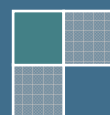


2023.

TŰZIHORGANYZOTT ACÉLSZERKEZETEK

Online szakfolyóirat

Tervezőknek, gyártóknak és felhasználóknak – XI. évfolyam, 4. szám



Tisztelt Olvasóink!

A technológia alapszabálya, hogy minden bevonandó acélszerkezeti elemet kívül-belül le kell horganyozni. Ettől a szigorú követelménytől csak néhány kivétel van. Ezek, a kisméretű tartályok, valamint a hőcserélő szerkezetek. Ezeknél a termékeknél részben kialakításuk, részben korróziós követelményeik miatt nem lehetséges a belső bevonás. Emiatt azonban az ilyen termékek kialakítására és tűzihorganyzására szigorú szabályozás vonatkozik.

A gazdasági életben számos olyan terület van, ahol egy-egy acélszerkezet élettartama megköveteli a nagyon erős korrózió elleni védelmet. Ennek oka lehet az agresszív környezet, vagy a nagyon hosszú, felújításmentes bevonati élettartam, vagy mindkettő együttesen. Ennek elérési módja többféle lehet, melyek közül kiemelkedik a horganybevonat vastagságának szabályozása, pontosabban a szükséges nagyságú megnövelése.

Az acélszerkezet alapanyagminősége – mint arról már sokszor írtunk – döntő hatással van a terméken kialakuló horganybevonat vastagságára, így élettartamára is. A termék mérete, konstrukciója a bevonási időn keresztül befolyással bír a horganyréteg vastagságára, melyet több szempontból is célszerű figyelembe venni.

A fenti, érdekes dolgozatokkal búcsúztatjuk az óvet, Olvasóinknak békés és sikerekben gazdag Új Évet kívánunk,

2023. december 27.

Magyar Tűzihorganyzók Szövetsége

Szakmai Bizottsága

FIGYELEM: A lapban közölt információkat – az alább közölt korlátozásokkal - minden olvasó saját elhatározása szerint használhatja fel, az ebből eredő esetleges károkért a kiadó nem vállal semmiféle felelősséget. A folyóiratban közölt cikkek, fényképek és ábrák más kiadványban, nyomtatott és elektronikus termékekben történő felhasználása, vagy bármilyen módon történő publikálása, közlése csak a Magyar Tűzihorganyzók Szövetsége írásos engedélyével történhet.

A szerkesztőség tagjai: Nagy Miklós, Imre Miklós, Antal Árpád, Kopasz László, Paulik Antal

Címlapfotó: Hőcserélő blokk tűzihorganyzásra vár

Lehet-e csak „kívülről” tűzihorganyozni?

A darabáru tűzihorganyzás végrehajtásának feltétele többek között a kívül-belül teljesen átjárható, az űrtartalomhoz igazodó, megfelelő méretű és megfelelő helyen lévő nyílásokkal ellátott, a horganyzó traverzre biztonságosan felrögzíthető acélszerkezet. Ha csak ezt a néhány kritériumot vesszük figyelembe, már akkor kiderül, hogy szokásos technológia alkalmazásával a termékek legnagyobb része *csak kívülről* történő bevonásra *nem alkalmas*. Van azonban egy szűk, speciális termékkör, mely szigorú és szigorúan betartott feltételek mellett ez alól kivételt képez.

A speciális kivételek

Bizonyos műszaki, technológiai és biztonsági követelmények betartása esetén, léteznek olyan termékek, melyek horganyozhatók csak kívülről is. Ezek közé tartoznak elsősorban csőrendszerekből álló hőcserélők (1. kép), valamint néhány kisméretű speciális tartály és nyomástartó edénytípus.



1. kép: Hőcserélő blokkok tűzihorganyzásra várnak

Ezeknek a termékeknek a közös jellemzője, hogy a működési elvük, kialakításuk miatt a szükséges helyeken nem lehet őket ellátni a szokásos horganyzástechnológiai nyílásokkal.

Ugyanis ezek a nyílások gátolnák a későbbi rendeltetésszerű használatot, viszont nélkülük nem biztosíthatnánk a maradéktalan átjárhatóságot és kiüríthetőséget a horganyzás során. Bizonyos tartályoknál, a bennük tárolt anyag vegyi tulajdonsága miatt, nem lehet horganyzott a belső felület. A fentiek következményeként van szükség a „csak kívülről” történő tűzhorganyzásra.

A feltételek

Tűzhorganyzás előtt a megrendelőnek és a tűzhorganyzó vállalatnak minden részletre kiterjedő egyeztetést kell tartaniuk.

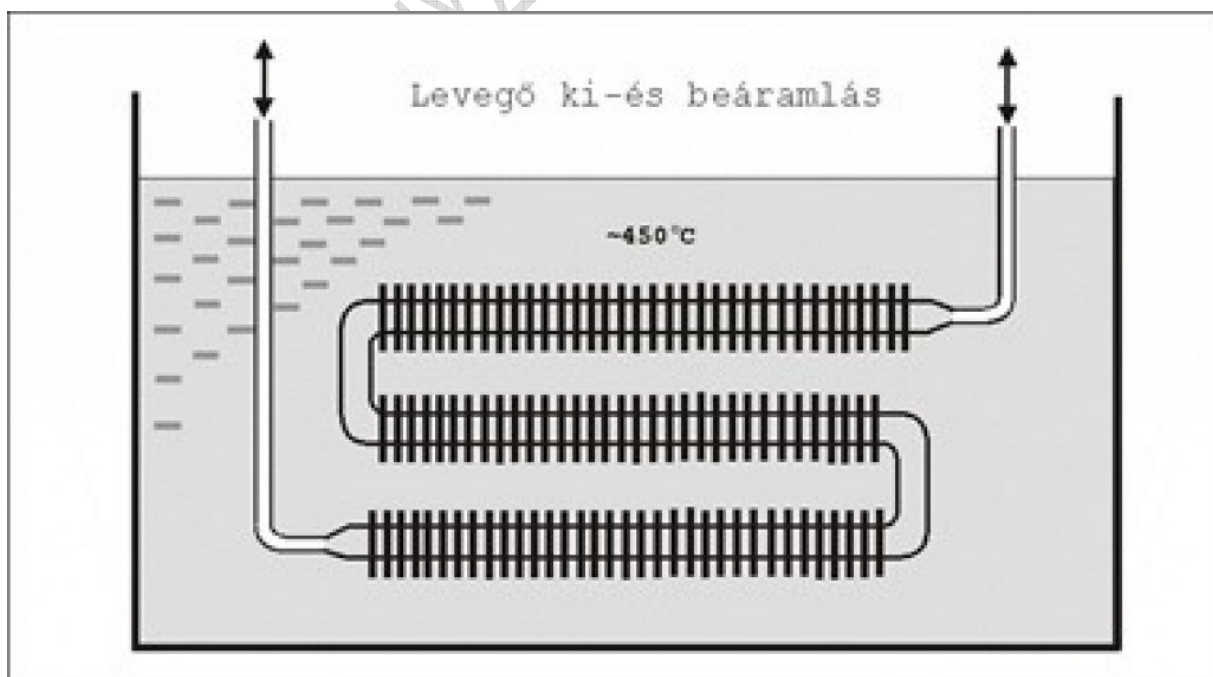
A megrendelőnek információt kell adni a horganyzandó termék pontos kialakításáról, a befoglaló méretéről, a tömegéről és az űrtartalmáról, mely a felhajtóerő kiszámításához szükséges.

Át kell adnia a horganyzó részére a sűrített levegővel (semmiképpen sem folyadékkal) elvégzett nyomáspróba jegyzőkönyvét és a felelősségvállalási nyilatkozatot.

Készíteni kell egy szállító és technológiai szerkezetet, melybe fogva a termék megfelelő minőségben horganyozható lesz és a szerkezet ellenáll a horganyzás során keletkező felhajtó erőnek is.

A hordozó szerkezeten csatlakozási helyeket kell kialakítani, ahol rögzíteni lehet a horganyzó emelőszerkezetet, valamint hozzá rögzíthető a horganyzandó szerkezet.

A hordozó acélszerkezet elkészítéséhez célszerű nyitott szelvényeket (H, U, L ...) használni, melyeket szintén el kell látni a szükséges horganyzás technológiai nyílásokkal. Így elkerülhető a tartószerkezetről a már horganyzott szerkezetre történő utólagos horgany ráfolyás, szennyeződés.



1. **ábra:** Hőcserélő elem elvi kialakítása csak kívülről történő tűzhorganyzáshoz

A horganyzandó termék jellegétől függően minimum 1 db, de szükség lehet akár 2 db kilevegőző, nyomáskiegyenlítő csőszakasz beiktatására is. Lényeges feltétel, hogy a kilevegőző (nyomáskiegyenlítő) csövek hossza akkora legyen, hogy a hordozó keret emelő gerendára történő felszerelése után ezek biztonsággal kiemelkedjenek a vegyi előkezelő folyadékok és a horganyfürdő szintje fölé (1. ábra).

Fontos véglezárást biztosítani a kilevegőző csövekre azért, hogy szállítás, tárolás során se kerülhessen nedvesség a horganyzandó szerkezet belsejébe. Ezek, a folyadékszintek fölé nyúló biztonsági nyomáskiegyenlítők lezárásai a horganyzás előtt megszüntetendők.

A bevonó üzemnek kell biztosítani a felhajtó erő leküzdéséhez szükséges ellensúly mennyiségét, melynek tömege a technológiai emelőgerendával együtt, minimum a kétszerese legyen a leküzdendő felhajtó erőnek. Célszerű a horganyzó emelő gerenda széleire tenni az ellensúlyokat, amelyek segítik megakadályozni a felhajtó erő okozta oldal irányú kifordulást.



2-3. kép: Készre horganyzott hőcserélő blokkok

Amennyiben a minden részletre kiterjedő egyeztetések megtörténtek, az utólagos ellenőrzések és a tűzihorganyzási előkészületek precízen végre lettek hajtva, akkor a szerkezet bevonata biztonságosan és az elvárt minőségben elkészíthető lesz (2-3. kép).

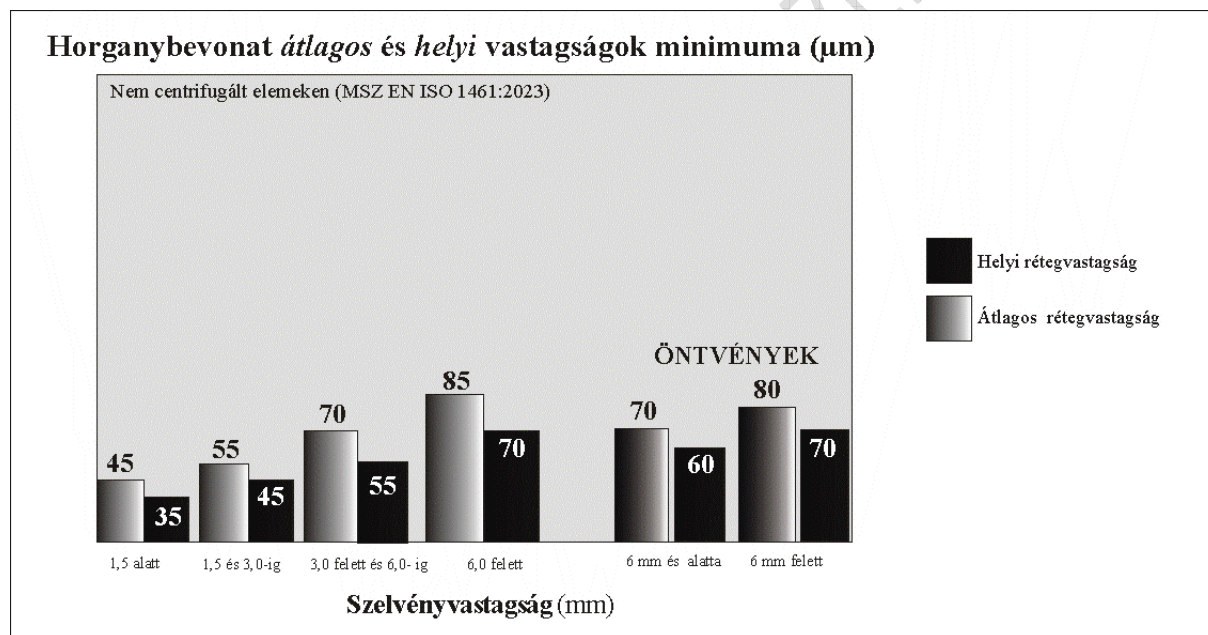
i-m

Száz év felújításmentesen

Hosszú időszakot vizsgálva – légköri hatásoknál - a horganybevonatok korróziós élettartama egyenesen arányos a fémréteg vastagságával. Ez azt jelenti, hogy egy kétszeres vastagságú horganyréteg kétszer olyan hosszú ideig védi az acélszerkezetet.

Mennyi ideig védenek az éppen szabványos vastagságú bevonatok?

Az MSZ EN ISO 1461:2023 szabvány 3. táblázata tartalmazza a legkisebb átlagos horganyréteg vastagságokat, mégpedig az acélszerkezet anyagvastagságának megfelelően (2. ábra). Egy vastagabb acélszerkezetre vastagabb az előírt legkisebb bevonatvastagság. Ennek a megkülönböztetések technológiai okai vannak. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy egy vastagabb falú acélszerkezet – éppen szabványos horganyréteg vastagságnál – hosszabb idejű védelmet élvez, mint egy vékonyabb anyagú. Természetesen egy vékonyfalú acélszerkezet is kaphat vastagabb horganybevonatot.



2. ábra: A horganybevonatok legkisebb átlagos vastagságai (MSZ EN ISO 1461:2023, 3. táblázat)

Az élettartam becsléséhez az ISO 9223:2012 és ISO 9224: 2012 szabványt javasoljuk figyelembe venni. Az ISO 9223:2012 és az MSZ EN ISO 14713-1: 2017 szabványok definiálják a légköri korróziós osztályok jellemzőit, míg az ISO 9224:2012 direktíva a hosszútávon várható korróziós rátákat mutatja. Az ISO 9223:2012 szabvány helyett egyszerűen használható az MSZ EN ISO 14713-1:2017 szabvány 1. táblázata is, mely kifejezetten a horganybevonatokra vonatkozik. Ez a két szabvány tartalmaz még korróziós rátákat is, de csak az *elsőéves* veszteségeket mutatja, amelyek sokkal nagyobbak, mint a *hosszútávú* ráták. Ennek oka, hogy idővel a horgany felületén kialakuló masszív cinkpatina (jól védő oxidréteg) jelentősen lelassítja a további korróziót. Az előzőekben ismertetett okok miatt a cinkréteg

(horganybevonat) hosszútávú élettartam becslésére az ISO 9224:2012 szabvány A és B-mellékletében található cink-korróziós értékek, mint korróziós ráták használhatók.

Még legkisebb átlagos rétegvastagság (MSZ EN ISO 1461:2023)	Várható hosszútávú élettartam (év)
85	70
70	58
55	46
45	37

1. táblázat: A horganybevonatok legkisebb átlagos vastagságai (ISO 9224:2012, A-melléklet, A1 táblázat, C3 korróziós osztály), maximális értékek

Ennek megfelelően az MSZ EN ISO 1461:2023 szabványban megadott legkisebb vastagsági értékek becsült élettartamát az 1. táblázatban adjuk meg C3 (MSZ EN ISO 14713-1:2017) környezeti osztálynál. Amint azt az 1. táblázatból láthatjuk, átlagos korróziós hatásoknál sokévtizedes, felújításmentes védelem még nagyon vékony acélszerkezetek esetén is biztosított. Megjegyezzük, hogy egy-egy acélszerkezetet érő korróziós hatásoknál nemcsak a fentebb tárgyalt makroklíma hatásait kell figyelembe venni, hanem egyes objektumoknál a helyi korróziós igénybevételeket is figyelembe kell venni. Erre látunk példát a következőkben.

Száz felújításmentes év biztosítása közforgalmi hidaknál

Németországban a 2010-es évek közepétől zajlik egy építési program, mely a közúti hidak felülvizsgálatát, felújítását, illetve újraépítését tartalmazza. Ennek keretein belül az elmúlt évtized közepétől kis-és közepes fesztávolságoknál engedélyezték a tűzihorganyzás, mint korrózió elleni védelem használatát a híd elsődleges tartószerkezetei esetében is.

Több kutató és szakvállalat, intézet bevonásával végzett vizsgálatok alapján a hosszútávra várható korróziós igénybevételeket a makro-környezet indokolta C2 gyenge, valamint C3 közepes kategória helyett erős C4 korróziós osztályba sorolták be. Ennek fő oka volt, hogy az egyébként C2...C3 általános légköri korróziós hatásokhoz helyi hatásként az utak sózásának többletigénybevétele is hozzáadódik. Szigorú alkalmazhatósági előírásként határozta meg az üzemeltető a legalább 100 éves, felújításmentes védőbevonat élettartamot. Az információk alapján az építésügyi előírásba már a szabványos értéknél lényegesen vastagabb, minimum 200 µm horgany rétegvastagság került be, mint legkisebb horganybevonat vastagság.

A legalább 200 mikrométer horganyréteg vastagság elérése és korróziós ráták

A tűzihorganyzó technológiának korlátozott lehetőségei vannak a bevonatvastagság jelentős növelésére. A növelés legegyszerűbb és leghatásosabb módja a megfelelő acélminőség használata, mellyel „automatikusan” biztosítható a kívánt legkisebb 200 µm-es legkisebb bevonatvastagság.

Vizsgált időtáv	C2	C3	C4
Átlagos korróziós veszteség az első 10 év alatt (r , $\mu\text{m}/\text{év}$)	$0,07 < r \leq 0,5$	$0,5 < r \leq 1,4$	$1,4 < r \leq 2,7$
Legnagyobb korróziós veszteség 20 év alatt (μm)	8,0	24,0	48,0
Átlagos lineáris korróziós veszteség az első 30 évben (r_{lin} , $\mu\text{m}/\text{év}$)	$0,05 < r_{\text{lin}} \leq 0,4$	$0,4 < r_{\text{lin}} \leq 1,1$	$1,1 < r_{\text{lin}} \leq 2,2$

2. táblázat: A cink korróziós veszteségei (MSZ EN ISO 9224:2012, A és B melléklete alapján, C2, C3, C4 korróziós osztályokban)

Amennyiben egy acélszerkezet hosszabb távú (>20 év) fennállásával tervezünk, akkor a horgany hosszútávon mért veszteségeit javasoljuk figyelembe venni. Az erre vonatkozó adatokat az MSZ EN ISO 9224:2012 szabvány tartalmazza (2. táblázat).

a-á

Hosszú, nagyméretű termékek horganybevonatainak vastagság eltérései

A legalább 8-10 méter hosszú vagy annál is hosszabb, oszlop vagy oszlopszerű, a horganyzókád nettó méreteihez közelítő sík keretszerkezetek, illetve térbeli testek minősülnek nagyméretűnek.

A tűzihorgany bevonat kialakulásakor bonyolult termodiffúziós folyamatok játszódnak le, amelyek befolyásolják a horganyréteg szerkezetét és vastagságát. Több cikkünkben is rámutattunk az összefüggésekre az expozíciós idő (az acéltárgy horganyfürdőben eltöltött időtartama), és az alapanyag kémiai összetevői - elsősorban a szilícium és foszfor tartalom - által gyakorolt hatások miatt kialakuló, horganybevonat vastagságára. A bevonat vastagsága a termék méretétől és kialakításától függetlenül, egy terméken belül, azonos vastagság és anyagminőségnél is eltérő, a technológia velejárója. Nagyméretű szerkezetek esetében, azért kell erre külön rámutatnunk, mert a horganyréteg vastagságkülönbségek a kialakítás, a termék jellege és az alapanyag kémiai összetevőitől függően markánsan jelentkezhetnek, az elnyúló merítési idők miatt.

A probléma jobb megértése érdekében, részletesen megvizsgáljuk a horganyzási műveleteket és azok időtartamát. Fontos tudnunk, hogy a terméknek van egy alsó pontja, amely először érintkezik a fürdővel és ugyanakkor van egy felső végpontja, amely utoljára merül el (4-5. képek). A termék bemerítését a horganyfürdőbe, a lehetőségek által megengedett legnagyobb szögben végezzük. A vetemedések elkerülése érdekében a bemerítés sebessége a lehető legnagyobb, ami nyilván a bemártás teljes idejét is befolyásolja. Az üreges szerkezetek esetében, a belső térfogat folyadékkal történő feltöltése, akadályozza a merítés hatékony sebességét.

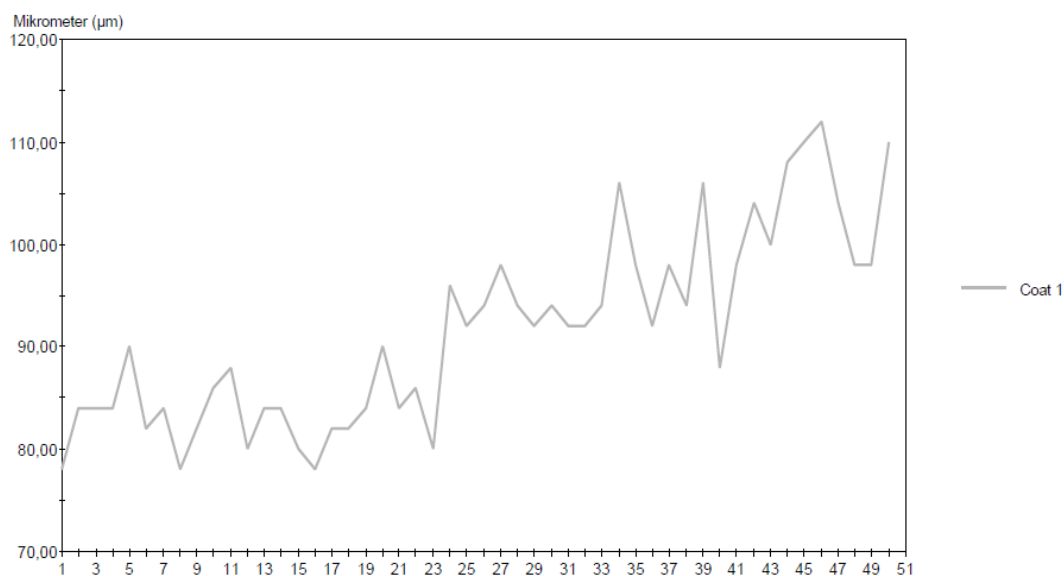


4-5. kép: Nagyméretű tűzihorganyzott acélszerkezetek

Amennyiben a technológiai nyílások az előírtnál lényegesen kisebbek, akkor a bemelegítés ideje irreálisan elnyúlhat. A horganyfürdőben tartózkodó termék bonyolultságától függően a salak felúszása, annak lehúzása (tükör húzás) kismértékű időkülönbséget eredményezhet. A nagyméretű szerkezeteken gyakran találhatók 50-100 mm feletti, extrém vastag alapanyagból készült szerkezeti elemek, amelyeknek a horganyzás hőmérsékletére történő felmelegedési ideje jelentősen növelheti az exponálási időt. A horganyolvadékból történő kiemeléskor a terméknek az alsó pontja hagyja elsőként a fürdőt, amelyik utolsóként merül el, vagyis nyilvánvalóan fordított lesz a sorrend a bemelegítéshez képest. A kiemelés általában szintén kialakítástól függően különböző, de egyenletes sebességgel történik. Itt is általánosan elmondható, hogy a nyitott szelvényű termékek kiemelési sebessége nagyobb lehet, mint az üreges szelvényű termékeké. Mivel nagyméretű termékekről beszélünk a változó kiemelési sebességtől függően a kiemelési idő elnyúlik, vagyis a terméknek az elsőként bemelegülő, alsó pontja akár többszörös időt tölthet a fürdőben, mint a felső pontja, ami elsőként emelkedik ki a horgany olvadékából. Az elmondottak alapján kijelenthetjük, hogy a már fent említett exponálási idő az acélszerkezet egyes elemeinél jelentősen eltérő lehet, ami rétegvastagság eltérésben is jelentkezik.

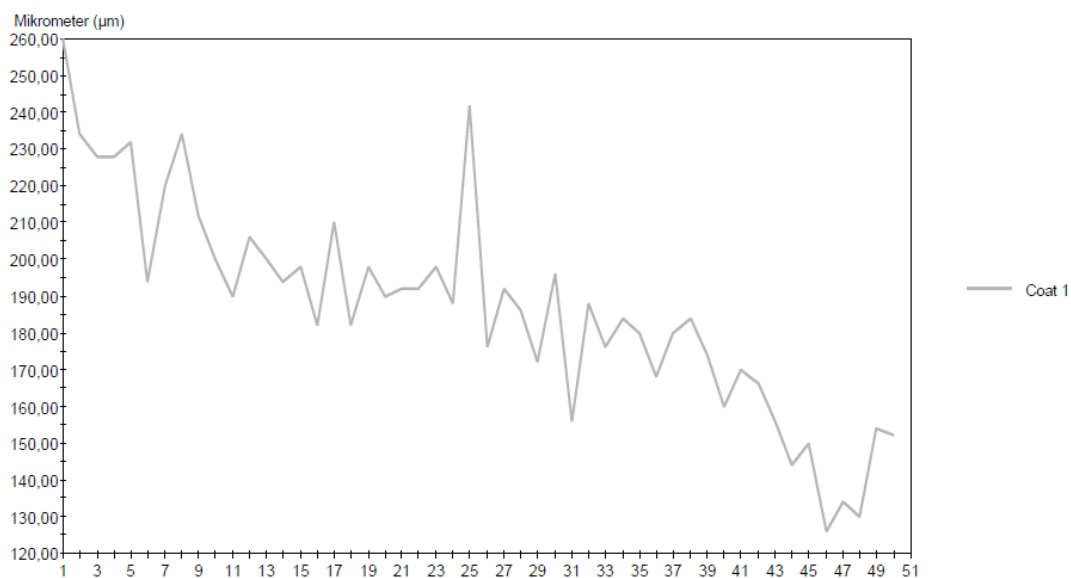
A tűzihorganyzási idők mellett vizsgáljuk meg a termék alapanyag kémiai összetevőit miatt jelentkező bevonatvastagság különbségeket és keressünk összefüggést a kialakult rétegvastagságra. Az alacsony szilícium ($\text{Si} \leq 0,03\%$) tartalmú acélokban vékony bevonatok képződnek, mert az anyag tulajdonsága a kis reakciósebesség a horgannyal. A kialakult bevonat ún. delta fázisa akadályozza az anyagtranszportot, ami a merítési idő (exponálási idő) növekedésével a bevonat csekély mértékű vastagodását jelenti (3. ábra). Ennek értelmében a két végpont közötti különbség normál mártási időnél 10-30%. Bonyolult szerkezeteknél, az elnyúló mártási idő mellett is legfeljebb 40% körüli eltérést mutat. Merőben más a helyzet a „reaktív” acélokból készült acélszerkezeteknél. Az ún. Sebesty acélok ($0,15\% \leq \text{Si} \leq 0,25\%$) esetében a különbség jelentős (4. ábra), akár 100 %, vagy a feletti eltérés értéket is mutathat, amivel a megrendelőnek és a horganyzó üzemnek a felhasználás és költségek szempontjából számolnia kell.

Grafik / Histogramm - Batch3_3/21/2019 10:17:12 AM



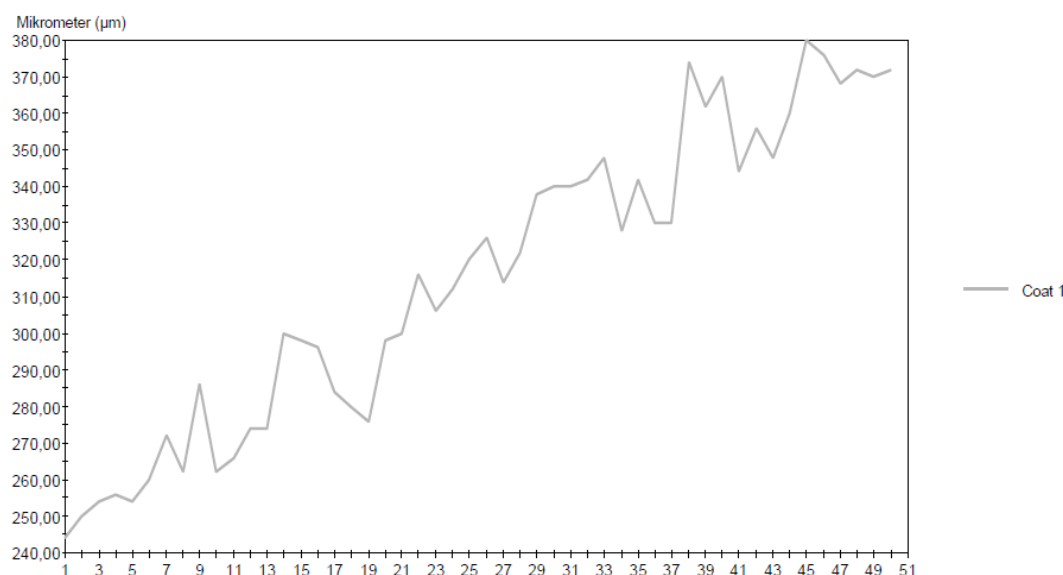
3. **ábra:** Acélminőség: $Si \leq 0,03\%$; 8 mm lemezvastagságnál; 10 m hosszú termék; teljes mártási idő 15 perc (vízszintes tengelyen a végrehajtott mérések darabszáma: 50)

Grafik / Histogramm - Batch7_3/27/2019 6:43:18 PM



4. **ábra:** Acélminőség: $0,15\% \leq Si \leq 0,25\%$; 8 mm lemezvastagságnál; 10 m hosszú termék; teljes mártási idő 15 perc (vízszintes tengelyen a végrehajtott mérések darabszáma: 50)

Grafik / Histogramm - Batch1_3/21/2019 10:17:11 AM



5. ábra: Acélminőség: $0,28\% \leq Si \leq 0,35\%$; 8 mm lemezvastagságnál; 10 m hosszú termék; teljes mártási idő 15 perc (vízszintes tengelyen a végrehajtott mérések darabszáma: 50)

Hasonló bevonatkülönbségek vannak a magasabb szilícium ($0,28\% \leq Si \leq 0,35\%$) tartalmú acéloknál is (5. ábra). Az úgynevezett Sandelin acélok, ahol a szilícium tartalom $0,04\% \leq Si \leq 0,13\%$, tartományban van, szintén markáns, jóval 100% feletti különbséget mutat, azzal a különbséggel, hogy a legrövidebb ideig fürdőben tartózkodó elemen is extrém vastag lesz a horgany rétegvastagsága. Az ilyen termék horganybevonata jelentős probléma forrása lehet, mert egyes esetekben az alsó végponton kialakult több száz mikron horganyrétegben a lehűlés alatt repedések keletkezhetnek, esetleg leválhatnak.

A nagyméretű termékek közös jellemzőjeként megállapíthatjuk, hogy a rétegvastagság különbségek a termékek végpontjain mindenképpen jelentkeznek, a megrendelőnek a jelenséggel számolnia kell.

n-m

A horganybevonat vastagsága meghatározza a védőréteg korróziós élettartamát

A hőcserélő blokkok, kisebb tartályok **csak kívülről** történő bevonása lehetséges, de a munkadarabbal szemben nagyon szigorú kialakítási követelmények vannak. A hosszú (>10 m) szerkezeten levő horganyréteg vastagsága a termék hossza mentén változik, mely elsősorban „reaktív” acéloknál lehet feltűnően jelentős.



A rossz technológiai kialakítás miatt szétrobbant hőcserélő



A csőszerkezeten a szürke bevonat 2-3-szor vastagabb, mint a fényes



A nagyméretű hőcserélő blokk tűzihorganyzása



A hosszú acélszerkezetek bevonatainak vastagsága a hossz mentén jelentősen eltérhet

A horganyár alakulása 2023.06. - 2023.11. hónapokban

A megadott árak a nagy tisztaságú (SHG Zinc; 99,995%) havi átlagos, leszállított eladási árait mutatják (Forrás: www.feuerverzinken.com).

