

ZORAN AVRAMOVIĆ<sup>1</sup>  
MILAN ANTONIJEVIĆ<sup>2</sup>

Stručni rad  
UDC: 620.193.3/4:669.35'5=861

## Korozija mesinga

Rasprostranjena upotreba mesinga i legura bakra, uopšte, uslovljena je, između ostalog, i njihovom korozionom postojanošću. Primena mesinga iziskuje potrebu boljeg poznavanja njegovih osnovnih konstrukcionih osobina, među kojima se posebno izdvaja koroziona postojanost.

U ovom radu dat je kraći pregled dosadašnjih rezultata ispitivanja korozije mesinga u različitim sredinama. Za koroziju mesinga karakteristična su dva oblika razaranja: naponska korozija mesinga, sa svoja dva oblika: interkristalna i transkristalna naponska korozija i decinkacija mesinga. Hemijska sredina ima izrazit efekat na proces korozije mesinga, kao i sam hemijski sastav mesinga. Kao efikasna zaštita mesinga od korozije koriste se inhibitori korozije i u ovom pregledu dati su rezultati zaštite nekih od ispitivanih inhibitora korozije.

**Ključne reči:** bakar, mesing, korozija, naponska korozija, decinkacija

### 1. OPŠTI DEO

#### 1.1. Bakar

Bakar ubrajamo u grupu najvažnijih obojenih metala, koji ima veoma široku komercijalnu (tehničku) primenu [1]. Poznat je od davnina, jedan od prvih elemenata koje je upoznao čovek. Značaj koji su imali bakar i njegove legure, ogleda se u nazivima čitavih epoha u razvoju čovečanstva. Arheološki nalazi bakarnih predmeta u borskoj okolini potiču iz bakarnog doba i ukazuju na korišćenje samorodnog bakra od koga su se izrađivale bakarne alatke, nakit, oružje, a kao poseban raritet tog doba (eneolitsko doba) pominje se bakarna sekira.

#### 1.2. Osobine bakra

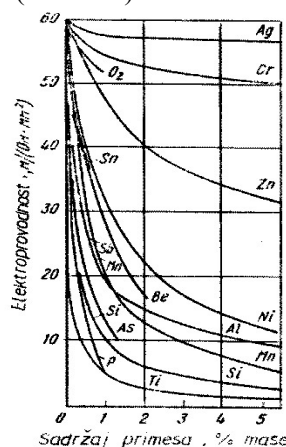
Bakar se u prirodi uglavnom nalazi u obliku sulfidnih ruda (halkopirit-CuFeS<sub>2</sub>, kovelin-CuS, halkozin-Cu<sub>2</sub>S i bornit-Cu<sub>3</sub>FeS<sub>3</sub>), oksidnih ruda (kuprit-Cu<sub>2</sub>O) i karbonatnih ruda (malahit-CuCO<sub>3</sub>·Cu(OH)<sub>2</sub> i azurit-Cu(OH)<sub>2</sub>·2CuCO<sub>3</sub>). Za bakar se kaže da ima dobru korozionu postojanost. U azotnoj kiselini se potpuno rastvara, kao i u mineralnim kiselinama oksidacionog karaktera, u kiselim rastvorima hromnih soli i u toploj koncentrovanoj sumpornoj kiselini. Bakar je postojan u razblaženoj azotnoj i sumpornoj kiselini. Postojan je u agresivnim organskim kiselinama.

Adresa autora: <sup>1</sup>TiR, Razvoj i investicije, Đorđa Vajferta 20-26, 19210 Bor, <sup>2</sup>Tehnički fakultet-Bor, Univerzitet u Beogradu, VJ 12, 19210 Bor

Neutralne i bazne sredine deluju na bakar u slučaju njihovog strujanja. Koroziono su agresivni amonijak i cijanidi. U atmosferskim uslovima bakar je koroziono postojan, na njegovoj površini se obrazuje tanak film baznog karbonata bakra, tzv. "patina" (Cu(OH)<sub>2</sub>·CuCO<sub>3</sub>), koja sprečava dalji tok korozije. Polje primene bakra se još više proširuje upotrebom njegovih legura koje imaju dobre hemijske osobine i bolja svojstva u pogledu otpornosti na koroziju.

#### 1.3. Uticaj primesa na osobine bakra

Različite konstrukcione, fizičko-hemijske, mehaničke, tehnološke i eksploatacione osobine bakra, u znatnoj meri zavise od količine primesa i legirajućih komponenti. Primeše, kao što su, P, As, Sb, Si, Al, Fe, Sn i Co, snižavaju električnu provodljivost bakra (slika 1.1).



Slika 1.1 - Uticaj primesa na električnu provodljivost bakra

Sve primese prisutne u bakru mogu se razvrstati u tri grupe:

I Primese metala i nemetala:

- rastvorne u bakru
- nerastvorne u bakru

II Jedinjenja metala i nemetala:

- rastvorna u bakru
- nerastvorna u bakru

III Gasovi:

- rastvorni u bakru
- izdvojeni u obliku gasnih mehurova
- izdvojeni u obliku jedinjenja (hidrida, oksida, nitrida i sl.)

Prva grupa obuhvata elemente praktično nerastvorne u čvrstom bakru, kao npr. Pb i Bi, koji ne obrazuju ni hemijska jedinjenja, ali sa bakrom obrazuju lakotopljive eutektikume koji se pri kristalisanju bakra izdvajaju na granicama kristala.

Druga grupa primese obuhvata elemente tipa polimetala i nemetala, elemente koji sa bakrom obrazuju hemijska jedinjenja, a neki put i čvrste rastvore: P, As, Sb, O<sub>2</sub>, S, Se, Te i dr., na primer sledeća jedinjenja: Cu<sub>3</sub>P, Cu<sub>3</sub>As, Cu+Cu<sub>3</sub>As, Cu<sub>5</sub>As<sub>2</sub>, Cu<sub>2</sub>Sb, CuO, Cu<sub>2</sub>O, Cu+CuO, Cu<sub>2</sub>S, Cu+Cu<sub>2</sub>S, Cu<sub>2</sub>Te, Cu<sub>4</sub>Te<sub>3</sub>. Elementi druge grupe, koji obrazuju hemijska jedinjenja, štetno utiču na mehaničke osobine bakra i sposobnost za preradu u plastičnom stanju, zbog mrežastog izdvajanja na granici krista.

Treća grupa primese odnosi se na grupu legirajućih elemenata koji se rastvaraju, kako u tečnom, tako i čvrstom bakru, i to: Al, Fe, Ni, Zn, Sn, Ag, Pt, Cd.

Elementi ove grupe značajno pogoršavaju električnu provodljivost i povisuju temperaturu žarenja posle prerade deformacijom u hladnom stanju, ako se u bakru nalaze u količinama karakterističnim za tehnički čist bakar. U većim količinama, od onih dozvoljenih u tehnički čistom bakru, elementi treće grupe pozitivno utiču na osobine bakra zbog čega se koriste kao legirajuće komponente bakra pri izradi mnogih dvojnih, trojnih i višekomponentnih legura.

#### 1.4. Uticaj legirajućih elemenata na osobine bakra

Bakar sa susednim elementima periodnog sistema, Au, Ni, Pd i Pt, izuzimajući Ag, obrazuje neprekidan niz čvrstih rastvora, nasuprot razmatranim primesama koje, ne samo što ne obrazuju rastvore u čvrstom, već neki među njima, kao npr. Pb i S nerastvorljive su u određenim koncentracijskim oblastima i u tečnom bakru. Srebro, za razliku od ostalih elemenata ove grupe periodnog

sistema, ne poseduje neprekidnu rastvorljivost u bakru u čvrstom stanju.

#### Železo:

Bakar i železo obrazuju heterogene legure. Rastvorljivost železa u bakru je mala i dostiže 3.5% na temperaturi od 1050<sup>0</sup>C i sa sniženjem temperature opada, dok pri temperaturi od 635<sup>0</sup>C iznosi svega 0.15%. Prisustvo železa u bakru dovodi do snižavanja njegove električne i toplotne provodljivosti, kao i korozione otpornosti. Prisustvo železa povećava tvrdoću i krtost bakra.

#### Nikal:

Nikal sa bakrom obrazuje neprekidan niz čvrstih rastvora. Povisuje temperaturu topljenja legura. Pod uticajem nikla povećava se tvrdoća i specifična žilavost kod opterećenja na udar; zatim povećava otpornost prema deformaciji na visokim temperaturama. Nikal povećava korozionu otpornost bakra u agresivnim sredinama.

#### Srebro:

Srebro sa bakrom pri kristalizaciji obrazuje ograničena područja čvrstih rastvora i eutektikum pri 778<sup>0</sup>-779<sup>0</sup>C sa sadržajem srebra od 28.06-28.5%. Uticaj srebra na električnu provodljivost bakra je zanemarljiv. Od većeg značaja je uticaj srebra na temperaturu rekristalizacije bakra.

#### Aluminijum:

Aluminijum u bakru ne utiče bitno na mehaničke osobine i sposobnost za preradu u plastičnom stanju, iako se one povećanjem količine aluminijuma, poboljšavaju. Aluminijum povećava korozionu postojanost i smanjuje oksidacionu sposobnost bakra. Snižava električnu i toplotnu provodljivost bakra.

#### Cink:

Cink pripada grupi legirajućih elemenata koji sa bakrom obrazuje čvrst rastvor u širokoj oblasti sa maksimalnom rastvorljivošću cinka do 39%. Pošto cink utiče na poboljšanje, kako pokazatelja čvrstoće, tako i pokazatelja plastičnosti, primenjuje se veliki broj legura sa različitim količinom cinka koje su poznate pod imenom mesinzi. Uticaj cinka na električnu provodljivost je neznatan, a posebno ako se radi o količinama uobičajenim za tehničke vrste bakra.

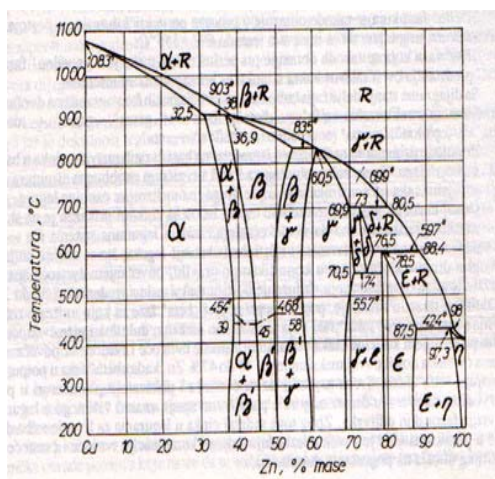
#### 1.5. Legure bakra sa cinkom

Legure bakra sa cinkom mogu biti dvojne, trojne i složene, sa sadržajem bakra od najmanje 50% i cinka ne više od 44% (obični mesing), kao glavnog dodatog elementa [1,2]. Trojne i složene legure pored bakra i cinka sadrže i dodatne elemente, kao npr. Ni, Mn, Fe, Al, Si, Sn i Pb.

Legure bakra sa cinkom se pretežno primenjuju za livenje ingota, blokova, trupaca i slično, koje podvrgavamo preradi u plastičnom stanju, ali se neke vrste koriste i za livenje fazonskih odlivaka. Za ovu grupu legura bakra može se reći da su našle najširu primenu zahvaljujući odličnim konstrukcionim osobinama, a u tome posebno visokim mehaničkim i tehnološkim osobinama. One se odlikuju i vrlo dobrim fizičkim osobinama.

Mesinzi imaju karakteristične boje. Boja varira u zavisnosti od sadržaja bakra, od sveže crvene kod mesinga CuZn4, do zlatno-žute kod mesinga CuZn30 ili CuZn42.

Sa dijagrama stanja sistema Cu-Zn (slika 1.2), može se videti da se samo "alfa"-faza izdvaja direktno iz rastopa, dok se ostale: "beta", "gama", "delta", "epsilon" i "eta" faze izdvajaju ne samo direktno iz rastopa već i pereutektnim preobrazajima. Praktičnu primenu našle su legure izrađene na bazi čvrstih rastvora cinka u bakru, "alfa" i "beta" faze.

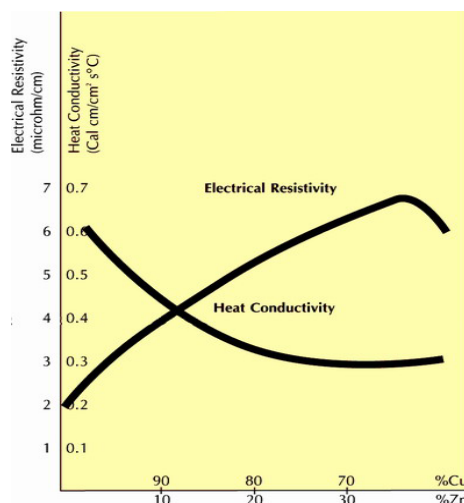


Slika 1.2. - Dijagram stanja sistema Cu-Zn

"Alfa"-faza predstavlja čvrst rastvor cinka u bakru sa površinski centriranom kubnom rešetkom.

Osnovu "beta" čvrstog rastvora čini intermetalno jedinjenje elektronskog tipa CuZn koje se obrazuje pri peritektičkoj reakciji "alfa"-faze i rastopa na 905°C direktno iz rastopa. Koncentracija bakra u "beta"-fazi se menja, zavisno od temperature, u granicama od 56.5% do 63%. Praktičnu primenu našle su legure izrađene na bazi čvrstih rastvora cinka u bakru, "alfa" i "beta"-faze. To se obično objašnjava karakterističnim osobinama struktura ovih faza i uticajem cinka na konstrukcione, a pre svega, na mehaničke osobine legura

Uticaj cinka na toplotnu provodljivost i električnu otpornost legura bakra sa cinkom, prikazan je na slici 1.3..



Slika 1.3 - Uticaj cinka na osobine legura sistema Cu-Zn

Legure sa sadržajem cinka od 0-39% sa strukturom "alfa"-faze odlikuju se visokim tehnološkim osobinama i imaju odličnu sposobnost za preradu deformacijom u toplom i hladnom stanju. Legure sa strukturom "beta"-faze sposobne su za preradu deformacijom u toplom stanju jer je duktilnost legura sa oko 50% cinka na sobnoj temperaturi veoma mala. Za legure bakra sa cinkom u količini od 0-32.5% obično se kaže da su u širokom temperaturnom području homogeni i da ne trpe fazne promene u čvrstom stanju.

Negativna osobina legura bakra sa cinkom je njihova slabija koroziona postojanost u poređenju sa bakrom i ako se kaže da su legure bakra sa cinkom, u atmosferskim uslovima, koroziono postojane.

#### 1.6. Standardizovane vrste legura bakra sa cinkom i primena

Vrste, hemijski sastav i druge karakteristike legura bakra sa cinkom propisane su standardom JUS C.D2.100 [3]. Neke od osnovnih karakteristika i primena, navedene su sledećim pregledom:

- Legure bakra sa cinkom CuZn-4 i CuZn-20 koriste se kao zamena za bakar u elektronici zbog svoje mehaničke otpornosti; takođe se koriste za izradu komponenti kod izrade sudova pod pritiskom, za izradu savitljivih cevi za nanometre. Legura CuZn-28 se veoma dobro lemi i platinira.

- Legure bakra sa cinkom CuZn-30 i CuZn-32 predstavljaju kombinaciju mogućnosti najvećeg izduženja, za sve vrste mesinga, sa zadovoljavajućom čvrstoćom. Koriste se za izradu čaura, svih vrsta cevi za kondenzatore i izmenjivače toplote, za izradu radijatora, u prehrambenoj industriji i za različite električne komponente.

- Legura bakra sa cinkom CuZn-37 je najčešće korišćena legura bakra i cinka u rangu poluproizvoda. Koristi se za sve vrste vijaka i valjaka u tekstilnoj industriji, za trake hladnjaka, opruge i šuplje predmete.

- Legura bakra sa cinkom CuZn-42 dobro se izvlači i koristi se za izradu raznih okova, delova brava, dna kondenzatora i raznih delova koji se obrađuju kovanjem, rezanjem i struganjem. Morski (brodski) mesing CuZn-42 u svom sastavu ima i 1% kalaja.

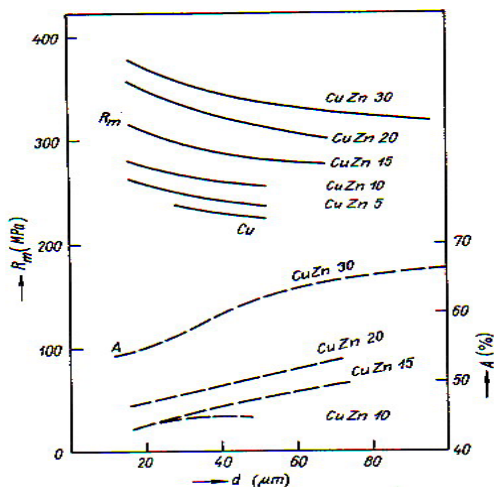
### 1.7. Deformacija legura bakra sa cinkom

Procesom deformacije legura bakra sa cinkom, kao i drugih metala i legura, ostvaruje se povećanje mehaničke i korozivne otpornosti [2]. Plastična deformacija je permanentno dimenzionalna promena uzorkovana dejstvom spoljne sile.

Deformaciono ojačavanje se javlja u svim postupcima hladno-plastične prerade, kao što su: hladno kovanje, valjanje, istiskivanje, savijanje, duboko izvlačenje i drugo. Činjenica da materijal prilikom plastične prerade na hladno, ojačava, znači da se stvarni napon za odvijanje plastične deformacije povećava logaritamski u funkciji deformacije. Hladna deformacija mesinga znatno povećava njegovu čvrstoću uz istovremeno sniženje pokazatelja plastičnosti. Žarenje ojačanog metala-legure iznad 400°C, uklanja negativan efekat ojačavanja [4].

Duboko izvlačenje je poželjna metoda za leguru bakra sa cinkom, CuZn-30 i CuZn-42, gde se postiže optimalna kombinacija ojačavanja i plastičnih osobina. Uticaj povećanja sadržaja bakra u legurama sa cinkom i efekat veličine zrna na ojačanje deformacijom, može se videti na slici (1.4.).

Kada sadržaj bakra u leguri raste, efekat veličine zrna na ojačavanje (deformaciju) opada.



Slika 1.4 - Zavisnost zatezne čvrstoće i sile izvlačenja od sastava mesinga i veličine zrna

Porast sadržaja cinka u legurama mesinga doводи do porasta stepena izduženja (deformacije). Najveći stepen izduženja je kod mesinga CuZn-30. Po pravilu čisti metali su podložniji procesu izduženja od legura istih metala; najznačajniji izuzetak su mesinzi, gde i stepen ojačavanja i stepen izduženja rastu sa porastom koncentracije cinka do 30%, u leguri CuZn-30.

## 2. KOROZIONO PONAŠANJE MESINGA U RAZLIČITIM SREDINAMA

Mesto koje bakar zauzima u elektrohemijском nizu metala isključuje mogućnost rastvaranja u **neoksidirajućim kiselinama** [5,6,7]. Bakar se zato pripisuje plemenitim i stabilnim metalima, ukoliko stabilnost nije uslovljena sa nekoliko faktora: na primer, kiseonična depolarizacija i depolarizacija jona dvovalentnog bakra i trovalentnog železa. Napredovanje korozionog procesa određeno je brzinom sposobnosti bakra za obrazovanje kompleksnih jedinjenja. Jednovalentni bakar oksidiše na vazduhu i prelazi u dvovalentni, koji sa svoje strane deluje kao oksidans. Bakar obrazuje kompleksna jedinjenja sa cijanidima, amonijakom i čak sa vodom.

Bakar i mesing su materijali rasprostranjene upotrebe za vodovodne instalacije [8]. Prisustvo organskih materija može imati neželjene efekte na kvalitet pijaće vode, što se manifestuje povećanjem količine korozivnih produkata ili smanjenjem mikrobiološke stabilnosti [9].

U slabo-kiselim pufernim rastvorima hlorida i u rastvoru amonijum-hlorida brzina korozije raste sa vremenom. Pri pH-vrednostima manjim od 5 teško dolazi do formiranja filma na površini mesinga, jer se oksidni film brzo rastvara [10,11].

Brzina korozije bakra, izloženog dejstvu kiselohloridnih rastvora, je veća nego u neutralnim rastvorima i opada sa povećanjem vremena izloženosti dejstvu atmosfere, što se objašnjava stvaranjem stabilnog pasivnog filma na površini uzorka. Cu(I)-jon se oksidiše kiseonikom iz vazduha i prelazi u Cu(II)-jon, koji kasnije igra veoma važnu ulogu u procesu korozije bakra. Hidrolizom Cu(II)-jona, dolazi do formiranja osnovnog bakar-hlorida u neutralnoj sredini u obliku paratakamita ( $\text{Cu}_4\text{Cl}_2(\text{OH})_6$ ).

Pri ravnomernoj aeraciji u mešajućim rastvorima preovladava ravnomerna korozija sa obrazovanjem produkata, jako zalepljenih za površinu. Različiti vidovi tehničkog bakra u korozionom pogledu ponašaju se slično; srednja brzina korozije u atmosferi je 1.3mm/god. Sa povećanjem koncentracije  $\text{SO}_2$ -gasa u vazduhu brzina korozije raste,

pri čemu pri niskim koncentracijama neznatno, a pri visokim koncentracijama izrazitije.

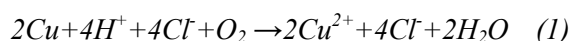
Korozija pod naprezanjem (naponska korozija) karakteristična je za mesing pri većem sadržaju cinka. Dvofazni  $\alpha+\beta$  ili  $\beta+\gamma$ -mesinzi podležu korozionom rasprskavanju pod dejstvom vlažnog vazduha.

Povećanje sadržaja olova u mesingu, dovodi do smanjenja brzine korozije legure [12]. Dodatak malih količina aluminijuma ili kalaja (1-2%) u mesing, dovodi do poboljšanja korozione otpornosti u morskoj vodi. Ovaj efekat se objašnjava promenom mikrostrukture, brojem defekata i osobinama pasivnog filma formiranog na površini mesinga.

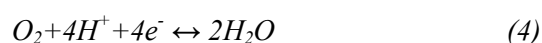
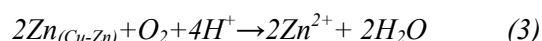
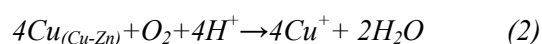
Ostale legure bakra takođe mogu podleći interkristalnoj koroziji, ali u manjem stepenu od mesinga.

Selektivna korozija je prvenstveno prisutna u mesinzima, ređe u olovnim i alumunijumskim bronzama i sasvim retko u legurama bakar-nikal. Pri ovom vidu korozije na mestu napada ostaje sude-rasti bakar. Iskorodirani delovi gube svoja osnovna svojstva. Ovaj vid korozije ogleda se u decinkaciji mesinga, kako jednofaznih, tako i dvofaznih, osim za mesinge koji sadrže 90% bakra, pri čemu je izraženija ukoliko je veći sadržaj cinka u leguri. Korozija nastaje pri sadržaju cinka od 15%, postaje značajna kod mesinga sa 20% cinka i veoma značajna pri sadržaju cinka više od 30%.

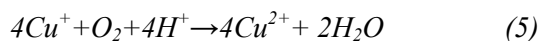
U aerisanom 1N **hlorovodoničnoj kiselini** mesing sa 63% bakra je otporniji od bakra [6]. Mehanizam anodnog rastvaranja bakra u kiselohloridnim rastvorima može se prikazati pomoću sledeće jednačine:



Prema L.G. Vorošninu [13] brzina korozije mesinga u 5% HCl iznosi 1.2mm/god, dok u HCl koncentracije 10-35%, brzina korozije iznosi 7.1mm/god. U rastvorima hlorovodonične kiseline, koji sadrže kiseonik, brzina korozije mesinga raste zato što se cink i bakar rastvaraju uz reakciju redukcije kiseonika:



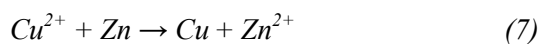
Rastvoreni kiseonik iz rastvora, dalje dovodi do oksidacije Cu(I)-kompleksa do Cu(II):



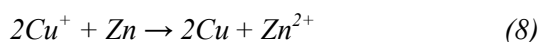
Povećanje koncentracije Cu(II)-kompleksa u rastvoru, povećava učešće sledeće reakcije, u korozionom procesu:



Bakar može biti redeponovan iz rastvora na površinu mesinga:



a takođe i:



Nezavisno od vrste korozione reakcije, dešava se autokatalitično rastvaranje i rastvaranje sa reakcijom redukcije kiseonika, sa redepozicijom. Proces prouzrokuje relativno visoku koncentraciju cinka i nisku koncentraciju bakra u rastvoru. U ovim ispitivanjima proces redepozicije je razlog za decinkaciju.

Razblažena 10% **sumporna kiselina** manje je aktivna od hlorovodonične kiseline, ali na granici metal-rastvor brzina korozije raste 150 puta, a u prisustvu oksidanasa (jedinjenja železa ili natrijum-bihromata) i 200-300 puta. Pri ograničenom dotoku vazduha, brzina korozije mesinga opada do nule [6].

Brzina korozije mesinga pri koncentraciji sumporne kiseline do 5%, pri temperaturi od 20°C, iznosi 0.03-0.04mm/god [13]. Koncentracije sumporne kiseline 10-60%, pri temperaturi od 20°C, izazivaju brzinu korozije od 0.02-0.12mm/god, dok pri koncentracijama sumporne kiseline većim od 70%, brzina korozije iznosi 0.61-1.35mm/god.

U deaerisanom rastvoru 2.0M sumporne kiseline, rastvaranje  $\beta$ -mesinga dešava se uz redukciju vodonika [14,15]. Eksperimenti su potvrdili da je rastvaranje  $\beta$ -mesinga u sumpornoj kiselini u osnovi decinkacija površine i proces formiranja nemetalne faze sastavljene od bakar-hlorida, nepoznate stehiometrije.

Pryor [16] sugeriše moguću mehanizam odlaska atoma u rastvor. Mesing sa ~50% bakra ima jasne elektronegativne atome svuda u bakarnoj leguri (mesingu) sklonih decinkaciji. Ovi elektronegativni atomi na površini i subpovršini mogu lako da se premeste elektrohemijski.

Posle ovog premeštanja, atomi bakra zauzimaju visoko nestabilnu poziciju, što može dovesti

do narušavanja površinskog sloja pod uticajem elektrostatičkih sila, što dovodi do formiranja manjih mesta bogatih bakrom. Anodno rastvaranje  $\alpha$ -mesinga je dosta različito od spontanog procesa. U prvom slučaju rastvaranje je neselektivni proces, a u drugom je selektivni proces koji se odvija u kompleksnoj kiselini (ovaj proces se ne dešava u nekompleksnim, odnosno, neoksidacionim kiselim rastvorima). Anodno i spontano rastvaranje mesinga su selektivni procesi. U toku anodnog rastvaranja mesinga bogatog bakrom, pojavljuje se i jedan međusloj, na njegovoj površini. Kod mesinga sa manjim sadržajem bakra, ne pojavljuje se međusloj, već dolazi do formiranja bakar-hidrida.

Bilo koje koncentracije **azotne kiseline** razaraju mesing [6,13]. Koncentracija azotne kiseline do 70%, izaziva brzinu korozije mesinga veću od 10 mm/god.

**Fosforna kiselina**, pri običnoj temperaturi izaziva koroziju brzine  $0.6-100\text{g/m}^2\cdot 24^{\text{h}}$ , u zavisnosti od čistoće kiseline i aeracije [6]. Pri temperaturi ključanja fosforne kiseline, koncentracije 10-90%, brzina korozije mesinga iznosi  $0.48-0.8\text{mm/god}$ . [13]. Čista fosforna kiselina koja sadrži male količine feri-jona i fluorida, nastalih u procesu prečišćavanja, slabo nagrizava mesing [17].

Rebak [18] je ispitivao sklonost  $\alpha$ -mesinga prema naponskoj koroziji u alkalnim rastvorima **fosfata ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ), trifosfata ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) i pirofosfata ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ )**. Prikazani rezultati ukazuju na odsustvo naponske (interkristalne) korozije u rastvoru  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  i osetljivost na naponsku koroziju u rastvorima  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  i  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ , praćeno procesom anodnog rastvaranja.

**Limunska kiselina** izaziva koroziju sa brzinom od  $1.2\text{g/m}^2\cdot 24^{\text{h}}$ , što govori u prilog korišćenju mesinga u prehrambenoj industriji [6]. Mesing sa manje od 17% cinka, u rastvorima limunske kiseline, ponaša se kao bakar i primenjuje se za izradu mnogih aparata i mašina, pri čemu je brzina korozije manja ili jednaka  $0.1\text{mm/god}$ .

U **masnim kiselinama**, pri visokim temperaturama, mesing korodira sa brzinom korozije od  $6-30\text{g/m}^2\cdot 24^{\text{h}}$ . Ne preporučuje se za izradu delova i konstrukcija za rad sa mineralnim kiselinama.

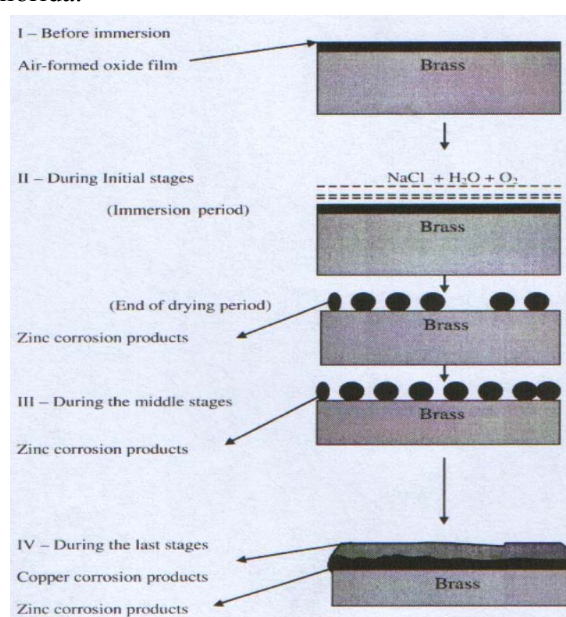
U **alkalnim rastvorima**, osim amonijačnim, mesing je koroziono otporan [6]. Brzina korozije u mirujućim rastvorima iznosi  $1.2-12\text{g/m}^2\cdot 24^{\text{h}}$ , a sa povećanjem temperature i pri aeraciji, brzina korozije dostiže  $12-40\text{g/m}^2\cdot 24^{\text{h}}$  [10,13].

Mesing korodira u **vodi** sa brzinom korozije od  $0.06-0.6\text{g/m}^2\cdot 24^{\text{h}}$ . U pregrejanoj vodenoj pari mesing je otporan do temperature od  $300^{\circ}\text{C}$ .

Materijali koji za svoju osnovu imaju bakar, osim aluminijumskih mesinga, ne preporučuju se za primenu u sredinama koje sadrže **halogene elemente** i pored male brzine korozije [6,19,20]. Po stepenu agresivnosti halogeni elementi slede poredak: fluoridi, hloridi, bromidi i jodidi.

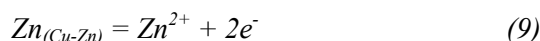
U neutralnom rastvoru **natrijum-hlorida** brzina korozije iznosi od  $0.6-3\text{g/m}^2\cdot 24^{\text{h}}$  do  $3-45\text{g/m}^2\cdot 24^{\text{h}}$ , pri promeni temperature od sobne do  $75^{\circ}\text{C}$ . [13].

Na slici 2.1. [21] dat je shematski prikaz stvaranja depozitnih naslaga na površini mesinga, u atmosferskim uslovima, u prisustvu natrijum-hlorida.

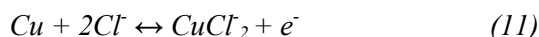


Slika 2.1. - Shematski prikaz stvaranja depozitnih naslaga na mesingu u suvo-vlažnom režimu

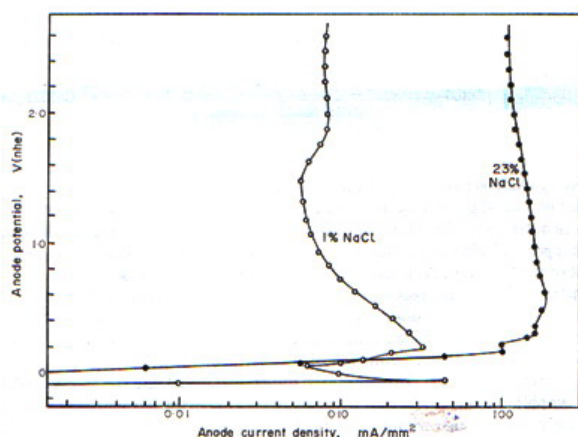
Pre uranjanja uzorka mesinga ( $t=0\text{min.}$ ) površina mesinga je prekrivena tankim slojem oksidnog filma iz vazduha. Brzina korozije je najveća u početnom stadijumu što je praćeno rastvaranjem oksidnog filma, čija debljina raste sa povećanjem temperature i u kiseloj sredini. Prvenstveno rastvaranje cinka se odvija na sledeći način:



Cink se većom brzinom izdvaja na površini od bakra. Na površini se nalaze jedinjenja sa različitim kristalnim rešetkama, kao što su:  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Zn}_5(\text{OH})_8\text{Cl}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  i  $\text{ZnO}$ . Korozija bakra počinje kada kroz film formiran od produkata korozije cinka, prodiru hloridni joni i reaguju sa bakrom. Katodna reakcija je proces redukcije kiseonika:



U toku poslednjeg stadijuma izlaganja mesinga atmosferskom uticaju, formiraju se korozioni produkti bakra, preko korozionih produkata cinka i dovode do smanjenja brzine korozije. Kao produkti se javljaju:  $Cu_2O$ ,  $Cu$ ,  $Cu_2Cl(OH)_3$ . Efikasnu zaštitu od dejstva hlorida na mesing, predstavlja površinski formirani film na površini uzorka [22]. Flatt i Brook [23] ispitivali su efekat koncentracije anjona (hlorida) na anodnu polarizaciju mesinga  $Cu_{30}Zn$  i  $Cu_{40}Zn$ . Na slici 2.2. prikazane su polarizacione krive za  $Cu_{30}Zn$  mesing, u 1% i 23% rastvoru natrijum-hlorida.



Slika 2.2. - Anodna polarizacija mesinga  $Cu_{30}Zn$  pri ekstremnim koncentracijama natrijum-hlorida

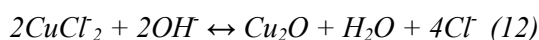
Kao rezultat efekta povećanja koncentracije hlorida je formiranje strujnog platoa što je rezultat pasivizacije mesinga. Relativno hrapava površina  $\alpha$ -faze prekrivene bakar-hloridom, sa neravnomernim rasporedom stvorenog filma cinka, prisutna je u 1% rastvoru natrijum-hlorida, dok je film formiran u 23% rastvoru gladak i uniforman.

Sušтина paralelno formiranih  $CuCl$  i cink-filma, upućuje na zaključak da se oba metala (bakar i cink) pojedinačno oksidišu, pri čemu bazni metal ostaje na površini mesinga.

Brzina korozije mesinga u **morskoj vodi** (koncentracija hloridnog jona od  $0.5-0.6 \text{ mol/dm}^3$ ) kreće se od male ( $0.2-2.4 \text{ g/m}^2 \cdot 24^h$ ), do, u zavisnosti od uslova, veoma velike [7,20,24].

Na osnovu ispitivanja korozije legure na bazi bakra u morskoj vodi autori u radovima [20,25] pretpostavljaju da je formiranje zaštitnih filmova zavisno od ravnoteže difuzije  $Cu(I)$ -hloro-kompleksa nastalog primarnom anodnom reakcijom:

i reakcijom taloženja:



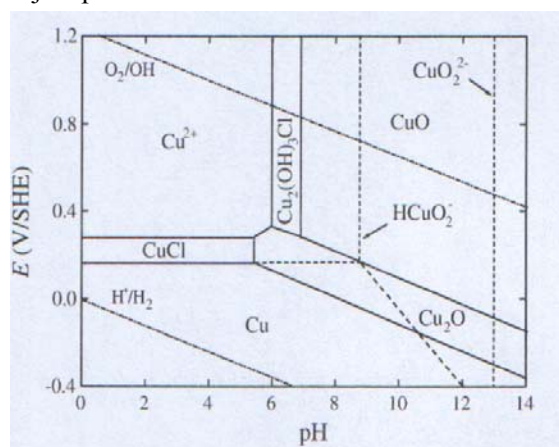
Konstanta disocijacije,  $K_1$ , za reakciju (12) je:

$$K_1 = [Cl^-]^4 / \{[CuCl_2]^2 / [OH^-]^2\} = 10^{20} \quad (13)$$

Stabilnost  $Cu_2O$ -fima je obrnuto proporcionalna koncentraciji hloridnih jona. Na sobnoj temperaturi debljina oksidnog filma je oko 2.5nm. Zagrevanjem bakra na vrelom vazduhu ili u vreloj vodi dolazi do formiranja dvostrukog filma na njegovoj površini: prvi je  $Cu_2O$ , a drugi film je  $CuO$  ili  $Cu(OH)_2$ -film. XRD-analizom ustanovljeno je postojanje i  $ZnO$ -filma na površini mesinga [26].

Izrazita rastvorljivost  $Cu(I)$ -hloro-kompleksa u rastvorima sa visokim sadržajem natrijum-hlorida stvara uslove za odvijanje procesa selektivnog rastvaranja mesinga u moru. Na slici (2.3.) dat je Purbeov dijagram za bakar u morskoj vodi saliniteta 35‰ na temperaturi od  $25^\circ C$ .

Ispitivanje  $\alpha+\beta$ -mesinga u morskoj vodi, ukazuje da sa porastom temperature, korozioni potencijali se pomeraju prema negativnijim vrednostima. Iz dobijenih rezultata vidljivo je da su vrednosti maksimalnih gustina anodnih struja u celom temperaturnom području izrazito veće za  $\alpha+\beta$ -mesinge u odnosu na  $\alpha$ -mesing. Ta činjenica ukazuje da morfologija nestabilne strukture  $\alpha+\beta$ -mesinga sa povećanjem radne temperature u mirujućim uslovima znatno doprinosi inteziviranju procesa decinkacije ispitivanih uzoraka.



Slika 2.3 - Purbeov dijagram za bakar u morskoj vodi

**Fluor, brom, fluorasta i hlorasta kiselina** ne izazivaju koroziju mesinga u odsustvu vlage, pri

običnoj temperaturi [6], dok u tečnostima izazivaju koroziju bakra i legura bakra [27].

### 2.1. Naponska korozija mesinga

Pri istovremenom dejstvu naprežanja i korozivne sredine mnoge legure podležu naponskoj koroziji prilikom koje se pri neznatnim gubicima metala javljaju prskotine [17,28,29,30]. Ove prskotine nastaju duž granice kristala (međukristalna, interkristalna korozija) ili u samoj masi metala (transkristalna korozija).

U hemijskoj industriji pojava naponske korozije hemijskih uređaja i mašina prilično je česta.

Pojava naponske korozije metala uslovljena je po pravilu postojanjem tri uslova:

1. sile zatezanja
2. korozivne sredine i
3. stepena čistoće metala

Naponska korozija metala nastaje samo u slučaju delovanja sile zatezanja na metal; u prisustvu sile na pritisak u metalu ne nastupa naponska korozija. Čisti metali nisu skloni naponskoj koroziji; neznatne primese drugih metala mogu povećati sklonost prema naponskoj koroziji.

Nekoliko modela mogu uspešno objasniti mehanizme naponske korozije **mesinga**. Poznata je sklonost mesinga prema naponskoj koroziji u prisustvu amonijaka, ali samo kada rastvor obavezno sadrži određenu količinu rastvorenog bakra (red veličine  $0.5\text{g/dm}^3$ ) i kada je omogućen pristup kiseonika naprslini. Glavna reakcija treba da se odvija između hidroksilnog jona i adsorbovanog kompleksa ( $\text{Cu}(\text{CH}_3)_2^+$ ). Proces korozije je praćen formiranjem tankog oksidnog filma u naprslini, sa promenljivom brzinom, u zavisnosti od sastava mesinga. Mesing koji je najskloniji formiranju naprslina, kao i stepenu povećane brzine širenja naprslina, je CuZn-30. Kod ovog mesinga, proces širenja naprslina je isprekidan, što predhodi lomu krhkog oksidnog sloja nastalog u dubini materijala. Posle ovog koraka naprslina se zatvara od strane nekih otpornijih oblasti legure, ali oksidni sloj nastavlja širenje u blizini prskotine (naprslina) uz obavezno odvijanje procesa rasta produkata, uz isprekidano napredovanje naprslina. Prema tome, širenje naprslina kroz površinu ciklično se ponavlja. Kada napon, koji predstavlja silu potrebnu da se proces odvija, oslabi, rast naprslina zrna se ne ostvaruje. Ovo često može biti postignuto zagrevanjem na  $200^0\text{--}300^0\text{C}$ , praćeno kratkim zadržavanjem na ovim temperaturama, gde se materijal oslobađa zaostalih napona.

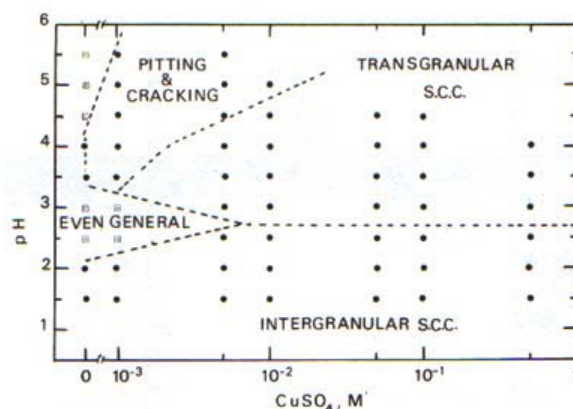
Matson i Li [31,32] su demonstrirali da je naponska korozija napregnutog  $\alpha$ -mesinga u rastvoru bakar-sulfata, koji sadrži amonijak, veoma osetljiva na pH-vrednost rastvora.

Kermani i Lu [33,34] ispitivali su uticaj koncentracija amonijaka i bakra na naponsku koroziju  $\alpha$ -mesinga. Rezultati pokazuju da je naponska korozija zavisna od koncentracije kompleksnih jona u rastvoru i njihove difuzije na metalnu površinu kao i od prisustva hloridnih jona [35]. Ovo potiče od termodinamičke nestabilnosti formiranog  $\text{Cu}_2\text{O}$ -filma koji je nestabilan u neutralnom rastvoru i pri povećanim koncentracijama hloridnih jona.

U radu [36] utvrđeno je postojanje transkristalne i interkristalne naponske korozije mesinga 70Cu-30Zn u hloratnom rastvoru.

U radu [37] dati su rezultati ispitivanja sklonosti mesinga, sa stepenom deformacije od 15%, prema naponskoj koroziji u zavisnosti od pH-vrednosti rastvora i koncentracije  $\text{Cu}^{2+}$ -jona u rastvoru natrijum-sulfata.

Na slici (2.4.) prikazana su polja različitih oblika lokalnog razaranja mesinga u rastvoru  $\text{Cu}^{2+}$ -jona.



Slika 2.4 - Polje zavisnosti i morfološka klasifikacija kao funkcija pH-vrednosti i sadržaja  $\text{CuSO}_4$ ,  $T=293\text{K}$ ,  $\tau=240\text{h}$

U slabo kiselom sulfatnom rastvoru, bez prisustva hloridnih jona, formirani površinski film je  $\text{Cu}_2\text{O}$  dok u jako kiselim rastvorima, u kojima  $\text{Cu}_2\text{O}$ -film ne može opstati kao stabilna čvrsta faza, prisutna je interkristalna naponska korozija. Tipičan transkristalni napad odvija se u pH-rangu 3-4.5, u svim rastvorima koji sadrže veće koncentracije bakar-sulfata od  $5 \cdot 10^{-3}\text{M}$ . Kod transkristalne naponske korozije pojavljuje se plavo-sivi talog.

Povećanje pH-vrednosti rastvora dovodi do pomeranja vrednosti korozivnih potencijala u pozitivniju oblast i do smanjenja vrednosti gustina struje.



Na osnovu iznetog može se zaključiti da je interkristalna naponska korozija karakteristična za rastvore čija je pH-vrednost manja ili jednaka 2.5, a jačina napada se povećava sa povećanjem kiselosti i koncentracije  $\text{Cu}^{2+}$ -jona.  $\text{Cu}_2\text{O}$ -film nije uključen u proces interkristalne naponske korozije. Transkristalna naponska korozija karakteristična je za manje kisele i alkalne rastvore.

Inhibitorski efekat hloridnih jona na naponsku koroziju mesinga ispitivali su Hoar i Booker [38], u neutralnom amonijačnom rastvoru. Koncentracija hloridnih jona koja dovodi do inhibitorskog efekta je  $8 \cdot 10^{-3} \text{N}$ .

U radu [39] nađeno je da inhibitorski efekat na deformisane uzorke mesinga CuZn-28 i CuZn-42 imaju koncentracije hloridnih jona od  $5 \cdot 10^{-2} \text{mol dm}^{-3}$  i  $1 \cdot 10^{-1} \text{mol dm}^{-3}$ .

Later, Uhlig i saradnici [40] ispitivali su inhibitorski efekat hloridnog jona na naponsku koroziju 63Cu-37Zn mesinga i pronašli da je optimalna koncentracija hloridnih jona za inhibiranje naponske korozije mesinga  $4 \cdot 10^{-2} \text{N}$ .

Guo i saradnici [41] ispitivali su sklonost mesinga prema naponskoj koroziji na različitim pH-vrednostima u amonijačnom rastvoru uz dodatak bakar-sulfata. Kada je pH-vrednost veća ili jednaka 8, osetljivost mesinga prema naponskoj koroziji ima maksimalnu vrednost. Takođe, kada je pH-vrednost manja ili jednaka 6, pri opadajućim vrednostima pH, sklonost mesinga prema naponskoj koroziji rapidno opada. Eksperimenti su pokazali da se pri pH-vrednostima 12 i 13 crni pasivni film pojavljuje na površini uzorka; kada je pH-vrednost između 9 i 11.4 pojavljuje se decinkacioni sloj; kada je pH-vrednost manja od 8 pasivni film je crne boje (pH-vrednost 8 ili 7) ili braon boje (pH-vrednost 5 ili 6), a za pH-vrednost manje ili jednako 4, film je svetlo-žut.

## 2.2 Decinkacija mesinga

Selektivna korozija se odlikuje korozionim napadom samo na određene strukturne konstituyente [19,26]. Kada postoje dve ili više faza izrazito različitog sastava u jednoj leguri, postoji mogućnost da jedna od njih podleže selektivnom napadu. Ovakav korozioni napad javlja se kod livenog gvožđa, legiranog i visokolegiranog bakra, legura nikla i drugo. Decinkacija predstavlja selektivno uklanjanje cinka iz legura mesinga, ostavljajući porozni ostatak bogat metalnim bakrom, slabe mehaničke čvrstoće (slika 2.5.).



Slika 2.5. - Decinkacija mesingane turbine pumpe za vodu

Zajednički znaci o postojanju procesa decinkacije:

- ❖ prisustvo belog depozita cink-oksida
- ❖ prisustvo mineralnih mrlja na površini mesinga

El-Mahdy [11] je ispitivao decinkaciju mesinga 70Cu-30Zn pod različitim uslovima, u rastvorima natrijum-hlorida i hlorovodonične kiseline, pri čemu je definisan decinkacioni faktor:

$$Z = [(Zn/Cu)_{\text{rastvor}}] / [(Zn/Cu)_{\text{legura}}] \quad (14)$$

gde je  $(Zn/Cu)_{\text{rastvor}}$  odnos elemenata cinka i bakra u rastvoru, a  $(Zn/Cu)_{\text{legura}}$  odnos procenata elemenata cinka i bakra u leguri. Prilikom procesa decinkacije u rastvoru nije detektovan bakar.

Isti autori su na stanovištu da je anodno ponašanje legure ograničeno brzinom rastvaranja plemenitije komponente, kao sporijeg stadijuma. Jedna od osobenosti procesa korozije bakra i mesinga je činjenica da oksidni bakar u korozionoj sredini ubrzava proces korozije. Ovaj efekat je jako izražen u kiselo-hloridnim rastvorima. Jednovalentni bakar, koji se formira u anodnom procesu, nalazi se izvan graničnog difuzionog sloja i može se oksidisati do dvovalentnog bakra. Tako formirani dvovalentni bakar difunduje na površinu legure i ima ulogu specifičnog depolarizatora, redukujući se do jednovalentnog bakra, koji nakon toga odlazi u rastvor i oksidiše se kiseonikom. Ponavljanje procesa dovodi do porasta brzine korozije.

Autori [34, 42] su definisali potrebne teoretske uslove za proces decinkacije inhibiranog mesinga i zaključili da se proces može odigravati samo pod visoko ekstremnim uslovima.

U radovima [11, 43] opisan je proces decinkacije tri vrste mesinga (60Cu-40Zn, 70Cu-30Zn i 63Cu-37Zn), bez i sa deformacijom od 50%, u

15.7N rastvoru amonijaka. Ispitivanja pokazuju da prvenstveno cink napušta leguru mesinga 63Cu-37Zn. Kod legura 60Cu-40Zn i 70Cu-30Zn bakar više odlazi u rastvor nego cink. Brzina rastvaranja cinka raste sa vremenom držanja uzorka potopljenog u rastvor i dosta su slične za mesinge 70Cu-30Zn i 63Cu-37Zn. Mesing 60Cu-40Zn gubi cink brzinom mnogo većom od druga dva mesinga.

Rothenbecher, Kabasakaloglu [44,45] uočili su ubrzanu decinkaciju 70Cu-30Zn mesinga pod statičnim uslovima. Kod nedeformisanih uzoraka mesinga 70Cu-30Zn i 63Cu-37Zn veća je brzina korozije nego kod mesinga sa stepenom deformacije od 50%, dok je kod mesinga 60Cu-40Zn sa stepenom deformacije od 50% brzina korozije veća nego kod nedeformisanog mesinga.

U radovima [46,47] dati su rezultati ispitivanja procesa decinkacije mesinga 60Cu-40Zn u kiselo hloridnom i sulfatnom rastvoru, pod ubrzanim eksperimentalnim uslovima. Rezultati pokazuju da je selektivno rastvaranje cinka i istovremeno bakra, praćeno redepozicijom bakra, uključujući i decinkaciju. Decinkacija je uočena kada je mesing držan potopljen u  $1 \cdot 10^{-1}$  M rastvor azotne kiseline, uz prisustvo različitih koncentracija hloridnih i sulfatnih jona, pri temperaturi od  $30^{\circ}\text{C}$ . Kada koncentracija hlorida varira od  $1 \cdot 10^{-6}$  -  $1 \cdot 10^{-4}$  M, ukupna brzina rastvaranja postepeno opada, od rapidno velike do minimalne vrednosti. Dalji rast koncentracije hloridnih jona iznad  $1 \cdot 10^{-4}$  M rezultuje smanjenim rastvaranjem mesinga. U prisustvu sulfatnih jona, brzina rastvaranja kontinualno opada kao rezultat postepenog povećanja sadržaja sulfata od  $1 \cdot 10^{-5}$  M do  $1 \cdot 10^{-2}$  M.

Mnogi autori [11,45,48,49,50,51,52] na ovom polju ispitivali su različite metode i zaključili da se cink rastvara prvenstveno u početnom stadijumu decinkacije.

U radu [53] razmatrana je problematika korozije aluminijumskog mesinga u rastvoru natrijum-sulfata, u prisustvu hlorida, pri pH-vrednostima 3-

7.25. U odsustvu hlorida, površinski film se sastoji od oksida ( $\text{CuO}$  i  $\text{Cu}_2\text{O}$ ) i bakar-sulfata ( $\text{Cu}_3(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), stabilnog u celom opsegu pH-vrednosti; površinski film je jako homogen i bez decinkacije ili lokalne korozije. U prisustvu hlorida, površinski film se sastoji od bakar-hlorida ( $\text{CuCl}$ ) i bakar  $[\text{Cu}(\text{OH},\text{Cl})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$  i aluminijum-oksihlorida  $[\text{Al}_{45}\text{O}_{45}(\text{OH})_{45}\text{Cl}]$  i aluminijum-oksida ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ). Maksimalna korozija je prisutna pri koncentraciji hloridnih jona od  $5 \cdot 10^{-3}$  M, za pH-vrednost 3. Decinkacioni faktor u funkciji od pH-vrednosti rastvora, bez ili sa dodatkom hloridnih jona, dat je izrazom:

$$Z = \text{Cu/Zn } 0.21/0.76 \quad (15)$$

Decinkacija nije prisutna kada je  $Z > 1$ , dok prisustvo hlorida promovise decinkaciju ( $Z < 1$ ) [48].

L. Burzynska i autori [14] su tehnikom X-zraka ispitivali čvrste produkte na površini mesinga koji u svom sastavu ima 47.3% bakra, u procesu rastvaranja u 2M rastvoru sumporne kiseline. Rastvaranje mesinga se odigrava samo sa izdvajanjem vodonika. Prikazani rezultati ukazuju na jako privlačno dejstvo između bakra i vodonika u kristalnoj rešetki.

Legiranje mesinga sa 0.02-0.04% As, je dobra prevencija decinkacije [42]. Dodatak 1% Sn ili 2% Al u  $\alpha$ -mesing takođe daje dobre rezultate. Za sprečavanje procesa decinkacije koriste se inhibitori korozije, od kojih N-[1-(benzotriazol-1-yl) etil-anilin (BTEA) i N,N-dibenzotriazol-1-yl-metil-aminoetan (DBME), pokazuju odlične rezultate u sprečavanju decinkacije mesinga 65Cu-35Zn, u rastvoru NaCl [54].

Inhibitori korozije na bazi azola, N,N-dibenzotriazol-1-yl-metilaminometan (DBMM) i 3-hidroksipropil benzotriazol (HPBT), efikasni su u sprečavanju procesa decinkacije mesinga 65Cu-35Zn [55].

U tabeli (2.1.) dat je sastav rastvora na bakru i cinku, pre i posle dejstva inhibitora korozije.

Tabela (2.1.) - Efekat optimalnih koncentracija inhibitora DBMM i HPBT na proces decinkacije mesinga

Inhibitori	Analiza rastvora		Decinkacioni faktor	Stepen inhibiranja(%)	
	Cu (ppm)	Zn(ppm)		Cu(%)	Zn(%)
Bez inhibitora	0.73	16.79	42.71	/	/
DBMM	0.09	1.81	37.35	87.67	89.22
HPBT	0.07	1.38	36.61	90.41	91.78

Prema podacima iz tabele (2.1.) najefikasniji inhibitor za inhibiranje procesa decinkacije je inhibitor 3-hidroksipropil benzotriazol (HPBT).

Na osnovu svega iznetog može se zaključiti da je mesing veoma zastupljen materijal u industriji i sklon nekim vrstama korozije, kao što su naponska korozija i decinkacija. Navedeni procesi umnogome se mogu usporiti upotrebom odgovarajućih inhibitora korozije.

#### LITERATURA

- [1] Kočovski, B., "Bakar i bakarne legure", Bor, (1991)
- [2] Sedlaček, V., "Non-ferrous metals and alloys", Elsevier, (1986)
- [3] Jugoslovenski standard "Legure bakra sa cinkom i legure bakra sa cinkom i olovom", JUS C.D2.100, (1967)
- [4] Li, W., Li, D.Y., Applied Surface Science, 240 (2005) 388
- [5] Despić, A., Dražić, D., Tatić-Janjić, O., "Osnovi elektrohemije", Beograd, (1970)
- [6] Račev, H., Stefanova, S., "Spravočnik po koroziji", Moskva, (1982)
- [7] Nunez, L., Reguera, E., Corvo, F., Gonzales, E., Corrosion Science, 47 (2005) 461
- [8] Valcarce, M. B., De Sanchez, S. R., Vazquez, M., Corrosion Science, 47 (2005) 795
- [9] Boulay, N., Edwards, M., Wat.Res., 35 (2001) 683
- [10] Kunze, J., Maurice, V., Klein, L. H., Strehblow, H. H., Marcus, P., Corrosion Science, 46 (2004) 245
- [11] El-Mahdy, G. A., Journal of Applied Electrochemistry, 3 (2005) 347 A
- [12] El-Sherif, R. M., Ismail, K. M., Badawy, W. A., Electrochimica Acta, 49 (2004) 5139
- [13] Vorošnin, L.G., "Antikorrozionne diffuzionne pokriti", Minsk, (1981)
- [14] Burzynska, L., Stoch, J., Zembura, Z., Solid State Ionics, 38 (1990) 179
- [15] Burzynska, L., Zembura, Z., Polish Journal of Chemistry, 66 (1992) 503
- [16] Pryor, M. J., Fister, J. C., J. Electrochemical Soc., 131 (1984) 1230
- [17] Mladenović, S., Petrović, M., Rikovski, G., "Korozija i zaštita materijala", Beograd (1985)
- [18] Rebak, R. B., Galvele, J. R., Corrosion Science, 29(8) (1989) 1003
- [19] Zou, J. Y., Wang, D. H., Qiu, W. C., Electrochimica Acta, Vol.42, No.11, (1997) 1733
- [20] Kear, G., Barker, B. D., Walsh, F. C., Corrosion Science, 46 (2004) 109
- [21] Nairin, J. D., Skennerton, S.G., Atrens, A., J. Mater. Sci., 38 (2003) 995
- [22] Shinde, V., Sainkar, S.R., Patil, P.P., Corrosion Science, 47 (2005) 1352
- [23] Flatt, R.K., Brook, P.A., Corrosion Science, 11 (1971) 185
- [24] Ereneta, V. G., Corrosion Science, 19 (1979) 507
- [25] De Sanchez, S.R., Schiffrin, D.J., Corrosion Science, 28 (1988) 141
- [26] Park, H.G., Jung-Gu Kim, Yun-Mo Chung, Han, J.G., Ahn, S.H., Lee, C.H., Surface and Coatings Technology, xxxx(2005)xxxx
- [27] Ma, H., Chen, S., Niu, L., Zhao, S., Journal of Applied Electrochemistry, 32 (2002) 65
- [28] Gilbert, P.I., "Metal Environmental reactions", Oxford, 3<sup>rd</sup> Edn., Chapter 42, (1993)
- [29] Giordano, C.M., Duffo, G.S., Galvele, J.R., Corrosion Sci. Vol.39, No.10-11, (1997) 1915
- [30] Chou, T.C., Journal of Materials Science, (1998) 3585
- [31] Mattsson, E., Electrochim. Acta, 3 (1961) 279
- [32] Li, W., Li, D.Y., Applied Surface Science, 240 (2005) 388
- [33] Kermani, M., Scully, J.C., Corrosion Science, 18 (1978) 883
- [34] Lu, H., Gao, K., Chu, W., Corrosion Science, Vol.40, No.10, (1998) 1663
- [35] Kermani, M., Scully, J.C., Corrosion Science, 19 (1979) 89
- [36] Saenz De Santa Maria, M., Scully, J., Corrosion Science, 23(7) (1983) 753
- [37] Torchio, S., Mazza, F., Corrosion Science, 26(10) (1986) 813
- [38] Hoar, T.P., Booker, C.J.L., Corrosion Science, 5 (1965) 821
- [39] Avramović, Z., Interni materijal za doktorsku disertaciju, Bor, (2006)
- [40] Uhlig, H., Gupta, K., Liang, W., J. Electrochem., Soc., 122 (1975) 343
- [41] Guo, X. J., Gao, K. W., Qiao, L. J., Chu, W. Y., Corrosion Science, 44 (2002) 2367

- [42] Marshakov, I. K., Protection of Metals, Vol.41, No.3, (2005) 205
- [43] Namboodhiri, T. K. G., Chaudhary, R. S., Corrosion Science, 22 (11) (1982) 1037
- [44] Rothenbacher, P., Corrosion Science 10 (1970) 391
- [45] Kabasakaloglu, M., Kiyak, T., Sendil, O., Applied Surface Science, 193 (2002) 167
- [46] Dinnappa, R. K., Mayanna, S. M., Corrosion Science 27 (4) (1987) 349
- [47] Kim, B. S., Piao, T., Hoier, S. N., Park, S. M., Corrosion Science vol.37, No.4, (1995) 557
- [48] Heidersbach, R. H., Verink, E. D., Corrosion-NACE, 28(11) (1972) 397
- [49] Hari, P., Corrosion Science 15 (1975) 123
- [50] Sitnikov, A. B., Pchelnekov, A. P., Marshakov, I. K., Losev, V. V., Z.Metallov, 14 (1978) 258, 15 (1979) 34
- [51] Gupta, P., Chaudhary, R. S., Namboodhiri, T. K. G., Br. Corros. J., 17 (1982) 136
- [52] El-Mahdy, G. A., Corrosion Science, 47 (2005) 1370 B
- [53] Beccaria, A. M., Mor, E. D., Poggi, G., Mazza, F., Corrosion Science, 27 (4) (1987) 363
- [54] Ravichandran, R., Rajendran, N., Applied Surface Science, 239 (2005) 182
- [55] Ravichandran, R., Rajendran, N., Applied Surface Science, 241 (2005) 449

## ABSTRACT

### THE BRASS CORROSION

*Wide use of brass and copper based alloys is generally caused among the other things by their corrosion resistance. The use of brass requires a need of better knowing its basic construction features, where corrosion stability is specially separated among them. This work gives a short review of previous testing results the brass corrosion in various media. Two forms of destruction are characteristic for brass corrosion as well as: a stress-corrosion cracking (SCC) of brass with its two forms: the inter-crystal and trans-crystal SCC and dezincification of brass. Chemical medium has a distinctive effect on brass corrosion process as well as the chemical content of brass. The corrosion inhibitors are used as an effective brass protection on corrosion, and the protection results of some tested corrosion inhibitors are given in this review.*

**Key words:** *copper, brass, corrosion, stress corrosion cracking, dezincification*