

Kültéri fémszobrok és épületplasztikák restaurálása

Séd Gábor

(Ni) és a mangán (Mn).

Amikor kültéri fémszobrokról és épületplasztikákról beszélünk elsősorban a bronz jut eszünkbe, amely az ókortól napjainkig e művészeti ág egyik legnemesebb anyagának számít. Az újkorban a hagyományosan alkalmazott réz-ón ötvözet mellett egy könnyebben és olcsóbban megmunkálható anyag is elterjedt a szobrászatban és díszítőművészetben: a cink (horgany). Jelen tanulmány a bronz és a horgany fizikai-kémiai tulajdonságaival, ötvözeteikkel, az ötvözés céljával és a felhasználási módokkal, valamint a restaurálásuk során adódó problémákkal foglalkozik.

A különböző bronzok fő alkotó része a réz (Cu), összetételük az ötvözők tekintetében és főként azok arányában változó.

A réz

Sűrűsége: 8,9 g/cm³

Olvadáspontja: 1083 °C

Előfordulása a természetben

- vörös rézérc (kuprit), Cu₂O
- kalkozin, Cu₂S
- malachit, CuCO₃xCu(OH)₂
- rézlazúr (azurit), 2 CuCO₃xCu(OH)₂

Előállítás

A rézet érceiből kohászati úton nyerik. Szulfidos érceit pörköléssel oxidálják és a rézet oxidjából szénnel redukálják. Az kémiai úton előállított, ún. elektrolitréz 99,9%-os tisztaságú.

A réz ötvözői

A rézatom rácsszerkezete szabályos felületen közép-pontos és így sok tömött sík biztosítja jó alakíthatóságát. Szilárdsági tulajdonságait olyan ötvözőkkel növelik, amelyek a rézzel szilárd oldatokat alkotnak. Fő ötvözői: az ón (Sn), a cink (Zn), az alumínium (Al). Járulékos ötvözői: az ólom (Pb), a nikk

Rézötvözetek

A bronz réz, ón (Sn) és más ötvöző fémek felhasználásával készül. Színe az összetételtől függően a vöröstől az aranyon át egészen a szürkés-fehér megjelenésig változik.

- Ónbron: Cu-Sn ötvözet. Mintegy 5000 éve - a bronzkor óta, mely a sok bronzból készült használati és dísztárgyról kapta a nevét - használja az emberiség.
- Ágyúbronz (ágyúfém): 88% Cu, 10% Sn, 2% Zn
- Harangbronz: 25% Sn tartalom körül
- Foszforbronz: 92% Cu, 7% Sn, 0,5% P (foszfor) – igen szívós
- Szoborbronz: változó összetételben – a meghatározó ón ötvöző mellett cinket és kevés ólmot is tartalmaz. Jól önthető.

Sárgaré: Cu-Zn ötvözet

- Cu 80-82%-nál több: vörössárga, vörös öntvény, (tombak, hamis arany, Rotmessing)
- Cu 65-70%-körül: sárga öntvény – jól önthető, forgácsolható
- Zn 50-60%: fehér öntvény – rideg, csak öntésre

Alumíniumbronz: Cu-Al ötvözet 5-10% Al, aranyszínű

Vörösötvözet: Cu-Sn-Zn ötvözet

Fehér színű rézötvözetek

- Újzeüst: 50-70% Cu, 13-25% Ni, 13-25% Zn (alpakka, kínai ezüst)
- Monel-fém: 70% Cu, 30% Ni – savakkal ellenálló, jól alakítható
- Konstantán és nikkelin (Cu + Ni): elektromos ellenállások készítésére használják.

A kültéri bronzszobrok korróziója

Régebben, amikor a környezetszennyezést többnyire a fűtésből származó szén-dioxid jelentette, bázikus réz-karbonátok („grünspan”) borították korróziós termékként a bronzok és más réz-alapú tárgyak felületét. Ezek amennyiben lassan, hosszú évek, évtizedek alatt

jöttek létre, ún. nemes-patinát, szinte féldrágakő-filmet képeztek a felületen. Legismertebb módosulatuk az azurit, $\text{Cu}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ és a malachit, $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ásványokhoz hasonlatos.

A mai környezetszennyezés már nem csak a nagyvárosokban, hanem a légáramlatoknak „köszönhetően” az iparosodástól, urbanizációtól mentes természetben is hasonló korrozív hatást fejt ki.

Ásványtani elnevezés	Kémiai összetétel
Anglezit	PbSO_4
Antlerit	$\text{Cu}_3\text{SO}_4(\text{OH})_4$
Atakamit	$\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$
Basszanit	$\text{Ca}(\text{SO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$
Brochantit	$\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$
Götit	$\text{FeO}(\text{OH})$
Gipsz	$\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
Hematit	Fe_2O_3
Kalkantit	$\text{Cu SO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$
Kuprit	Cu_2O
Sziderit	FeCO_3

Városokban a kültéri, bronzból készült alkotásokon az alábbi vegyületek mutathatók ki leggyakrabban:

Az antlerit, a brochantit és a kalkantit eredményezik a kültéri szobrok zöldes megjelenését, amelyek már a kén-dioxidból kialakuló (kén)savas esők következményeként keletkezett sók. A felületen belőlük kialakuló korrozíós réteg nem nevezhető nemes patinának. Ezek részben megtarthatók, konzerválhatók, de a felületvédelemre komoly figyelmet kell fordítani, hiszen agresszív hatásokra tovább oldódnak, illetve épülnek a fémanyag rovására. A korrozíós réteg többi alkotóeleme a felület további romlását is segíti, illetve a levegőből lecsapódó korommal kiegészülve elcsúfítja azt. (1.kép)

A felsoroltakon kívül még számos ásványi módosulat megtalálható, amelyek az ötvözők függvényében, valamint a felületre került szennyezők, illetve ezek kölcsönhatása révén változnak.

Kültéri bronzszobrok restaurálása

Kültéri szobrok **tisztítására** többféle eljárás, megoldás alkalmazható.

A patina-megőrzéses eljárás

Nem kell - nem is szabad – a tárgyat fémig tisztítani, ha megőrizhető „egészséges” alkotóelemek, és az instabil, korrozív hatású, vagy esztétikailag zavaró komponensek eltávolítása mellett egységes, patinás felület nyerhető. Ezt az ún. patina-megőrzéses eljárást szívesen alkalmazzák a világon mindenütt, hiszen konzerválható patinás felület esetén nincs szükség a

fémanyag újabb kémiai átalakítására, antikolásra, mint a fémig tisztítást követően. Az eljárás során csak azokon a felületeken történik intenzív beavatkozás, ahol a rétegek nem őrizhetőek meg. (2. kép) Vegyszeres és mechanikai megoldások egyaránt alkalmazhatók.

A vegyszeres tisztításhoz olyan tisztítószer ajánlatos választani, amely nem marad vissza a tárgy anyagában (pl. ammónium-hidroxid, ammónium bikarbonát).

A mechanikai tisztítással lehetőség van a korrozíós réteg alkotóelemeinek réteges leválasztására. Ügyelni kell arra, hogy a restauráláshoz használt eszközök a megőrzendő felületet ne sértsék meg.

Fémig tisztítás

A felületet borító korrozíós rétegek *teljes eltávolítása* akkor javasolt, ha:

- az agresszív komponensek nagy felületen jelentkeznek (pl. kloridos „kivirágzás”)
- a felület esztétikai egysége helyrehozhatatlanul megbomlott (ezt okozhatja a korrozíó minősége)
- a restaurálás során nagyobb szobrászati, öntészeti, ill. hegesztési beavatkozásra kerül sor, mely után a felület kialakítását újra kell kezdeni (a sérülések, lyukak, roncsolódások, a belső merevítések korrozíójának megjelenése a felületen stb.).

A felület teljes fémig tisztításának ma elfogadott és kedvelt formája a szemcseszórás.

A művelet során megválasztható:

- a szemcse minősége
- a szemcse mérete, illetve a szóróbetét (dűzni) átmérője, valamint
- a szórás intenzitása.

Az eljárás során kerülni kell a felület feldurvítását. A tisztító-szórás simító átdolgozás követi (lágább szóróanyag), illetve a felület átsimítása, enyhe polírozása kiegészítéssel, hogy a finom részletek megőrzése mellett zártabb pórusok alakuljanak ki. Így eredményesebb lehet a konzerválás. A szemcseszórás elismert technológiája a JOS.¹

A fémig tisztítás a hagyományos vegyszeres-mechanikus technológiákkal is végezhető. A vegyszerek megválasztásánál ügyelni kell, hogy a tárgyból kimosható, semlegesíthető, vagy illékony vegyszerek kerüljenek alkalmazásra. A mechanikus eljárást a fent említetteknek megfelelően kell végezni.

Kiegészítés

¹Johann Szücs (Németország), magyar származású szakember nevével jelzett technológia

Az öntvény, vagy lemezhiányok esetében megfelelően beszabott, anyagösszetételükben az eredetihez hasonló anyagokat kell alkalmazni. Ez vonatkozik a forraszkokra és hegesztőanyagokra is. Mindehhez szükséges a műtárgyat felépítő anyagok ismerete vagy azonosítása. Öntvények esetében például láng-spektrofotometriás, illetve atom-adszorpciós spektrofotometriás vizsgálatával az alapanyag és ötvözőinek százalékos aránya meghatározható. (Természetesen jónéhány más eljárás is alkalmas elemzésre.)

Megfelelő rögzítési megoldás a hiányok pótlásánál, töréseknél, repedéseknél az argon-védőgázos ívhegesztés (AVI).

Amennyiben teljes öntvényegység kerül cserére – ha az eredeti megoldás is az volt – csavarozással is rögzíthető az elem. A csavarokat célszerű a pótlás (és egyben a tárgy) anyagával egyezően elkészíteni. Az illesztett és hegesztett elemeket össze kell dolgozni és cizellálni.

Egységes felületkialakítás

Az agresszív - vagy esztétikailag nem megfelelő korróziós réteg eltávolítása után a felületen sok helyütt alig - vagy egyáltalán nem marad patina. Az egységes megjelenés érdekében szükséges e felületek "illesztése", lehetőség szerint hasonló összetételű réteg kialakításával.

Zöldes patinaréteg kialakításához, vagy kiegészítéséhez a legelterjedtebb patinaalkotókhoz - a bázikus rézszulfátokhoz - hasonló anyag-összetételű réteget kell a felületen létrehozni. E célra megfelel a tisztításnál már említett ammónium-bikarbonát (szalakáli), amely bázikus réz-karbonát réteget képez, savas légkörben szulfátokká alakul.

A felület *inhibálására* kitűnő a tiokarbamid 5%-os oldata. Hatásfoka ugyan valamelyest elmarad a triazolokétól, viszont nem mérgező; és ez nagy felületeken végzett munkák esetében fontos szempont.²

Kéntartalma miatt az oldat – barnás-feketére patináz - az újonnan kialakított, még világoszöld patina színét kissé mélyíti. (3. kép)

Felületvédelem

Kültéri bronzszobrok felületének bevonására jól bevált³ a NASA kutatásai során kikísérletezett korrózióvédő anyag (Combat A88), valamint a teflonos viasz (speciális Turtle Wax) 1:1 arányú keverékéből kialakított levédőszer.⁴

A műtárgy további állagmegóvása

A folyamatos állagvédelem érdekében javasolt a felületkezelést legalább kétévenként megismételni.

A köztéri szobrok speciális funkciót ellátó formája a **szökőkút**.

A kútszobrok felületét általában vastagon vízkő borítja, amely szinte kőszerű megjelenést kölcsönöz a fémnek – elsősorban ott, ahol a vízszöglet lecsapódik és a víz keménységét okozó Ca-, Mg sók kiválnak a felületen.

A víz klórtartalma jelentősen hozzájárul a fémanyag romlásához, láncreakciót indít el és – sósavképződés közben – pusztítja a fémet. A kialakuló – eredetileg fehér színű réz-klorid, bázikus formában világoszöld megjelenésű. (4-6. kép)

A savas esők a műtárgy anyagából képződő, annak felületét kifelé jócskán megnövelő bázikus réz-szulfátot hoznak létre.

A felsorolt, a tárgyon lejátszódó folyamatok, annak anyagával kölcsönhatásban, a felületet oldva, lyukkorroziót, majd átlukadást eredményezhetnek. A nagy felületnövekedést okozó folyamatok nyomán pedig, a szél közvetítésével építőipari hordalék tapad meg a felületen. A főleg mészkőpor anyagú szennyezők a kénsavas esők hatására kalcium-szulfáttá alakulnak át. Ez az elgipszesedés a kristályok létrejöttékor komoly feszítőerőt jelent a tárgyak pórusaiban, a repedésekben és az ornamentika részleteiben.

Speciális megóvás – megelőző védelem

Szökőkutaknál - bronzszobrok esetében a korszerű védőbevonatok kialakítása mellett - megelőző védelmet jelenthet víztisztító és forgató berendezés építése. A kút vízellátó rendszerére csatlakoztatható víztisztító berendezés majdnem desztillált víz tisztaságúra szűri a vezetékes vizet. A kút ezzel a vízzel tölti fel, majd a vízforgató berendezés a már tisztított vizet forgatja. A rendszerbe egyszerű időkapcsoló iktatható, amely a vízellátást a kívánt intervallumban biztosítja.

A kültéri szobrászat és díszítőművészet másik kedvelt alapanyaga, a 19-20. század fordulóján az olcsóbb technológia miatt általánosan elterjedt horgany.

A cink (horgany)

² Kargel Mónika - Felhősi Ilona - Morgós András - Kálmán Erika: A bronz inhibíciója vizes nátrium-szulfátos oldatban. Műtárgyvédelem 26. Szerk. Török K. Magyar Nemzeti Múzeum 1997. pp. 161-170

³ a szerző által végzett munkák során

⁴ *Combat A 88* - Olajos konzisztenciájú, számos inhibítort tartalmazó nagy vízkiszorító tulajdonságú bevonóanyag. Gyártja: Moly Slip Atlantic Limited, 1 ASTROP RD, Middleton Cheney, OXON OX 17 2 PD UK. Magyarországon forgalmazza: Moly Slip Hungary, Székesfehérvár. *Turtle Wax Plus Teflon*. Teflonadalékkal növelt hőállóságú petrol-származékokban oldott viaszkeverék. Gyártja: Turtle Wax Mfg. Ltd, Skelmersdale, England. Magyarországon forgalmazók: autós- és műszaki boltok.



1. kép.
A budapesti Zeneakadémia
épületének egyik bronz-
díszítménye restaurálás előtt



2. kép.
A bronzdíszítmény tisztítás
közben



3. kép.
A bronzdíszítmény restaurálás után



8. kép.
A szigetvári Zrínyi emlékmű. Horgany szobor
restaurálás előtt



9. kép.
A szigetvári Zrínyi emlékmű. Horgany szobor
restaurálás után



4. kép. Senyei Károly: Halászó gyerekek kútja (Budapest)



5. kép. A szökőkút részlete restaurálás előtt



6. kép. A szökőkút részlete tisztítás után

7. kép.
A szökőkút restaurálás után



Sűrűsége: 7,14g/cm³
Olvadáspontja: 419,4 °C

Ércei

ZnCO₃ (gálma vagy cinkpát) és a
ZnS (szfalerit)

Előállítás

Érceiből kohászati úton, vagy hideg elektrolízissel állítják elő. Egészen tiszta, 99,99 %-os („négy 9-es”) horganyt elektrolízissel nyernek ZnSO₄-ből.

Felhasználása

Az építőiparban, díszítőművészetben és szobrászatban kerül felhasználásra, valamint sárgaréz, tombak és más ötvözetek alkotójaként.

Vegyületei

- Cink-oxid, ZnO
- Cink-szulfid, ZnS
- Cink-klorid, ZnCl₂ A cinkklorid a fémoxidokat oldja, ezért oldatát forrasztásnál a fémfelület megtisztítására is használják.
- Cink-szulfát, ZnSO₄
- Cink-kromát: ZnCrO₄

A horgany ötvözői

Alumíniummal és rézzel kokillaöntéshez és fémformába történő öntéshez használják. A cink–alumínium ötvözetek nem mérettartóak, mert szilárd oldatuk allotróp állapotváltozás közben zsugorodik,⁵ majd idővel tágul. A rézzel való ötvözés ezt a hatást csökkenti. A horganyöntvények összetétele is változatos képet mutat. Elsősorban az ötvözők arányában van eltérés a 19. század végi, vagy a 19-20. század fordulója körüli munkáknál.

Egyes területeken az önöntvényekre a spiáter elnevezést alkalmazták nagyobb méretű horgany-tárgyak esetében is. Ezek fő alkotója cink, csak néhány százalékban tartalmaznak ötvözőket. A spiáter valószínűleg kisebb tárgyak és plastikák anyagát jelentette magas alumínium tartalommal, mert nagyobb tárgyak öntésére a fent említett állapotváltozás miatt nem alkalmas. Pontos összetételéről csak utalásokat találni.

Korrózió

A cink kékesfehér színű, fényezett felületén erősen csillogó fém, száraz levegőn tartva hosszú időn át nem változik. Nedves levegőn és vízben a felületén bázikus cink-karbonáttól álló, tompaszürke színű, porusmentes, jól tapadó, vízben nem oldódó réteg képződik,

amely az alatta levő fémet a további korróziótól megóvjá. Ennek a rétegnek a hőtágulási együtthatója megegyezik a cinkével, hőmérsékletingadozás hatására sem válik le, ezért a horgany tetőelemek élettartama több évtized. Vastagabb öntvények, szobrok ennek többszörösét is elérhetik.

Sajnos a 20. század folyamán bekövetkezett negatív környezeti változások erősen rontották a horganyból készült, kültéri műtárgyak állagát. A savak és a lúgok a védőréteget gyorsan feloldják, vagy kialakulását megakadályozzák; a savak ezután a fémet is megtámadják és cink-sóképződés (pl. sósavképződés mellett cink-klorid, kénsavképződés mellett cink-szulfát), valamint hidrogénfejlődés mellett oldják azt.

Az anyag romlásában közrejátszhat még az erősen tűző nap, amely katalizálja a folyamatokat és segíti az átkristályosodást, illetve az ultraibolya (UV) sugárzás, melynek hatására a horganyötvözetek kissé szürkülnek. (7-8. kép)

Restaurálás

A horgany szobrok és díszítmények állagában a korrózió is nagyobb veszélyt jelentenek a *mechanikus sérülések, repedések, törések*.

A deformált anyag szinte alig javítható, gyakran újra kell a darabot mintázni, önteni, forrasztani.

Jó eredmény érhető el a fém darabok 120-150 °C -ra történő melegítésével. Ezen a hőfokon óvatos hajlítás, nyomás hatására – egyes esetekben - vissza lehet az eredeti formát hozni. Vigyázni kell a hőmérséklet ne érjen 200 °C közelébe, mert ekkor az anyag kisebb ütésre is török.

Kiegészítés, rekonstrukció

A hiányzó részeket újra kell mintázni, majd önteni, illetve a lemezt a megfelelő méretre beszabni.

A *forrasztásnál* ajánlott a forrasztóvízben lévő sósav jelenlétét elkerülni, ezért kisebb darabok és kisebb igénybevétel esetén gyantával, forrasztózsírral, forrasztó sóval, foszforsavas és bórax-bórsavas megoldással is lehet próbálkozni, de nagyobb elemeknél szilárd kötést csak a forrasztóvízes megoldás ad. A savas felületet szódaoldattal (Na₂CO₃) közömbösíteni kell.

Külön gondot jelenthet a szobrok *belső merevítése*. A már megszokott acél-vasrögzítők elektrokémiai korróziós folyamatot indíthatnak el, mert a horgany azokon a helyeken, ahol a két fém érintkezik, vagy másodlagos vezető (elektrolit) révén biztosított az ionok vándorlása, anódos oldódása során oldatba megy. Ezek a kapcsolódási, rögzítési pontok és a befolyó csapadékvíz illetve kondenzvíz révén a két fémet összekötő helyek.

A két fém alkotó egymástól való elválasztására - a vas

⁵ Dr. Zorkóczy Béla: Metallográfia és anyagvizsgálat – Tankönyvkiadó, Budapest, 1968. p. 190.

passzíválása után – korrózióvédő műgyantával kell a merevítőket bevonni.

Felületkezelés

A forrasztással összeépített szobrot, díszítményt - az egységes megjelenés érdekében - szemcseszórással célszerű kezelni, majd rongykoronggal átsimítani, hogy a forrasztások nyomai ne látszódjanak.

Felületvédelem

Javasolt, a már említett Combat A 88 típusú olajbázisú inhibitoros védőanyag és a teflonos Turtle Wax 1:1 arányú keveréke, amelyet célszerű a felületbe polírozni.

Irodalom

Ferenc Liszt Academy of Music Budapest, Liszt Ferenc Zeneművészeti Főiskola. János Kárpáti (edit). Budapest, 1989

Erdei-Grúz Tibor: Vegyszerismeret. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1963

Rubinstein Marvin: Electrochemical Metallizing. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1987

Lieber Endre: Budapest szobrai és emléktáblái. Statisztikai közlemények 69. köt. 1. szám. Szerk. Illésfalvy Lajos, Budapest Székesfőváros házinyomdája, 1934

Dr. Zorkóczy Béla: Metallográfia és anyagvizsgálat – Tankönyvkiadó, Budapest, 1968

Séd Gábor: A szigetvári Zrínyi emlékmű restaurálása. A Hermann Ottó Múzeum évkönyve XXXIX. Miskolc, 2000

Séd Gábor: A Liszt Ferenc Zeneművészeti Főiskola főhomlokzatának restaurálása. Műtárgyvédelem 27. Szerk. Török K. Magyar Nemzeti Múzeum, 2000. pp 23-29.

Séd Gábor

Okl. tárgyrestaurátor művész

Magyar Nemzeti Múzeum

1450 Budapest 9.

Pf. 124