

UNIVERZITET U ZENICI  
Mašinski fakultet

***BAKAR I NJEGOVE LEGURE-BRONZE***

***- SEMINARSKI RAD -***

***STUDENT:***  
***Piljug Edin***

***MENTOR:***  
***Van prof drNadija Haračić***

## UVOD

**Bakar** spada u teške metale. Njegova specifična težina je oko  $8,93 \text{ kg/cm}^3$ , a temperatura topljenja  $1083^\circ\text{C}$ .

Bakar nema svojstva alotropskih modifikacija. Mehanička svojstva bakra su jako zavisna od stanja odnosno eventualne prethodne mehaničke ili termičke obrade. Na primjer zatezna čvrstoća u livenom odnosno žarenom stanju je oko  $200 \text{ do } 250 \text{ N/mm}^2$ . Tvrdoća HB=45 do 60, a izduženje 56 do 60%. Međutim, u deformisanom stanju čvrstoća se može popeti na  $400 \text{ do } 500 \text{ N/mm}^2$ , tvrdoća HB=90 do 110 a izduženja može opasti na 2 do 6 %.

Bakar je veoma plastičan materijal koji se može obrađivati deformacijom, kako u hladnom tako i u toplom stanju.

Za zavarivanje bakar nije najpogodniji, jer stvara teškoće kod potrebnog brzog odvođenja toplote. Pri plinskom zavarivanju, usljed velike sklonosti upijanja plinova, može se pojaviti povećana poroznost i krtost.

Bakar nije pogodan za obradu livenjem, kako zbog sklonosti za upijanje plinova, tako i zbog nedovoljne livkosti.

Prema atmosferskoj koroziji i u vodi, bakar je otporan.

Zbog odsustva svojstva alotropije bakar se može termički obrađivati samo rekristalizacionim žarenjem, koje se izvodi poslije hladne obrade deformacijom.

Bakar ima izuzetno dobru električnu i toplotnu provodljivost. Oblici bakarnih polufabrikata mogu biti različiti: trake, limovi, cijevi, poluge itd.

### 1.1. Osnovne odlike bakra

- a) crvenkaste boje,
- b) relativno velike zapreminske mase  $\rho = 8,9 \text{ g/cm}^3$ ,
- c) topi se na  $1083^\circ\text{C}$ .
- d) Odličan je provodnik električne struje, najbolji među neplemenitim metalima, ali mu primese znatno smanjuju provodljivost.
- e) dobar toplotni provodnik.
- f) Korozivno je otporan na vazduhu, jer mu se stvara po površini patina zelene boje ( $\text{CuO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ) koja je gusta i štiti ga od dalje korozije.
- g) Bakar je materijal slabe zatezne čvrstoće i veoma je istegljiv.

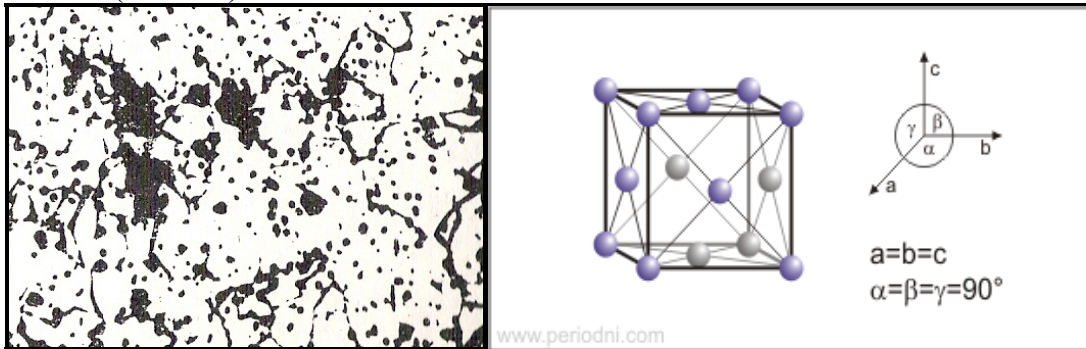
-Čist bakar nema veliku upotrebu u vazduhoplovnim konstrukcijama, već se koriste njegove legure. Dobro se legira sa cinkom, aluminijumom, olovom, kalajem i berilijumom. Legure bakra imaju mnogo bolju zateznu čvrstoću nego čist bakar, ali su toliko slabi provodnici toplote da su više toplotni izolatori.

## 1.2. Hemijska svojstva

- oksidira na čistom, vlažnom ili slanom zraku. Uz  $\text{CO}_2$  nastaje patina, koja se širi do propadanja,
- nagriza ga morska i obična voda, ali ne destilirana,
- razara ga amonijak i sumpor, pa se ne smije izravno na njega postavljati gumena izolacija,
- otapa se u dušičnoj i sumpornoj kiselini

## 1.3. Mikrostrukturne osobine bakra

Bakar ima kubnu površinski centrirajuću rešetku i strukturu oblika poliedarskih kristala (slika 1.)



Slika 1. Mikrostruktura bakra u žarenom stanju[3]

Povećanje mehaničkih svojstava bakra moguće je samo putem hladne plastične deformacije. Sa povećanjem stepena hladne deformacije dolazi do znatnog porasta svojstva čvrstoće, a plastičnost se smanjuje.

Čist bakar je slabo zavarljiv a takođe mu je slaba livkost zbog velike sklonosti da u sebe upija gasove.

Bakar zavisno od načina dobijanja može biti katodni, bezkiseoničan, kiseonični i dezoksidiran.

### 1.3.1 Katodni bakar

Katodni bakar je osnovni oblik elektrolitički rafinisanog bakra visoke čvrstoće. Služi za dobijanje bezkiseoničnog i dezoksidisanog bakra, a koristi se kao anoda u galvanskoj tehnici.

Bezkiseonički bakar se dobija elektrolitičkim putem, ima vrlo visoku čvrstoću a pretapa se u vakumu. Koristi se za izradu dijelova u elektrotehnici od kojih se

zahtijeva visoka električna provodljivost. Podešen je za zavarivanje, tvrdo lomljenje a veoma je plastičan.

**Kiseonički bakar** se dobija pretapanjem katodnog bakra u oksidacionoj atmosferi. Ako je u oznaci prisutan simbol E, tada je bakar podesan za izradu dijelova u elektrotehnici u kojoj se zahtijeva dobra elektroprovodljivost a ako u oznaci nema simbola E onda se radi o topioničarskom bakru namijenjenom za topljenje ili za izradu legura.

**Dezoksidisani bakar** ima vrlo visoku čvrstoću sa prisustvom fosfora i drugih elemenata koji potiču od sredstva za dezoksidaciju. Veoma je plastičan, dobro se zavaruje i tvrdo lemi.

Ako se zahtijevaju električna svojstva primjenjuju se kvalitete koji u oznaci imaju simbol E.

Bakar se izrađuje u obliku polufabrikata, šipki, profila, žica, limova i traka, cijevi i vučenih žica, u različitim stanjima čvrstoće označenih posebnim simbolima.

Tako se u praksi javljaju i oznake za stanje čvrstoće zasnovane na korištenju starih jedinica za korištenje starih jedinica za zateznu čvrstoću, npr. Č20 koja označava meko stanje sa zateznom čvrstoćom.  $\sigma_M = 20 \text{ kp/mm}^2 (200 \text{ MPa})$

Bakar je najznačajniji među neplemenitim metalima. Bolji provodnik od njega je samo srebro, koje je plemeniti metal. Za izradu žica za električne provodnike koristi se bakar čija čistoća iznosi 99,9% i od njega se prave valjane i vučene žice. One se još koriste za pletenje bakrenih užadi, kao i za bakarne legure naročitog kvaliteta.

Bakar je metal srednje čvrstoće. Vrlo je istegljiv. Može da se oblikuje plastičnom deformacijom na sobnoj temperaturi. Naročito je istegljiv na  $t = 800\text{--}900 \text{ }^\circ\text{C}$ ). On ima to svojstvo da kad se zagrijava ne prelazi direktno iz čvrstog u tečno agregatno stanje na svojoj temperaturi topljenja, već najprije omekša kao tijesto. To karakteristično tjestasto stanje je u pomenutom intervalu temperature. Ovo svojstvo imaju i neki drugi metali i legure, na primjer čelik i gvožđe. Na toj temperaturi bakar se lako kuje, valja i izvlači. Ovom plastičnom deformacijom znatno mu se povećava čvrstoća. Istovremeno mu se smanjuje izduženje.

U pogledu korozije, bakar je otporan na vazduh, jer mu se stvara po površini tanka zelena skrama-patina ( $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ), koja ga štiti od dalje korozije. Otporan je na običnu i morsku vodu, ali nije na organske kiseline i amonijak. Kako je neotporan na sumpor, ne smije da dođe u dodir sa gorivom koje sadrži sumpor. Zbog toga to je vrlo otporan na vazduh, upotrebljava se za zaštitu drugih materijala od korozije (gvožđa i čelika).

Čist bakar se loše lije, jer rastvara gasove sa kojim dolazi u dodir, kao što su kiseonik, ugljen-dioksid i dr. Pri očvršćavanju on ispušta te gasove i na mjestu gdje je bio gasni mjehur ostaje pora. Tako se odlivku slabe mehanička svojstva. Zato mu se dodaje fosfor za dezoksidaciju, čime mu se sposobnost livenja znatno poboljšava. Odlično se lemi. Dobro se legira sa mnogim metalima, i to: cinkom, aluminijumom, silicijumom, olovom i dr.; ima veliki broj legura. U odnosu na čisti metal, legure imaju mnogo bolja mehanička svojstva, mnogo manju električnu provodljivost, mnogo se bolje liju i pogodnije su za obradu rezanjem. Razlikuju se dvije glavne vrste čistog bakra: **rafinisani i elektrolitički**. Pod rafinisanim bakrom podrazumijeva se bakar dobijen rafinacijom (pirometalurškim ili elektrometalurškim putem), koji sadrži najmanje 99,70 % bakra. Sem kisonika i ostataka od dezoksidacije (fosfor, litijum), sadrži samo dozvoljene neistoće, koje nisu uklonjene postupkom rafinacije. Upotrebljava se za valjanje limova i traka i za izradu šipki, profila i cijevi izvlačenjem. Elektrolitički bakar sadrži najmanje 99,9 % bakra i koristi se u elektrotehnici.



*Slika 2. Proizvodi od bakra [7]*

### **1.3.2. Legure bakra**

Legure bakra mogu se klasificirati prema:

- načinu izrade,
- namjeni,
- broju glavnih legirajućih elemenata,
- prirodi glavnih legirajućih elemenata.

**Prema načinu izrade razlikuju se:**

- legure za livenje, koje se odlikuju livenjem u pješčane kalupe, kokile ili se liju centrifugalno ili pod pritiskom.

- legure za gnječenje, koje se oblikuju presovanjem, valjanjem, vučenjem itd.

**Prema namjeni razlikuju se:**

- legure za dodavanje i dezoksidaciju i

- legure za spajanje, lemljenje i zavarivanje

Prema broju legirajućih elemenata postoje dvokomponentne, trokomponentne i složne Cu-legure.

**a) Legure sa cinkom — mjedi (mesinzi):**

- dvokomponentne legure Cu-Zn (obični mesing):

- specijalne legure Cu-Zn specijalni masing

- trokomponentne legure Cu-Ni-Zn (novo srebro):

- trokomponentne legure Cu-Zn-Sn (crveni liv). To su legure koje predstavljaju prelaz od mesinga ka bronzama.

**b) Legure bakra bez cinka — bronzе, su dvo, tro i složne Cu-legure:**

- Kalajna bronza — legure Cu-Sn

- Aluminiјum bronza — legure Cu-Al

- Niklova bronza — legure Cu-Ni

- Olovna i olovnokalajna bronza — legure Cu-Pb i Cu-Sn-Pb

- Silicijum bronza — legure Cu-Si

- Berilijum bronza

- Manganova bronza

**c) Legure bakra za lemljenje i zavarivanje:**

- Mesingani lem

- Srebrni lem

Najpoznatije legure bakra su ipak one sa cinkom — mјed (mesing) i legure u čijem sastavu cink nije glavni legirajući element (bronzе).

### 1.3.3. Ležišne legure

Pri izboru materijala za klizne ležaje obično nisu od presudnog značaja njegove mehaničke osobine, već je mnogo značajnije ponašanje materijala pod uticajem trenja. Pri tome se ima u vidu kako opća otpornost prema habanju, tako i ponašanje u uslovima nedovoljnog podmazivanja do kojeg povremeno dolazi u eksploataciji.

Mada postoji veći broj različitih antifrikcioni legura, sve one treba da odgovaraju slijedećim osnovnim zahtjevima:

- mali koeficijent trenja,
- otpornost prema habanju, kao i svojstvo da ne izazivaju veliko habanje drugog kliznog elementa,
- sposobnost podnošenja velikih specifičnih pritisaka (kako na normalnim tako i na povišenim temperaturama),
- relativno dobra plastičnost (meka metalna osnova) kako bi se moglo izvršiti potrebno prilagođavanje površini rukavca (odnosno izravnale mikro i makro neravnine i površinske greške) i time obezbjedio što ravnomjerniji raspored opterećenja po površini ležista,
- sposobnost osnove da primi pohabane tvrde djeliće i sačuva rukavac od većeg habanja,
- sposobnost zadržavanja maziva,
- sposobnost dobrog odvođenja toplote,
- otpornost prema koroziji, a naročito u odnosu na mazivo.

Razlike u iznosu koeficijenta toplotnog širenja između ležisne legure i materijala rukavca ne smije biti velika (kako ne bi bitno uticalo na veličinu zazora).

Poznato je da ovim brojnim zahtjevima najbolje odgovaraju legure sa nehomogenom strukturom. Zato strukturu antifrikcioni legura odlikuje postojanje meke osnove po kojoj su raspoređene veoma tvrde čestice (uključujući, odnosno tvrdi kristali), koje služe kao noseći materijal.

Izbor vrste legure u nekom određenom slučaju vrši se na osnovu specifičnog pritiska i obodne brzine rukavca. Osim toga, za izbor materijala značajni su i temperaturni uslovi kao i njegova cijena.

Klasični ležišni materijali su:

- bronz
- bijeli metali,

Međutim, danas se pored njih, koriste i mnogi drugi metalni i nemetalni materijali.

## **1.4. Bronza**

Pod bronzom se podrazumijeva legura bakra i kalaja. Međutim, šire posmatrano, to ne mora biti dvojna legura niti kalaj mora biti legirajući element (pa zbog toga pored kalajne postoji i aluminijska, olovna, manganska i druge bronz. To je dvojna ili trojna slitina s najmanje 60 % bakra, a bez cinka kao glavnog dodatnog elementa. Bronze ime dobivaju prema glavnom dodatnom elementu.

### 1.4.1. Kalajna bronza



*Tabela 1. prikaz kalajnih bronzi[2]*

OZNAKA LEGURE I STANJA	HEMIJSKI SASTAV		MEHANIČKE OSOBINE				SMJERNICE ZA UPORU
	Legirajući elementi	Nečistoće	Rm	Rp 0,2	A5%	Tvrdoća HB 10	
P.CuSn 14.01 P.CuSn 14.03	<b>Cu</b> 85,0 ... 87,0 <b>Sn</b> 12,9 ... 15,0 <b>P</b> do 0,2	<b>Ni</b> 1,0 <b>Si</b> 0,01 <b>Pb</b> 1,0 <b>As</b> 0,15 <b>Sb</b> 0,05 ..0,8 <b>Fe</b> 0,20 <b>Zn</b> 0,5 <b>Mn</b> 0,20 <b>Al</b> 0,01 ostatak ukupno 1,5 osim <b>Ni</b>	200 220	140 150	3 1,5	85 95	Legura je vrlo otporna na koroziju i morskou vodu. Primjenjuje se za vrlo opterećene klizne ležaljke i klizne ploče.
P.CuSn 12.01	<b>Cu</b> 85,0 ... 88,5 <b>Sn</b> 10,8 ... 12,8 <b>P</b> 0,05 ... 0,40	<b>Pb</b> 1,0 <b>Mn</b> 0,2 <b>Zn</b> 0,5 <b>Si</b> 0,01 <b>Fe</b> 0,25 <b>S</b> 0,05 <b>Ni</b> 2,0 <b>Sb</b> 0,2 <b>Al</b> 0,01	240	130	7	80	Legura otporna prema habanju. Postojana na koroziju i morskou vodu. Primjenjuje se za sklopne matice, vretena, pužne prstenove, konstruktivne cjevaste elemente i visoko opterećene klizne ležaljke.
P.CuSn12Ni2.01 P.CuSn12Ni2.03	<b>Cu</b> 84,0 ... 87,5 <b>Sn</b> 11,0 ... 13,0 <b>Ni</b> 1,5 ... 2,5 <b>P</b> 0,05 ... 0,40	<b>Mn</b> 0,2 <b>Al</b> 0,01 <b>Pb</b> 0,3 <b>Si</b> 0,01 <b>Zn</b> 0,4 <b>S</b> 0,05 <b>Fe</b> 0,2 <b>Sb</b> 0,1	280 300	160 180	12 8	90 100	Legura otporna na habanje i koroziju i morskou vodu. Primjenjuje se za visoko opterećene sklopne elemente.

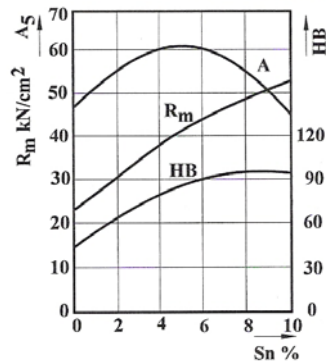


<b>P.CuSn12Pb2.01</b>	<b>Cu</b> 84,0 ... 87,5	<b>Zn</b> 0,5 <b>Mn</b> 0,2	240	130	5	80	matice vretena, vjence, kola, zupčanika, armature, kućišta pumpi, lopaticice i vodenih turbina.
<b>P.CuSn12Pb2.03</b>	<b>Sn</b> 11,0 ... 13,0 <b>Pb</b> 1,5 ... 2,5 <b>P</b> 0,05 ... 0,40	<b>Fe</b> 0,8 <b>Si</b> 0,05 <b>Ni</b> 2,0 <b>Sb</b> 0,2 <b>Al</b> 0,01	280	150	5	90	
<b>P.CuSn8Pb2.01</b>	<b>Cu</b> 82,0 ... 91,0	<b>Zn</b> 3,0 <b>Al</b> 0,01	250	130	16	-	Legura otporna prema morskoj vodi, za armature, kućišta, crpke, turbine, mlaznice, ležajeve, letke.
<b>P.CuSn8Pb2.03</b>	<b>Sn</b> 6,0 ... 9,0 <b>Pb</b> 0,5 ... 4,0	<b>Fe</b> 0,2 <b>Si</b> 0,01 <b>Ni</b> 2,5 <b>S</b> 0,10 <b>Sb</b> 0,25 <b>P</b> 0,05	230	130	4	-	
<b>P.CuSn10Pb2.01</b>	<b>Cu</b> 88,0 ... 91,0	<b>Pb</b> 0,1 <b>Al</b> 0,01	240	130	5	70	Legura velike izdržljivosti, otporna na koroziju, otporna na morsku vodu. Pogodna za jaku opterećene klizne ploče, letve, klizne ležajeve, zupčanike, vence pužastih sl.
<b>P.CuSn10Pb2.03</b>	<b>Sn</b> 9,0 ... 10,7	<b>Zn</b> 0,5 <b>Mn</b> 0,2 <b>Fe</b> 0,2 <b>Si</b> 0,01 <b>Ni</b> 2,0 <b>S</b> 0,05 <b>Sb</b> 0,2	270	150	7	90	

U kalajnim bronzama najveći sadržaj kalaja ne ide preko 20%. Prisustvo kalaja u leguri utiče na povećanje njene čvrstoće i istovremeno opadanje plastičnosti. Ovo opadanje plastičnosti nije posebno veliko do sadržaja kalaja do 5%, ali je poslije toga znatno brže.

Zbog toga je kod bronzi za livenje sadržaj kalaja veći nego kod bronzi za obradu deformacijom. Čvrstoća raste sve do 15% kalaja, a zatim počine da opada, kao što je prikazano na slici 3.

Kalajne bronzes se s obzirom na osnovnu tehnološku namjenu dijele na bronzes za obradu deformacijom i bronzes za livenje. Mehanička svojstva kalajnih bronzi za gnječenje zavise kako od njenog sastava tako i od stanja odnosno stepena prethodne plastične deformacije u hladnom stanju. U tom smislu se kod bronzi za gnječenje razlikuju stanja: meko, žareno, polutvrdo, tvrdo i opružno tvrdo.



Slika 3. Mehanička svojstva bronze u zavisnosti od sadržaja kalaja [3]

Bronze za livenje imaju svojstvo dobrog ispunjavanja kalupa, ali su ujedno veoma otporne prema habanju i koroziji što ih čini posebno pogodnim za izradu kliznih ležišta, pužnih prenosnika, dijelova pumpi i slično.

Uopće se može reći da je kod kalajne bronze ostvarena pogodna kombinacija dobre korozivne otpornosti, obradivosti i mehaničkih svojstava. Ovome treba dodati i dobru obradivost rezanjem.

Rastvorljivost kalaja u bakru zavisi od temperature legure. Tako najveća rastvorljivost iznosi 15,8% na temperaturi od 520°C. Povećanjem temperature opada rastvorljivost na 13,5% Sn na temperaturi 790°C, a snižavanjem temperature rastvorljivost opada na 1,3% Sn na temperaturi 200°C.

Struktura livenih bakar-kalajnih legura značajno odstupa od ravnotežne strukture jer se u legurama već pri sadržaju 6% Sn javlja pored nejednorodnog  $\alpha$ -čvrsto rastvora bogatog olovom i eutektika  $\alpha+\delta$ .

Nastanak veoma krte  $\delta$ -faze u strukturi kalajne bronze omogućuje plastičnu preradu zbog čega se bronze sa sadržajima Sn većim od 5-6% koriste isključivo kao legure za livenje.

Kalajna bronza se odlikuje dobrom livkošću i malim skupljanjem koje iznosi <1%, što je u odnosu na liveno gvožđe i čelični liv znatno manje.

Najveća zatezna čvrstoća je za kalajnu bronzu sa oko 12% kalaja, a pri nešto većem sadržaju javlja se nagli pad sposobnosti deformacije usljed pojave  $\delta$ -faze.

Prema tehnološkoj namjeni kalajne bronze mogu se podijeliti na:

- legure za gnječenje
- legure za livenje

### **Legure bakra sa kalajem-Kalajna bronza za gnječenje**

Kalajna bronza za gnječenje u svom sastavu imaju 3-10% kalaja i dodatak malih količina fosfora.

Kalajna bronza tipa CuSn5 primjenjuje se za kablovske spojnice, papuče, opruge koje sprovode električnu struju.

Kalajna bronza tipa CuSn7 primjenjuje se za opruge svih vrsta za elektroindustriju, savitljive cijevi manometara, metalne tkanine, mreže za sita, klzajuća tijela i sl.

Kalajna bronza tipa CuSn9 koristi se isto kao kod tipa CuSn7 ali u slučajevima kada je potrebna još veća otpornost na habanje a i veća koroziona postojanost.

Na svojstva čvrstoće kalajne bronze utiče primjenjeni stepen hladne deformacije. Tako da sa porastom procenta deformacije raste tvrdoća, zatezna čvrstoća i granica tečenja.

Posljednjih godina, s obzirom na cijenu kalaja, primjenjuju se bronze u kojima se kalaj zamjenjuje cinkom. Radi poboljšanja obradivosti rezanjem ovim legurama se dodaje olovo, a radi povećanja zatezne čvrstoće legurama se dodaje nikl ili mangan.

### **Legure bakra sa kalajem-Kalajna bronza za livenje**

Kalajne bronze za livenje imaju u svom sastavu 9-15% kalaja sa dodatkom fosfora koji igra ulogu dezoksidatora radi odstranjivanja vrlo krutih uključaka oblika oksida kalaja SnO.

Struktura livene kalajne bronze u znatnoj mjeri se razlikuje od ravnotežnog stanja, jer već i pri sadržaju 5% kalaja se u strukturi javlja  $\delta$ -faze. Tako nejednorodni  $\alpha$ -čvrsti rastvor u procesu očvršćavanja stvara dendritnu strukturu, a pojava  $\delta$ -faze otežava plastičnu preradu.

Kalajna bronza ima veoma malo skupljanje, ispod 1 %, zbog čega se ona može primijeniti i za umjetnički liv. Međutim, ima slabu žitkost zbog čega u cjelokupnoj zapremini se javljaju sitne pore koje umanjuju hermetičnost.

Kalajna bronza tipa P.CuSn12 je jedna od najčešće primjenjenih bronzi ovog tipa, a koristi se za izradu kliznih ležišta i kliznih ploča.

Kalajna bronza tipa P.CuSn12, C.CuSn12 i N.CuSn12 su veoma otporne prema habanju zbog čega se primjenjuju za klizne ploče.

Kalajne bronze tipa P.CuSn10 i N.CuSn10 su veoma otporne na habanje i primjenjuju se za armature, pužne točkove, klizna ležišta i sl.

Kalajne bronze se radi poboljšanja svojstava termički obrađuju putem homogenizacionog žarenja, rekristalizacionog i žarenja radi otklanjanja unutrašnjih napona.

-Homogenizaciono žarenje izvodi se zagrijavanjem na temperaturi 650-750°C u trajanju nekoliko desetina časova. To dugotrajno žarenje je neophodno zbog vrlo

male brzine difuzije kalaja u bakru. Potpuna jednorodnost strukture nastaje tek poslije višestrukog žarenja i izvedene plastične preradbe.

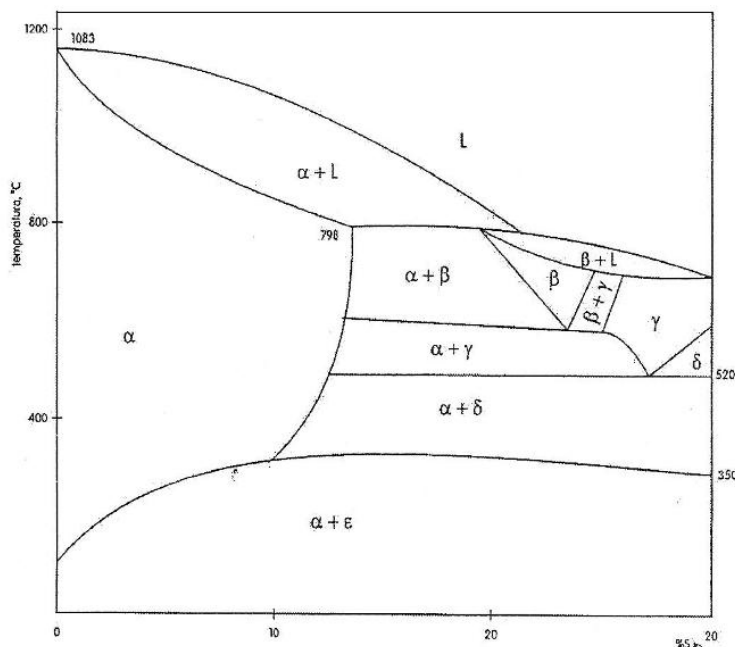
-Rekristalizaciono žarenje izvodi se u toku hladne plastične obrade kao međuoperacija radi poboljšanja sposobnosti plastične obrade na hladno. Zagrijavanje se vrši na temperaturi 600-650°C, zavisno od stepena prethodne plastične deformacije, u relativno kratkom vremenu.

-Žarenje radi otklanjanja unutrašnjih napona izvodi se zagrijavanjem na 200°C poslije izvedenih tehnoloških procesa kao što su livenje i topla plastična obrada.

S obzirom na navedena svojstva kalajne bronzbe se najčešće koriste za mašinske dijelove koji su izloženi jakom trenju, pritisku, dinamičkom opterećenju i korozionim uticajima. u Tabelam 1 i 2 dat je pregled legura bakra za livenje sa naznakom primjene. Tabele 3 i 4 daju pregled i primjenu legura bakra koje se koriste za gniječenje.

Od livenih kalajnih bronzbi izrađuju se klizna ležišta, pužni prenosnici, dijelovi pumpi, različita armatura. Kalajne bronzbe za gniječenje služe za izradu opruga, zavrtnjeva, žičanog pletiva, kondenzatorskih cijevi.

Legure bakra, koje kao osnovni dodatak sadrže kalaj, čine bazni tip bronzbi. Te legure imaju visok nivo čvrstoćnih karakteristika, otporne su na habanje i koroziono su postojane. Na slici 4. dat je binarni sistem Cu-Sn. U tom binarnom sistemu bazna faza je  $\alpha$  i ona predstavlja čvrsti rastvor kalaja u bakru, a ima PCK-rešetku.



Slika 4. Binarni dijagram Cu-Sn [3]

Sa gledišta sadržaja kalaja u bronzama moguće ih je podijeliti na četiri osnovna tipa:

- a) Legure, sa sadržajem Sn do 8 %, predviđene za izradu limova i žica. Ove su legure plastične i deformabilne na hladno.
- b) Legure, sa sadržajem Sn 8-12 %, koriste se za izradu mašinskih elemenata, visoko opterećene ležajeve i armature, otporne na koroziju, npr. u morskoj vodi.
- c) Legure, sa sadržajem Sn 12-20 %, široko se koriste za ležajeve.
- d) Legure, koje sadrže 20-25 %Sn, koriste se za izradu crkvenih zvona. Ove legure su veoma tvrde i relativno krte, pa se prvenstveno koriste u livenom stanju.

Ipak je samo mali broj tehnički korištenih bronzi konstruisan samo na osnovu bakra i kalaja, naime obično su tehničke varijante bronzi kompleksnije legirane, da bi se dostigao viši nivo traženih mehaničko-metalurških osobina.

#### 1.4.2. Aluminijumska bronza



OZNAKA LEGURE I STANJA	HEMIJSKI SASTAV		MEHANIČKE OSOBINE				SMJER UPOTREBE
	Legirajući elementi	Nečistoće	Rm	Rp 0,2	A5%	Tvrdoća HB 10	
P.CuAl9.01	Cu 88,0 ... 92,0 Al 8,0 ... 10,5	Sn 0,3 Pb 0,3 Zn 0,5 Fe 1,2 Ni 1,0 Mn 0,5 Si 0,2	320	120	15	80	Legura dobra za upotrebu na koroziju. Upotrebljiva za armature i slično u hemijskoj i prehrambenoj industriji.
P.CuAl10Fe3.01 P.CuAl10Fe3.03	Cu 83,0 ... 89,0 Al 8,5 ... 11,0 Fe 2,0 ... 5,0	Sn 0,3 Pb 0,2 Zn 0,4 Ni 3,0 Mn 1,0 Si 0,2	500 550	180 200	13 15	115 115	Legura termički stabilna i postojana od 200 °C. Upotrebljiva za elemente čvrstoće i otpornosti prema kiselinama.
P.CuAl10Fe5Ni5.01 P.CuAl10Fe5Ni5.03	Cu 76,0 Al 8,5 ... 11,0 Fe 3,5 ... 5,5 Ni 3,5 ... 6,5	Sn 0,2 Pb 0,1 Zn 0,5 Mn 3,0 Si 0,1	600 680	250 280	10 12	140 160	Legura postojana na hladnoj i vrućoj vodi i otporna na kiseline. Upotrebljiva za elemente čvrstoće (pažljivo odabrano) za armature, pušnice, letve, konične zupčanike, kugle i sl.)

**Tabela 2. Prikaz aluminijumskih bronzi [2]**

Legure bakra sa aluminijumom i drugim pratećim elementima (mangan, nikel, željezo i dr.) u praksi se nazivaju aluminijumske bronze i u svom sastavu imaju najviše do 11,5% aluminijuma.

Rastvorljivost aluminijuma u bakru iznosi 9,4% i ona se ne mijenja pri zagrijavanju do temperature 565°C, a daljim zagrijavanjem ta rastvorljivost opada do sadržaja 7,5%. Povećanjem sadržaja aluminijuma preko 9,4% Al pored  $\alpha$ -faze javlja se  $\beta$ -faza koja se pri naglom hlađenju-kaljenju na temperaturi 850-900°C raspada na dvije faze, odnosno u  $\alpha$ -fazu i  $\beta$ -fazu.

Povećanjem sadržaja aluminijuma u leguri sistema Cu-Al raste zatezna čvrstoća, a pri sadržaju oko 10% postiže svoj maksimum. Međutim, sposobnost deformacije sa povećanjem sadržaja aluminijuma opada do 2% Al a zatim raste i postiže svaki maksimum pri 8% Al.

U praksi se u legure bakra a aluminijuma dodaje:

-Željezo koje utiče na sitnozrnost strukture što utiče na povećanje čvrstoće, tvrdoće i otpornosti na habanje.

-Nikl koji utiče na povećanje toplotne i električne provodljivosti, a povećava i gustinu odlivka

-Mangan koji utiče na povećanje svojstava čvrstoće i smanjenje plastičnosti uz povećanje otpornosti prema koroziji, posebno prema morskoj vodi.

Pored pomenutih elemenata u aluminijumskim bronzama se javlja arsen, antimon, olovo, cink, silicijum i dr.

### **Aluminijumska bronza za gnječenje**

Aluminijumske bronzе se odlikuju dobrim kliznim svojstvima i čvrstoćom, koja se približava vrijednostima čvrstoće ugljeničnih čelika, zbog čega u potpunosti zamjenjuju kalajne bronzе, što zbog deficitarnosti kalaja je veoma značajno.

Aluminijumske bronzе za gnječenje koriste se u hemijskoj i prehrambenoj industriji radi:

-visoke čvrstoće pri povišenim temperaturama

-visoke dinamičke čvrstoće

-visoke otpornosti prema koroziji

-otpornosti prema vodi a posebno prema morskoj vodi

-dobre vatrootpornosti

-dobre postojanosti prema eroziji

Aluminijumska bronza tipa CuAl5 se primjenjuje u hemijskoj industriji i rudarskim postrojenjima.

Aluminijumska bronza tipa CuAl8 je veoma otporna prema sumpornoj i sirćetnoj kiselini i morskoj vodi.

Aluminijumska bronza tipa CuAl8Fe3 primjenjuje se u hemijskoj industriji za vatrootporne predmete obrade.

Aluminijumske bronzе tipa CuAl10Fe5Ni5 i CuAl9Mn2 koriste se za kondenzatorske ploče (povećana elektroprovodljivost zbog dodatka željeza i nikla), za elemente hidrauličnih uređaja i sl.

Aluminijumske bronzе se radi poboljšanja svojstava termički obrađuju putem rekristalizacionog žarenja, kaljenja i otpuštanja i žarenja radi otklanjanja unutrašnjih napona.

-Rekristalizaciono žarenje izvodi se zagrijavanjem na temperaturi 650°C sa ciljem, kao i kod kalajnih bronzi, da se izmijene mehanička svojstva i omogući dalja mehanička obrada.

-Kaljenje i otpuštanje aluminijumskih bronzi koristi se kod tipova bronzi koje u svom sastavu imaju iznad 9,5%Al. Operacija kaljenja sastoji se iz zagrijavanja na temperaturi 850-900°C i naglog hlađenja u vodi.

Zagrijavanjem iznad temperature 850°C u strukturi se javlja samo  $\beta$  faza, koja pri hlađenju nekom brzinom većom od kritične brzine hlađenja, se transformiše putem bezdifuzionog procesa (kao i kod kaljenja čelika) u igličastu strukturu meta-stabilnu fazu koja se odlikuje znatno većom tvrdoćom.

Poslije kaljenja aluminijumskih bronzi u vodi vrši se otpuštanje na temperaturama 300-565°C. Tako npr. otpuštanje na temperaturi 300°C daje tvrdoću 185HB, a temperaturi od 450°C daje tvrdoću 160HB.

-Žarenje radi otklanjanja unutrašnjih napona izvodi se zagrijavanjem na temperaturi 150-220°C u toku nekoliko časova.

### **Aluminijumska bronza za livenje**

Aluminijumske bronzе za livenje sklone su da stvaraju krupnozrnastu strukturu radi čega se često odlivci brzo hlade, npr. poslije livenja u kokilama na vazduhu, a ponekad i u vodi. Pored toga legure sistema Cu-Al imaju uski interval kristalizacije zbog čega im je odlična livkost, ali zato je prisutna pojava koncentrisane šupljine-lunkera.

Aluminijumska bronza tipa P.CuAl9 i K.CuAl9 ima veoma dobru otpornost prema koroziji zbog čega se koristi za armature oblika odlivka u hemijskoj i prehrambenoj industriji.

Aluminijumska bronza tipa p.CuAl10Fe3 i K.CuAl10Fe3 zbog dodatka željeza ima znatno veću čvrstoću radi čega se koriste za armature oblika odlivaka, za hemijsku i prehrambenu industriju od kojih se zahtijeva otpornost prema kiselinama i visoka čvrstoća.

Aluminijumska bronza tipa P.CuAl10Fe5Ni5 i K.CuAl10Fe5Ni5 zbog dodatka željeza i nikla ima visoku čvrstoću koja dostiže vrijednosti čvrstoće ugljeničkih čelika i koriste se za pužne prenosnike (puž i pužni točak), zubčanike sa zavojnim zubima i druge elemente armature u hemijskoj i prehrambenoj industriji otporne prema habanju.

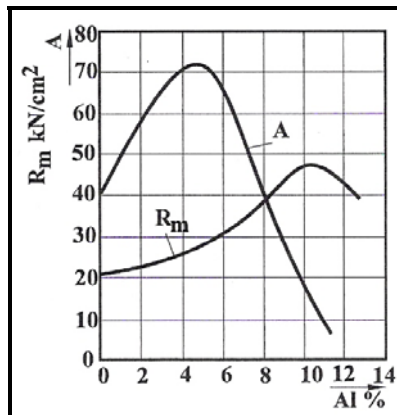
Aluminijumska bronza tipa P.CuAl11Fe6Ni5 koristi se za veoma opterećene pužne prenosnike, klizna ležišta i sl.

U aluminijumskim bronzama sadržaj aluminija iznosi najčešće do 13%, a najbolja čvrstoća se postiže pri sadržaju aluminija oko 10%. Ovim bronzama se zbog poboljšanja mehaničkih svojstava dodaju često manje količine željeza, mangana i nikla. Pored dobre čvrstoće, aluminijumske bronzе se odlikuju i velikom otpornošću prema koroziji zbog čega se mnogo upotrebljavaju u hemijskoj industriji.

Aluminijumske bronzе sa 8 do 12% aluminija, koriste se kao legure za livenje. Slika 5. pokazuje zavisnost mehaničkih osobina aluminijumskih bronzi od sadržaja aluminija.

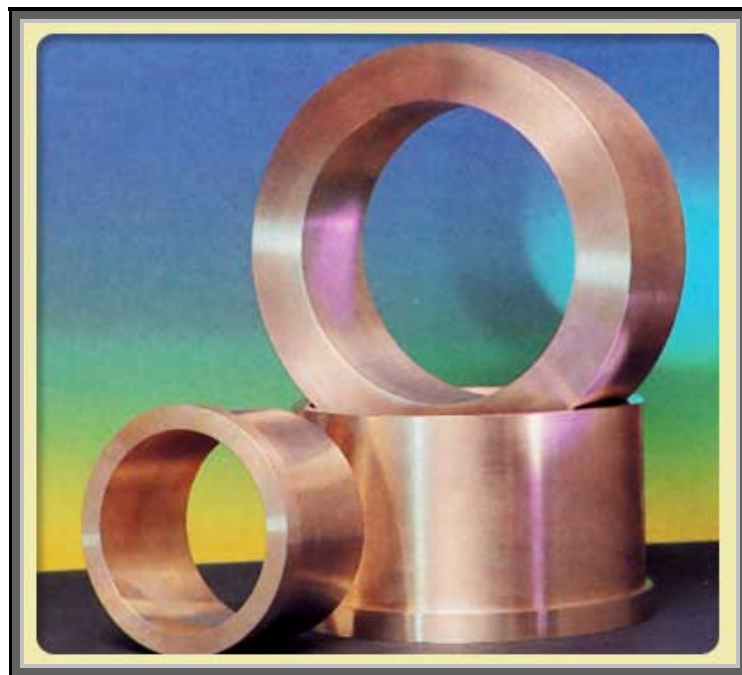
Na mehaničke osobine aluminijumske bronzе utiče hemijski sastav i prethodna mehanička i termička obrada.





Slika 5. Zavisnost zatezne čvrstoće i izduženje aluminijske bronze od sadržaja aluminija [3]

### 1.4.3. Kalajna i olovno kalajna bronza



OZNAKA LEGURE I STANJA	HEMIJSKI SASTAV			MEHANIČKE OSOBINE			SMJERNI UPOTREBA
	Legirajući elementi	Nečistoće	Rm	Rp 0,2	A5%	Tvrdoća HB 10	
P.CuPb10Sn10.01 C.CuPb10Sn10.03	Cu 78,0 ... 82,0 Pb 8,0 ... 11,0 Sn 9,0 ... 11,0	Zn 2,0 Fe 0,25 Ni 2,0 Sb 0,5 P 0,05 Al 0,01 Mn 0,2 Si 0,01 S 0,10	180 220	80 140	7 3	65 70	Legura sa kliznim svojstvima i otporna na habanje. Upotrebljava se za klizne ležajevе većim opterećenjima (vozila, valjci, stanovi i slično).
P.CuPb15Sn8.01 C.CuPb15Sn8.03	Cu 75,0 ... 79,0 Pb 13,0 ... 17,0 Sn 7,0 ... 9,0	Zn 2,0 Fe 0,25 Ni 2,0 Sb 0,5 P 0,1 Al 0,01 Mn 0,2 Si 0,01 S 0,10	170 220	80 100	5 8	60 65	Legura sa dobrim kliznim svojstvima i postojana prema sumpornoj kiselini. Upotrebljava se za ležajevе s velikim specifičnim opterećenjima kao i za otporne na kiselinu.
P.CuPb15Sn8.01 C.CuPb15Sn8.03	Cu 70,0 ... 78,0 Pb 18,0 ... 23,0 Sn 4,0 ... 6,0	Zn 2,0 Fe 0,25 Ni 2,5 Sb 0,75 P 0,1 Al 0,01 Mn 0,2 Si 0,01 S 0,10	150 180	60 80	5 7	50 -	Legura sa najboljim kliznim svojstvima i velikom postojanošću prema sumpornoj i ostalim kiselinama. Upotrebljava se za klizne ležajevе najvećim specifičnim opterećenjima.

*Tabela 3. Prikaz olovnih i kalajnih bronzi [2]*

Legure bakra sa olovom i legure bakra sa olovom i kalajem,koje se u praksi nazivaju olovno i olovno kalajna bronza,imaju najširu primjenu kao visokokvalitetni antifrikcioni materijal.

Olovna bronza tipa P.CuPb25 koristi se za jako napregnuta klizna ležišta sa čeličnim školjkama,npr. kod klipnjača za motore sa unutrašnjim sagorijevanjem.

Olovno kalajna bronza tipa P.CuPb5Sn10 ima srednju čvrstoću,veoma dobru otpornost prema habanju i veoma je postojana prema sumpornoj i hlorovodičnoj kiselini.Primjenjuje se za klizna ležišta sa većim specifičnim pritiscima i elemente armature za rad s kiselinama.

Olovno-kalajna bronza tipa P.CuPb10Sn10 odlikuje se veoma dobrom otpornošću prema koroziji i dobrim kliznim svojstvima.Primjenjuje se za klizna ležišta sa velikim specifičnim pritiscima,npr.kod ležišta na vozilima.

Olovno kalajna bronza tipa CuPb15Sn8 koristi se za veoma velike specifične pritiske kakvi su kod ležišta valjaoničnih stanova kao i najopterećenija ležišta sa čeličnom školjkom.Veoma je otporna prema sumpornoj kiselini.

Olovno kalajna bronza tipa CuSn5Pb22 je veoma meka legura odličnih kliznih svojstava.Veoma je otporna prema sumpornoj kiselini .Podesna je za ležišta koja se slabo podmazuju.primjenjuje se za izradu kliznih ležišta valjaoničnih stanova,mlinskih mašina,pumpi,stanove za hladno valjane limove.Postoje poteškoće u tehnologiji livenja što se otklanja posebnim tehnološkim mjerama.

Sadržaj olova u olovnim bronzama može biti vrlo različit i kreće se od 4 do 35%.Pored olova one mogu da sadrže još kalaja (11%),nikla i cinka(3 do 4 %).

#### **1.4.4.Manganske bronz**

Manganske bronz

Manganske bronz

U praksi je poznato više vrsta manganskih bronz

#### **1.4.5.Silicijum bronza**

Silicijumske bronz

Silicijumske bronz

#### 1.4.6. Berilijumska bronza

Berilijumske bronzе u svoј sastavu imaju 1,9-2,6% berilijuma ali i drugih legirajućih elemenata kao što su niki, kobalt, cink i dr. ali one nisu predviđene našim standardima.

Osnovne odlike berilijumskih bronzi su veoma dobra mehanička svojstva, visoka tvrdoća i elastičnost, a koriste se u elektrotehnici za elemente od kojih se u radu javljaju iskre, npr. membrane, opruge i slično. Veoma su otporne na koroziju, zavarljive su, a dobro se obrađuju rezanjem.

#### 1.4.7. Fosforna bronza

U legurama bakra sa kalajem – kalajnoj bronzi sadržaj fosfora se kreće najviše do 0,4%. Međutim, taj se sadržaj povećava čak i do 1% fosfora kada govorimo o fosfornoj bronzi koja nije predviđena našim standardima.

Učešće fosfora u leguri povećava tvrdoću i čvrstoću, poboljšava livkost a takođe otpornost prema koroziji u atmosferskoj i morskoj vodi. Međutim, učešće fosfora preko 0,2% u leguri stvara vrlo krto hemijsko jedinjenje  $\text{Cu}_3\text{P}$  koje gradi eutektikum koji se smješta u prostoru između dendritnih kristala. Isto tako fosfor stvara sklonost legure ka segregaciji elemenata, i nepovoljno utiče na jednorodnost strukture.

Fosforna bronza se primjenjuje za izradu kliznih ležaja opterećenih dinamičkim opterećenjima u aktivnim korozionim sredinama.

**Kadmijeva bronza** (do 1% Cd, nema Sn, 85% vodljivosti Cu, 50% veća čvrstoća od Cu; upotreba: tel. kabeli, elektrode za točkasto zavarivanje, vodovi velike udaljenosti),

**Berilijeva bronza** (do 2,5% Be, prekidna čvrstoća 5x veća od Cu, vrlo elastična, ne oksidira, upotreba; membrane, elektrode za varenje)

#### 1.4.8. Legure bakra sa niklom

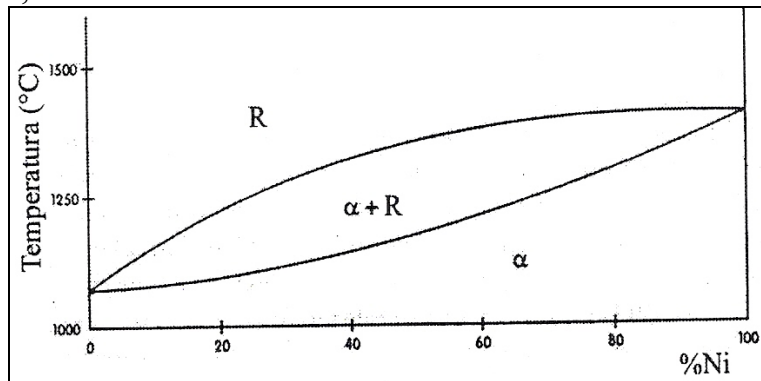
Posebno su značajne legure bakra sa niklom.

Ravnotežni dijagram Cu-Ni naveden je na slici 6. i pokazuje da su bakar i niki međusobno potpuno rastvorivi i u tečnom i u čvrstom stanju. Koroziona postojanost te legure povećava se sa sadržajem nika. Uzajamna veza između sadržaja nika i dostignutog nivoa mehaničkih osobina data je na slici 7.

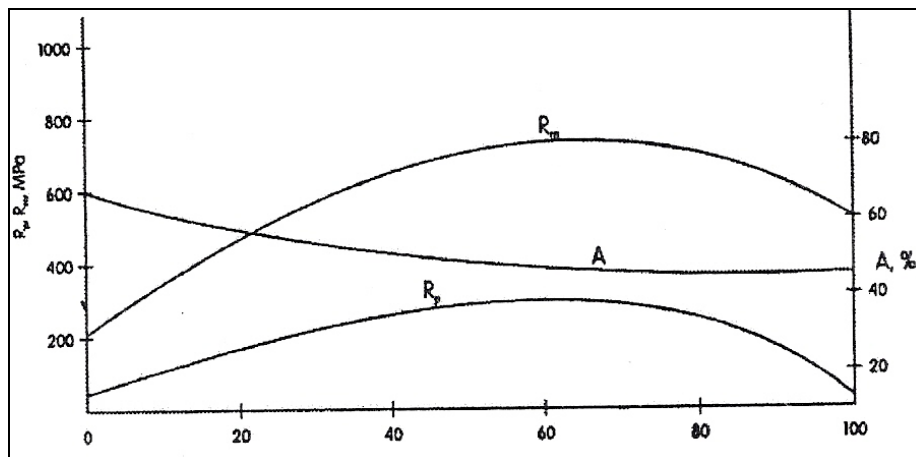
Osnovne varijante Cu-Ni dijele se u slijedeće grupe:

- konstantan, sadrži 45% Ni
- kupro-niki, sadrži do 30% Ni

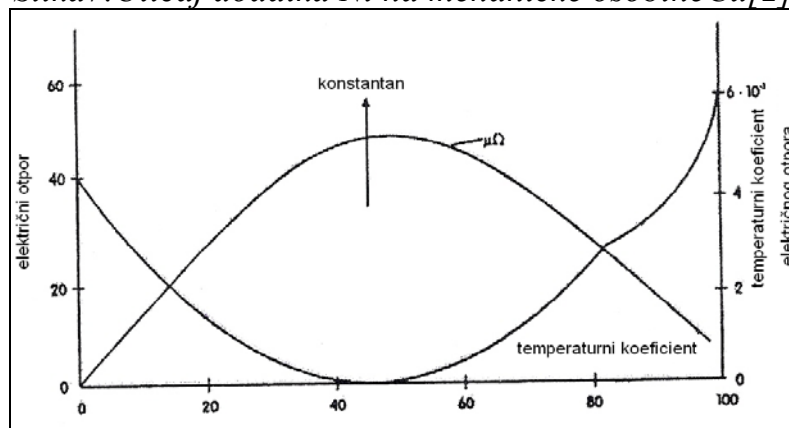
-niklovo srebro, sadrži do 30%Ni i 20%Zn



Slika6. Binarni dijagram Cu-Ni[2]



Slika7. Uticaj dodatka Ni na mehaničke osobine Cu[2]



Slika8. Uticaj dodatka Ni na električne karakteristike Cu[2]

Dodatak nikla bakru značajno modifikuje obojenost bakra, tako da su legure sa 20% Ni bijele boje. Jak uticaj dodatka nikla na električna svojstva bakra vidi se iz zavisnosti, koja je navedena na slici 8. Legura sa sadržajem 55%Cu i 45% Ni ima visok električni otpor i ekstremno nizak toplotni koeficijent električnog

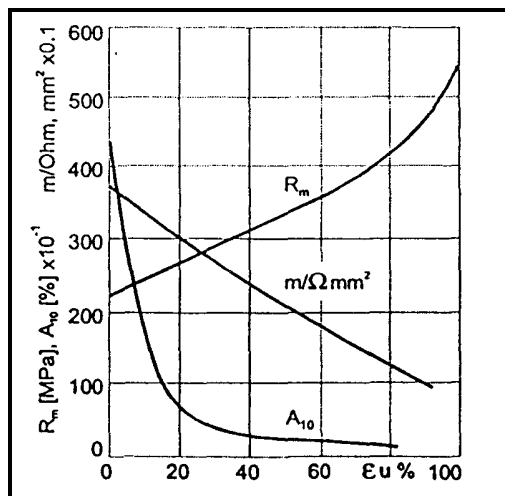
otpora. Legura tog tipa poznata je pod nazivom konstantan i koristi se za izradu termopara.

### 1.5.1. Teorija plastične deformacije metala-bakar i njegove legure

Bakar: Cu ima povrniški centriranu kubičnu rešetku i malu čvrstoću  $R_m$  od 200 MPa, pa zbog toga posjeduje veliku duktilnost, te se deformacijom može dobro hladno i vruće oblikovati. Cu se može dobro polirati, tako da reflektira preko 90% vidljivoga svjetla. Druga karakteristika bakra je vrlo dobra električna i toplinska vodljivost (jedino srebro ima veću!).

Razlikuje se:

- Bakar s primjesama kisika od 0.02 - 0.05% i zbog  $Cu_2O$  na granicama kristalita bakra nešto su lošija mehanička svojstva od dezoksidiranog Cu dok se električna vodljivost Cu zbog udjela O ne smanjuje.
- Cu se dezoksidira uglavnom s P i Li. Na taj se način dobiju bolja mehanička svojstva. Zbog onečišćenja sa P i drugim dezoksidirajućim elementima znatno opada električna vodljivost. Tako, npr. već 0,04%P smanjuje električnu vodljivost Cu za 20%.



Slika 9. Zavisnost mehaničkih osobina bakra o stupnju hladne deformacije [3]

-Može se proizvesti i Cu koji nema ni oksida ni ostataka dezoksidirajućih elemenata.

Mehanička svojstva Cu mogu se mijenjati samo hladnom plastičnom deformacijom. Rekristalizacionim žarenjem iznad 200°C vraća se hladno deformirani Cu u svoje prvobitno stanje. Kod žarenja i zagrijavanja mora se paziti da bakar ne dođe u dodir sa H jer vodik difundira u nj i veže se sa kisikom

stvarajući pri zagrijavanju unutrašnje pukotine-vodikovu bolest bakra. U vrućem stanju bakar se valja u temperaturnom intervalu između 600-800°C.

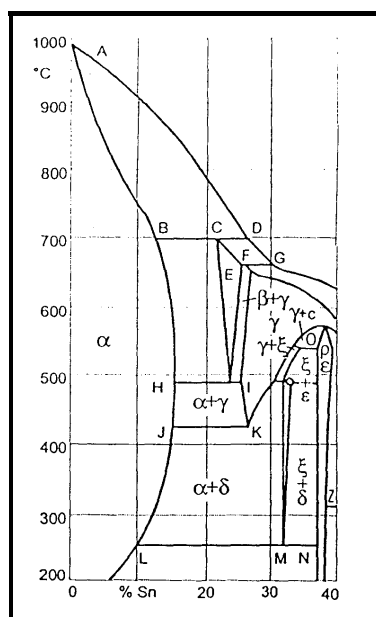
Bronce su legure bakra i kositra sa dodacima cinka, olova, aluminija, željeza, mangana, kroma, berilija, itd. Ako se jedan od navedenih legirajućih elemenata nalazi u bronci u većem udjelu, debiva bronca naziv po tom metalu: Al - bronca, Si - bronca, itd. Bronce se kao i mesinzi dijele na one koji se daju oblikovati gnječnjem i one koje se oblikuju lijevanjem.

Oblikovati gnječnjem se mogu samo bronce u kojima udio kositra ne prelazi 10%, bronce sa  $\alpha$  - fazom koja kristalizira u povrinski centriranoj kubnoj rešetki.  $\beta$  kristali imaju prostorno centriranu kubnu rešetku nesređenog rasporeda Sn atoma, dok  $\gamma$  - kristali imaju istu rešetku ali sređenog poretka.  $\delta$  i  $\epsilon$  faza su intermetalni spojevi komplicirane rešetke i jako su krte slika10.

Povećanjem udjela Sn u kositarnim broncama povećava se vlačna čvrstoća, tvrdoća i otpora deformaciji. Povećanjem udjela Sn iznad 5 % dolazi do naglog opadanja istezanja i žilavosti (Slika11.).

Kositrene bronce za gnječenje se sve više zamjenjuju aluminijskim broncama, koje se mogu bolje oblikovati, otpornije su prema koroziji te znatno jeftinije.

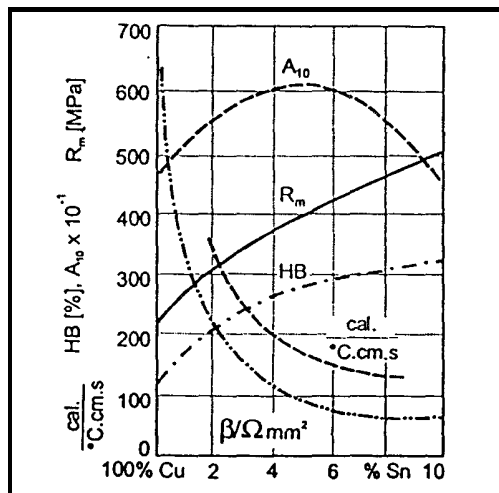
Aluminijske bronce su legure Cu sa Al i manjim dodacima Ni i Fe radi poboljšanja mehaničkih svojstava. Tako na primjer legura Cu Al 5 ima Rm od 300 do 450 MPa pri A5= 40 do 10 %, a legura Cu Al 10 Ni ima Rm od 650 do 750 MPa pri A5= 12 do 20 %. Čiste Al - bronce, do 9 % Al, kristaliziraju kao  $\alpha$  mješanci i ne mogu se toplinskom obradom očvrstiti.



Slika10. Ravnotežni dijagram CuSn[2]

To su tzv. homogene Al - bronce - slika 12.

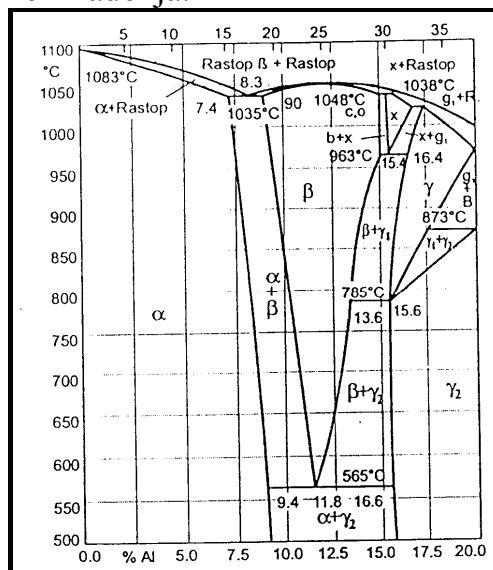
Al - bronca sa većim postotkom Al (iznad 9%) imaju pored  $\alpha$ -faze i  $\beta$ -fazu koja pri 565 °C stvara eutektoid. Ove slitine se vruće (na temperaturi od 850 do 900 °C) mogu se dobro plastično oblikovati, dok se hladne gnječenjem teško oblikuju.



Slika 11. Utjecaj udjela kositra na mehanička svojstva kositrene bronce[2]  
Zbog faznih promjena moguće je sve Al-bronce kaliti. To su heterogene Al-bronce.

Silicij bronce legirane su s Si i Mn i to Mn-Si - bronce grupe A s 3% Si i 1% Mn i Mn-Si - bronce grupe B s 2% Si i 0,5% Mn.

Ove bronce se u hladnom stanju mogu dobro oblikovati gnječenjem, a uglavnom se upotrebljavaju u tehnici hlađenja.



Slika 12. Ravnotežni dijagram Cu-Al [2.]



## Mehaničke osobine legura bakra (tabela)

### 6. LITERATURA

[1. ] Haračić N.: Materijali I –Predavanja, Mašinski fakultet Zenica, 2007/08.

[2] Hadžipašić A. :Materijali u Mašinstvu,Zenica 2000.god.

[3]Đukić V.: Metalni materijal, ,Beograd 1989.god.

[4]Mamuzić I.:Teorija plastične deformacije metala, Sisak 2000.god.

[6] OručM., Sunulahpašić N.: Savremeni metalni materijali

[7]Internet-baza podataka

Izvor: Wikipedija. Skoči na: orijentacija, traži. **Bakar** može značiti: ...

Dobavljeno iz "<http://hr.wikipedia.org/wiki/Bakar>". Kategorija: Razdvojba ...

hr.wikipedia.org/wiki/**Bakar**

[www.metalfoam.net](http://www.metalfoam.net)