

RIMASZÉKI GERGŐ – KULCSÁR TIBOR – KÉKESI TAMÁS

## Forrasztási ónhulladék hasznosítása sósavas oldatok alkalmazásával

*A hazai összeszerelő elektronikai iparban jelentős mennyiségű ólommentes ón, illetve ónalapú forrasztóanyag hulladék keletkezik, mely jelenleg lényegében csak a külföldi ónkohók és a hazai hulladékkereskedők gazdaságosságát segíti. A salakos hulladék tömege csökkenthető fizikai módszerekkel, de az oldott szennyezők eltávolítása kémiai metallurgiai eljárást igényel. A réz eltávolítására alkalmas tűzi módszer hatékonysága nem kielégítő, ezért inkább a nagyobb tömegű primer nyersanyagokkal történő kohászati feldolgozás a jellemző. Egy kis méretekben is gazdaságosan megvalósítható hidro-elektrometallurgiai eljárás kifejlesztése révén a fémhulladék hasznosítása a termelő cégek-nél, illetve azok közelében koncentráltan is megvalósítható. Az elektrolitos raffinálás egyszerű sósavas oldatokban alkalmas lehet erre a célra, amennyiben az oldat kémiai stabilitása biztosítható. Termodinamikai számítások és laboratóriumi vizsgálatok eredményei megmutatták az Sn(II)-Sn(IV) átalakulás és a precipitáció feltételeit. Ezek alapján megvalósítható az egyszerű sósavas ón-klorid oldatban végzett elektrolitos ónrafinálás.*

### 1. Bevezetés

A termelt ón jelenleg több mint 30%-át használják fel elektronikai forrasztásokra, illetve kivezetések bevonatolására. Az ón-ólm alapú hagyományos forrasztóanyagok – környezet- és egészségvédelmi okokból – már csak a kifutó gyártási szériákban és főleg az autóiparban találhatóak meg. Az ólommentes ónolvadék jelentősen agresszívebb a réz kivezetésekkel szemben. Ennek eredménye viszonylag gyors „elrezesedés”. Ezt szemlélteti az ólommentes hul-

lámforrasztó ónfürdők réztartalmát az üzemelés folyamán bemutató 1. ábra.

Magyarországon több száz tonnára tehető az évente így keletkező határértéket meghaladó réztartalmú – és néhány esetben fokozatosan elenyésző ólmot is tartalmazó – salakos ónhulladék. Ez az anyag nem megfelelő kezelés esetén környezeti terhelést jelentene, ugyanakkor értéket hordoz. Egy helyben is alkalmazható speciális fémkinyerési-tisztítási technika kifejlesztése esetén ebből a hulladékanyagból jelentős gazdasági

előnyt is lehetne teremteni, hiszen a nyersón világgpiaci ára (jelenleg kb. 32 USD/kg) az utóbbi év alatt felgyorsulva folytatta a korábbi növekedő tendenciát.

### 2. A forrasztási ónhulladék kezelése olvasztási technikákkal

A leszedett ónsalak fémtartalma általában igen magas, gyakran eléri a 80-90%-ot. Több elektronikai gyártónál ezért bevezették, illetve megfontolták a „salakprés” alkalmazását. A salak és a fémfázisok jobb fizikai elkülönítése az üzembe telepíthető kiegészítő berendezéssel megoldható. A lehűzt meleg salakos felzék mechanikai kezelésével a fémes tartalmat kb. harmadára lehet leszorítani a feldolgozásra történő elszállítás előtt.

A salakos felzék préselése jelentősen csökkenti a fémvesztést és az elszállítandó hulladék mennyiségét. Amennyiben a hőmérséklet pontos szabályozása is megoldható volna a kezelés során, frakcionált kristályosítással csökkenthető lenne a szennyezőfémek koncentrációja is. A hígításra, visszajáratásra, vagy más célokra is felhasználható tiszta ón kinyerése azonban metallurgiai raffinálást igényel.

Az ón olvadék néhány szennyező-

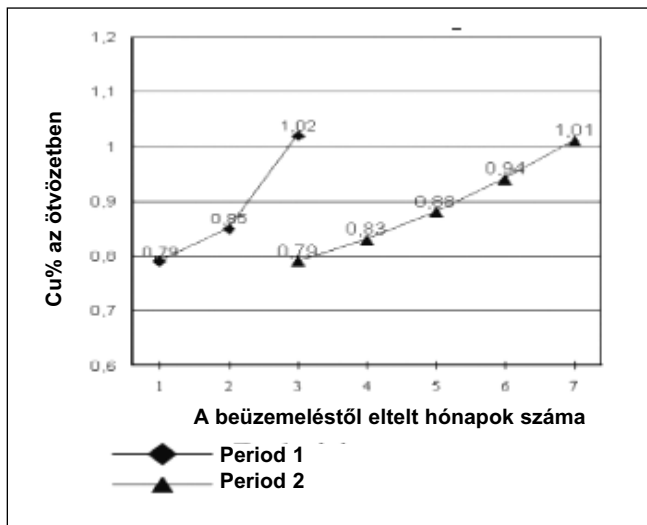
**Dr. Kékési Tamás** 1984-ben szerezte kitüntetéses kohómérnöki oklevelét a Nehézipari Műszaki Egyetemen. Ezt követően az LKM Kombinált Acélművében dolgozott olvasztárként, majd 1986-tól a Nehézipari Műszaki Egyetem (később Miskolci Egyetem) Fémkohászattani Tanszék kutató-oktatója lett. Összesen öt éven keresztül dolgozott a japán Tohoku Egyetemen a japán kormány ösztöndíját elnyerve. Volt a Fémkohászattani Tanszék vezetője és a Műszaki Anyagtudományi Kar dékánhelyettese. Jelenleg a Miskolci Egyetem Metallurgiai és Öntészeti Intézet

Kémiai Metallurgiai és Felülettechnikai Tanszékén egyetemi tanár. A műszaki tudomány kandidátusi fokozatát 1992-ben, japán doktori fokozatát 1995-ben, az MTA doktori címét 2005-ben szerezte.

**Rimaszéki Gergő** 2009-ben szerezte kohómérnöki oklevelét a Miskolci Egyetemen. Több alkalommal nyerte el a tanulmányi emlékérem különböző fokozatait. Jelenleg a Metallurgiai és Öntészeti Intézet Kémiai Metallurgiai és Felülettechnikai Tanszékén dolgozik PhD hallgatóként. Több alkalommal vett részt külföldi kutatói ösztöndíjas programokban Ausztri-

ában és Németországban. Fő szakterülete a fémek elektrolitos raffinálása és kinyerése.

**Kulcsár Tibor** jelenleg a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karának végzős BSc anyagmérnök hallgatója. Többször nyerte el a tanulmányi emlékérem kitüntetését. Jelenleg a Metallurgiai és Öntészeti Intézet Kémiai Metallurgiai és Felülettechnikai Tanszékén végez demonstrátori tevékenységet. Több díjnyertes TDK munka, valamint az Intézet Hidroelektrometallurgiai Laboratóriumának fejlesztése kötődik a nevéhez.



■ 1. ábra. Az ólommentes ónnal működő hullámforrasztó fürdő réztartalmának változása üzem közben [1]

jét a hagyományos tűzi eljárások képesek bizonyos fokig eltávolítani. Az alapvető művelet a csurogtatás. A fázisegyensúlyoknak megfelelően, egy szilárd és egy olvadék fázisra bontható az anyag, amelyek összetétele a szabályozott hűtés, illetve melegítés (részleges kristályosítás, illetve olvasztás) során jelentősen eltérhet egymástól. Ezzel a módszerrel elsősorban a vas és a réz, de még néhány egyéb szennyező elem (pl. arzén, antimon) koncentrációja csökkenthető elvileg az egyensúlyi fázisdiagramok eutektikus összetételének megfelelő mértékben.

Ez a módszer ugyan viszonylag egyszerűen végrehajtható, de pontos hőmérsékletvezetést, az anyagtranszport kellő mértékű végbemenelete időt, az idegen fázisú szennyezett anyag jó elválasztása pedig alkalmas technikát igényel. A csurogtatás után kapott olvadék vastartalma jelentős mértékben lecsökkenhet (0,003%-ig), míg a réztartalma a kedvezőtlenebb likvidusz görbe miatt csak 0,7%-ig, kevésbé hatékonyan csökkenthető. A fő szennyezőt jelentő réz eltávolítása csak az éppen felhasználható szintig lehetséges fizikai módszerekkel, ami azonban a teljes forrasztófürdő frakcionált kristályosító csurogtatását tenné szükségessé. A gyakorlatban ez nem megfelelő módszer. Sokkal előnyösebb egy elhanyagolhatóan kis réztartalmú ón, illetve (ón-ezüst ötvözet) fémmel hígítani az elrezedő olvadékot.

A szennyezett ónolvadék réztartalmát szelektív reakción alapuló, az

ólomraffinálásnál is szokásos Colcord-eljárásnak megfelelően, kénpor közvetlenül üstbe történő bekeverésével kombinált gázöblítés-sel lehet jelentősebb mértékben csökkenteni.

Azonban a szulfidképzés termodinamikai adatainak [4] megfelelően ez a módszer sem biztosíthat a forrasztófürdők hígításának meg-

felelő alacsony végső réztartalmat. A tűzi raffinálás után általában a maradék réz- és egyéb szennyező-tartalom még túl magas a legtöbb felhasználás szempontjából. A kén bekeverése és egyenletes eloszlása az ónfürdőben további technikai nehézséget jelent. Mindemellett a keletkező salakok miatt az ónvesztés jelentős, a technológia sokszor környezetszennyező. Így az óntartalmú hulladékokat jellemzően a meglévő nagy kapacitású primer ónkohászati eljárásoknál dolgozzák fel adalékanyagként. A tűzi úton raffinált nyersón további tisztítása megoldható vizes oldatokban végzett elektrolitos raffinálással [5]. Erre szintén léteznek nagyüzemi technológiák [6], amelyek azonban a primer eredetű és nagy mennyiségű nyersón továbbtisztítására voltak kifejlesztve. Az ott alkalmazott különleges és igen költséges komponenseket tartalmazó elektrolitoldatok előállítását és szabályozott fenntartását gazdaságilag biztosítja a nagy volumenű termelés. Ezek a fémkohászati technológiák azonban ipari szinten nem állnak rendelkezésre Magyarországon. Így a viszonylag nagy volumenű és fejlett hazai elektronikai összeszerelő ipar ónozási és forrasztási ónhulladéka zárt körben koncentrált begyűjtésen keresztül elhagyja az országot. A távoli helyeken, külföldön működő ónkohászati üzemekben végzett kinyerés/tisztítás után piaci értékesítésen keresztül nyersónként, illetve ón-ötvözetként kerül vissza a magyarországi elektronikai üzemekbe.

A viszonylag kis mennyiségek hatékony, gazdaságos és dekoncentráltan is megvalósítható tisztítására alkalmas módszer lehet az egyszerű savas oldatokban végzett elektrolitos raffinálás. A savas közeg előnyei: az olcsóbb elektrolitoldat, a kis hőmérséklet (a szükséges hőt az elektrolizáló áram is képes előteremteni), az ón ionok jellemzően kettes töltése mellett igényelt jelentősen kevesebb energia a lúgos fürdőkben jellemző katódos leválasztással szemben. Hátrányai viszont a jelentős mennyiségű és nagy óntartalmú anódiszap, valamint a rendezetlen alakú katódos fémleválás [7]. A primer technológiából származó nyersón elektrolitos raffinálásának ipari gyakorlatában a krezol-fenol-szulfonsav-kénsav alapoldatot és a  $\beta$ -naftol, illetve más – esetenként titkos – adalékanyagokat tartalmazó elektrolitoldat használata terjedt el. Az igen drága komponenseket is tartalmazó elektrolitoldatot és számos szerves adalékot használva érik el az Sn(II) forma stabilizálását és a megfelelő tömörségű és hatásfokú katódos leválást. Ugyanakkor az alkalmazható áramsűrűség és így a termelékenység meglehetősen alacsony. Másik és egyben újszerű lehetőség a tiszta sósavas elektrolitoldatok alkalmazása. Ez a közeg komplex ionok képzésén keresztül természetes inhibícióval moderálhatja a kristályosodást, valamint a katódfelemben nem hagy vissza az olvasztásnál nehezen eltávolítható szennyezést. Viszonylag kis sósav-koncentráció mellett is jó oldhatóság, nagy elektromos vezetőképesség és nagy áramsűrűségek érhetőek el. Azonban a savas oldatok esetében általános nehézséget jelent az oldat használata és tárolása során fellépő Sn(IV) képződés, illetve az oldat bomlása során a végső stádiumban fellépő precipitáció.

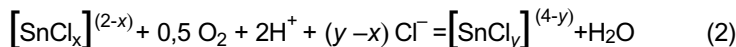
### 3. A sósavas elektrolitoldat kémiai jellemzői

A sósavas közegben fellépő kloro-komplex ionok képződését és redox egyensúlyait termodinamikai alapú számítások tisztázhatják. Az aquo-ionokkal felírható elektródpotenciál összefüggések és a kloridos komplex ionok kumulatív stabilitási kifejezéseinek [8], valamint az oldott fémre

vonatkozó anyagmérégek kombinációjával erre a célra kidolgozott szimulációs módszer és számítógépes program (ROKK – RedOx Kloro-Komplex egyensúlyok) segítségével meghatároztuk az ön megoszlását a különböző ionok között. A 2. a ábra az összes oldott ön mennyiségére vonatkozó relatív koncentrációk függvényeit adja, ha a rendszer redoxipotenciálját az oldattal érintkező fémes ön határozza meg. A számított eredmények jelzik, hogy a fémrel érintkező kloridos elektrolitoldatban az ön domináns oxidációs fokozata az Sn(II) lehet, ami az



katódkorrozíót okozó folyamat révén valósulhat meg. Megbizonyosodhatunk az Sn(II) dominanciájáról, ha az elektrolízis során folyamatos mintavételezéssel és redox titrálással, vagy spektrometriával nyomon követjük az Sn(II) és Sn(IV) ionok koncentrációját. Ugyanakkor, az Sn(IV) ionok képződésére kézenfekvő indok a környező levegő oxidáló hatása, amit az elektrolitoldat tárolása esetén is figyelembe kell venni. Az egyensúlyi számítások szerint, az alacsonyabb oxidációs fokozatú Sn(II) kloro-komplex ionok az:



reakció szerint oxidálódhatnak a légköri – illetve oldott – oxigén hatására sósavas (megfelelő kloridion-koncentrációjú savas) oldatokban. A termodinamikai szimuláció a 2. b ábra görbéit eredményezi az ön ionok közötti megoszlására, ha rendszer redox potenciálját az oldattal érintkező levegő oxigéntartalma határozza meg.

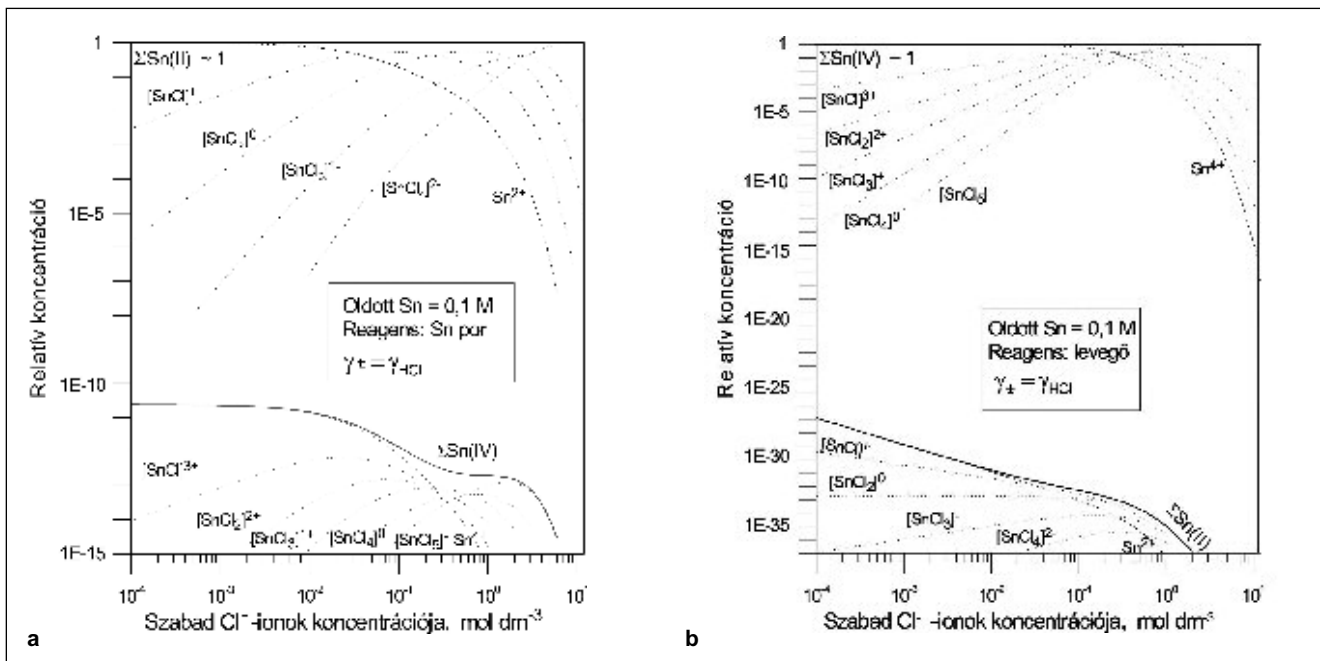
A relatív koncentráció-függvények a matematikai szimulációból adódtak az ön különböző oxidációs és komplex fokozatú ionjaira, amennyiben az oldat közepes aktivitási tényezőjét a sósavtartalom határozza meg [9]. A függvények egyértelműen mutatják az Sn(IV) forma stabilitását a levegővel intenzíven érintkező oldatban, továbbá fontos figyelembe venni az anódnak az oxidáló hatását, amely szintén jelentős szerepet játszhat az Sn(IV) ionok létrejöttében. Az Sn(II) ionok oxidációja ön-dioxid-hidrát formájú csapadékképződés veszélyével jár. Sőt, az (1) folyamat mellé járuló külső oxidáló hatás esetén növekedhet az oldat ónkonzentrációja is, ami kloridos kiválások veszélyével is járhat.

Sósavas oldatokban az Sn<sup>2+</sup> ion a savtartalommal növekvő mértékben képezi a komplex ionokat, melyek között nagyobb szabad kloridion koncentráció esetén a [SnCl<sub>3</sub>]<sup>-</sup> és a

[SnCl<sub>4</sub>]<sup>2-</sup> anionos forma válhat dominánssá. Ez stabilizálja az oldott ionokat és ellenállóbbá teszi a rendszert a precipitációval szemben csökkenő savasság esetén is. Feltételezhetően ezzel a komplexképző tulajdonsággal helyettesíthető az egyéb (alapvetően kénsavas) oldatokban szükséges szerves inhibitor adalékok katódos fémleválást tömörítő hatása.

Az önelektrolízis céljára tehát előnyösebben használható a kloridos közeg. Megfigyeléseink szerint, azonban a savas ön oldat fémes önrel kontaktusban történő viszonylag hosszabb idejű állása során elveszítheti a stabilitását. A 3. ábra az ön különböző potenciálokra és savtartalmak mellett várható specieszét mutatja a termodinamikai egyensúlyi állandóknak megfelelően.

Az Sn<sup>2+</sup> ionokat viszonylag kicsi stabilitásterület jellemzi, csak 1-es pH alatt és +0,15 –0,15 V potenciál értékek között stabilak, növekvő potenciál, illetve pH esetén a precipitációra hajlamos Sn(IV) forma léphet elő. A sósavas közegre vonatkozó 6. b ábra mutatja, hogy az [SnCl<sub>x</sub>]<sup>y-</sup> kloridos komplexek növelik az Sn(II) és Sn(IV) oldott ionjainak a stabilitását a közönséges Sn–H<sub>2</sub>O rendszerhez képest. A 3. b ábra potenciál–pCl<sup>-</sup> diagramja az ön kloridos komplexeiből történő redukciójának az egyensúlyi állan-



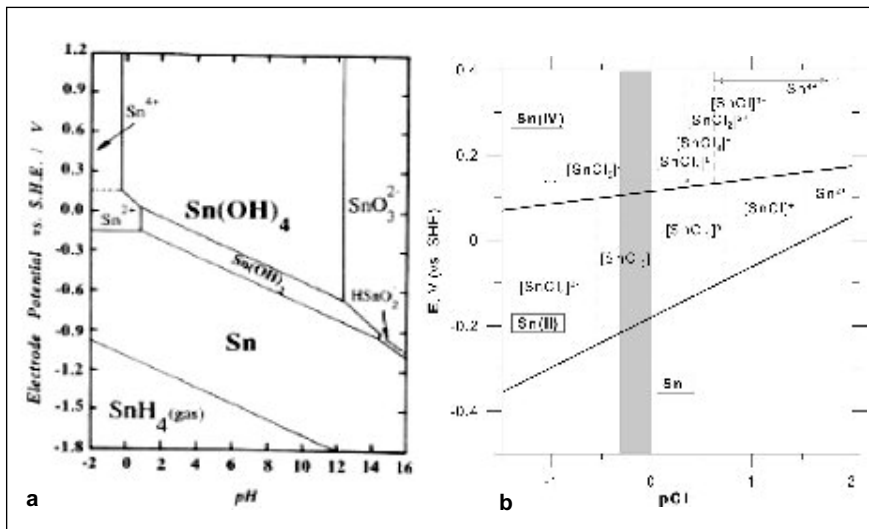
■ 2. ábra. Az ön megoszlása az ónporról (a) és levegővel (b) érintkező sósavas oldatokban

dókból számított feltételeit mutatja normál állapotban. A gyakorlati klorid-ion koncentrációk tartományát a szürke sáv szemlélteti. A görbék egyrészt jelzik a redukció könnyű végrehajthatóságát, másrészt utalnak a kloridion-koncentráció növekedésével járó kedvezőbb leválási alakot szolgáló inhibíciós hatásra is.

#### 4. A sósavas ón-klorid elektrolitot stabilitásának kísérleti vizsgálata

Az Sn(IV) forma jelenléte káros a katód korróziója és az ónsavas precipitáció fellépése miatt is. A levegő oxidáló hatásának kimutatására egy membrános kompresszor segítségével levegőbuborékokat vezetünk frissen elkészített sósavas ón-klorid oldatokba. A mérés során kapott spektrumokból rendre kivontuk az ónmentes sósavas háttér fenilfluoronnal alkotott spektrumát. A 4. a ábrán látható, hogy a tiszta sósavban oldott ónnal készített oldatba buborékolatott levegő hatására az Sn(IV) ionok 490–500 nm-nél lévő fényelnyelési csúcsa nő, ami bizonyítja a 2. ábrán bemutatott számítási eredmények alapján várt hatást.

A stabilitás további vizsgálatára királyvízes oldással és sósavas higítással is készítettünk oldatot. Az első lépésben beadott királyvíz és az ónpor mennyiségi viszonyától függő mértékben ebben nagyobb lehet az induló Sn(IV) koncentráció (4. b ábra). A buborékolatás eredményeként



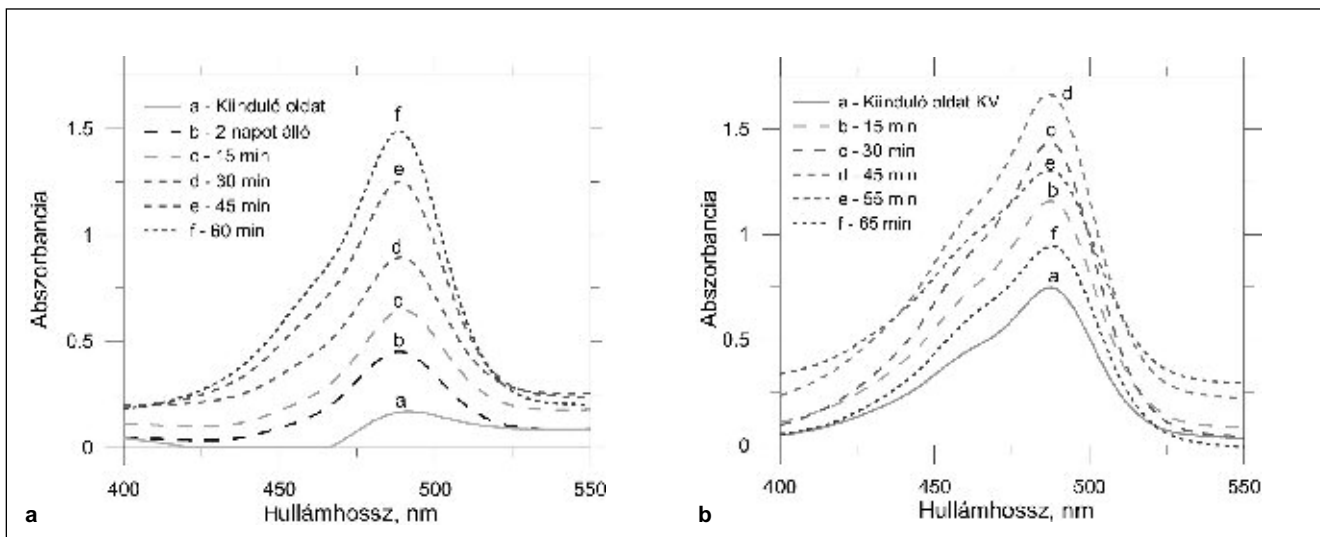
3. ábra. Potenciál-pH diagram Sn–H<sub>2</sub>O rendszerben (a) [10], valamint a számított E–pCl egyensúlyi diagram (b) a kloridos komplexek redox átalakulásaira

kezdetben a spektrumok növekvő csúcsai 45 perc (a-c-d-görbe) után itt csökkenés volt tapasztalható (e-f-görbe). Az oldatban lévő Sn(IV) ionok a 3. a ábra egyensúlyi Sn(IV) koncentráció – pH határfüggvényeinek megfelelően ugyanis fokozatosan ónsavvá alakulhatnak, ami a látható tartományban már nem mutatható ki.

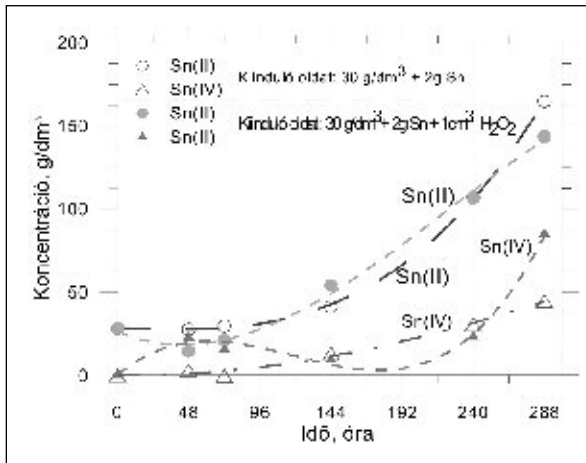
Különösen nagy a precipitáció veszélye amikor az ón-klorid oldat oxidáló hatás mellett fémes ónnal érintkezésben áll. Ilyenkor a (2) reakcióval képződő Sn(IV) az (1) folyamatban további ónt old, és a növekvő óntartalom mellett fokozódik a precipitáció veszélye. Az oxidáció fokozására hidrogén-peroxid adagolást is vizsgáltunk. A szemmel is látható színváltozások megfigyelése mellett az oldatok

összetételét jodometriával követtük nyomon. Az oldat Sn(II) koncentrációja közvetlenül, az összes óntartalma pedig cementálás és újraoldás után mérhető. Az Sn(IV) a kétfő mért érték különbségeként adódik. Az 5. ábra mutatja, hogy az ón alapvetően Sn(II) alakban oldódik és a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> által oxidált hánnyad is visszaredukálódik az (1) reakció szerint az ónpor jelenlétében. A gyorsabb oldódás és a nagyobb Sn(IV)/Sn(II) arány miatt az erősebben oxidált oldatban jelent meg előbb (kb. 10 nap állásidő elteltével) a precipitáció. Ekkor az Sn(II) koncentráció növekedési üteme is mérséklődött.

Az elektrolízis folyamán jelen van az anód erőteljes oxidáló hatása is. Nagyobb anódpotenciál alkalmazásakor nemcsak az Sn → Sn(II) oldó-



4. ábra. A levegőbuborékolatás oxidáló hatása a) forró savas oldással és b) feleslegben adott királyvízes oldással készített oldatok (KV) esetében (10 g/dm<sup>3</sup> Sn, 1 M HCl)



■ 5. ábra. A 30 g/dm<sup>3</sup> induló Sn koncentrációjú oldatok óntartalmának változása hosszú állás során levegővel érintkezve, illetve oxidálószer adagolása mellett

dás, hanem az Sn(II) → Sn(IV) továbboxidálódás is felléphet. A huzamosabb működéshez vissza kell szorítani az Sn(IV) képződését és az ónkonzentráció túlzott növekedését. Ez megfelelő cellakonstrukciót és az oldat összetételének folyamatos szabályozását igényli. Az elektrolitos rafinálás jellemzőinek megállapítása és a folyamat optimalizálása a kutatás további célja. Erről a munkáról egy következő cikk keretében számolunk be.

## 5. Összefoglalás

A jelentős mennyiségben képződő ólommentes forrasztási ónhulladék oldott fém szennyezőit csak kémiai metallurgiai módszerekkel lehet

Sn(IV) ionok okozta korrózió, valamint a hidrogénleválás erősen csökkentheti. Ugyanakkor figyelemmel kell lenni a ki nem küszöbölhető Sn(IV) képződés miatt fellépő óntartalom növekedésre. Az oldat stabilizálásának biztosítására a megvalósítandó elektrolízis során összetétel-szabályozási módszert kell alkalmazni. Erre az oldhatatlan anódos cellák beiktatása, illetve a cirkuláltatott oldat megfelelő részletének kontakt redukciós, illetve precipitációs módszerekkel történő kezelése lehet alkalmas.

## Köszönetnyilvánítás

A munkát a REG\_EM\_KFI\_09 (2009) bejegyzésű „Ónhulladék feldolgozá-

eltávolítani. A hagyományos tűzi eljárások hatékonysága korlátozott, és megbízhatóságuk a technikai megvalósítástól függ. A termodinamikai szimuláció a leválasztás szempontjából kívánatos Sn(II) forma stabilitását mutatja, amennyiben az oldat fémes ónnal áll érintkezésben. Ugyanakkor jelzi a felszíni Sn(IV) képződés lehetőségét is, amit az anódos túl-oxidáció is erősíthet. Az áramhatásfokot az

sára, tisztítására és ártalmatlanítására alkalmas technológia kifejlesztése és optimalizálása” c. projekt keretében az NKTH támogatja. A kutatás megvalósításához támogatást nyújtott a TÁMOP 4.2.1.B-10/2/KONV-2-010-0001 program.

## Irodalom

- [1] Tersztyánszky, L.: Ólommentes forrasztás, www.ett.bme.hu/
- [2] London Metal Exchange, http://www.lme.com/-tin\_graphs.asp1
- [3] Hedges, E. S.: Tin and Its Alloys, Edward Arnold Publ. 1960.
- [4] Gilchrist, J. D.: Extraction Metallurgy, Elsevier; 2Rev Ed., 1979, p. 166–167.
- [5] Halsall, P.: The Refining of Tin, Metall, 43 (1989) 131–136.
- [6] Mackey, T.: The Electrolytic Tin Refining Plant at Texas City, Texas, J. Metals, June 1969, 32–43.
- [7] Wright, P.: Extractive Metallurgy of Tin, Elsevier Press, 1967.
- [8] Högföldt, E.: Stability Constants of Metal-Ion Complexes, Pergamon Press, Oxford, 1982.
- [9] Zemaitis, J. F., et al.: Handbook of Aqueous Electrolyte Thermodynamics, New York, NY, American Inst. Chem. Eng. Inc., 1983, p.101.
- [10] G. H. Kelsall and F. P. Gudyanga: Thermodynamics of Sn-S-Cl-H<sub>2</sub>O system at 298 K.

# Felhívás tagtársainkhoz

Ipari szakmúzeumaink nehéz helyzetbe kerültek. Jelentős létszámcsökkentés miatt a rendeltetésszerű működés veszélybe került. Szeretnénk elkerülni, hogy a szakmánk emlékeit őrző múzeumok kapui esetleg bezáruljanak. Célunk, hogy minél többen megismerjék gyűjteményeinket, és ezután is nagy számban látogassák rendezvényeinket. 2011 őszétől ehhez biztosítani kell a megfelelő létszámú teremfelügyelőt. A fizető látogatók számának növelését is el kell érniük, ez pedig rengeteg szervezőmunkát igényel.

Azzal a kéréssel fordulunk a szakma múltja iránt elkötelezett barátaink felé, hogy vállaljanak önkéntes munkát. Bízunk benne, hogy az egyesület és a baráti körök tagjai közül lesznek jelentkezők, akik pl. kéthetenként egy-egy napon látogatókísérőként, vagy más módon segítik a megmaradt személyzet munkáját.

Reméljük, nem tart hosszú ideig ez az időszak, s újból megfelelő számú munkatárssal működhetnek intézményeink.

Jelentkezésüket az alábbi címeken várjuk:

**MMKM Alumíniumipari Múzeuma**, 8000 Székesfehérvár, Zombori út 12.

Tel.: +36 22 333412, e-mail: aluiparimuzeum@gmail.com

**MMKM Kohászati Múzeuma**, 3517 Miskolc-Felsőhámor, Palota u. 22.

Tel.: +36 46 379375, e-mail: kohmuz@kohmuz.t-online.hu

**MMKM Öntödei Múzeuma**, 1027 Budapest, Bem József u. 20.

Tel.: +36 1 2014370, e-mail: ontode@mmkm.hu

LKK