

OBOJENI METALI I LEGURE

Najvažniji obojeni metali za mašinsku tehniku su Cu, Al, Ni, Ti, Mg, Zn, legure za klizne ležajeve. Osim njih, koriste se i tvrdi metali.

BAKAR I NJEGOVE LEGURE

Bakar

Kao čist metal, ima široku primenu u elektrotehnici za izradu provodnika zbog izvanrednih fizičkih svojstava – električne i toplotne provodljivosti. Odlikuje se velikom plastičnošću i sposobnošću obrazovanja velikog broja tehničkih legura sa dobrim mehaničkim i tehnološkim svojstvima.

Osobine. Bakar pripada prvoj grupi Periodnog sistema sa atomskim brojem 29 i atomskom masom od 63,54. Gustina čistog bakra iznosi $8,93 \text{ g/cm}^3$. Kristališe po površinski centriranoj kubnoj rešetki. Posle zlata i srebra ima najveću električnu provodljivost ($\sigma = 58 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$) u odnosu na ostale metale. Toplotna provodljivost bakra je šest puta veća u odnosu na železo, odnosno, dva puta veća od toplotne provodljivosti aluminijuma. Temperatura topljenja čistog bakra je 1083°C . Mehanička svojstva, u zavisnosti od stanja prerade, su data u tab. 7.1.

Tabela 7.1. Mehanička svojstva bakra u zavisnosti od stanja prerade

Osobine	Stanje prerade		
	liveno	žareno	hladno deformisano
zatezna čvrstoća, R_m (MPa)	150 – 200	210 – 240	300 – 440
napon tečenja, R_{eH} (MPa)	–	40 – 80	200 – 390
izduženje, A_5 (%)	25 – 15	50 – 35	25 – 2
tvrdća po Brinelu, HB	50	40 – 50	75 – 90

Bakar ima dobru otpornost prema koroziji, u atmosferskim uslovima tokom vremena obrazuje se na površini žuto-zelena zaštitna prevlaka, jedinjenje $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$.

Dobijanje bakra. Bakar se uglavnom dobija iz sulfidnih ruda (~80% svetske proizvodnje), pre svega halkopirita, CuFeS_2 , zatim halkozina, CuS , bornita $5\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Fe}_2\text{S}_3$, i pirita, FeS_2 . Drugi, po značaju, izvor za dobijanje bakra su oksidne rude bakra, kuprit, azurit i malahit. Sadržaj bakra u rudama nije visok, često svega 1–2%, pa je i postupak prerade i dobijanja bakra kompleksan. Uprošćena šema dobijanja bakra iz sulfidnih ruda se sastoji iz sledećih glavnih operacija:

(1) obogaćivanja rude flotacijom u cilju dobijanja koncentrata koji sadrži 20–25% bakra,

- (2) delimičnog prženja i topljenja u plamenim pećima pri čemu se dobija bakrenac sa oko 30–40% bakra,
- (3) produvavanja bakrenca u konvertoru u cilju dobijanja bakra čistoće 97–98,5% nizom hemijskih reakcija i
- (4) rafinacije u plamenim pećima (rafinisani bakar) oksidacionim postupkom (topionički bakar) ili elektrolizom (elektrolitički bakar).

Rafinisani bakar sadrži 99,0–99,9% bakra i u zavisnosti od sadržaja primesa (1,0–0,1%), odnosno čistoće, se deli na pet kvaliteta.

Uticaj pratećih elemenata. Osobine tehnički čistog bakra zavise od njegove čistoće i sadržaja gasova. Štetnim primesama se smatraju Sb, S, Se, Te, Bi i O čiji se sadržaj za elektrotehnički bakar ograničava na 0,005%. Prisustvo kiseonika utiče na povećanje tvrdoće i čvrstoće, ali zato značajno snižava električnu provodljivost. Nepoželjno je i prisustvo vodonika, ne samo zbog smanjenja električne provodljivosti, već i zbog pojave poroznosti, a u prisustvu kiseonika i pojave šupljina po granicama zrna koje su uzrok krtosti bakra.

Legure bakra

Kao konstrukcioni materijal čist bakar nema zadovoljavajuće osobine ($\max R_m$, posle ojačavanja hladnim deformisanjem, do 440 MPa), za razliku od njegovih legura. Najvažniji legirajući elementi u legurama bakra su Zn, Sn, Al, Be, Ni, Mn, Si, Ag i Au.

Označavanje i klasifikacija legura bakra. Prema bivšem jugoslovenskom standardu, legure bakra se označavaju slovnim i broječanim simbolima. Prva slovnna oznaka pripada hemijskom simbolu bakra, kao osnovnom metalu, posle koje se u nizu navode hemijski simboli legirajućih elemenata po uticajnosti i brojčane oznake koje pokazuju njihov procentualni sadržaj. Primer: CuAl8Fe3 označava leguru bakra sa aluminijumom do 8% i železom do 3%.

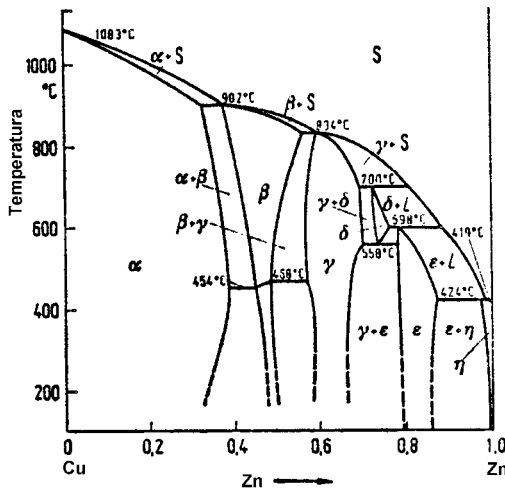
Legure bakra se dele na *legure Cu za gnječenje* i *legure Cu za livenje*. Prikaz najznačajnijih legura bakra dat je u Tabeli 7.2.

Tabela 7.2: Najznačajnije legure bakra

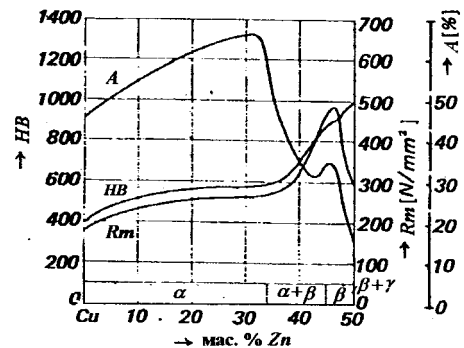
legure	naziv	oznaka
Cu–Zn	mesing	CuZn37 CuZn38Pb CuZn36Pb1
	specijalni mesing	CuZn20Al CuZn28Sn CuZn40Al1
Cu–Sn	kalajna bronza	CuSn6 CuSn6Zn

Cu–Ni–Zn	alpak	CuNi10Zn45Pb CuNi25Zn15
Cu–Ni		CuNi5 CuNi30Fe
Cu–Al	aluminijumska bronz	CuAl8 CuAl8Fe

Legure Cu sa Zn. Legure bakra sa cinkom kod kojih je sadržaj bakra veći od 50% (ostatak je Zn) su poznate pod imenom *mesinzi*. Dijagram stanja legura bakar–cink je prikazan u sl. 7.1.



Slika 7.1. Dijagram stanja legura Cu–Zn



Slika 7.2 Promena mehaničkih svojstava legura Cu–Zn

Jednofazne oblasti na dijagramu stanja odgovaraju područjima stabilnosti različitih čvrstih rastvora (α , β , γ , ϵ , η). Između jednofaznih postoje i dvofazne oblasti koje se dobijaju različitim kombinacijama u čvrstom stanju i reakcijama iz tečnog stanja. Svaka od ovih strukturnih oblasti se odlikuje čitavim nizom osobina koje se međusobno značajno razlikuju. Sa porastom sadržaja Zn do ~50% čvrstoća raste, a zatim naglo opada što je karakteristika i svojstava plastičnosti čiji se pad javlja već posle sadržaja Zn od ~30%, dok tvrdoća pokazuje stalnu tendenciju porasta, sl. 7.2. Ovakva promena osobina, ali i odgovarajuća tehnološka svojstva, uslovlila su i primenu – koriste se legure sa najviše do 50% Zn. U tab. 7.3 dat je pregled sastava i primene najvažnijih vrsta mesinga. Sa porastom sadržaja Zn u legurama javlja se i povećana sklonost ka koroziji, posebno selektivnoj i naponskoj koroziji.

Pošto osobine mesinga veoma zavise od strukturne oblasti, mesinzi sa sadržajem Zn koji odgovara području stabilnosti α čvrstog rastvora su

označeni i kao α -mesinzi, a po istom pravilu, postoje i $(\alpha+\beta)$ -mesinzi i β -mesinzi. α -mesinzi se dobro plastično prerađuju u hladnom stanju, a slabije na višim temperaturama. Za razliku od njih, β -mesinzi se dobro prerađuju u toplom stanju dok su na nižim temperaturama relativno kruti.

Tabela 7.3: Sastav i primena najvažnijih vrsta mesinga

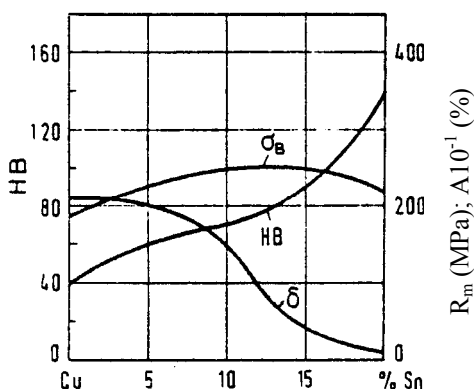
Naziv	Oznaka	Legure bakra sa	Primena
Crveni tombak	CuZn10	9...11 %Zn	Elektrotehnika, ukrasni predmeti
Svetlocrveni tombak	CuZn20	19...22 %Zn	Elektrotehnika, ukrasni predmeti, metalna creva
Žuti tombak	CuZn30	31...28 %Zn	Kondenzatorske i druge cevi za izmenjivače toplote, za duboko izvlačene čaure
Mesing za obradu gnječenjem	CuZn37	35...28 %Zn	Osnovna legura za hladnu deformaciju: cevi, limovi, opruge, zavrtnji
Mesing za kovanje	CuZn40	38...41 %Zn	Za deformaciju u toplom i hladnom stanju: žice, okovi, brave, zavrtnji
Tvrđi mesing	CuZn40Pb2	40...44 %Zn + 2%Pb	Osnovna legura za obradu skidanjem strugotine: mesing za graviranje, za zupčanike časovnika, zavrtnje, profile

Specijalni mesinzi su legure Cu sa Zn kod kojih su, radi poboljšanja određenih osobina (čvrstoća, otpornost prema koroziji, otpornost prema habanju), dodate i manje količine drugih metala (Ni, Mn, Fe, Pb). Količina dodatnih legirajućih elemenata je takva da oni utiču na poboljšanje osobina, ali ne utiču na promenu strukturnog stanja mesinga.

Legure Cu sa Sn – kalajne bronzze. Kalajne bronzze su legure koje nalaze primenu u mašinogradnji zbog izuzetne otpornosti prema koroziji, visoke tvrdoće i čvrstoće, kao i velike otpornosti prema habanju (zavrtnjevi, zupčanici, fina sita, propeleri). Kao i kod mesinga, osobine kalajnih bronzzi zavise od njihove strukture, odnosno sadržaja Sn.

Bakar sa kalajem obrazuje dijagram stanja legura sa delimičnom rastvorljivošću u čvrstom stanju. Prema dijagramu stanja postoji čitav niz jednofaznih i dvofaznih oblasti, ali su od interesa samo legure sa najviše do 22%Sn. Promena mehaničkih osobina sa porastom sadržaja Sn je prikazana na slici 7.3.

Specijalne bronzes i druge legure Cu. Legure u kojima se pored Cu, čiji je minimalni sadržaj određen na 78%, nalaze i Al, Pb, Ni, Mn, Si i Be u kombinaciji sa Sn ili bez njega su označene kao specijalne bronzes. U zavisnosti od toga koji je legirajući element glavni, najuticajniji, razlikuju se Al, Pb i Be bronzes. Sve specijalne bronzes se odlikuju visokom otpornošću prema koroziji, dobrim kliznim osobinama, velikom električnom provodljivošću i srednjim nivoom čvrstoće i tvrdoće.



Slika 7.3 Promena mehaničkih osobina legura Cu–Sn

Crveni liv je legura sa najmanje 84% Cu, dok su ostali elementi Sn i Zn, a ponekada i Pb. Upotrebljavaju se za izradu: armature za vodovodne i parovodne instalacije koje su pri radu izložene povišenim temperaturama, do 325°C, pužastih točkova, cevnih prirubnica.

Novo srebro je legura Cu, Ni i Zn, koja ima dobra svojstva plastičnog deformisanja valjanjem, kovanjem i presovanjem u toplom stanju, kada je sadržaj Cu manji. Pri većim sadržajima Cu, može da se plastično deformiše u hladnom stanju kovanjem i presovanjem. Koristi se za izradu raznih dekorativnih predmeta, delova u preciznoj mehanici i optici, za izradu ključeva, opruga i limova namenjenih za duboko izvlačenje.

ALUMINIJUM I NJEGOVE LEGURE

Aluminijum

Alumijum je, posle Fe, drugi po redu metal koji se koristi u savremenoj mašinskoj tehnici. Upotrebljava se kao čist metal u elektrotehnici, metaloprerađivačkoj, prehrambenoj i hemijskoj industriji, ali mu je mnogo značajnija primena u vidu različitih višekomponentnih legura koje se široko upotrebljavaju u mašinskoj industriji.

Osobine. Al je element koji pripada trećoj grupi Periodnog sistema sa atomskim brojem 13 i atomskom masom od 27. Gustina čistog Al iznosi

2,7 g/cm³, što znači da je za istu veličinu zapremine Al skoro tri puta lakši od Fe. Kristališe po površinski centriranoj kubnoj rešetki. Aluminijum se odlikuje i velikom električnom provodljivošću, koja je 57% električne provodljivosti Cu koji se u tehnici koristi kao etalon. Temperatura topljenja čistog aluminijuma je 660°C. Mehanička svojstva Al su relativno niska: R_m u zavisnosti od stanja prerade se kreće od 90–180 MPa, tvrdoća 20–40 HB, a plastičnost je veoma visoka što omogućava valjanje aluminijuma do veoma malih debljina (folija). Veoma teško se obrađuje rezanjem. Ima dobru otpornost prema koroziji, u atmosferskim uslovima tokom vremena obrazuje se na površini zaštitna prevlaka oksida aluminijuma, Al_2O_3 .

Dobijanje Al. Aluminijum se u prirodi ne sreće u samostalnom obliku, već u obliku različitih minerala kojih ima veoma mnogo. Iako ih prema podacima ima 250, ne koriste se svi kao rude za dobijanje aluminijuma. Osnovna ruda iz koje se procesom prerade dobija Al je *boksit* u kome je aluminijum vezan u obliku hidroksida, mada se koriste i druge rude kao što su *apatit*, *alunit*, *kianit*. Uprošćena šema dobijanja aluminijuma iz boksita sastoji se iz sledećih glavnih operacija:

- (1) mlevenja i pečenja boksita,
- (2) rastvaranja u natrijumhidroksidu u autoklavima pri čemu se dobija lužina natrijumaluminata,
- (3) dobijanja bistre lužine i oslobađanja od jalovine,
- (4) dobijanje i topljenja hemijski skoro čiste glinice (Al_2O_3) sa kriolitom, i
- (5) elektrolize rastopa sa izdvajanjem metalnog aluminijuma u tečnom stanju. Tečni aluminijum se zatim pretapa u grafitnim loncima i lije.

Ovako dobijeni Al se naziva topionički ili tehnički Al čistoće 99–99,8%. Aluminijum visoke čistoće, 99,99%, se dobija elektrolitičkom rafinacijom, a koristi se za zaštitu i izradu delova koji su izloženi koroziji.

Uticaj pratećih elemenata. Osobine tehnički čistog Al, posebno fizička svojstva, zavise od njegove čistoće. Najčešće primese prisutne u tehnički čistom Al su Ti, V, Cr i Mn čiji ukupni sadržaj ne sme da bude veći od 0,03%, a osim njih prisutni su u tragovima Si, Fe, Ca, Co, Cu, Zn.

Legure aluminijuma

Najvažniji legirajući elementi koji značajno poboljšavaju osobine čistog Al su Cu, Mg, Mn, Si, Zn i Li. Legure Al se dele na *legure za gnječenje* (deformabilne) i *legure za livenje*. Legure za gnječenje se dalje dele na one koje se *termički ne obrađuju* i one koje se *termički obrađuju*.

Označavanje legura Al. Prema bivšem jugoslovenskom standardu legure Al se označavaju slovnim i broječanim simbolima u osnovnoj oznaci i broječanim simbolima koji slede osnovnu oznaku i od nje su odvojeni

tačkom. Prva slovna oznaka u osnovnoj oznaci pripada hemijskom simbolu Al, kao osnovnom metalu, posle koje se u nizu navode hemijski simboli legirajućih elemenata po uticajnosti, i brojčane oznake koje pokazuju njihov procentualni sadržaj. Brojčani simboli koji se nalaze iza osnovne oznake su dvocifreni i označavaju stanje legura Al, tab. 7.4. Na primer, AlMg2Mn1.60 označava leguru Al sa ~2% Mg i ~1% Mn, a dodatna oznaka 60 pokazuje da je legura u termički obrađenom stanju.

Tabela 7.4: Oznake stanja legura Al

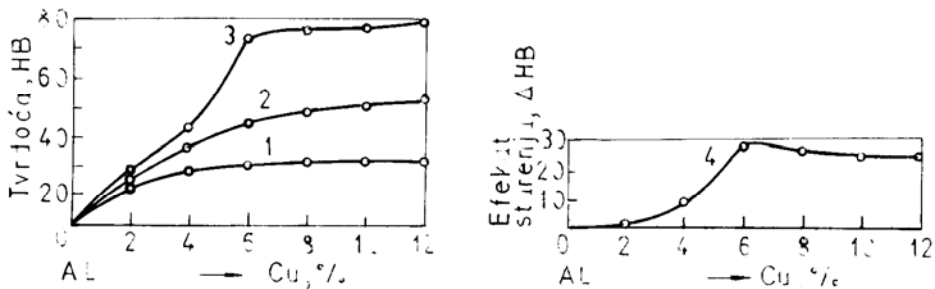
20–23	30–39	40	42–48	60–89	90–98
proizvodno stanje	stanje meko, meko žareno i rekristalizovano	proizvodno stanje	stanje hladne plastične deformacije	termički obrađeno stanje	druga stanja

Legure Al za gnječenje koje se termički ne obrađuju se ne odlikuju visokom čvrstoćom, ali su im svojstva plastičnosti veoma dobra ($A \leq 40\%$). U ovu grupu legura spadaju legure Al sa Mg, čiji se sadržaj kreće od 1% do najviše 5,8% i Mn, čiji je sadržaj ograničen na 0,6%. Sve ove legure su uvek jednofazne, sa strukturom α čvrstog rastvora, koji ima površinski centriranu kubnu rešetku na bazi Al. Imaju dobru zavarljivost, otporne su prema koroziji i upotrebljavaju se za izradu slaboopterećenih delova, za izradu presovanih i duboko izvlačenih proizvoda, kao i za zavarene konstrukcije.

Legure Al za gnječenje koje se termički obrađuju. U ovu grupu spadaju legure Al sa Cu, Mg, Si, Zn i Li. U tab. 7.5 dat je kratak pregled najvažnijih legura Al iz ove grupe, njihove osobine i primena. Ova grupa legura postiže visok nivo mehaničkih svojstava tek posle odgovarajućih termičkih obrada.

Tabela 7.5: Osnovne karakteristike legura aluminijuma za gnječenje koje se termički obrađuju

Legure	Naziv	Oznaka	Osobine	Primena
Al–Cu–Mg	durali	AlCu3Mg AlCu5Mg1 AlCu5Mg2	$R_m < 470$ MPa 110 HB $A < 17\%$	za napregnute i jako napregnute konstrukcije
Al–Mg–Si	aviali	AlMgSi	$R_m < 330$ MPa $A < 12\%$	za srednje napregnute konstrukcije, u brodogradnji
Al–Zn–Mg		AlZn5Mg3Cu1	$R_m < 520$ MPa $A < 12,5\%$	avio industrija, građevinarstvo, nisu koroziono postojane



Slika 7.4 Uticaj sadržaja bakra na tvrdoću legura sistema Al – Cu u različitim termički obrađenim stanjima: 1) žarenom; 2) kaljenom; 3) starenom; 4) priraštaj tvrdoće tokom starenja posle kaljenja

Duraluminijum, legura Al sa Cu i Mg, ima smanjenu korozionu postojanost, zbog čega se dopunski legira Mn (do 0,9%). Delovi od duraluminijuma mogu da se zaštite od korozije plakiranjem čistim Al. Štetna primesa je železo zato što smanjuje čvrstoću i plastičnost. Dobro se plastično deformiše u toplom i hladnom stanju. Osobine durala se značajno poboljšavaju termičkom obradom termičkim rastvaranjem (kaljenjem) i termičkim taloženjem (starenjem).

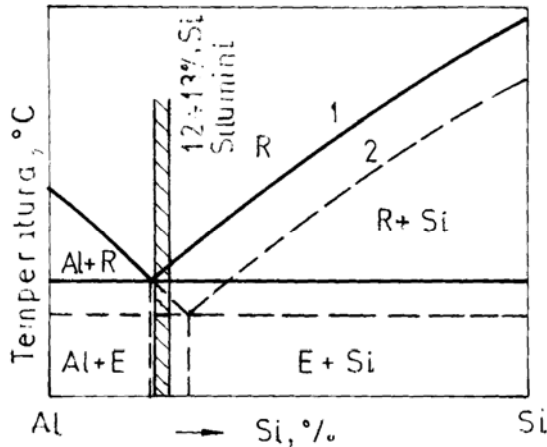
Aviali imaju nižu čvrstoću od durala, ali su im svojstva plastičnosti u toplom i hladnom stanju bolja. Koriste se za izradu lakih konstrukcija, cevi i šipki.

Legure Al za livenje su brojne i mogu da se podele u pet osnovnih grupa:

- I grupu legura čine legure Al sa Si, poznate pod imenom silumini;
- II grupu legura čine legure Al sa Si i Cu;
- III grupu legura čine legure Al sa Cu;
- IV grupu legura čine legure Al sa Mg; sa visokim mehaničkim svojstvima i otpornošću prema koroziji; koriste se za izradu lakih odlivaka za transportne mašine;
- V grupu legura čine legure Al sa drugim komponentama u koje pored nabrojanih spadaju i Ni, Zn i Ti.

Najpoznatije legure Al za livenje su *silumini*, legure Al sa Si koje su našle veliku primenu u automobilskoj i avio industriji. Odlikuju se dobrom tečljivošću, otporne su na dejstvo korozije, imaju zadovoljavajuće mehaničke osobine i dobro se zavaruju. U cilju dobijanja odlivaka dobre gustine i mehaničkih karakteristika mogu da se koriste samo silumini koji sa uskim intervalom kristalizacije. Običan silumin sadrži 12–13% Si, a prema strukturi predstavlja nadeutektičku leguru koja se sastoji od igličastog grubog eutektikuma (Al + Si) i kristala čistog Si. Međutim, u

procesu livenja se leguri dodaje mala količina natrijuma (*modificiranje*) zbog čega se struktura i osobine menjaju. Legura postaje podeutektička i sastoji se od zrna Al i sitnozrnastog eutektikuma. Nemodificirana legura sa 13% Si ima mehaničke osobine: $R_m = 140 \text{ MPa}$ i $A = 3\%$; posle modificiranja svojstva su: $R_m = 180 \text{ MPa}$ i $A = 8\%$. Od ovih legura se izrađuju odlivci složenih oblika od kojih se ne zahtevaju visoka mehanička svojstva. Pored običnih, postoje i specijalni silumini, kod kojih se dodatkom Cu, Mg i Mn, uz 4–10% Si, osobine značajno povećavaju.



Slika 7.5 Uticaj modificiranja na kristalizaciju u sistemu Al – Si
1) bez modificiranja; 2) posle modificiranja

NIKL I NJEGOVE LEGURE

Nikl kristališe po površinski centriranoj kubnoj rešetki, izuzetno je otporan na koroziju, ima dobru vatrootpornost i magnetičan je do 360°C . Ova dva svojstva su osnovni razlozi primene Ni i njegovih legura u mašinstvu, a osnovna prepreka za širu primenu je visoka cena.

Fizičko-mehnička svojstva su:

- gustina $\rho = 8,89 \text{ g/cm}^3$
- temperatura topljenja $T_t = 1453^\circ\text{C}$
- koeficijent linearnog širenja $\alpha = 13,3 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- toplotna provodljivost $\lambda = 92 \text{ W/mK}$
- modul elastičnosti $E = 205 \text{ GPa}$
- zatezna čvrstoća $R_m \sim 500 \text{ MPa}$ (u žarenom stanju)
- napon tečenja $R_{p0,2} \sim 150 \text{ MPa}$ (u žarenom stanju)
- procentualno izduženje $A \sim 50\%$ (u žarenom stanju)
- tvrdoća 75 HB

Nikl se koristi kao legirajući element u nerđajućim čelicima, i kao osnovni element u vatrootpornim legurama. Najčešće korišćene legure Ni su *monel*, *inkonel* i *hasteloy*.

Monel je legura Ni sa Cu (~30%), uz dodatak Fe u nekim varijantama (monel 400), Al i Ti (monel K500) ili Si (monel 411). Moneli se koriste kao antikorozijske legure u prehrambenoj i hemijskoj industriji.

Inkonel je legura Ni sa Fe i Cr (~15% Cr, ~10% Fe), uz dodatak Nb (inkonel 610) ili Si (inkonel 705). Inkoneli se koriste kao vatrootporne legure za delove gasnih motora i turbina, opremu u prehrambenoj, hemijskoj i petrohemijskoj industriji.

Hasteloy je legura Ni sa Mo i Cr (~16% Cr, ~15% Mo), koja se takođe odlikuje visokom otpornošću na koroziju i vatrootpornošću, pa se koristi za delove mlaznih motora.

TITAN I NJEGOVE LEGURE

Titan ima svojstvo polimorfije jer iz tečnog stanja (na 1665°C) kristališe u prostorno centriranu kubnu rešetku (β), a daljim hlađenjem na 882°C prelazi u heksagonalnu gusto pakovanu rešetku (α). Titan je metal male gustine (4,5 g/cm³), što u kombinaciji sa dobrim mehaničkim svojstvima (velika čvrstoća i tvrdoća) daje veliku specifičnu čvrstoću. Osim toga je izuzetno otporan na koroziju i ima dobru vatrootpornost. Slično Ni, primena Ti i njegovih legura je ograničena zbog visoke cene, i svodi se na konstrukcione delove gasnih motora i turbina, kao i opremu u prehrambenoj, hemijskoj i petrohemijskoj industriji.

Mehnička svojstva (u žarenom stanju) su:

- modul elastičnosti $E = 126$ GPa
- zatezna čvrstoća $R_m \sim 330$ MPa
- napon tečenja $R_{p0,2} \sim 240$ MPa
- procentualno izduženje $A \sim 30\%$

Legure Ti se dele prema strukturi na α , β i $\alpha+\beta$, od kojih se ove poslednje najviše koriste. Tipični primer je legura Ti sa 6% Al i 4% V, zatezne čvrstoće preko 1000 MPa, koja se koristi za delove mlaznih i raketnih motora.

MAGNEZIJUM I NJEGOVE LEGURE

Magnezijum kristališe po heksagonalnoj gusto pakovanoj rešetki, ima veoma malu gustinu (1,74 g/cm³) i relativno nisku temperaturu topljenja (650°C). Lako se vezuje sa kiseonikom, ali je njegov oksid porozan i nije

dobra zaštita od korozije. Pali se na 700°C i gori bleštavim plamenom, pa se koristi u pirotehnici.

Mehnička svojstva (u žarenom stanju) su:

- modul elastičnosti $E = 45 \text{ GPa}$
- zatezna čvrstoća $R_m \sim 115 \text{ MPa}$
- napon tečenja $R_{p0,2} \sim 25 \text{ MPa}$
- procentualno izduženje $A \sim 8\%$.

Osim lake zapaljivosti i male otpornosti na koroziju, mane Mg su slaba mehanička svojstva (mala čvrstoća i plastičnost), koja mogu da se povećaju legiranjem sa Al, Zn i Mn. U tom slučaju legure Mg (sa 8–9% Al, 0,5–0,7% Zn i 0,12–0,13% Mn) se koriste za manje opterećene delove automobila i aviona.

CINK I NJEGOVE LEGURE

Cink kristališe po heksagonalnoj gusto pakovanoj rešetki, ima gustinu $7,13 \text{ g/cm}^3$ i temperaturu topljenja 420°C, i relativno loša mehanička svojstva (mala čvrstoća i tvrdoća). Stoga se njegova primena u mašinstvu svodi na galvanske prevlake koje se nanose na čelične limove radi zaštite od korozije.

Legure Zn se koriste kao niskotopljive legure za lemове. Legure Zn za livenje (sa Al, Cu i Mg) se koriste za odlivke komplikovanog oblika, koji nisu opterećeni (npr. karburatori motora SUS), jer imaju veliku tečljivost i lako popunjavaju kalupe složenog oblika.

LEGURE ZA KLIZNE LEŽAJE

To su legure od kojih se izrađuju ležaji za različite pokretne mašinske elemente kod kojih u toku rada dolazi do klizanja kontaktnih površina. U ovu grupu legura spadaju sivo liveno gvožđe, bronzе, lakotopljive legure na bazi kalaja, olova, cinka i aluminijuma koje su poznate pod zajedničkim imenom *babiti*, a u poslednje vreme i sintetički plastični materijali. Osnovni zahtevi kod ovih legura su:

- mali koeficijent trenja u kontaktnoj površini; ovaj zahtev je ispunjen kada se u kontaktnoj površini nalazi sloj (film) sredstva za podmazivanje;
- dobra otpornost na habanje; međutim, materijal za ležaje mora pri radu da se brže haba nego npr. rukavac osovine koji se nalazi u svom ležištu;
- dovoljno dobra čvrstoća i plastičnost;
- sposobnost da izdrže relativno veliki specifičan pritisak;
- malo zagrevanje pri radu;

- mikrostruktura, koja se sastoji od relativno meke metalne osnove (obično je to čvrst rastvor) i u njoj ravnomerno raspoređene tvrde faze (eutektoid, eutektikum, intermetalno jedinjenje).

Sivo liveno gvožđe se, kao materijal za klizne ležaje, koristi u uslovima malih brzina obrtanja, do 1 m/s. Dobra svojstva podmazivanja mu obezbeđuje struktura grafita u perlitnoj osnovi.

Beli metal (spada u babite) čine legure Sn, Cu i Sb, a najbolje karakteristike od njih ima legura sa 81% Sn, ~6% Cu i ~12% Sb. Mikrostruktura se sastoji od čvrstog rastvora na bazi Sn male tvrdoće i mreže tvrdih kristala.

Babiti su lakotopljive legure sistema Pb–Sb, Sn–Sb, Pb–Sn–Sb, kao i Zn–babiti sa dodacima Cu i Al i Al–babiti sa dodacima Cu, Ni i Sb. Mikrostruktura babita se takođe sastoji od meke osnove – čistog metala ili α čvrstog rastvora i tvrde faze. Hemijski sastav najvažnijih babita, njihova struktura i svojstva su prikazani u tab. 7.6.

Tabela 7.6: Hemijski sastav, struktura i svojstva najvažnijih babita

Sadržaj osnovnih elemenata, %				Struktura		Svojstva		
Sn	Sb	Cu	Pb	meka osnova	tvrde faze	T _b , °C	R _m , MPa	koefic. trenja
osnova	10-12	5,5-6,5	-	Sn	SnSb, Cu ₃ Sn	380	90	0,005
osnova	7,2-8,2	2,5-3,5	-	Sn	Cu ₃ Sn	342	90	-
5-6	14-16	2,5-3,0	osnova	Pb	SnSb, Cu ₃ Sn	460	70	0,005
9-11	14-16	0,7-1,1	osnova	Pb	SnSb	-	80	0,009
9-11	13-15	1,5-2,0	osnova	Pb	SnSb, SnAs ₂	400	70	0,006
Zn-babit sa 10%Al i 5%Cu				eutektikum	CuZn ₃	395	-	0,009
Zn-babit sa 5%Al i 10%Cu				eutektikum	CuZn ₃	500	-	-
Al-babit 6%Sb, 5%Pb i 0,7%Mg				Al	AlSb	750	80	nizak
Al-babit ~3%Ni				Al	Al ₃ Ni	650	140	nizak
Al-babit sa 7,5-9,5%Cu i ~2%Si				Al	CuAl ₂	632	160	nizak