

Kupariseokset

Seija Meskanen, Teknillinen korkeakoulu

Tuula Höök, Tampereen teknillinen yliopisto

Puhdas kupari (Cu) ei kuulu maankuoren yleisimpien alkuaineiden joukkoon. Kupari on kuitenkin vanhimpia ihmiskunnan hyödyntämiä metalleja. Kuparin käsittely on hallittu Euroopassa jo noin 6000 vuoden ajan, ensimmäisenä Balkanin niemimaalla. Kupari seostettiin aluksi arsenikilla, joka lujittaa sitä jonkin verran, erityisesti kuumalujuus kasvaa. Myöhemmin seosaineiden joukkoon otettiin tina, joilla seostamalla kuparista saadaan valmistettua tinapronssia. Britannia oli 1700 - luvun lopulle saakka kuparin valmistuksen keskus. Kuparimalmi kuljetettiin sinne jalostettavaksi, mutta myöhemmin tuotanto hajaantui ja siirtyi lähemmäs kaivoksia.

Kupari esiintyy luonnossa puhtaana ja kuparipitoisina mineraaleina. Kuparipitoisia mineraaleja on useita. Yleisimmät ovat kuparikiisu eli kalkopyriitti (CuFeS_2), kuparihohde eli kalkosiitti (Cu_2S), kupriitti (Cu_2O), malakiitti ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$), atsuriiitti ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) ja kovelliitti (CuS). Louhitu malmi murskataan ja hierretään aluksi mekaanisesti. Sen jälkeen sulfiittimalmit saostetaan ja siirretään jatkokäsiteltäväksi. Oksidimalmit täytyy huuhdella rikkihappoliuoksella, jotta ne muuttuvat sulfiiteiksi. Tämän jälkeen kupari erotetaan saostetusta malmista joko elektrolyytisesti tai termisellä prosessilla. Erotettu metalli voidaan tarvittaessa vielä puhdistaa elektrolyytisesti.

Valtaosa seostamattomasta kuparista käytetään nykyisin sähköjohtimien valmistamiseen. Puhdas kupari on eräs parhaita mahdollisia sähköjohteita. Jos hopean sähköjohtavuus asetetaan arvoon 100, kuparin sähköjohtavuus on 96, kullan 70 ja alumiiniin 59. Kuparin sähköjohtavuus heikkenee nopeasti joidenkin epäpuhtaus- ja seosaineiden vaikutuksesta. Haitallisimmat aineet ovat fosfori, pii, rauta, arsenikki ja beryllium. Näillä alkuaineilla jo alle 1 % pitoisuus heikentää sähköjohtavuuden noin kolmannekseen puhtaan kuparin sähköjohtavuudesta. Muita lähes yhtä haitallisia alkuaineita ovat alumiini, tina ja nikkeli. Sähköjohtimena käytetään tästä syystä erittäin puhtaita kuparilaatuja, joissa kuparipitoisuus on luokkaa 99,9 %. Jos johdin on tarpeen lujittaa, voidaan puhdas kupari seostaa esimerkiksi pienellä määrällä kadmiumia tai sinkkiä. Kumpikaan ei vaikuta sähköjohtavuuteen kovin voimakkaasti. 1 % pitoisuudella sähköjohtavuus on vielä luokkaa 90 % puhtaan kuparin sähköjohtavuudesta.

Seostettu kupari käytetään messinkien ja pronssien muodossa auton jäähdyttimissä, lämmönvaihtimissa ja lämmittimissä, aurinkopaneleissa ja muissa suurta lämmönjohtavuutta vaativissa osissa, putkissa ja liittimissä, venttiileissä ja vesikalusteissa sekä laakereissa. Kupari on suhteellisen kallis konstruktiomateriaali. Se valitaan, jos tuotteeseen vaaditaan korroosionkestävä, hyvin sähköä johtava, kipinöimätön tai hyvin lämpöä johtava materiaali. Joillain kupariseoksilla on myös hyvät liukuominaisuudet. Korroosionkestävyys ei juuri vaihtele eri kupariseoksilla lukuunottamatta sinkinkatoon taipuvaisia runsassinkkisiä messinkejä.

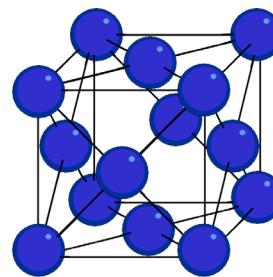
Toisinaan kupariseos valitaan ulkonäkösyistä. Kupariseokset ovat sellaisenaan kauniin värisiä ja hyvin työstettäviä lähes kaikilla työstömenetelmillä. Puhtaan kuparin mekaaniset ominaisuudet eivät ole kovin hyvät, mutta siitä saadaan seostamalla hyvin lujaa ja sitkeätä.

Puhdas kupari esiintyy pintakeskisenä kuutiona. Tärkeimpiä ominaisuuksia ovat¹:

- Tiheys $8,96 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$
- Sulamispiste $1084,62 \text{ }^\circ\text{C}$
- Ominaislämpökapasiteetti ($25 \text{ }^\circ\text{C}$) $385 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

¹ Gale, W.F.; Totemeier, T.C. toim. Smithells Metals Reference Book, 8. painos, Elsevier, 2004

- Resistiivisyys (20 °C) 16,73 nΩ·m
- Lämmönjohtavuus (300 K) 399 W·m⁻¹·K⁻¹
- Lämpöpiteneimiskerroin (25 – 300 °C) 17,7 μm·m⁻¹·K⁻¹
- Kimmokerroin 110–128 GPa²
- Poissonin luku 0,34²



Seostamattoman kuparin ja kupariseosten mekaaniset ominaisuudet riippuvat valmistustavasta ja lämpökäsittelytilasta. Seuraavaan taulukkoon (Taulukko 1) on koottu suuntaa antavasti muutamien kuparituotteiden mekaanisia ominaisuuksia.

Kuva 1. Pintakeskinen kuutio

Taulukko 1. Joidenkin kupariseosten ja seostamattoman kuparin mekaanisia ominaisuuksia

Seos	Valmistustapa	Murtolujuus, Rm, N/mm ²	Murtovenymä, %
Seostamaton kupari	Hiekkavalu	150	25
	Kokillivalu	150	25
	Levy, yli 5 mm	200-250	42
	Levy, 0,2-2 mm	min. 360	
CuZn39Pb1Al, messinki	Hiekkavalu	220	15
	Painevalu	350	4
CuZn39Pb1, messinki	Pyörötanko, Ø 6-40 mm	380	20
	Pyörötanko, Ø 2-6 mm	550	
CuSn10, tinapronssi	Hiekkavalu	250	18
	Kokillivalu	270	10
CuSn8, tinapronssi	Levy, 0,1-5 mm	370-690	7-60
	Levy, 0,1-2 mm	660-750	
CuAl10Fe2, alumiinipronssi	Hiekkavalu	500	18
	Kokillivalu	600	20

Lujia kupariseoksia tarvittaessa on valittava joko erikoismessinki tai alumiinipronssi. Muilla kuparimetalleilla lujuus on vain tyydyttävä. Jos kappaleelta vaaditaan korroosionkestävyyttä, sitä käytetään korkeissa lämpötiloissa tai sen väsymislujuudelle asetetaan suuria vaatimuksia, on käytettävä alumiinipronssia. Koska kupariseokset ovat tiheitä, niistä tehdyt kappaleet on mitoitettava tarkkaan välttämällä ylimitoitusta.

² Wikipedia

Valettujen kuparimetallien lujuusominaisuudet määräytyvät käytetyn seoksen, valumenetelmän sekä kappaleen muodon perusteella, eikä niihin juuri voida vaikuttaa myöhemmällä käsittelyllä. Kupariseoksia voidaan valaa kaikilla valumenetelmillä. Painevalumenetelmällä kuitenkin vain osaa messingeistä. Eri valumenetelmille on olemassa omia, juuri tähän menetelmään parhaiten sopivia seoksia.

Kaikkien kupariseosten kimmomoduuli, venymäraja (0,2-raja), murtolujuus sekä murtovenymä kasvavat lämpötilan laskiessa eli kylmissä olosuhteissa ei tapahdu rakenteen haurastumista. Vastaavasti lämpötilan noustessa huoneenlämpötilan yläpuolelle mekaaniset ominaisuudet heikkenevät. 200–400 °C:ssa hehkutetussa tilassa toimitetuilla kupariseoksilla murtolujuus ja venymäraja laskevat nopeasti.

Kupariseosten lastuttavuus riippuu lähinnä lyijyseostuksesta, mutta myös kahdesta faasista muodostuvat lyijyttömät tai vähälyijyiset punametallit ovat suhteellisen hyvin lastuttavia. Kupariseoksista valettuja kappaleita hitsataan vain korjaustarkoituksessa; kova- ja pehmeäjuottoa käytetään vähemmän kuin muokatuilla lajeilla. Valukuparien valettavuus on heikonpuoleinen, mutta kupariseoksilla se on parempi.

Kupariseoslaadut

Kupariseoksia ja puhdasta kuparia on saatavilla tankoina, putkina ja levyinä sekä valettavaksi tarkoitettuina kupariseosharkkoina. Kuparivalut voidaan valmistaa valmiiksi seostetusta harkosta tai seostaa itse sulatuksen yhteydessä. Valettavat kuparimetallit jaetaan valukupareihin (seosainepitoisuus alle 2,5 %) sekä kupariseoksiin. Valettavissa kupariseoksissa on kuparin lisäksi yhtä tai useampaa seosainetta vähintään 2,5 %. Pääseosaineen mukaan tehdyssä jaossa erotetaan messingit ja moniainemessingit (Cu-Zn), tinapronssit (Cu-Sn), lyijytinapronssit (Cu-Pb-Sn) ja punametallit (Cu-Sn-Zn) sekä alumiinipronssit (Cu-Al).

Messingit. Valumessingit ovat kupariseoksiksi suhteellisen halpoja. Ne ovat myös hyvin valettavia, korroosionkestäviä, hyvin sähköä johtavia, epämagneettisia, kauniin värisiä sekä kohtalaisen lujia. Hiekkaan valettujen messinkikappaleiden lujuus on metallimuottiin valettuja kappaleita pienempi. Sinkkiseostus kasvattaa kuparin lujuutta lähes lineaarisesti aina noin 40 % pitoisuuteen saakka. Sen jälkeen lujuus alkaa heiketä jyrkästi. Venymä kasvaa samoin lähes lineaarisesti aina noin 30 % sinkkipitoisuuteen saakka ja heikkenee sen jälkeen.

Runsaasti sinkkiä sisältävillä messingeillä on taipumus sinkinkatoon. Niiden liukuominaisuudet ovat myös heikot. Sinkinkatoa voidaan vähentää sopivilla inhibiiteillä (Ar, Sb, B, P). Messinkejä seostetaan toisinaan lyijyllä työstöominaisuuksien parantamiseksi. Sen pitoisuuden kasvaessa aina 1 % asti työstettävyys paranee jyrkästi, tämän jälkeen loivemmin noin 3 %:iin saakka.

Messinkivaluja käytetään venttiileihin sekä muihin LVI-alan tarvikkeisiin, sähkötekniikassa mm. kytkimiin ja valaistusarmatuureihin, rakennusheloihin sekä koriste-esineisiin. Moniainemessinkejä käytetään laivapotkureissa, hammas- ja kierukkapyörissä sekä selluloosa- ja paperitehtaan koneistojen osissa.

Tinapronssit. Tinaseostus parantaa kuparin lujuutta ja kulumiskestävyyttä. Materiaalilla on hyvät liuku- ja laakeriominaisuudet. Tinapronssit ovat suhteellisen kalliita ja valuteknisesti vaativia. Valu tapahtuu joko hiekka-, jatkuva-, kokilli- tai keskipakovaluna. Tinapronssi käytetään vaativiin armatuureihin, pumpun pesiin, siipipyöriin ja -rattaisiin, suurten rasiusten ja syövyttävien aineiden alaisiksi joutuviin koneiden ja laitteiden osissa, hammas- ja kierukkapyörissä sekä laakeriaineena, voimakkaasti kuormitetuissa kytkinkappaleissa, karamuttareissa ja liukukiskoissa. Koska tinapronsseilla on erinomainen kiillotettavuus, niitä käytetään jonkin verran myös koriste-esineissä.

Punametallit. Punametalleihin saadaan tinapronsseja vastaavat työstö- ja liukuominaisuudet korvaamalla tina kaksinkertaisella määrällä sinkkiä. Punametallien korroosionkestävyys ei ole

tinapronssien luokkaa vaikkakin ne ovat messinkejä kestävämpiä. Punametallit ovat halvempia kuin tina- ja lyijy-tina-pronssit, mutta kalliimpia kuin messingit.

Lyijytinapronssit. Kuparin ja tinan seoksia, joissa lyijypitoisuus on yhtä suuri tai suurempi kuin tinapitoisuus. Eräissä lyijytinapronsseissa on jopa 30 % lyijyä. Seoksilla on erinomaiset laakeriominaisuudet, hyvä työstettävyys sekä rikkihaponkestävyys, mutta huono mekaaninen lujuus. Lyijytinapronsseja käytetään laakereissa, joissa pintapaineet ja kierrosluvut ovat suuria.

Alumiinipronssit. Sisältävät tavallisesti 8-12 % alumiinia. Suuremmilla seostuksilla rakenteesta tulee hauras. Alumiinipronsseilla on kupariseoksista parhaat mekaaniset ominaisuudet, jotka säilyvät myös korkeammissa lämpötiloissa. Lujuus säilyy noin 450 °C:een ja metalli alkaa hapettua ratkaisevasti vasta 900 °C:n tienoilla. Ne ovat myös kipinöimättömiä ja sopivat tämän vuoksi räjähdys- ja palovaarallisissa paikoissa käytettävien työkalujen materiaaliksi. Alumiinipronsseilla on hyvä syöpymiskestävyys happamissa liuoksissa (lukuunottamatta typpihappoa), mutta ne kestävät huonosti alkalisia ympäristöjä. Niitä käytetään erityisesti potkureissa, koska niillä on kuten muillakin alumiinipronsseilla hyvä meriveden ja kavitaation kestävyys. Alumiinipronssit sopivat hyvin pienien koneenosien kokillivaluun. Alumiinioksidikalvoista seuraa valuteknisiä ongelmia, etenkin painetiiveyttä edellyttävissä valukappaleissa.

Lähteet

Gale, W.F.; Totemeier, T.C. toim. Smithells Metals Reference Book, 8. painos, Elsevier, 2004

Higgins, Raymond A: Engineering Metallurgy - Applied Physical Metallurgy, 6. painos, Elsevier, 1993

Suuri Luonnontieto 2, Weilin+Göös, 1968

Tyler, Derek E., Olin Corporation, Black, William T., Copper Development Association Inc., Introduction to Copper and Copper Alloys, ASM Handbooks Online, Volume 2, ASM International, 1992

<http://www.copper.org>