cink a horganyzott acélról, hulladékokból a mai korszerű technikai feltételek mellett szinte tökéletesen visszanyerhető, újrahasznosítható. Korrózióvédelmi szerepe az elmúlt évszázadban jelentősen felértékelődött.

Ennek következtében egyre nagyobb volumenben alkalmazzák a tűzihorganyzott kivitelű termékeket, melyek ki vannak téve az időjárás hatásainak. A cink kiváló korróziós ellenálló képessége dacára bizonyos mennyiségben a környezetbe kerül, a többi korrodálódó anyaghoz, például a vashoz, rézhez, alumíniumhoz, stb. hasonlóan. A korrózió sebességére döntő hatása van az agresszív kémiai elemek jelenléte, így a savas esők elsődleges fő felelősének tartott a kén-dioxidnak (SO_2) a hatása. Az ilyen csapadék a felületre érkezve intenzív károsodását okozza a szerkezeti anyagoknak, bevonatoknak. Az elmúlt évtizedekben számos intézkedést hoztak a kormányok (ebben Európa igyekszik élenjárni) a kén-dioxid kibocsátás jelentős csökkentése érdekében. Példaként lehet említeni, hogy a legjelentősebb szennyező források a szénbázisú erőművek, melyekben elégett szén kéntartalma SO_2 formájában a levegőbe távozik. Ma már környezetvédelmi törekvés, hogy az újépítésű, illetve a régebbi erőművek esetében külön kéntelenítő berendezések kerülnek telepítésre. Jól látható az, hogy milyen szoros összefüggés van a kén-dioxid tartalom és a cink korróziója között. És talán azt a következtetét is levonhatjuk, hogy az agresszív anyagok emissziójának csökkentésével jelentősen megnövelhetjük fémszerkezeteink, védőbevonataink élettartamát. Ezért fontos a káros anyagok kibocsátásának csökkentése akár az acélipart, energiaipart, vegyipart, stb., de akár a tűzihorganyzó iparágat is tekinthetjük.
Az elmúlt évszázadok folyamán kevesebbet törődtünk környezetünkkel, ezt mutatja a 64. ábra, ahol Grönlandon végzett vizsgálatok bebizonyították azt, hogy a környezetszennyezést nem lehet országhatárok, vagy kontinensek közé szorítani, hanem előbb-utóbb globálissá válik. Ugyanakkor reménykeltő is a görbe, mert bíztat bennünket azzal, hogy hatásos védelmi intézkedések esetén jelentősen csökkenthetőek a környezetre gyakorolt negatív hatások. A mérések alapján arra lehetett következtetni, hogy a hóban és a jégrétegekben a XX. század 60-as éveiben érte el a cink-koncentráció a maximumot, majd ezt követően a trend megfordult és jelentősen csökkenni látszik a légkörbe kerülő fém mennyisége.



64. ÁBRA: A cink-koncentráció változása a hóban és a jégben Grönland szigetén a XVIII. század végétől napjainkig [25]

Hasonló példát mutat be 65. ábra is, ahol a környezetvédelmi intézkedések hatását próbáljuk bemutatni.



65. ÁBRA: Az összes cinktartalom koncentrációjának változása a Rajna-folyóban [25]

Természetes vizeink talán a legérzékenyebben reagálnak a környezeti ártalmak alakulására. Mint ismeretes, az angliaiTemze-folyó vízéből évtizedekkel ezelőtt szinte teljesen kipusztultak a pisztrángok, lazacok. Hathatós intézkedések következtében ma már ismét lehet velük találkozni. Hasonló példát lehetne mondani a Rajna-folyóról is, melynek tisztulásával ismét visszatértek a halak és nagy mennyiségben foghatóak. A káros hatások csökkentésével az élővizek, főleg a folyók regenerálódó képessége miatt, meglepően gyorsan helyreállhat a rend.

16.3. A cink biológiai szerepe

Földünk kialakulása óta a cink mindenhol megtalálható a környezetben. Az ásványok, a talaj, a víz mindenhol jelenlevő építőeleme, így a növények és emiatt az állatok, de az ember számára is nélkülözhetetlen nyomelem. Az organizmusok léte alapvetően függ a megfelelő cinkmennyiségtől, ugyanis a létfontosságú anyagcsere-folyamatok szükségszerű kelléke.

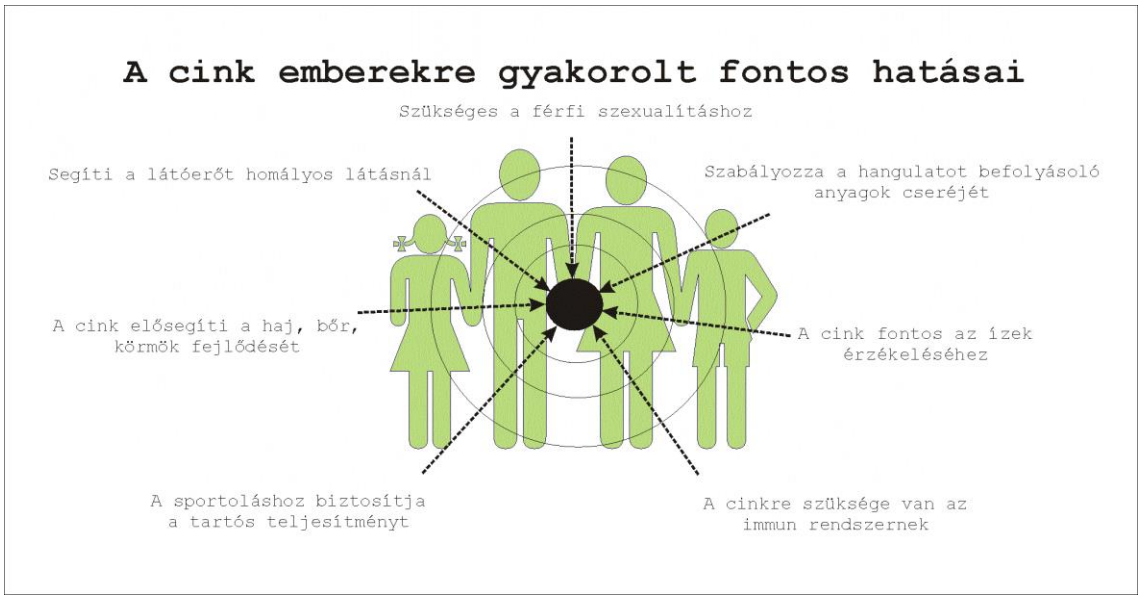
Cink a növény- és állatvilágban
Mivel a cink (horgany) a növények számára fontos anyagokban, a talajban és a természetes vizekben egyaránt megtalálható, ezért fejlődésük, létük többek között erre a kémiai elemre épül (115-116. képek).

115-116. KÉP: A cink fontos építőköve az állat- és növényvilágnak

A cink biokémiai szerepét minden kétséget kizáróan 1933-ban bizonyították be, a karbo-anhidráz enzim felfedezésével. Ez az enzim a szén-dioxid és vízegyensúlyt szabályozza mind az állati, mind a növényi szervezetekben [26]. A növények tápanyagszükségleteiket, így cinkszükségletüket is a talajból fedezik, amennyiben nem tudnak megfelelő mennyiséghez jutni, akkor a cinkhiány tünetei lépnek fel. A cink fontos szerepet tölt be a növényeknél a klorofill képződésében és stabilizálásában. A cinkhiányos növény szervezete, gyökerei kórosan elváltoznak. A fémnek nagy jelentősége van a növekedést szabályozó indolecetsav és a triptofán szintézisében is [26]. Az 1950'-es években a sertéseknél megállapított parakeratózis nevű betegség alap okaként a cinkhiányt állapították meg, és a kórt a takarmányok cink-kiegészítésével teljesen meg lehetett szüntetni. A növények és állatok egyenletes és egészséges fejlődéséhez mindenképpen szükségük van a megfelelő mennyiségű cink bevitelre.

A cink szerepe az emberi szervezetben

Egy átlagos felnőtt ember szervezete 2-3 g cinket tartalmaz. Napi cinkszükségletünk 12-15 mg, melyből a nők 12 mg, míg a férfiak 15 mg mennyiséget igényelnek (WHO adat). A terhes asszonyok kb. 20-25%-kal több cink bevitelét igénylik [27]. Az emberi testben levő cink felét egyenlőtlen eloszlásban a vér tartalmazza, melyben a vérplazma 12-20%-ot, a vörösvértestek 75-80%-ot, a fehérvérsejtek kb. 3 %-ot tartalmaznak. A cinkben a leggazdagabb a szem érhártyája és a prosztata, de nagymennyiségben tartalmaz cinket még az izomzat, a haj, a szőrzet. Az emberi szemben a cinkionok kötik össze az érhártyát az ideghártyával. Nagy mennyiségű cinket tartalmaz az anyatej, az ejakulátum. Az ejakulátum nagy cinktartalma a spermiumok mozgékonyságához és megfelelő élettartamuk biztosításához szükséges. A férfiaknál a kóros cinkhiány a nemi jelleg kialakulásánál hiányosságokhoz vezet, míg nőknél a peteérés leállását is okozhatja, de kóros hiánya magzatkárosító hatású [26].



66. ÁBRA: A cink az ember számára nélkülözhetetlen nyomelem

A fém mintegy 200 enzim megfelelő működéséhez és a DNS stabilizálásához, és az idegrendszerben a jelek továbbításához elengedhetetlenül szükséges (66. ábra) [27]. A cink hiánya az állatoknál, de az embernél is étvágytalansághoz és testsúlycsökkenéshez és fejlődési rendellenességekhez, bőrbetegségekhez vezet. A fentiek miatt nagyon fontos, hogy ételeinkkel mindig megfelelő mennyiségű cinket vigyünk be szervezetünkbe (43. táblázat).

Az élelem fajtája	**Élelem**	**Átlagos cinktartalom** (mg/100 g)	**Napi szükségletet fedező mennyiség** (g)
Gyümölcsök	Sárgabarack	0,16	9380
	Meggy	0,14	10710
	Ribizli	0,53	2830
	Sárgadinnye	0,15	10000
	Málna	0,21	7140
Zöldségfélék	Bab	2,0	750
	Borsó (száraz)	2,25	670
	Lencse (száraz)	2,55	590
	Saláta	0,16	9380
	Kelkáposzta	0,25	6000
	Spenót	0,17	8820
Állati termékek	Tej	0,36	4170
	Tojás	0,87	1720
	Sertéshús	2,78	540
	Marhamáj	3,29	460

43. TÁBLÁZAT: Néhány fontos élelmiszerünk átlagos cinktartalma [39]

A cink nemcsak mint létfontosságú nyomelem, hanem gyulladásos megbetegedések esetére fontos alapanyaga a gyógyszer-, és a kozmetikai iparnak. Ez nem újkeletű felfedezés, mert már Marco Polo útleírásaiban, Perzsiában a gyulladt szemek gyógyítására cink-szulfát tartalmú oldatot („tutia") használtak. Ezt az oldatot még ma is alkalmazzák a szemészetben

(Oculogutta zinci sulfurici) [26]. Ma már tudjuk, hogy a fém nemcsak a gyulladásokat csökkenti, hanem bizonyos vírusok ellen is hatásos gyógyszeralapanyag. Fontos szerepet játszik az idegműködésben, megfelelő cinkmennyiség esetében gyorsul az ingerület továbbításának sebessége. A megfelelő cinkellátottság erősíti a szervezet ellenálló képességét a különféle betegségekkel szemben. A cinkion – máig sem tisztázott mechanizmussal – gátolja egyes vírusok szaporodását, így elősegíti például a herpeszes hólyagok leszáradását és a seb gyógyulását. A fenti hatásai miatt a cink fontos alapanyaga különféle gyógyszereknek, kenőcsöknek. A cinkfelesleg okozta tüneteket csak igen nagy dózisok, hosszú időn keresztül történő bevitele esetében lehet tapasztalni, ilyenkor zavar mutatkozik a réz és vas anyagcseréjében.

17. TUDNIVALÓK EGY TŰZIHORGANYZÁSI SZERZŐDÉS MEGKÖTÉSE ELŐTT

17.1. Információk beszerzése tűzihorganyoztatás előtt

A tűzihorganyzott termékek gyártóinak elemi érdeke, hogy a végfelhasználónak kiszállított termék minősége a legmagasabb szinten feleljen meg a követelményeknek. Ezért egy tűzihorganyzási szerződés megkötése előtt több információt kell beszerezni annak érdekében, hogy a későbbi vitákat el lehessen kerülni (44. táblázat).

Szükséges információk	**Kihez kell fordulni?**	
1. Megfelel-e majd a szerkezet konstrukciója a tűzihorganyzás követelményeinek?	Tűzihorganyzó szakembereihez.	
2. Megfelel-e a rendelkezésre álló horganyzói kapacitás a termékeknek (méretek, tömeg)?	Tűzihorganyzó szakembereihez.	
3. Az acélszerkezet alapanyagának kémiai összetétele optimális-e?	Tűzihorganyzó szakembereihez. Szükség esetén próbahorganyzás.	
4. Kell-e pontosítani a horganybevonattal szembeni minőségi követelményeket.		Megrendelőhöz.
5. Melyek a horganyzandó termékek kiemelt, lényeges felületei?		Megrendelőhöz.
6. Vannak-e speciális esztétikai követelmények a termékekkel szemben?		Megrendelőhöz.
7. Kap-e a tűzihorganyzott termék valamilyen utólagos felületkezelést (pl. festést)?		Megrendelőhöz.
8. Milyen fokozatú termékminősítés szükséges?		Megrendelőhöz.

44. TÁBLÁZAT: Beszerzendő információk tűzihorganyzás előtt

A táblázatban található információk felkészülést szolgálnak, egyben a megrendelő és a tűzihorganyzó közös munkáját is segítik. Ezek tisztázása után jelentősen csökkenni fog a kockázata az utólagos reklamációknak.

17.2. Információk, melyeket a tűzihorganyzó részére biztosítani kell

A tűzihorganyzásra megkötött szerződések szinte minden alkalommal mindkét fél közös megelégedésével zárulnak le. Azonban vannak olyan esetek, amikor a nem megfelelően felkészült megrendelő, illetve a nem kellően felkészített tűzihorganyzó utólagos vitába keveredik, mert a már tűzihorganyzott termékek nem felelnek meg a megrendelő, vagy a felhasználó igényeinek. Ezeknek az utólagos nézeteltérések kockázata csökkentése érdekében olyan kötelezettségei vannak a megrendelőknek, melyeknek feltétlenül meg kell felelniük. Ezeket a kötelezettségeket az *MSZ EN ISO 1461:2009 szabvány, „A" melléklete* írja elő (45. táblázat).

Információk, melyeket a megrendelőnek közölni kell a tűzihorganyzójával:
1. A termékek acélalapanyaga kémiai összetétele, vagy tulajdonsága, ami befolyásolja a tűzihorganyzást.
2. A termék lényeges felületeinek azonosítása (rajzokkal, mintán, munkadarabon).
3. A felületi egyenetlenségre vonatkozó követelmények meghatározása (pl. kikészítés foka).
3. Minta, vagy egyéb azonosító példa a megkívánt bevonati minőségre (színezet, simaság, stb.).
4. Különleges előkezelési követelmények.
5. Különleges követelmények a bevonatvastagsággal szemben.
6. Van-e olyan alkatrész, melyen centrifugált bevonat szükséges (pl. csavarok, apró elemek, stb.).
7. Lesz-e utólagosan még kezelve a horganybevonat (pl. festés, porszórás, stb.).
8. A minőségellenőrzésre vonatkozó utasítások, bizonylatolás foka.
9. Nem kell-e a termékeket az átadásig fedett helyen tárolni (cink-korrózió megelőzése).

45. TÁBLÁZAT: Információk, melyeket a megrendelőnek a horganyzójával mindenképpen közölni kell (MSZ EN ISO 1461: 2009)

Felhasznált irodalom:

[1] K.-A. van Oeteren: Feuerverzinkung ein hochwertiger industrieller Korrosionsschutz, Expert Verlag, Ehningen bei Böblingen, 1988
[2] Peter Gröger: Feuerverzinkung, Metaleurop, Landsberg/Lech, 1995
[3] Peter Maas, Peter Peissker: Handbuch Feuerverzinken, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig-Stuttgart, 1993
[4] W.Katzung, R. Rittig: Ermittlung des Einflusses der Feuerverzinkungsbedingungen, insbesondere der Zusammensetzung der Zinkschmelze (Pb, Ni, Sn, Al) der Tauchdauer und des Abkühlverlaufes auf die Haftfestigkeit und das Bruchverhalten von Zinküberzüge nach DIN EN ISO 1461 (vorm. DIN 50976), Bericht Nr. 148, Gemeinschaftsauschuss Verzinken e.V., Düsseldorf
[5] Zinküberzüge sind deutlich abriebbeständiger als Beschichtungssysteme, Feuerverzinken 4/2001, Institut Feuerverzinken GmbH., Düsseldorf
[6] Mechanische Belastbarkeit, Feuerverzinken 1/2004, Institut Feuerverzinken GmbH, Düsseldorf
[7] Aufbau und Aussehen von Zinküberzügen auf Brennschnittkanten, Feuerverzinken 4/2000, Institut Feuerverzinken GmbH., Düsseldorf
[8] Zink statt Rost, Beratung Feuerverzinken, Düsseldorf, 1988
[9] Tűzihorganyzás, Fact Files, EGGA (European General Galvanizers Association), MTSZ (Magyar Tűzihorganyzók Szövetsége), 2000
[10] Merkblatt 400: Korrosionsverhalten von feuerverzinktem Stahl, Stahl- Informations-Zentrum, Düsseldorf
[11] Peter Maas, Peter Peissker: Handbuch Feuerverzinken, WILEY-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim, 2008
[12] Rune Thomas: Handbuch Feuerverzinkung, Nordisk Förzinkningsföre- ning, Stockholm, 1989
[13] Rebar: A Processing and Inspection Guide for Quality Hot Dip Galvanized Reinforcing Steel, American Galvanizers Association, 1998
[14] Feuerverzinkter Betonstahl, Feuerverzinken, Beratung Feuerverzinken NR. 3, Düsseldorf, 1994
[15] Merkblatt 329. Korrosionsschutz durch Feuerverzinken (Stückverzinken), Stahl-Informations-Zentrum, Düsseldorf
[16] Feuerverzinken + Beschichten = Duplex-System, Beratung Feuerverzinken, Hagen, 1986
[17] Korrosionsschutz durch Duplex-Systeme (Feuerverzinken + Beschichten), Institut Feuerverzinken GmbH, Düsseldorf
[18] Feuerverzinkte Stahl- und Verbundbrücken, Institut Feuerverzinken GmbH, Düsseldorf, 2014
[19] Merkblatt 110: Schnittflächenschutz und katodische Schutzwirkung von bandverzinktem und bandbeschichtetem Feinblech, Stahl-Informations- Zentrum, Düsseldorf
[20] Merkblatt 235: Weich- und Hartlöten von bandverzinktem Feinblech, Stahl-Informations-Zentrum, Düsseldorf
[21] Kristóf Csaba: Tűzihorganyzott acélszerkezetek horganyzás utáni hegesztése, Konferencia kiadvány, Magyar Tűzihorganyzók Szövetsége, Dunaújváros, 2002
[22] Dr. Mihalik Árpád, Csicsovszki Gábor: Cink és cinktartalmú hulladékok újrafeldolgozása I., Tűzihorganyzás 1/2005, NAGÉV Kft., Hajdúböszörmény

[23] Dr. Mihalik Árpád, Csicsovszki Gábor: Cink és cinktartalmú hulladékok újrafeldolgozása II., Tűzihorganyzás 2/2005, NAGÉV Kft., Hajdúböszörmény
[24] Zinc Recycling – Zinc Coated Steel, IZA-EUROPE, EUROFERR, EGGA (1999)
[25] Zink in der Umwelt, International Zinc Association; Institut Feuerverzinken GmbH., Düsseldorf
[26] Dr. Wágner Ödön: A cink biológiai jelentősége, Tűzihorganyzás 4/2003, NAGÉV Kft., Hajdúböszörmény
[27] Tűzihorganyzás, European General Galvanizers Association, IZA-Europe, Magyar Tűzihorganyzók Szövetsége (2001)