

R-Trade Kaputechnika Kft
H-8103 Várpalota, Radnóti út 60.
Tel: 88/ 475 238, Fax: 88/ 475 165
Mobil: 06 30 9360 183
E-mail: redele@gmail.com

Redele György:

A TERMIKUS FÉMSZÓRÁS HORGANYZÁS (TSS) JELLEMZŐI, ELŐNYEI A TŰZIHORGANYZÁSHOZ VISZONYÍTVA

termikus szórással horganyzott és alumíniummal bevont acélszerkezetek esetében.
Acélszerkezetek minőségi korrózióvédelme a

Metallisation
Thermal spray equipment and consumables

termikus cinkszórás-horganyzás technológiája szerint, Thermal Flame Spray alkalmazása esetén.

HA A KORROZIÓS KÖRNYEZET OLY MÉRTÉKBEN AGRESSZÍV, HOGY A TŰZIHORGANYZÁS ELJÁRÁS MÁR NEM AD MEGFELELŐ VÉDELMET, VEDD ELŐ A TERMIKUS FÉMSZÓRÁS HORGANYZÁS (TSS) VAGY A TERMIKUS ALUMÍNIUM SZÓRÁS (TSA) TECHNOLÓGIÁT !

Magyarországon a „horganyzás" kifejezés szinte egybeforrott a tűzihorganyzás eljárással megvalósított, acélszerkezeteken előállított korrózióvédelmi bevonattal, mely eljárás során az acélszerkezetet megközelítőleg 450 °C-os horgany fém folyadékba merítéssel kezelik. Jobb esetben szóba jön még az elektromos úton kialakított, többnyire meglehetősen vékony horgany réteget eredményező elektrolitikus horganyzás (galvanizálás) is.
Ezzel szemben a gazdaságilag fejlettebb társadalmakban, ahol a gazdaságosság mérlegelésénél, a felületvédelem kialakításának módszerét meghatározó döntések meghozatalánál az elsődleges ismérv a Korróziós Élettartam Ciklus Költség (Life-Cycle Cost), előszeretettel alkalmaznak más horganyzási technológiákat is. Ezen technológiák közül kiemelkedő szerepe van a Termikus Szórás (Thermal Spray System) eljárásnak.
A termikus fémszórás horganyzás eljárásnak különösen magas műszaki kultúrája alakult ki az angolszász országokban, az arab világ fejlett régióiban (Dubai, stb.), de a legnagyobb fémszóró huzal felhasználó az EU országai mellett Kína, az USA, és a távol-keleti országok.
Európában Nagy Britanniát követően a Skandináv országokban, de a Benelux államoktól kezdve Franciaországon keresztül lépten-nyomon találkozunk a TSS horganyzási technológia dinamikusan növekedő alkalmazásával.
Ezzel szemben hazánkban (hasonlóan alacsony a fémszóróhuzal felhasználás a környező, a volt „keleti blokk" országaiban) gyakran még a szakemberek körében is felmerül az a kérdés, hogy vajon a termikus fémszórással előállított horgany bevonat, mint korrózióvédelmi bevonat, „horganyzás" -e, nem beszélve a tűzihorganyzó lobbi képviselőiről, akik hajlamosak az sugallni, hogy megfelelő korrózióvédelmi bevonat kialakítása kizárólag a termodiffúziós, vas-horgany ötvözeti réteggel együtt járó tűzihorganyzás eljárással lehetséges.
Írásomban alapvető célnak tartom annak bemutatását, hogy a nagy termelékenységű, továbbra is nélkülözhetetlen tűzihorganyzás módszere mellett, annak kiegészítőjeként, acélszerkezetek korrózióvédelmére a Termikus Fémszórás horganyzás kiválóan alkalmazható és attól, hogy ma Magyarországon egy fővárosi acélszerkezetű híd (Margit-híd) festékbevonat rendszerrel történő korróziós felújítása kapcsán a korróziós élettartam elvárás max. 15 év, a világ más részeiben, az USA-ban, még (már) léteznek azok, a számunkra is elérhető (itt van) horganyzási (fémszórási) eljárások, mellyel a hivatkozott híd ismételt felújításához szükséges időtartam akár 30-40 évre is kitolható lenne.
Írásomban megkísérlek mankót adni olvasóimnak a termikus fémszórás horganyzás, alumínium fémszórás alkalmazhatóságának, indokoltságának eldöntéséhez.
Írásomat indokolja, hogy az utóbbi időkben a szakmai kiadványokban a TSS-t nem a helyén kezelő írások jelentek meg.

HORGANYZÁSI ELJÁRÁSOK, A FÉMSZÓRÁS, MINT HORGANYZÁS

Horganyzás alatt acélszerkezeteknek, korrózióvédelmi célból történő horgany (zink) fémmel történő bevonását értjük.
Az egyes eljárásokat [1] -es hivatkozási forrásból az alábbiakban mutatjuk:

Eljárás neve		Bevonat vastagság* (µm)	Ötvözet-réteg az alapfémmel	A bevonat felépítése, összetétele	Eljárás technikája	Szabvány száma
Tűzihorganyzás	**Darabáru horganyzás** (szakaszos)	50…150	van	Vas-horgany ötvözet fázis az alapfémen, azon tiszta horganyfázissal	bemerítés fémolvadékba, majd kiemelés	EN ISO 1461
	Csőhorganyzás (szakaszos)	50…100	van			EN 10240
	Széles szalag horganyzás (folyamatos)	15…25	van		áthúzás fémolvadékon	EN 10326 EN 10327
	Keskeny szalag horganyzás (folyamatos)	20…40	van			EN ISO 10244-2
	Huzal horganyzás folyamatos	5…30	van			
Termikus fémszórás		80…150	nincs	horgany	olvasztott fém felszórása	EN ISO 2063
Szakaszos galvanizálás**		5…25	nincs	lamelláris horgany	fémleválasztás elektrolitból	EN 12329
Automatikus galvanizálás**		2,5…5	nincs			EN 10152
Sherardizálás		15…25	van	vas-horgany ötvözet	fémdiffúzió horganyporból	EN 13811
Plattírozás		10…20	nincs	horgany	felületre verés üveggolyókkal	EN ISO 12683

Megjegyzések:
* szokásos vastagságok
**elektrolitikus fémleválasztás

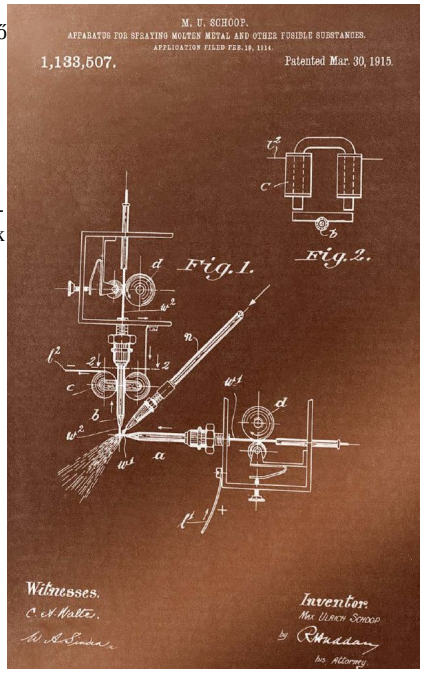
1. Ábra: horganyzási eljárások

A fentiek alapján a Termikus Fémszórás egyfajta horganyzás.
Felmerül azonban a kérdés, mint az az [1]-es hivatkozásban is szerepel, megtévesztő lehet-e a Termikus Fémszórás Horganyzás kifejezés, mint korrózióvédelmi eljárás ? Válaszunk a kérdésre, hogy NEM, melyet írásom további fejezetei tisztán és megalapozottan bemutatnak, igyekezve meggyőzni a tisztelt Olvasót arról, hogy a tűzihorganyzó üzemeken kívül is van élet.

HORGANY, HORGANY ÖTVÖZETEK ÉS ALUMÍNIUM, MINT KORRÓZIÓVÉDŐ FÉM BEVONATOK

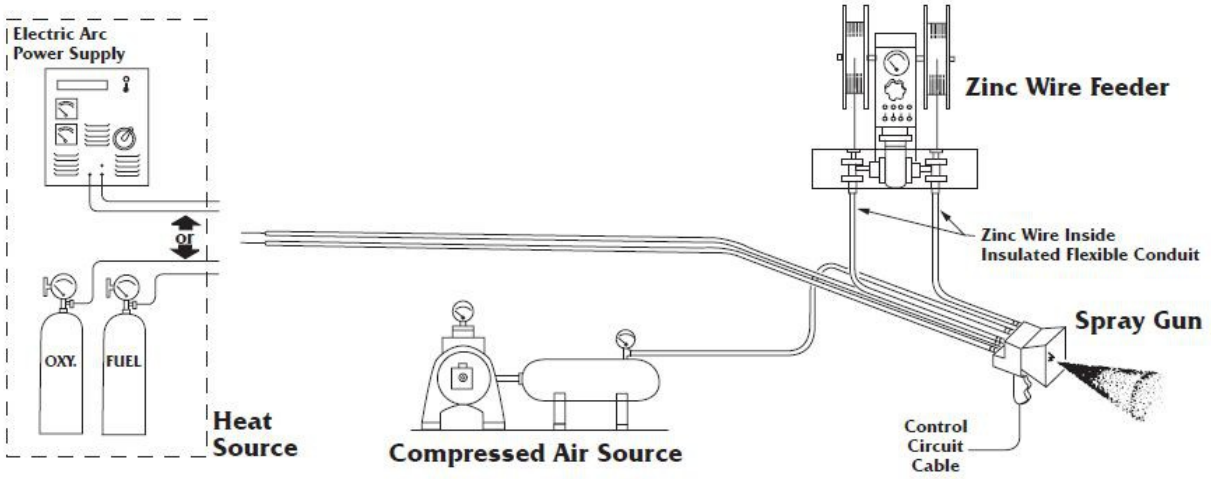
Acélszerkezetek korrózióvédelmének céljából a hivatkozott ISO 2063 szerint Horgany (Zn), Alumínium és ezen fémek ötvözetei (elsősorban a Zn/Al 85/15) alkalmazhatóak. Bár írásom későbbi fejezetének feladata a termikus szórásnak a tűzihorganyzással szembeni előnyeinek részletes bemutatása, kimagasló fontossággal bír, hogy a tűzihorganyzással ellentétben a fémszórás nem csak a horgany, hanem a fent említett fémbevonatok kialakítására is alkalmas.
Igaz ugyan, hogy amennyiben a szórt fém nem horgany, a magyar nyelv szabályai szerint horganyzásról nem beszélhetünk. Cinktől eltérő fémbevonat esetén fémszórásról beszélünk.
A tűzihorganyzással, mint általánosságban jól ismert módszerrel, nem kívánok bővebben foglalkozni.

TERMIKUS FÉMSZÓRÁS HORGANYZÁS (CINKSZÓRÁS) TÖRTÉNETÉNEK RÖVID ISMERTETÉSE



Az eljárás Dr. M.U. SCHOOP -nak köszönhetően 1910-ben, Svájcban, Zürich-ben látott napvilágot. Ez idő tájt a doktor az amerikai „ Metals Coating Company of America”, Boston, Massachusetts, cég számára dolgozott. Ennek során a kutató acetilén és oxigén gázok segítségével megolvasztott, atomizált ólom (Pb) fémet nagy nyomású levegő segítségével porlasztott az acél alapanyag felületére [2]. Az első fémszóró pisztolyt 1915. március 30.-án szabadalmaztatták.

Először az I. Világháborúban német-, és Franciaországban alkalmazták, de nem kereskedelmi méretekben. Az eljárás elkezdte diadalútját, melynek során rövid időn belül, a 1920-as évekre, az eljárás eljutott az UK-ba, majd Amerikába is, ahol kezdetét vette az ipari méretű felhasználása. Az US NAVY által hajótesteknek horgannyal történő felületkezelésére, sőt a Panama-csatorna építése során is alkalmazták. Ez idő tájt, itt fejlesztették ki a gázok helyett elektromos áram segítségével történő fém olvasztási technológiát (Wire Arc Spray).
1933-ban Amerikában megalakult a METCO Incorporated, majd 39-ben a METCO LTD(UK), mint a termikus fémszórás horganyzás zászlóshajói, 1948-ban létrejött az első szervezet, az ITSA (International Thermal Spray Assotiation), mely a szakmai feladatokat koordinálja.
1940-ben felfedezték, megalkották az első Plasma Spray Gun-t, majd 60-ban a Praxair kitalálta a D-GUN® fémszóró berendezést, mely eszközök egyre nagyobb emissziót, anyag kiáramló sebességet, egyre magasabb atomizációs hőmérsékletet, ezzel együtt növekedő adhéziós tapadószilárdságot és egyre kisebb porozitást (nagyobb anyagsűrűséget) biztosítottak. A fejlődési folyamat jelenleg is töretlen.



2. Ábra: a fémszórás horganyzás elvi sémája

1976-ban megtartották az USA-ban az első Thermal Spray konferenciát, az ITSA és az AWS (American Welding Sociaty) közreműködésével. A fentiekből kitűnik, hogy termikus fémszórás horganyzásra vonatkozó előírások, szabványok, újabb kutatási eredmények tekintetében alapvetően az amerikai ANSI, AWS, ASTM standardok számítanak irányadónak.

1950-ben elkezdődik az acélszerkezetű hidak fémszórással, szórt horgannyal történő korrózióvédelme. Sorban jön az újzélandi Auckland Harbour Bridge, de ott vannak az Egyesült Királyságban a 60/64-ben épült skót FORT ROAD BRIDGES, vagy a QUEENNHILL BRIDGES Glouchestershir-ben, a GEORGE STREET BRIDGE Newport, Dél-Wales-ben [3], és számolhatatlan sorozatban az USA-beli hidak.

Napjaink. Automatizált, folyamatos fémszórás horganyzás. Általában a termikus fémszórás horganyzás technológiai eljárás hátrányaként hozzák fel, hogy a technológia alacsony termelékenységű, kézi munka igényes, nem automatizált. Mindez sajnálatos módon csak a hazánkban működő berendezésekre igaz, különösen annak fényében, hogy már a skót FORTH ROAD BRIDGE cinkszórása esetében is mind a felület előkészítés, mind a cinkszórás több szórófejes, automatizált gépsoron történt meg. Folyamatos, automatizált berendezések szórják a zöld energia hasznosításában élenjáró európai országokban gyártott szélerőművek csőszerű acél tartószerkezeteit, az orosz, amerikai földgázvezetékek csöveit, stb.

A THERMAL SPRAY HORGANYZÁSTECHNOLÓGIA RÖVID (KIVONATOS) LEÍRÁSA

Acélszerkezetek felületén **Thermal Spray System (TSS)** technológiával kialakított korrózióvédelmi horganybevonatok minőségének az EN ISO 14713, ISO 2063 szabványokban foglalt követelményeknek kell megfelelnie, figyelembe véve a felület előkészítéssel (ISO 12944-4), a vizsgálati módszerekkel foglalkozó ISO 8501-1; ISO 8503; ISO 14922, 14923 és 22063 szabványokat, valamint célszerű a fémszórástechnikában élenjáró angol, amerikai standardok (ANSI/AWS C2.18-93R; ASTM B 833 stb.) és szakcégek vizsgálati eredményeinek ismerete is.

A technológiai folyamat a következő lépésekből áll: felület előkészítés; fém bevonat kialakítása; a létrejött porózus fém bevonat pórustömítése (alapozás); igény esetén további festékrétegek kialakítása.

FELÜLET ELŐKÉSZÍTÉSE

A termikus fémszórás sikerének megalapozása a felületkezelésre szánt alaptest, szubsztrátum felületének szakszerű előkészítésénél kezdődik. A felületet meg kell tisztítani a mechanikai szennyeződésektől, zsírtól, oxidoktól, régi festékbevonattól. A felülettisztítás, fémtiszta felület előállítása pl. aluminium-, és szilicium-oxid szóróanyagok felhasználásával, szemcseszórással történhet meg. Az eljárás célja, hogy a megfelelő felületi tapadás érdekében EN ISO 12944-4 szerinti Sa 3,0-as tisztasági fokozatú felületet hozzunk létre [9]. A fémtisztaság mellett alapfeltétel a felület érdesítése. A megkívánt átlagos érdességi fokozat Ra 5-10 μm, a maximum csúcs/mélység Rz 50-100 μm értékű.



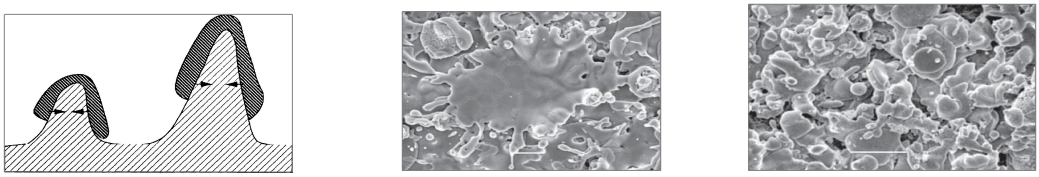


3. Ábra

St 2,5-ös és St 3,0-as felületi tisztaság; EN ISO 8501-1 szerint

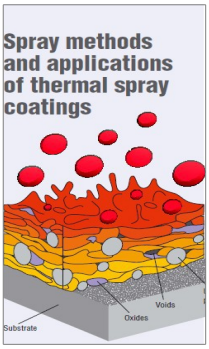
BEVONAT FELÉPÜLÉSE

Az általunk alkalmazott Flame Spray fémszóró berendezés 100 m/s kezdeti sebességgel, 3000 Celsius fokon kiáramló cink, alumínium, vagy ezek ötvözetéből álló fém részecskéket lövell az előkészített, bevonásra szánt, leginkább acél alaptest felületére, mintegy 50 kg/óra teljesítménnyel.



4. Ábra: elektronmikroszkóppal készült felvételek a bevonat felépülésének folyamatáról
Az alapfémmel történő érintkezés pillanatától kezdve a részecske palacsinta formát vesz fel és létrejön a megszilárdulás[5].

AZ ADHÉZIÓS KÖTÉS MECHANIZMUSA

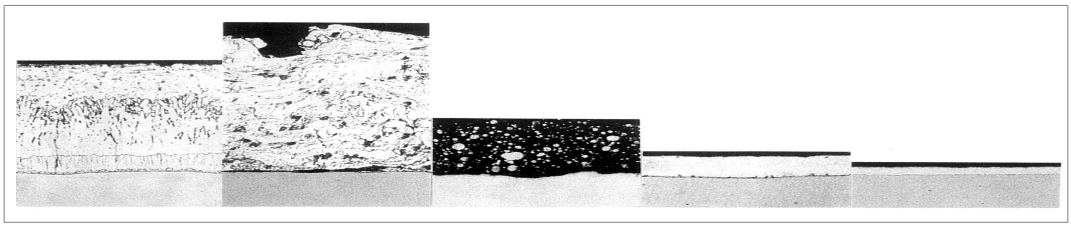


A felérdesített felületen több lemez, bizonyos mértékben, azzal az erővel tapad az alapfémhez, amely a felületi egyenetlenséget körbefogó folyékony anyag megszilárdulása során létrejövő térfogatcsökkenésből adódik. A lemezek határosak a repülés közben részben oxidálódó következő fémréteggel, az alapfelület érdessége miatti levegővel, vagy munkagázzal teli pórusokkal.
A lemezek és az alapfém közötti érintkezési felületen belül az adhézió a következő mechanizmusokból adódhat [4] :

- fizikai kölcsönhatás; a lemez és az alapfém atomjai között a Van der Waals -féle erők működése miatt, amennyiben a felületek 0,5 nm távolságra közelítik meg egymást. E miatt rendkívüli fontosságú a fémtiszta, érdes alaptest és a magas energiaállapotban lévő, nagy kinetikai energiával rendelkező, folyékony állapotban lévő szórandó fém viszonya, a szóróberendezés gyártója technológiai utasításainak betartása.
- metallurgiai kölcsönhatás; két lehetséges mechanizmusa van: a termodiffúzió és az anyagok közötti kémiai folyamatok. A thermodiffúzió a rácshibák mentén jön létre, erősítve az adhézió mértékét, azonban a termodiffúzió nem játszik jelentős szerepet a kötés létrejöttében.
- Egyéb folyamatok, mint pl. az epitexia (egykristályos, vékonyréteg kapcsolat az érintkező fémek között). Nem jelentős.

AZ ADHÉZIÓS KÖTÉS MÉRTÉKE

A kialakult felületi kötés szilárdsága leginkább függ az alkalmazott fémszórási technológia fajtájától, az alaptest felületének előkészítési módjától és minőségétől.



tűzihorganyzás; termikus fémszórás; magas cink tartalmú festékbevonat; folyamatos tűzihorganyzás;; elektrogalvanizálás [8]
5. Ábra: az egyes korrózióvédelmi eljárások során létrejött felületi bevonatok mikrostruktúrája; az ábra a rétegvastagságára és a réteg jellemzőire utal.

A tipikus adhéziós kötés mértékére Flame Spray (gázok segítségével történő fém olvasztás) esetén nem kevesebb, mint 4-5 MPa, Arc Spray esetén 6-20 MPa, Plasma Spray esetén akár 50-70 MPa érték is lehet, mely jellemzőket leginkább Pull-Off felszakításos tapadásmérővel ellenőrzünk.

Konkrét példáink a tapadószilárdság mértékére a következők:

A Thermion Metallising Systems Ltd. által 2002-ben a Niagara vízesés közelében lévő Rainbow Bridge (New York USA) felületén mért kötésszilárdság értéke: 730-760 PSI azaz 5,03-5,24 MPa. A kötésszilárdság mérés ASTM D4541 amerikai szabvány szerint, Pull-Off, azaz felszakításos kötésszilárdság mérővel történt. A hídszerkezet bevonata 85/15 Zn/Al cink /alu ötvözet.
Társaságunk, az R-Trade Kaputechnika Kft által 2013-ban a pilisvörösvári és az óbudai vasúti hídszerkezet acél tartóin Flame Spray eljárással létrehozott fémbevonaton mért átlagos tapadási érték 4,8 MPa-ra adódott. Alkalmazott bevonat: 99,5 % Al fém, AW 1080A

A SZÓRT FÉM FELÜLET POROZITÁSA ÉS ANNAK TÖMÍTÉSE

A termikus szórással kialakított fém bevonat pórusos felépítésű. A porozitás általános mértéke 7-15 % körüli, mely érték függ az alkalmazott berendezés és a fém típusától. Flame Spray és Al fém esetén a várható porozitás 7, míg Zn esetén 15 % körüli.
A legmodernebb technikákkal, HVOF (High Velocity Oxigen Fuel) akár 1 % is elérhető.

A fémszórással együtt járó porozitásnak jó-, és kedvezőtlen hatása egyaránt ismert. A porozitás pozitív haszna a kiváló pórustömítő alapozó megkötő képessége, mely a tűzihorganyzással szemben alkalmassá teszi a fém bevonatnak egymást követő technológiai lépésekben, azonnal történő színre festését. Negatív vonzata a porozitásnak, hogy amennyiben a fém bevonatot pórustömítő nélkül kívánjuk alkalmazni, úgy a korrozív közegnek, az elektrolitnak a pórusokon keresztül történő haladásának megakadályozása érdekében a fém bevonat vastagságát a szokásos 80-100 µm helyett növelni kell legalább150 µm értékig [6; 7; 10] .

A PÓRUSTÖMÍTETT FÉMBEVONAT FESTÉSE

A festéssel a fémszórással elérhető egyébként is magas korróziós élettartamot tovább növeljük, másrészt esztétikai igényeknek felelünk meg. Festésre a gyártók erre a célra kifejlesztett festékrendszereit alkalmazzuk. Legelterjedtebben a HENELIT, HEMPEL, JOTUN, TIKURILLA, AKZO NOBEL stb. festékeit használják világszerte.

A FÉMBEVONAT MINŐSÉGÉNEK ELLENŐRZÉSE

A felület előkészítés során kialakult Sa3-as fémtisztaságot ISO 12944-4 szerint összehasonlító etalon lemez alkalmazásával vizsgáljuk. A felületi érdességre vonatkozóan pl. a Mitutoyo erre alkalmas mikrométerét és a TESTEX Test-O-Film érdességmérő szalagot használhatjuk. A kialakított rétegvastagságot DeFelsko Positest Combo rétegvastagság mérő műszerrel mérhetjük. A kötésszilárdság mérésére a DeFelsko Pull-Off felszakításos tapadásmérő szolgálhat. A bevonatminőség vizsgálatára egyéb, itt nem részletezett módszerek is szolgálhatnak (sófürdő, stb.)

A TERMIKUS FÉMSZÓRÁS HORGANYZÁS JELLEMZŐI, ELŐNYEI, HÁTRÁNYAI, ÖSSZEHASONLÍTVA A TŰZIHORGANYZÁSSAL. TERVEZÉSI SEGÉDLET.

Mivel az egyes horganyzási eljárások által létrehozható bevonatok jellemzői nagy mértékben eltérhetnek egymástól, fontos, hogy az alkalmazhatóság eldöntéséhez, a horganyzási módszer kiválasztásához megismerjük azokat. Az alábbiakban ehhez kívánunk segítséget nyújtani. Tekintettel a fémszórásnak arra a tűzihorganyzással szembeni, már korábban is említett óriási előnyére, mely szerint a horgany mellett annak alumínium ötvözetével, illetve a tiszta alumínium fémmel is képes korrózióvédelmi bevonatot képezni, a továbbiakban kihasználjuk eme jellemzőjét.

- **A TERMIKUS FÉMSZÓRÁSSAL, FOKOZOTTAN KORROZÍV KÖRNYEZETBEN, A TŰZIHORGANYZÁSHOZ KÉPEST LÉNYEGESEN MAGASABB KORRÓZIÓS ÉLETTARTAMOT LEHET ELÉRNI. Védőrétegek vastagsága, korróziós képességeik**

A tűzihorganyzó üzemek a kialakított technológiai, üzemi viszonyaiknak és gazdasági érdekeiknek megfelelően alakítják ki a fémszerkezetekre felvitt horgany rétegvastagságot. Ezt ISO 1461 szerint tipikusan 50-150 µm közé állítják be [11]. A ténylegesen kialakult horganyréteg vastagsága több tényező függvénye (anyagminőség, bemártási idő, stb.) ugyan, de egy esetlegesen magasabb rétegvastagság elérésére irányuló megrendelői igény esetén pont a nagy termelékenység és a termelési rendszer rugalmatlansága miatt nehézkes a válasz, a reakció.
A horganyzott acélszerkezetek korróziós élettartama atmoszférikus környezetben azonban kb. egyenesen arányos a kialakított fém réteg vastagságával (ISO 14713 és [12]), a fémbevonatnak a korrozív közeg, elektrolit által meghatározott fogyási sebességének függvényében.

Table 2 *(continued)*

f) Corrosivity category C5, very high (most corrosive part of category) (zinc corrosion rate typically 6 µm/year to 8 µm/year; 40 g/m²/year to 60 g/m²/year for long exposures)

Typical life to first maintenance years	General description and suitability	Mean coating thickness on each surface µm (minimum)	Notes (at end of table 2)
Very long (≥ 20)	Hot dip galvanized	150 to 200[c]	1, 2, 3, 4, 10, 11
	Unsealed sprayed aluminium conforming to ISO 2063	250	4, 6
	Unsealed sprayed zinc conforming to ISO 2063	250	1, 4, 6
	Sealed sprayed aluminium conforming to ISO 2063	150	4, 5, 6
	Sealed sprayed zinc conforming to ISO 2063	150	4, 5, 6
Long (10 to < 20)	As above or: Hot dip galvanized (thick coating - not always available, see note 2 at end of table 2)	115	1, 2, 3, 4, 10, 11
	Unsealed sprayed aluminium conforming to ISO 2063	150	4, 6
	Unsealed sprayed zinc conforming to ISO 2063	150	1, 4, 6
	Sealed sprayed aluminium conforming to ISO 2063	100	4, 5, 6
	Sealed sprayed zinc conforming to ISO 2063	100	4, 5
Medium (5 to < 10)	As above or: Hot dip galvanized conforming to ISO 1461 (steel ≥ 3 mm thick)	70 to 85	1, 2, 3, 4
Short (< 5)	As above or: Hot dip galvanized to ISO 1461 (steel < 3 mm thick or centrifuged [b])	25 to 55[a]	1, 2, 3, 4, 9
	Tube hot dip galvanized (e.g. conforming to EN 10240)	25 to 55[a]	1, 2, 3, 4, 9
	Hot dip galvanized sheet Z275 (see EN 10142 or EN 10147 or ISO 4998);	20	9

[a] Depending on the 'coating quality' specified for the tube (e.g. see EN 10240) or thickness of the steel in a product (see ISO 1461) more than one minimum mean is specified.

[b] Threads < 6 mm diameter on components.

[c] For these conditions and life to first maintenance > 20 years a very thick galvanized coating is required, e.g. 150 µm to 200 µm. Such coatings should not be specified until the matter has been discussed with a hot dip galvanizer and sample products have been satisfactorily hot dip galvanized. See ISO 1461 and note 2 at end of table 2 for general guidance.

Page 18
EN ISO 14713:1999

Table 2 *(continued)*

g) Corrosivity category Im2: Temperate sea water[d,e] : zinc corrosion rate typically 10 µm/year to 20 µm/year; 70 g/m²/year to 150 g/m²/year

Typical life to first maintenance years	General description and suitability	Mean coating thickness on each surface µm (minimum)	Notes (at end of table 2)
Very long (≥ 20)	Sealed sprayed aluminium conforming to ISO 2063	150	4, 5, 6
	Sealed sprayed zinc conforming to ISO 2063	250	4, 5, 6
Long (10 to < 20)	As above or: Hot dip galvanized (see footnote c under table 2f))	150 to 200	1, 2, 3, 4, 11
	Sealed sprayed zinc conforming to ISO 2063	150	4, 5, 6
Medium (5 to < 10)	As above or: Hot dip galvanized (thick coating — see note 2 at end of table 2)	115	1, 2, 3, 4
Short (< 5)	As above or: Hot dip galvanized conforming to ISO 1461 (steel ≥ 3 mm)	70 to 85	1, 2, 3, 4

[d] Hot dip galvanized tube, sheet and fittings normally have additional protection when used in sea water.

[e] Brackish water may be more or less corrosive than sea water and no general estimates of durability can be given.

6. Ábra: Im2 a lehető legmagasabb korróziós igénybevétel kategória, tengervízbe merített acélszerkezetek esetén; C5-ös, nagyon magas korróziós igénybevétel kategória

A fenti táblázat adatainak értelmezése a termikus fémszórás horganyzás szemszögéből:

A 6-os ábra adatai szerint, C5-ös, nagyon magas korróziós igénybevétel esetén a legalább 20 év korróziós élettartam tűzihorganyzott szerkezetek esetén csak legalább 150-200 µm horganyréteg kialakítása mellett biztosítható, mely túl van a szokásos üzemi lehetőségeken, illetve a speciális körülmények között biztosítható. Ezzel szemben a pórustömített, termikusan fémszórt horgany bevonat már 150 µm mellett határozottan biztosítja a megkívánt élettartamot.

A 6-os ábra szerint a csúcs korrozív, tengervizes, kloridos környezetben a tűzihorganyzás elveszíti jelentőségét, gyakorlatilag nem használható, szemben a fémszórt horgannyal.
Amennyiben figyelembe vesszük a TSS technológia azon jellemzőjét, hogy a fém rétegvastagság tetszőlegesen, akár 500 µm-ig is növelhető, vagy a horgany fém 85/15 Zn/Al ötvözetre, esetleg tiszta Al fémre cserélhető, a technológia előnye vitathatatlan, melyet a kontinentális elhelyezkedésű hídszerkezetek és az OFFSHORE (tengerben telepített) szerkezetek felületkezelésének gyakorlata is igazol.
Hogy hazánkban nincs tengeri környezet ? Az igaz, de az acélszerkezetű hidainkra megállapított igénybevétel rendszerint C5-ös, a vegyipar, mezőgazdaság (trágyalé), közút (úti só tárolók) és egyéb alkalmazási területek gyakorta fokozottan korrozív környezetet biztosítanak.

A fentiek alapján rögzíthetjük, hogy **NEM IGAZ** a tűzihorganyzó lobbi képviselőinek azon állítsa, hogy „ *Ahogy nő a korróziós igénybevétel nagysága (C1….CX)[3], a szórt horgany minimálisan szükséges vastagsága a tűzihorganyzással kialakított rétegekhez képest egyre vastagabb[4], melynek oka a fémszórt fémréteg porozitása. Ez azt jelenti, hogy azonos korróziós körülmények között vastagabb szórt rétegek szükségesek, mint az olvadékba merítéssel kialakított tűzihorgany bevonatnál és ez a különbség a korróziós hatások erősödésével egyre növekszik. Intenzívebb igénybevételeknél (víz alatti, talaj, vegyszer, stb.) a szórt rétegek korróziós képességei fokozottan romlanak, míg a kompakt tűzihorgany bevonatok ellenállása továbbra is jó*.” [1]

Az állításunk gyakorlati igazolása hazai példánkkal: „ *A … vasbeton **hidak acélbetétek kilátszó felületein... szórt fémbevonat készül**...a tartók korrózióvédelmének biztosítására... A tartók alsó övét... **C5-I korrozivitási kategóriába esőnek kell tekinteni.** A fémbevonat készítését szabályozó szabvány: **EN ISO 2063:2005; Termikus szórás**... cink, alumínium és ötvözeteik.*” [13]
(MÁV: Vasúti hidak acélszerkezeteinek korróziós minőségbiztosítása; 2012.)

- ***Intenzívebb igénybevételeknél (víz alatti, talaj, vegyszer, stb.) a szórt rétegek korróziós képességei fokozottan romlanak, míg a kompakt tűzihorgany bevonatok ellenállása továbbra is jó***.” [1]

  AZ IDÉZETT SZERZŐ EZEN ÁLLÍTÁSA ALKALMAS A FÉMSZÓRÁSRÓL, MINT KORRÓZIÓVÉDELMI BEVONATRÓL ÉRDEKLŐDŐ MEGTÉVESZTÉSÉRE, EZÉRT ANNAK CÁFOLÁSÁT CIKKÜNK SORÁN FOLYAMATOSAN SZEM ELŐTT TARTOM.

A víz alatti intenzív korróziós igénybevétel esetére a sós, kloridos tengervízbe épített szélerőműparkok, olajfúrótornyok szolgálnak példaként, de említhetem a tengerfenékre telepített olaj, földgáz vezetékeket is (CONOCO OIL stb. [14]), melyek TSS felületkezelést kapnak, de legelterjedtebb a TSA alumínium fém bevonat felépítése. Az [1] -es cikk szerzőjének állításával ellentétben a fentebb közölt ISO 14713 kivonatból is kitűnik, hogy Im2 korróziós igénybevétel esetén a tűzihorganyzás nem alkalmazható, mivel a várható élettartam 20 év alatti. A tengeri acélszerkezet építés gyakorlatában a beruházási döntéseknél az Élettartam Ciklus a legfontosabb ismérv, melyet igyekeznek 40-50 évre kitolni, ennek érdekében a termikus fémszórást alkalmazzák, leginkább 99,5 % -os tisztaságú alumínium, vagy Zn/Al 85/15 %-os cinkalu (KURODA, japán TSS kutató 2003-as tanulmányát követően) formájában.

A föld alá, a talajba fektetett acél, vagy öntöttvas csövek professzionális korrózióvédelmére szintén gyakran alkalmazzák a TSS fémszórás, cinkszórás technológiáját, melyre egy találó példa a Saint-Gobain Groupe francia világcég esete, aki fáradtságot, kutatási pénzt nem kímélve fejleszti PAM Zinalium termékcsaládját. Ez a termék egy gömbgrafitos öntöttvas csővezeték, földbe fektetett vízhálózatok céljára, mely bevonatát 85/15 % Zn/Al huzal alkalmazásával, cinkszórással, majd ezt követően két komponensű epoxi műgyanta bázisú pórustömítő alapozóval és poliuretán bázisú fedőfestékkel készítik el a tűzihorganyzott felülethez képest lényegesen magasabb, **150 év (!)** korróziós élettartam elérése érdekében. A rendszert világszerte nagy sikerrel alkalmazzák.

Vegyipari alkalmazások. Ezen a területen oly számtalan alkalmazása van a termikus fémszórás cinkszórásnak, vagy az alumíniumszórásnak, hogy a téma részletes tárgyalása helyett néhány „odavetett” információt villantok fel.
EN ISO 17834: Termikus fémszórás- Korrózióvédelmi bevonat magas hőmérsékleten. Termikus fémszórással ott, ahol a tűzihorganyzott felület fém horganya már rég olvadékba ment, Zn/Al, vagy Al alkalmazásával, szilikon bázisú pórustömítővel akár 900 Celsius fokon is megfelelő korrózióvédelmet alakíthatunk ki [15].

Egyes vegyipari üzemekben, pl. egy hazai **műtrágyagyártó** üzemben **a tűzihorganyzott acélszerzetek alkalmazása TILTOTT**.
Ennek okai: a horgany (cink) savakban könnyen oldódik. Műtrágya gyárak esetében a gyártott salétromsav miatt mindig, ha igen kis mennyiségben is, de a levegőben találhatók savgőzök. A savkoncentráció ugyan kicsi, de hosszú idő alatt nem elhanyagolható ez a folyamat. A horgany korrózióvédelmi képessége jelentősen romlik.
Ammónium-nitrát tartalmú por mindig található a levegőben műtrágya gyártó vegyi üzemben. Az ammónium-nitrát a levegő nedvességtartalmával kölcsönhatásba lépve (jól oldódik vízben) savas pH-értéke miatt szintén támadhatja a savakban könnyen oldódó cinket. A horgany korrózióvédelmi képessége ezen oknál fogva is jelentősen romlik.

A tűzihorganyzás, horganyzott felületek alkalmazása **TILALMÁNAK még fontosabb oka** az ammónium-nitrát **robbanási hajlama.**
Az ammónium-nitrát egy önfenntartó bomlásra képes anyag. ***Ezt a bomlást bizonyos fémek, például a cink katalizálják, segítik.***
Az ammónium-nitrát bomlása láncreakció, ahol a katalizátor új láncreakciót gerjeszt. Ennek során gázok keletkeznek, ezért ez a bomlásnak a nagy térfogatváltozások következtében egy igen veszélyes változata, azaz **ROBBANÁS !!**

Ilyen üzemi körülmények között tűzihorganyzott felületek helyett sikerrel alkalmazható a termikus fémszórás horganyzás, cinkszórás, de leginkább az alumíniumszórás (TSA), 2 komponensű epoxi bázisú pórustömítő alapozó bevonattal és/vagy fedőfesték bevonattal.
Kloridos, savas környezetben, útszóró só, útisó tárolók, vegyszeres autómosók acélszerkezeteinek védelmére a TSA kiválóan alkalmazható.

- **A TSS TECHNOLÓGIA AZ ACÉLSZERKEZETEKEN MÉRET-, és TÖMEGKORLÁT NÉLKÜL TESZI LEHETŐVÉ A HORGANYBEVONAT KIALAKÍTÁSÁT**

A tűzihorganyzó üzemek adott méretű horganyzó kádakkal rendelkeznek. Az abba nem meríthető szerkezet nem horganyozható (a tárgy forgatása nem mindig kivitelezhető). Ezzel szemben a TSS eljárásnak nincsenek méret-, és tömegkorlátjai. Amennyiben a TSS horganyzó üzem fizikai adottságai, méretei elégtelennek bizonyulnak, az eljárás elvégezhető a szabadban, az időjárási viszonyok elleni megfelelő védelem kialakítása mellett. A TSS-el biztosítható a kezelendő tárgy csak részfelületeinek kezelése, vagy a kritikus, fokozottan igénybe vett felületeknek a megnövelt, akár 1-2 mm rétegvastagságban történő fémbevonatának elkészítése is. Társaságunk, az **R-Trade Kaputechnika Kft.** által kezelt acélszerkezetek hossza nem ritkán meghaladja a 18,0 fm-t is.



7. ábra: Mintegy 18 fm acélszerkezet TSA eljárással történt részleges felületkezelése cégünk kivitelezésében.

- **A TSS ELJÁRÁSSAL A HELYSZÍNI HORGANYZÁS IS MEGVALÓSÍTHATÓ**

Az előző bekezdésben tárgyalt okokból következik, hogy a technológiai berendezések a kezelendő szerkezethez, a helyszínre telepíthetőek. Amennyiben a felület előkészítés és az időjárástól védett munkaterület feltételei megteremthetők, úgy a horganyzás a helyszínen elvégezhető. Az eljárással egy nagy méretű acélszerkezet akár a gyártóműben, akár már a helyszínen, összeszerelt állapotában is horganyozható, ott is, ahol vezetékes elektromos áram nem elérhető.





8. ábra: Helyszínen megvalósított horganyzási (aluminium bevonat képzési) munkák

- **A TSS ESZTÉTIKAI MEGJELENÉSE, KÜLLEME SOKKAL MAGASABB SZÍNVONALÚ**

Egy tűzihorganyzott felület a rozsdás, festetlen, vagy helytelenül festett és rozsdás acélszerkezethez képest esztétikus. A kemény felületi réteg miatt alig sérülékeny, kemény.
A TSS horganyzott felület pórustömítés nélkül ugyan szintén esztétikus, de porozitása miatt piszkolódásra hajlamos.
Kihasználva azonban a pórusok tömítésének szükségességét, a pórustömítő alapozást követően a TSS esztétikai megjelenése **ÖSSZEHASONLÍTHATATLANUL SZEBB**, a felület teljesen egyenletes, sima. Egy TSS-el kezelt korlát felületén nincsenek a kézre veszélyes, sérüléseket okozó horgany fém tüskék, csomók, cseppek. A festett TSS felületen a festékréteg sérülékeny, de javítható.

- **A TSS MUNKADARABON TERMIKUS DEFORMÁCIÓS KOCKÁZAT NINCS**

A TSS eljárás során a bevezetőben leírt bevonatfelépülési mechanizmusból következik, hogy a kezelés során az alaptest felületi hőmérséklete csak rövid ideig közelíti meg a 100-200 C fokot, majd néhány percet követően kézmelegre hűl. Deformáció az alaptesten még vékony, 2-3 mm anyagvastagságú lemezszerkezet, vagy perforált lemez esetében sem lép fel. Az eljárás ezen előnyét pl. a rendkívül értékes veterán autók felújítása során is sikerrel alkalmazhatjuk.







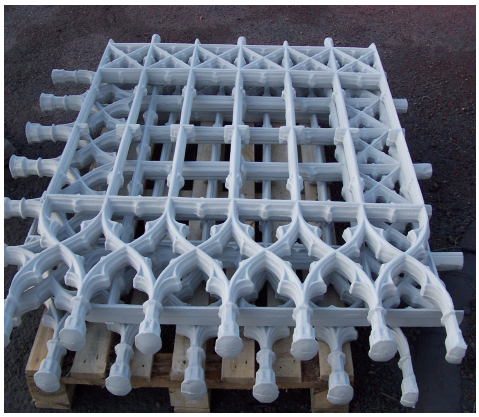
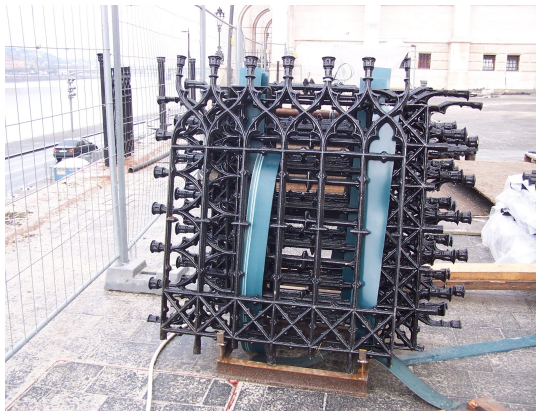
9. ábra: FERRARI Dino sportautó alvázának felújítása üzemünkben TSA alumínium fémszórással.....és a végeredmény

- **NEM KELL A KEZELENDŐ TÁRGYAT FURATOLNI, „SPICCELNI”**

A tűzihorganyzó, technológiai igényeinek megfelelően előírja a szerkezetek furatolását, a folyadék horgany átfolyását biztosítandó, a bezárt levegő tágulásából adódó tönkremenetelt, robbanást elkerülendő. Általában előnyként tüntetik fel a zártszelvények belső felületeinek horgany réteggel történő bevonását is.
A tény azonban, hogy a zártszelvényes szerkezetek belső felületeinek horganyzását előnyként feltüntetni a kizárólag a tűzihorganyzó üzem technológiájából adódóan, az üzem kőkemény üzleti érdekeinek megfelelő megtévesztése a Megrendelőnek. Zártszelvények belső felületeinek horganyzására, korrózió elleni védelmére semmi szükség sem lenne, amennyiben a zártszelvény lezárt és ott elektrolit kialakulására nincs lehetőség.
Ezt az óriási előnyt, vagyis a zárt testek korrózióvédelmi bevonatának lehetőségét a TSS eljárás biztosítja. A kezelendő szerkezetek furatolására nincs szükség, ez a gyártástechnológiai lépés kimarad, vagyis a gyártási költségek csökkenthetők.

- **A TSS ELJÁRÁSSAL A TŰZIHORGANYZÁSSAL NEM KEZELHETŐ SZILICIUM TARTALMÚ ACÉLANYAGOK IS HORGANYOZHATÓAK**

A tűzihorganyzó üzemek által előállított horgany bevonati felületek minősége nagymértékben függ a kezelendő acélanyag ötvözőinek mennyiségétől, különösen a szilícium tartalomtól. Az un. Sandelin-acélok (0,03%<Si<0,12%) nem, vagy rosszul horganyozhatóak, hasonlóan az Si> 0,3 % acélokhoz. Edzett és nagyszilárdságú acélok, öntények tűzihorganyzása repedésveszéllyel jár. Ezzel szemben a TSS horganyzás eljárásnál az ötvözők, az acél anyagminősége nem befolyásolják a felépülő bevonat minőségét.

10. ábra: OETL Antal öntödéjében készült öntöttvas korlát felújítása üzemünkben TSA technológiával.

- **A TERMIKUS FÉMSZÓRÁSSAL SZABVÁNYOSAN JAVÍTHATJUK A TŰZIHORGANYZOTT SZERKEZETEKEN ESZKÖZÖLT UTÓLAGOS HEGESZTÉSEKET**

Sok esetben okozhat gondot, amikor a már kész tűzihorhanyzott acélszerkezetet utólagosan felismert műszaki problémák miatt módosítani, vágni, hegeszteni kell. A módosítást követően újra tűzihorganyzással kellene a szerkezetet korrózió elleni védelemmel ellátni. Ez az eljárás általában magas költségekkel jár, egyes esetekben a termék a termikus fémszórás nélkül hulladékká minősülne. A termikus fémszórás horganyzás módszerével azonban az EN ISO 1461:2009 szerint a hibás szerkezet gazdaságosan javítható.

- **A HORGANYZÁSI ELJÁRÁSOK KÖLTSÉGEINEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA, GAZDASÁGI ELEMZÉS**

Általában, első ránézésre a termikus fémszórás költségesebbnek, drágábbnak tűnik. Azonban, ha figyelembe vesszük az alábbi tényezőket, a kép már sokkal árnyaltabb lesz. A felületkezelési eljárás kiválasztásánál célszerű figyelembe venni az alábbiakat:
Esztétikai szempontok, fémszórás, kontra Duplex-eljárás: Amennyiben felmerül a horganyzott felület színre festésének igénye, a termikus fémszórás előnye, hogy a horganyzás és a festés egy technológiai sorban, egy helyszínen, gazdaságosan végezhető el. Ezzel szemben a tűzihorganyzó üzemek festést általában nem vállalnak, vagy ha mégis, akkor a tűzihorganyzás költségét növeli a finom homokszórás (érdesítés) és a festékbevonat rendszer költsége. Ebben az esetben a TSS gazdasági előnye nyilvánvaló.
Tömeg/felület arány magas mértéke: minél magasabb a tömeg aránya a felülethez képest, a TSS annál inkább versenyképesebbé válik. Különösen igaz ez, amikor a horganyzott felület festése igényként merül fel. A konkrét értékek kalkulációja céljából javasoljuk az üzemek megkeresését.
Túlméretes szerkezetek horganyzása: nem óhajtok visszaélni a TSS azon előnyével, hogy méret-, és tömeg korlát nélküli horganyzást, cinkszórást tesz lehetővé. Tűzihorgany kádban nem kezelhető test, vagy helyszíni horganyzás, cinkszórás, alumínium szórás esetében a gazdasági előnye kézenfekvő. Tény azonban, hogy a tervező, kivitelező hajlamos ebbe az esetben is a tűzihorganyzáshoz mérni a bekerülési költségeket, ami helytelen következtetésekhez vezethet.
Korróziós élettartam ciklus: hazánkkal ellentétben a világ gazdagabb országaiban az acélszerkezetek korrózióvédelmének tervezésekor elsődleges szempont a korróziós élettartam ciklus, az az időtartam, amelyet követően a felület korrózióvédelmi bevonatának javítása esedékessé válik. Mint fentebb említettem, amíg a Margit-híd felületkezelésekor elvárt élettartam 15 év volt, addig más országokban a C5, Im2 fokozott korróziós környezetben is megfogalmazzák a 40-50 évet.

- **ÖSSZEGZÉS NEMZETKÖZI (AMERIKAI) TAPASZTALATOK ALAPJÁN**

Első példánk a Egyesült Államok -beli FHWA (Federal Highway Administration, kb. a Közutak Kezelője) rendkívüli mélyreható kutatási programjának eredménye [16], [17] melyet 2004-ben tettek közzé a közutak mentén épített műtárgyak acélszerkezetű főtartóinak vizsgálata kapcsán . E szerint normál légköri korróziós körülmények között a termikus fémszórással előállított alu-, cink-, és zink/alu bevonatoknak nincs meghatározó költségkímélő előnyük más eljárásokkal szemben, azonban agresszív korróziós környezetben a termikus szórás előnye egyértelmű.

Az egész Egyesült Államokat átfogó vizsgálat fő megállapítása, hogy 60 év élettartam alatt a kutatási projekt által meghatározott metódussal termikus szórással kezelt felületnek csak 30 évenként kell a fedőrétegét újrafesteni, addig más eljárásokkal kezelt felületeket akár 8-szor is újra kell készíteni. Így, bár a kezdeti költségek a fémszórás esetében magasabbak, a korróziós élettartam költség (Life-Cycle Cost) határozottan alacsonyabb más eljárásokkal szemben.
Talán ez lehet az oka annak, hogy az A4-es autópályán Bécs felé autózva a közúti műtárgyak acélszerkezetei között egyetlen egy tűzihorganyzott acél főtartót sem láthatunk ? Talán csak nem termikus cinkszórással kezelt és narancssárgára, szürkére festett szerkezeteket látunk ?

Második példánk az USA tengerhajózási hivatalának egy divíziójához köthető [18], mely ajánlásokat fogalmaz meg erősen korrozív tengeri környezetben létező acélszerkezeti egységek korrózió elleni védelméről. Az alkalmazás és az Élettartam Ciklus KÖLTSÉGEK-ről az alábbiakat olvashatjuk, szabad fordításban: *„… a TSA (Thermal Spray Aluminium) alkalmazásának költségei több, mint kétszerese a festékbevonat rendszerének, azonban bizonyos alkatrészek, szerkezeti egységek fémszórása, tekintettel ezen alkatrészek, acélszerkezetek jellemzőire, a velük szemben támasztott elvárásokra, a termikus fémszórás sokkal költséghatékonyabb, figyelembe véve ezen alkatrészek Élettartam Ciklusát. Az US NAVY az elmúlt tíz évben konzisztensen alkalmazta a termikus fémszórást ezen szerkezetek esetében. „*

A korrózióvédelmi technológia kiválasztása során javasoljuk figyelembe venni a fent leírtakat, melyek közül a legfontosabb alapelveket, ismérveket az alábbiak szerint foglalom össze:

A termikus fémszórás horganyzás (alumínium bevonat képzés) technológia a tűzihorganyzás korrózióvédelmi módszer hasznos kiegészítője; célszerű alkalmazni minden esetben, amennyiben az alábbi szempontok fontosak a kivitelezés során:

- túlméretes, tűzihorganyzó kádba nem meríthető szerkezetek horganyzása (méretes gerendák, tartályok)
- tömeg/felület arány magas mértéke
- fokozott korróziós élettartam igény, fokozottan agresszív vegyipari, kloridos környezetben (Zn/Al és alumínium szórás)
- fokozott esztétikai igény esetén egy technológiai lépésben horganyzás és festés megvalósítása
- helyszínen történő horganyzás igényének felmerülése
- hősokk elkerülése, kíméletes horganyzás
- horganyzás (alumínium szórás) magas hőfokon (4-900 Celsius) működő acélszerkezeteknél
- rész-felület horganyzásának igénye (érzékeny szerkezeti részek kimaszkolásával)

Szemléletemben a Termikus Fémszórás horganyzás, alumínium bevonat alkalmazása során fontos vezérlő elvnek tartom, hogy a témával foglalkozó nemzetközi szervezetek, intézmények, cégek által évtizedek során felhalmozott tudást, a vizsgálatok eredményeit csupán át kell vennünk, az adott feladatnak megfelelően alkalmaznunk kell. Nem akarunk mindent fémszórni, de meggyőződésem, hogy jelenleg a hazai korrózióvédelemmel foglalkozó piacon a fémszórás méltatlanul mellőzött, alul értékelt.

Bízom benne, hogy a fenti információk segítik Tisztelt Olvasót az egyes horganyzási eljárások közötti eligazodásban.

Szerkesztette:
Redele György

vegyipari gépész üzemmérnök
Metallisation® Flame Spray Operator
R-Trade Kaputechnika Kft. tulajdonosa
TSS Horganyzóüzem Pétfürdő, résztulajdonos

Felhasznált szakirodalom:

[1] A „horganyzás” szó megtévesztő is lehet ? Antal Árpád, 2012.
[2] Thermal Spray: Past Present Future; Prof. Khnight, Drexel University, Philadelphia, PA19104
[3] Metal Spraying of Zinc and Aluminum in the United Kingdom ; J.C. Bailey (IMC) ;F.C. Porter (IMC); M. Round (Metalization Services Ltd, UK)
[4] Hideg fémporszórással létrehozott felületi réteg tulajdonságai és technológiájuk kapcsolata; Fazekas Lajos PhD. értekezés; 2011 Gödöllő
[5] Science and Engineering of Thermal SprayCoatings; Lech Pawlowski; 2008.
[6] Thermal Spraying Technology and Applications; CED Engineering; A.Bhatia; 1999.; U.S. Army Corps of Engineers; Engineer Manual 1110-2-3401
[7] Adhesion of Sealers on Thermal Spray Coatings ; John J.Crowe- Michael J. Machowski; 2003.
[8] American Galvanizers Association;Zink Coatings
[9] Thermal Spraying Technology and Applications; CED Engineering; A.Bhatia; 1999.
[10] Thermal Spray Coatings; Marita L. Berndt, Brookhaven National Laboratory; Christopher C. Berndt, State University of New York; 2003
[11] Tűzihorganyzási segédlet; NAGÉV Zrt. Ócsa
[12] Magyar Tűzihorganyzók Szövetsége; Állásfogalás tűzihorgany bevonatok korróziós élettartamával kapcsolatban; Antal Árpád, 2010.04.16.
[13] MÁV (Magyar Állam Vasutak); Vasúti hidak acélszerkezeteinek korrózióvédelmi minőségbiztosítása; P-6002/2012.
[14] TWI Ltd.Project Outline 2009 (PR14597): Improved Splash & Tidal Zone Coatings For a 40-Year Design Life
[15] Thermal Spraying: New Constructions and Maintenance; US ARMY Corps of Engineers; Engineer Manual: 1110-2-3401; 1999
[16] NCHRP Report 528; National Cooperative Highway Research Program, 2004; Thermally Sprayed Metal Coatings to Protect Steel Pilings: Final Report and Guide
[17] Thermal Spray To Protect; Transportation Research Board, Washington DC 20001; NCHRP Report 528; 2004-ben.
[18] The Cost Effectiveness of Flame Sprayed Coatings for Shipboard Corrosion Control; Puget Sound Naval Shipyard ; Thermal Spray Division, Lori Crawford; 1990.