

Primjena obojenih i lakih metala u mehatronici

Vugrinec, Antonio

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Bjelovar University of Applied Sciences / Veleučilište u Bjelovaru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:144:357544>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository of Bjelovar University of Applied Sciences](#)



VELEUČILIŠTE U BJELOVARU
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKA

**PRIMJENA OBOJENIH I LAKIH METALA U
MEHATRONICI**

Završni rad br. 09/MEH/2020.

Antonio Vugrinec

Bjelovar, listopad 2020.



Veleučilište u Bjelovaru
Trg E. Kvaternika 4, Bjelovar

1. DEFINIRANJE TEME ZAVRŠNOG RADA I POVJERENSTVA

Kandidat: **Vugrinec Antonio** Datum: 15.07.2020. Matični broj: 001883
JMBAG: 0314018145

Kolegij: **TEHNIČKI MATERIJALI**

Naslov rada (tema): **Primjena obojenih i lakih metala u mehatronici**

Područje: **Tehničke znanosti** Polje: **Strojarstvo**

Grana: **Proizvodno strojarstvo**

Mentor: **dr.sc. Stjepan Golubić** zvanje: **viši predavač**

Članovi Povjerenstva za ocjenjivanje i obranu završnog rada:

1. Tomislav Pavlic, mag.ing.mech., predsjednik
2. dr.sc. Stjepan Golubić, mentor
3. Danijel Radočaj, mag.inž.meh., član

2. ZADATAK ZAVRŠNOG RADA BROJ: 09/MEH/2020

U radu je potrebno:

- prikazati sistematizaciju materijala općenito
- prikazati podjelu tehničkih materijala po različitim kriterijima
- opisati svojstva obojenih i lakih metala
- navesti primjere primjene u mehatronici
- prikazati razlike u svojstvima i karakteristikama dijelova izrađenih od različitih vrsta materijala.

Zadatak uručen: 15.07.2020.

Mentor: **dr.sc. Stjepan Golubić**



Zahvala

Zahvaljujem se profesoru dr. sc. Stjepanu Golubiću na mentorstvu i pomoći te stručnom vođenju kroz proces izrade ovog završnog rada. Također iskrene zahvale ostalima profesorima Veleučilišta u Bjelovaru na kontinuiranoj podršci tokom školovanja te poticanju na daljnje usavršavanje i sudjelovanje na stručnim skupovima iz područja mehatronike.

Antonio Vugrinec

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEHNIČKI MATERIJALI	2
2.1. Metalni materijali	3
2.2. Vrste metala	4
3. OBOJENI METALI	6
3.1. Teški obojeni metali	7
3.1.1. Bakar i njegove legure	7
3.1.2. Olovo	19
3.1.3. Cink	20
3.1.4. Nikal i njegove legure.....	21
3.1.5. Titanij	22
3.1.6. Ostali teški obojeni metali	24
3.2. Laki obojeni metali	29
3.2.1. Aluminij i njegove legure.....	29
3.2.2. Magnezij i njegove legure	34
3.2.3. Berilij.....	36
3.2.4. Litij	37
3.3. Plemeniti obojeni metali	38
3.3.1. Zlato	38
3.3.2. Srebro	39
3.3.3. Platina	40
4. ZAKLJUČAK	41
5. LITERATURA	42
6. OZNAKE I KRATICE	45
7. SAŽETAK	47
8. ABSTRACT	48

Popis slika

Slika 2.1: Periodni sustav elemenata - udio metala

Slika 2.2: Obojeni, plemeniti i željeni metali

Slika 3.1: Neki od obojenih metala

Slika 3.2: Struktura bakra (tamne čestice Cu_2O u bakrenoj matrici)

Slika 3.3: Bakreni kablovi/žice

Slika 3.4: Dijagram Cu-Sn

Slika 3.5: Mjedeni fitinzi

Slika 3.6: Bronca i legure

Slika 3.7: Dijagram Cu-Sn

Slika 3.8: Košuljica ležaja od kositrene bronce

Slika 3.9: Opruge od fosforne bronce

Slika 3.10: Čahure osovina od olovne bronce

Slika 3.11: Dijagram slijevanja Cu-Al

Slika 3.12: Kuglasti ventil od aluminijske bronce

Slika 3.13: Cu-Ni legirane prirubnice

Slika 3.14: Trake od novog srebra

Slika 3.15: Sekundarno olovo

Slika 3.16: Pocinčavanje konstrukcijskih dijelova dalekovoda

Slika 3.17: Nikleni disk turbine zrakoplova

Slika 3.18: Valjčaste poluge titanija

Slika 3.19: Primjena nikla i titanija u plinskoj turbini zrakoplova

Slika 3.20: Kadmij

Slika 3.21: Živin prekidač

Slika 3.22: Žarulja sa volframskom žarnom niti

Slika 3.23: Prsten izrađen od tantala

Slika 3.24: Molibdenove elektrode za taljenje stakla

Slika 3.25: Cirkonijska valjčasta polugica

Slika 3.26: Kemijski element uranij

Slika 3.27: Kolutovi aluminijskog lima

Slika 3.28: Dijagram stanja aluminij-silicij

Slika 3.29: Prikaz intermetalne faze θ u dijelu Al-Cu dijagrama

Slika 3.30: Prikaz intermetalne faze β

Slika 3.31: Magnezij

Slika 3.32: Berilij

Slika 3.33: Litij

Slika 3.34: Zlato kao kontakt na tiskanoj pločici

Slika 3.35: Srebrni osigurač

Slika 3.36: PT100 senzor

Popis tablica

Tablica 3.1: Osnovna fizikalna i mehanička svojstva bakra

Tablica 3.2: Kemijski sastav i mehanička svojstva te primjena mjedi i posebnih mjedi

Tablica 3.3: Kemijski sastav i mehanička svojstva te primjena kositrene bronce

Tablica 3.4: Kemijski sastav i mehanička svojstva te primjena olovne bronce

Tablica 3.5: Kemijski sastav i mehanička svojstva te primjena berilijeve bronce

Tablica 3.6: Kemijski sastav i mehanička svojstva te primjena aluminijske bronce

Tablica 3.7: Kemijski sastav i mehanička svojstva te primjena legure Cu-Ni

Tablica 3.8: Kemijski sastav i mehanička svojstva te primjena novog srebra

Tablica 3.9: Osnovna svojstva olova

Tablica 3.10: Osnovna tablica cinka

Tablica 3.11: Osnovna tablica nikla

Tablica 3.12: Kemijski sastav i mehanička svojstva te primjena niklenih legura

Tablica 3.13: Osnovna svojstva titanija

Tablica 3.14: Kemijski sastav i mehanička svojstva titanijevih legura ovisno o toplinskoj obradi

Tablica 3.15: Osnovna svojstva kadmija

Tablica 3.16: Osnovna svojstva žive

Tablica 3.17: Osnovna svojstva voframa

Tablica 3.18: Osnovna svojstva tantala

Tablica 3.19: Osnovna svojstva molibdena

Tablica 3.20: Osnovna svojstva cirkonija

Tablica 3.21: Osnovna svojstva uranija

Tablica 3.22: Osnovna svojstva aluminija

Tablica 3.23: Kemijski sastav i mehanička svojstva te primjena aluminijevih legura

Tablica 3.24: Osnovna svojstva magnezija

Tablica 3.25: Dvije vrste legure magnezija i njihova svojstva

Tablica 3.26: Osnovna svojstva berilija

Tablica 3.27: Osnovna svojstva litija

Tablica 3.28: Osnovna svojstva zlata

Tablica 3.29: Osnovna svojstva srebra

Tablica 3.30: Osnovna svojstva platine

1. UVOD

U današnje vrijeme ljudi ne bi mogli živjeti bez tehničkih materijala jer gdje god da se osvrnemo oko nas su tehnički materijali u raznoraznim oblicima i skulpturama. Oko nas su sveprisutni, od nekih jednostavnih i malih predmeta pa sve do ogromnih, kompleksnih konstrukcija. Naime, u ovom završnom radu se govori o jednoj skupini od tehničkih materijala – metalima odnosno obojenim metalima uz naravno osnovne informacije o samim tehničkim materijalima i metalima kako bi se čitatelja upoznalo sa temeljima teme na koju je napisan ovaj završni rad.

Završni rad se zasniva na opisu fizikalnih, mehaničkih i kemijskih svojstava, ponašanju uz utjecaj vanjih i unutarnjih čimbenika i najbitnije - primjene obojenih metala u mehatroničkoj grani industrije.

U početnom dijelu ovog završnog rada govori se o prethodno navedenim temeljima teme i općoj podjeli metalnih materijala po različitim specifičnostima i primjeni. Ostali, veći dio ovog završnog rada je posvećen poznatijim obojenim metalima koji su u većini slučajeva najzastupljeniji, ali su u ne previše manjem obujmu opisani i ostali obojeni metali. Cilj ovog završnog rada je upoznati čitatelja sa obojenim metalima, njihovim osnovnim svojstvima te samom primjenom u mehatronici.

2. TEHNIČKI MATERIJALI

Tehnički materijali su oni materijali od kojih se izrađuju tehnički proizvodi i imaju svoja fizikalna svojstva koja se zbog svojih specifičnosti nazivaju tehničkim svojstvima. Oni služe kod izradbe i proizvodnje različitih tvorevina (kao npr. predmeta, objekata, konstrukcija). Tehničkim materijalom se inače smatra svaka tvar s tehničkim svojstvima u nekom od agregatnih stanja, a iz razloga dosadašnjih upotreba i načina primjene sami pojam materijala sužen je na tvari koje se prilikom uporabe bitno ne troše i ne mijenjaju u kemijskom smislu, što se ponajviše odnosi na krute materijale i stoga se većina takvih materijala naziva tehničkim, a ponekad i konstrukcijskim materijalima. Tehnički materijali prolaze kroz više faza, od ekstrakcije iz sirovina, proizvodnje, preradbe i doradbe do uporabe i na kraju do recikliranja za ponovu uporabu ili pak do proglašenja otpadkom. Tehnički materijali mogu se podijeliti na više različitih osnova, primjerice na osnovi razlike njih samih (prirodni–sintetski, anorganski–organski, metalni–nemetalni, tradicijski–novi) ili prema primjeni (građevinski, izolacijski, električni, elektronički, tekstilni, magnetski, optički, nuklearni, biomedicinski, dentalni i dr.). U praksi se najviše opredjeljuju s obzirom na samu upotrebu: metali i slitine (čelik, željezni ljevovi, obojeni metali), keramika, staklo, beton, plastika, guma, drvo, papir, vlakna te kompozitni materijali. Općenita raspodjela se bazira na temelju kemijskog sastava i same strukture, pa bi time keramika, osim oksidne i neoksidne konstrukcijske (kristalične) keramike, obuhvatila i glinenu (silikatnu) keramiku te staklo, dok bi se drvo, papir i plastika svrstali u polimerne, a beton i guma u kompozitne materijale. Tako se dobiva podjela tehničkih materijala na metale, keramiku, polimerne materijale i kompozitne materijale.

2.1. Metalni materijali

Metalni materijali razlikuju se od ostalih materijala po fizičkim i kemijskim svojstvima. Metalni materijali su oni materijali koji su po kemijskom sastavu građeni kao korisni metali povezani međusobno metalnom vezom. Većina kemijskih elemenata u periodnom sustavu su metali koji zauzimaju $\frac{3}{4}$ ukupnih mjesta u samom sustavu. Od tih metala najviše se u tehničkoj praksi primjenjuju željezo (Fe), aluminij (Al), bakar (Cu), magnezij (Mg), nikal (Ni), cink (Zn), titanij (Ti), olovo (Pb), kositar (Sn), a pored njih također i krom (Cr), živa (Hg), kobalt (Co), mangan (Mn) i dr. Korištenje željeznih materijala najviše je zastupljeno u strojogradnji. U svijetu se proizvodi do deset puta više željeznih legura naspram svih neželjeznih metala zajedno. Međutim, željezo i njegove legure inače brže propadaju zbog korozije naspram drugih metala.

METALS / NON-METALS

H																			He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne		
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt											
Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu																			
Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr																			
Metals										Non-metals									

Slika 2.1: Periodni sustav elemenata-udio metala [1]

2.2. Vrste metala

Prema svojstvima metalni materijali se dijele na:

- a) materijale postojane na koroziju,
- b) materijale žilave na niskim temperaturama
- c) visokočvrste čelike
- d) materijale otporne na trošenje.

Prema primjeni materijali se dijele na:

- a) materijale za opruge
- b) materijale za elektrotehniku
- c) materijale za klizne ležaje
- d) materijale za kotrljajuće ležaje
- e) materijale za zupčanike.

Prema sastavu , mikrostrukturi i načinu dobivanja metalni materijali se dijele na:

- 1) materijale na željeznoj bazi (željezni ljevovi)
 - a) čelični ljev
 - b) bijeli tvrdi ljev
 - c) sivi ljev
 - d) nodularni (žilavi) ljev
 - e) temper (kovkasti) ljev.
- 2) konstrukcijski čelici
 - a) opći konstrukcijski
 - b) čelici visoke čvrstoće
 - c) ultračvrsti čelici
 - d) čelici za cementiranje
 - e) čelici za poboljšavanje
 - f) čelici za opruge
 - g) čelici poboljšane rezljivosti (čelici za obradu na automatima)
 - h) korozijski postojani čelici
 - i) čelici za rad na povišenim i visokim temperaturama (toplinski čvrsti čelici)

- j) vatrootporni čelici
 - k) čelici za rad na niskim temperaturama
 - l) čelici sa posebnim svojstvima.
- 3) alatni čelici
- a) čelici za hladni rad
 - b) čelici za topli rad
 - c) brzorezni čelici.
- 4) lake i obojene metale i legure:
- a) Al - legure
 - b) Cu - legure
 - c) Ni - legure
 - d) Ti - legure
 - e) Mg - legure.



Slika 2.2: Obojeni, plemeniti i željezni metali [2]

3. OBOJENI METALI

Neželjeni metali odnosno obojeni metali su svi ostali metali u kojima željezo ima udjela uglavnom samo kao legirajući element. Nekolicina obojenih metala i njihove legure imaju neka osnovna i mehanička svojstva jednake izraženosti kao i pojedine legure željeza, ali je zato kod legura željeza nemoguće postići ta sva svojstva ujedno. Neka druga svojstva kao npr. električna vodljivost, rastezljivost, mala/velika gustoća, antikorozijska svojstva i druga prednače sličnim svojstvima legurama željeza. Obojeni metali se uglavnom kreću u višim cijenama od legura željeza, pa se stoga u većini slučajeva upotrebljavaju kada su neophodni. Cijene obojenih metala su podosta promijenjive i stoga konstruktor, osim za kvalitetu konačnice rada, u izboru materijala mora paziti i na financijsku isplativost primjene metala kod izrade konstrukcije jer u kratkom vremenu cijene na svjetskom tržištu mogu draštično skočiti i smanjiti se gotovo za duplo. Poseban je slučaj što se tiče nikla kojemu cijena može varirati i do pet puta od trenutnog iznosa u kratkom vremenu. Obojene metale čine vrlo različiti metali, a glavna raspodjela im je po gustoći i to na teške i lake obojene metale. Sama granica gustoće im iznosi 5000 (3800) [kg/m³]. Naziv „obojeni“ dolazi najprije od bakra koji ima posebno crvenkastu boju, dok ostala većina obojenih metala većinom je srebrnkastosivog sjaja (osim naravno zlata i drugih).



Slika 3.1: Neki od obojenih metala [3]

3.1. Teški obojeni metali

U teške obojene metala spadaju obojeni metali čija je gustoća veća od 5000 kg/m^3 dok neki autori tvrde da ta granica koja dijeli teške i lake obojene metale jest niža - 3800 kg/m^3 . U teške obojene metale spadaju: olovo (Pb), bakar (Cu), cink (Zn), kobalt (Co), nikal (Ni) i drugi.

3.1.1. Bakar i njegove legure

Bakar (Cu) sa legurama je, smatra se, jedan od najpoznatijih metala za koji su sigurno čuli svi ljudi iz mehatroničkog, a i civilnog svijeta. Ima plošno centrirani kubnu rešetku (FCC) i temperatura tališta mu je niža nego kod željeza i iznosi 1083°C . Gustoća mu iznosi 8930 kg/m^3 . U atmosferskoj sredini se prevlači slojem karbonata zelene boje, a pri zagrijavanju na visoke temperature oksidira i nastali oksidi se ljušte i neprestano stvaraju novi. Moguće ga je plastično deformirati s lakoćom, pa se stoga mogu izvlačenjem dobiti i vrlo tanke žice. Može se spajati zavarivanjem, taljenjem i lemljenjem. Čisti bakar ima lošu livljivost jer kada je u rastaljenom stanju upija dosta plinova pa se u odljevcima nakupljuju brojne šupljine te razvijeni plinovi koji izazivaju unutarnji tlak. Radi toga se materijal može rastrgati u obliku plikova. Ta pojava, kada je prouzročena vodikom, naziva se i „vodikova bolest“. Znatno čišći, ali zato skuplji je elektrolitički bakar, dobiven elektrolizom lijevačkog bakra.

Na slici 3.2. se nalazi struktura bakra gdje je prikazano da se oko primarnih kristala nalazi krhki eutektikum, okruglaste čestice Cu_2O u bakru, koji smanjuje rasteznu čvrstoću (oko 200 MPa). Kao rezultat toplog gnječenja lijevačke strukture na temperaturama iznad rekristalizacije (oko 650°C) dobiva se struktura ustinjenog izgleda s izdrobljenim eutektikumom koju karakteriziraju povećana čvrstoća i rastezljivost, a kod hladnog gnječenja povećava se čvrstoća, ali zato rastezljivost pada.

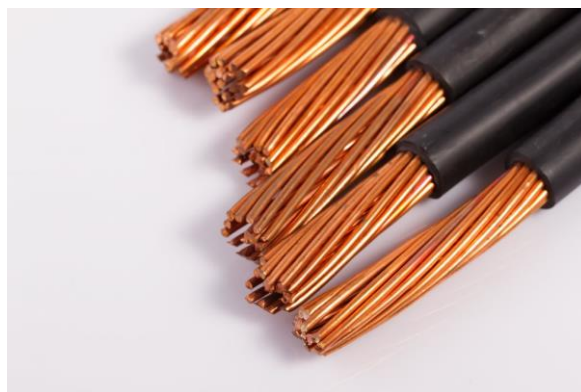


Slika 3.2: Struktura bakra (tamne čestice Cu_2O u bakrenoj matrici) [4]

Danas, primjerice u strojogradnji kao konstrukcijski materijal čisti bakar nema veliku ulogu nego se uglavnom koriste njegove legure. Najveću upotrebu ima kao antikorozijski materijal, najčešće u cijevastom obliku i kao lim, ili nanesen na čeličnu podlogu. U mehatronici je među vodećim vodičima električne energije zbog svoje velike električne i toplinske vodljivosti. Koristi se u gotovo svim elektro uređajima i materijalima. Po električnoj i toplinskoj vodljivosti je odmah iza srebra, a čine ga i ostala svojstva: mehanička čvrstoća, oksidacijska otpornost, otpornost na puzanje i umor te naravno već navedena dobra otpornost na koroziju u svakodnevnim uvjetima i morskoj sredini.

Tablica 3.1: Osnovna fizikalna i mehanička svojstva bakra [5]

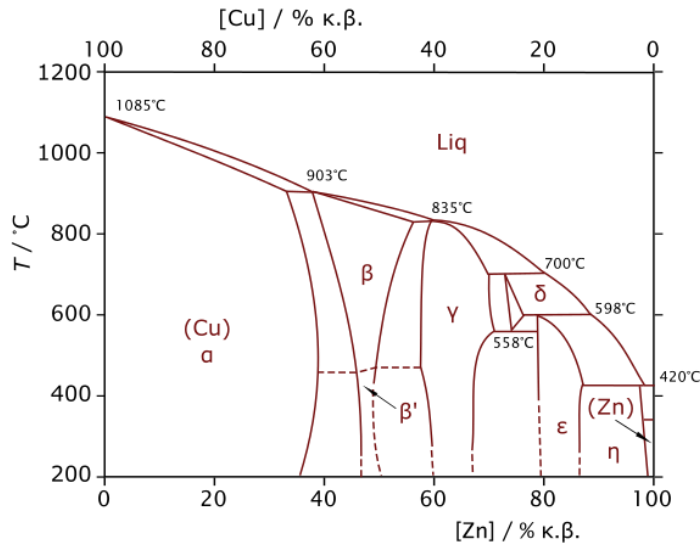
GUSTOĆA (ρ)	8930 kg/m ³
TALIŠTE (T_t)	1083 °C
VRELIŠTE (T_v)	2562 °C
MODUL ELASTIČNOSTI (E)	125 000 N/mm ²
TOPLINSKA RASTEZLJIVOST (α)	17*10 ⁻⁶ /K
ELEKTRIČNA VODLJIVOST (G)	35 - 58 m/Ωmm ²
TOPLINSKA VODLJIVOST (λ)	240 - 386 W/mm ²



Slika 3.3: Bakreni kablovi/žice [6]

Legure bakra

Mjedi su Cu-Zn legure koje zajedno čine dobru električnu i toplinsku provodnost, zadovoljavajuća mehanička i antikorozivna svojstva. Cink se tali na 419 °C, a na temperaturi od 906 °C isparava te se kristalizira u obliku heksagonske gusto pakirane rešetke. Dijagram slijevanja bakar-cink peritektičkog je karaktera, a udio cinka u mjedi se kreće uglavnom od 25 do 44 %.



Slika 3.4: Dijagram Cu-Zn [7]

Homogeno područje α (alfa) mješanaca s plošno centriranom kubnom rešetkom sadrži do 32,5 % Zn. Kod višeg udjela cinka dobiva se dvofazna $\alpha + \beta$ struktura, a dalje područje homogene beta faze je krhko zbog komplicirane prostorno centrirane kubne rešetke. Područje dvofazne $\beta + \gamma$ strukture zbog krhke rešetke intermetalnog spoja γ mjedi nije u primjeni. Struktura bakra jako utječe na mehanička svojstva mjedi, a ovisnost svojstava bakra o temperaturi žarenja. Kod maksimalnog udjela cinka homogene mjedi imaju najveću rastezljivost, dok se u heterogenoj, dvofaznoj mjedi postiže najveća čvrstoća. Kod izrade predmeta postupkom visokog stupnja deformacije koristi se mjed iz homogenog područja s maksimalnim udjelom Zn, a to bi bio oko 32,5 % i time se boja mjedi požućuje s povećanim udjelom cinka. U mjedi se osim cinka ubrajaju i Al, Mn, Ni, Si ili Pb koji poboljšavaju otpornost prema koroziji i mehanička svojstva. Povišenjem udjela Al do 2 % u leguri se povećavaju mehanička čvrstoća i antikoroziivnost, sa Mn do 3 % se povećava čvrstoća u toplom stanju te poboljšavaju klizna svojstva, a sa Fe, Si, Al, Mn ukupno do 4 % raste čvrstoća na 600 MPa.

Tablica 3.2: Kemijski sastav i mehanička svojstva te primjena mjedi i posebnih mjedi [5]

Oznaka prema DIN-u	Postotak udjela u masi	Mehanička svojstva	Primjena i opis
CuZn15	Cu 84-86% Zn ostatak	Rp0,2 = 220 N/mm2 Rm = 310 N/mm2 A5 = 22 % ; HB ≈ 95	Jako dobro se oblikuje hladnim postupkom, a glavna primjena bi bila za instalacijske dijelove elektrotehnici, mjerne instrumente i tijela opruga.
CuZn30	Cu 69-71% Zn ostatak	Rp0,2 = 230 N/mm2 Rm = 350 N/mm2 A5 = 30 % ; HB ≈ 110	Pogodna za duboka vučenja i dobra lemljivost, a primjena je za platiranje čelika, lisnate orpuge i opružne dijelove za spojeve utikačem.
CuZn37	Cu 62-64% Zn ostalo	Rp0,2 = 250 N/mm2 Rm = 370 N/mm2 A5 = 27 % ; HB ≈ 110	Vodeća legura za hladno oblikovanje dubokim vučenjem, prešanjem, utiskivanjem, valjanjem i savijanjem. Dobro lemljiva i zavarljiva.
CuZn40	Cu 59,5-61,5% Zn ostalo	Rp0,2 = 250 N/mm2 Rm = 410 N/mm2 A5 = 20 % ; HB ≈ 120	Oblikovljiva hladno i toplo, u usporedbi na prethodne legure je poboljšana obradljivost, dobra primjena kao dijelovi za okove i brave te dna kondenzatora.
CuZn36Pb3	Cu 60-62,5% Pb 2,5-3,5% Zn ostalo	Rp0,2 = 250-350 N/mm2 Rm = 400-460 N/mm2 A5 = 18-12 % ; HB ≈ 115-140	Hladno oblikovanje i rezljivost su dobri. Dobra je legura za sve postupke obrade odvajanjem čestica, a prikladna je i za obradu na automatima.
CuZn39Pb3	Cu 57-59% Pb 2,5-3,5% Zn ostalo	Rp0,2 = 250-390 N/mm2 Rm = 430-500 N/mm2 A5 = 15-11 % ; HB ≈ 125-145	Dobre joj rezljivost i toplo oblikovanje. Glavna je legura za obradu na automatima- sve vrste dijelova za obrade tokarenjem.
CuZn40Pb2	Cu 57-59% Pb 1,5-2,5% Zn ostalo	Rp0,2 = 250-390 N/mm2 Rm = 430-500 N/mm2 A5 = 15-11 % ; HB ≈ 125-145	Urarska mjed. Rezljivost i topla oblikovanja gotovo ista kao i kod CuZn39Pb3, ali je ograničena što se tiče hladnog oblikovanja. Kao i CuZn36Pb3, dobra je legura za sve postupke obrade odvajanjem čestica i dobra je za prešane profile točnih mjera.
CuZn31Si1	Cu 66-71% Si 0,7-1,3% Zn ostatak	Rp0,2 = 200-290 N/mm2 Rm = 440-490 N/mm2 A5 = 22-15 % ; HB ≈ 120-150	Primjenjuje se kod kliznih i većih opterećenja, primjerice za kućišta ležaja, vodilice i ostale klizne elemente.
CuZn35Ni2	Cu 58-61% Ni 2-3% Al 0,3-1,5 Mn 1,5-2,5% Zn ostalo	Rp0,2 = 190-390 N/mm2 Rm = 440-540 N/mm2 A5 = 20-12 % ; HB ≈ 120-150	Konstruktivski materijal srednje do visoke čvrstoće. Primjena u brodogradnji i izradi aparata.
CuZn40Al2	Cu 56,5-59,5% Al 1,3-2,3% Mn 1,4-2,6% Ni ≤ 2 , Fe ≤ 1 Si 0,3-1, Zn ostalo	Rp0,2 = 240-310 N/mm2 Rm = 540-640 N/mm2 A5 = 18-10 % ; HB ≈ 150-170	Konstruktivski materijal visoke čvrstoće. To je legura dobro otporna na vremenske utjecaje i primjena joj je kod povećanih kliznih opterećenja.
CuZn40Mn2	Cu 57-59% Mn 1-2,5% Fe ≤ 1,5, Ni ≤ 1 Zn ostalo	Rp0,2 = 170-270 N/mm2 Rm = 440-490 N/mm2 A5 = 20-18 % ; HB ≈ 120-135	Konstruktivski materijal srednje čvrstoće. Lemljiv i otporan na vremenske utjecaje. Primjena kod izrade aparata, arhitektura, prigušnih šipki..



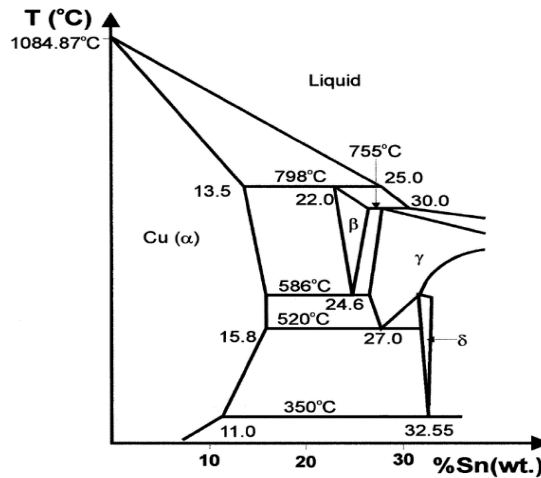
Slika 3.5: Mjedeni fitinzi [8]

Bronce u uobičajnom smislu su legure bakra i kositra. Danas se bronce najviše podrazumijevaju kao legure bakra i drugih metala, ali sa cinkom u jako malom postotku udjela. Kad se govori o bronci misli se u većini slučajeva samo na kositreanu broncu, ali osim kositra tu su i ostali elementi koji preuzimaju istu ulogu pa se stoga bronca naziva po njima (fosforna, berilijeva, silicijeva, manganska i aluminijska bronca).



Slika 3.6: Bronca i legure [9]

Kositrena bronca - Kositar se većinski predstavlja kao strateški materijal. Dijagram slijevanja bakar - kositar, kao i dijagrami slijevanja ostalih elemenata koji tvore bronce gledaju se kao peritektički dijagrami s nepotpunom rastvorivošću u krutini i intermetalnim ili kemijskim spojevima. Primjenju se uglavnom samo pojedini dijelovi koncentracija koji sadrže najviše nekoliko desetaka postotaka legiranih elemenata. Kositar ima tetragonsku prostorno centriranu kubnu rešetku i u smjesi sa bakrom stvara plošno centrirani kubni mješanac do koncentracija od 5 do 8 % Sn, zavisno od brzine hlađenja, a legure iznad 20 % Sn se zbog tvrdoće praktički ne upotrebljavaju.



Slika 3.7: Dijagram Cu-Sn [10]

Tablica 3.3: Kemijski sastav i mehanička svojstva te primjena kositrene bronce [5]

Oznaka prema DIN- u	Postotak udjela u masi	Mehanička svojstva	Primjena i opis
G-CuSn12	Cu 84-88,5% Sn 11-13%	Rp0,2 = 140 N/mm ² Rm = 260 N/mm ² A5 = 12	Legura otporna na trošenje, koroziju i morsku vodu. Koristi se kod spojki ili dijelova spojki, matica vretena koje su opterećene okretanjem vijenaca pužnih kotača. Koriste se i kao konstrukcijski dijelovi - u obliku cijevi kao dugački profili, primjerice kao: košuljice cilindri, vijenci pužnih kotača ili pak kao visoko opterećene stojeće/ležeće letve.
G-CuSn12Ni	Cu 84-87 Sn 11-13% Ni 1,5 - 2,5%	Rp0,2 = 160 N/mm ² Rm = 280 N/mm ² A5 = 14	Vrlo dobro otporna na trošenje i morsku vodu, a koristi se za visoko opterećene spojke ili dijelove spojki, visoko opterećene armature i kućišta crpki, lopatice za crpke i vodne turbine.
G-CuSn12Pb	Cu 84-87% Sn 11-12% Pb 1-2%	Rp0,2 = 140 N/mm ² Rm = 260 N/mm ² A5 = 10	Pogodna je kod izrade ležajeva koji imaju zadovoljavajuća mehanička svojstva pri prisilnom kotrljanju i otpornost na trošenje. Koristi se i za klizne letve, ploče i sl.
G-Cu Sn10	Cu 88-89% Sn 9-11%	Rp0,2 = 130 N/mm ² Rm = 270 N/mm ² A5 = 18	Legura sa visokom žilavošću koja je otporna na koroziju i morsku vodu. Koristi se za armature i kućišta crpki, turbinska kola i crpki, kao cijevasti dijelovi za klizne ležaje, letve, matice opterećene okretanjem i sl.
G-CuSn5ZnPb	Cu 84-86% Sn, Zn, Pb 4-6%	Rp0,2 = 90 N/mm ² Rm = 220 N/mm ² A5 = 16	Legura koja ima dobru livljivost. Dobro se lemi i korozijski je otporna u morskoj vodi, a koristi se za armature za vodu i paru do 225°C i za tankostijene složene odljevke..



Slika 3.8: Košuljica ležaja od kositrene bronce [11]

Fosforna bronca se sastoji od male količine fosfora uz normalnu, uobičajnu količinu kositra koji povećava i olakšava mogućnost lijevanja i dobro dezoksidira talinu. Fosfor s bakrom ima veliku ulogu što se tiče povećanja čvrstoće metala, a samim time i tvrdoće. Fosforna bronca se može ubrojiti u onu skupinu materijala koji su otporni na trošenje. Dodatkom berilija povećava se čvrstoća, ali se smanjuje električna vodljivost. Kada se naglo hladi berilijeva bronca s oko 800 °C, tada nastane meka, neravnotežna struktura, a kada se podgrijava na 300 °C omogućava se difuzijsko izlučivanje sekundarne fino raspršene faze radi koje jako očvrstne berilijeva bronca.



Slika 3.9: Opruge od fosforne bronce [12]

Olovne bronce su još i olovno - kositrene bronce jer se uglavnom bakar legira sa oba metala zajedno. Uglavnom se broncama kao i mjedima dodaje do 3 % Pb zbog poboljšavanja rezljivosti, a kod posebnih legura se dodaje za posebne namjene kao naprimjer klizne ležaje dodaje se do 25 % Pb. Imaju visoku toplinsku vodljivost pa se koriste pri većim brzinama te uz normalno podmazivanje imaju odličnu otpornost na trošenje.

Tablica 3.4: Kemijski sastav i mehanička svojstva te primjena olovne bronce [5]

Oznaka prema DIN-u	Postotak udjela u masi	Mehanička svojstva	Primjena i opis
G-CuPb5Sn	Cu 84-87% Pb 4-6%	Rp0,2 = 130 N/mm2 Rm = 240 N/mm2 A5 = 15	Legura otporna na koroziju te pare sumpora i solne kiseline. Primjena: za klizne ležaje s većim specifičnim opterećenjem, za armature otporne na kiseline i sl.
G-CuPb10Sn	Cu 78-82% Pb 8-11% Sn 9-11%	Rp0,2 = 80 N/mm2 Rm = 180 N/mm2 A5 = 8	Legura koja ima dobra klizna svojstva i otporna je na trošenje i koroziju. Koristi se za ležajeva sa većim površinskim opterećenjem te kod ležaja vozila i valjačkih strojeva..
G-CuPb15Sn	Cu 75-79% Pb 13-17% Sn 7-9%	Rp0,2 = 170 N/mm2 Rm = 180 N/mm2 A5 = 8	Ima dobra klizna svojstva i pri nedovoljnom podmazivanju, otporna je na sumpornu kiselinu. Primjena: za ležaje s velikim specifičnim opterećenjem uz dobro podmazivanje, za antikorozivne armature i sl.
G-CuPb20Sn	Cu 69-76% Pb 18-23% Sn 4-6%	Rp0,2 = 90 N/mm2 Rm = 160 N/mm2 A5 = 6	Legura sa izuzetno dobrim kliznim svojstvima i koristi se za najveća specifična opterećenja i male brzine uz nedovoljno podmazivanje i/ili podmazivanje vodom. Otporna je na sumpornu kiselinu i slabije je livljivosti nego G-CuPb15Sn, a koristi se kod izrade ležajeva mlinova, crpki, kod valjaonica za hladno valjanje lima i folija i sl.



Slika 3.10: Čahure osovina od olovne bronce [13]

Manganska bronca je dosta žilav materijal svjetlije boje, antikorozivan i otporan na kavitaciju i stoga se koristi kod izrade brodskih propelera, rotora pumpi i vodnih turbina. Ima dobru zavaraljivost, pa se površine oštećene kavitacijom mogu popraviti navarivanjem, ali joj je (zbog žilavosti) loša rezljivost.

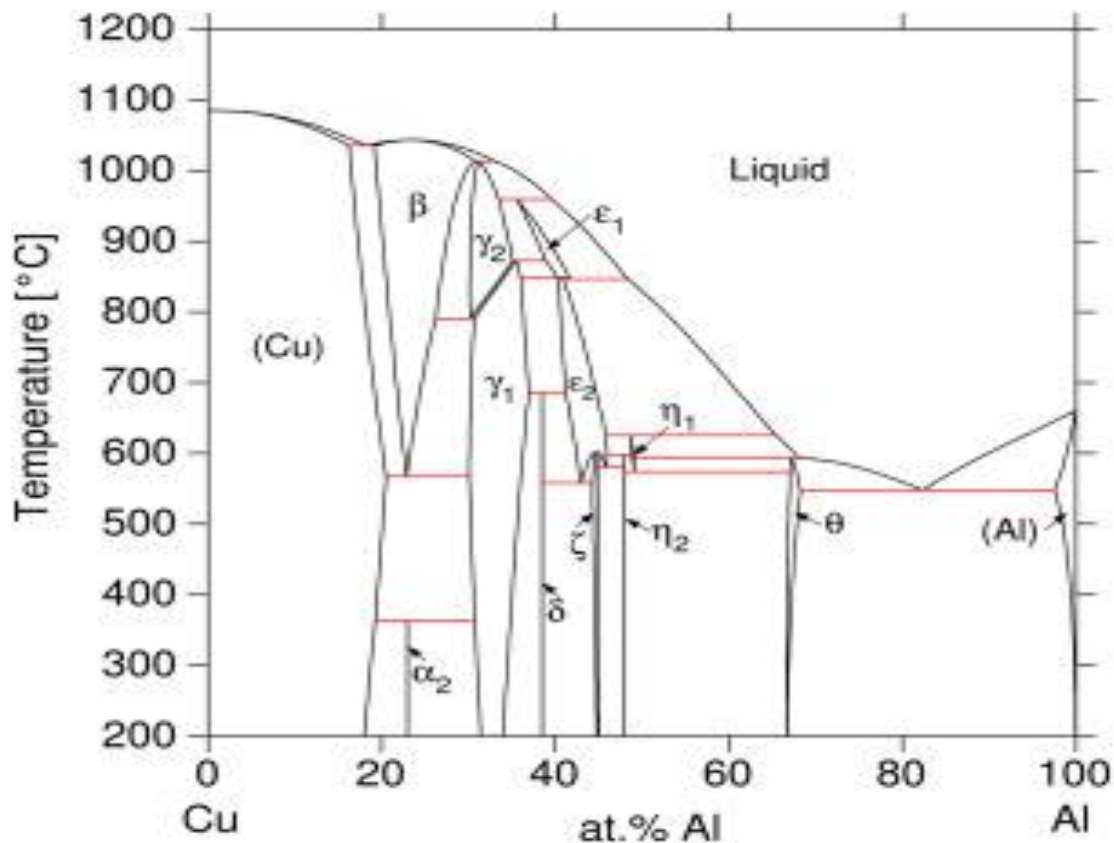
Silicijeva bronca je rijetko dvokomponentna legura koja koristi do oko 4 % Si sa dodacima Zn, Sn, Mn, Ni ili Fe. Dobro se zavaruje, ima visoku žilavost, a opisuju je odlična otpornost na koroziju i trošenje te ima izvanrednu podobnost na hladnu i toplu preradu.

Berilijeva bronca sadrži od 1,5 do 2 % Be, a može sadržavati i manji postotak kobalta ili nikla. Primjenjuje se u hladno gnječenom i toplinski očvršnom stanju i tu leguru opisuju dobra otpornost na trošenje, pogodna električna vodljivost i nemagnetičnost koje omogućavaju primjenu kod izrade opruga preciznih alata i alata za lijevanje polimernih materijala.

Tablica 3.5: Kemijski sastav i mehanička svojstva te primjena berilijeve bronce [5]

Oznaka legure prema DIN-u	Postotak udjela u masi	Mehanička svojstva	Primjena i opis
CuBe2	Be 1,8-2,1% Ni+Co 0,2-0,6% Cu ostalo	Rp0,2 = 140-210 N/mm2 Rm = 420-60 N/mm2 A5 = 35 , HV ≈ 90-125	Legura srednje električne vodljivosti, vrlo visoke čvrstoće i tvrdoće. Otporna je na trošenje i pri povišenim temperaturama, a koristi se za sve opruge, neiskreće alate, kalupe za lijevanje polimernih materijala i sl.
CuBe2Pb	Be 1,8-2,1% Ni+Co 0,2-0,6% Pb 0,2-0,6% Cu ostalo	Rp0,2 = 500-1400 N/mm2 Rm = 600-1500 N/mm2 HV ≈ 180-430	Legura sa istom kvalitetom kao i prijašnja. Srednje je električne vodljivosti, vrlo visoke čvrstoće i tvrdoće. Otporna je na trošenje i pri povišenim temperaturama, a koristi se za sve opruge, neiskreće alate, kalupe za lijevanje polimernih materijala i sl.
CuCoBe2	Be 0,4-0,7% Co 2-2,8% Ni+Fe 0,5% Cu ostalo	Rp0,2 = 140-210 N/mm2 Rm = 250-370 N/mm2 A5 = 20 , HV ≈ 70-100	Opisuju je: visoka čvrstoća i tvrdoća, osrednja električna vodljivost i mehanička otpornost pri povišenim temperaturama. Koristi se u elektrodama za točasto i ostalo zavarivanje, za osovine i ležaje vodiča, elektrovodljive opruge i kontaktne dijelove i kod alata za rad na povišenim temperaturama
CuNi2Be	Be 0,2-0,6% Ni 1,4-2% Cu ostalo	Rp0,2 = 380-880 N/mm2 Rm = 450-950 N/mm2 HV ≈ 13-260	Također kao i prijašnju opisuju je: visoka čvrstoća i tvrdoća, osrednja električna vodljivost i mehanička otpornost pri povišenim temperaturama. Koristi se u elektrodama za točasto i ostalo zavarivanje, za osovine i ležaje vodiča, elektrovodljive opruge i kontaktne dijelove i kod alata za rad na povišenim temperaturama

Aluminijska bronca – danas se sve više može zamjeniti sa kositrenom broncom radi pristupačnije cijene i lakše nabave aluminija. U većini slučajeva aluminij ima udio od 8 do 11 %, a najviše ima i do 15 % jer kod viših udjela nastaju krhke faze. Uz visoku čvrstoću, aluminijska bronca ima dobro antikorozivno svojstvo u morskoj vodi i odlično se zavaruje. Bronce se mogu toplinski i mehanički obraditi radi postignuća povećane čvrstoće ili plastičnosti. Ima veliku primjenu kod jako opterećenih dijelova gdje je prisutna korozija te se primjenjuje kod izrade kovanih dijelova za rad na toplu pod pritiskom.



Slika 3.11: Dijagram slijevanja Cu-Al [14]

Tablica 3.6: Kemijski sastav i mehanička svojstva te primjena aluminijske bronce [5]

Oznaka prema DIN-u	Postotak udjela u masi	Mehanička svojstva	Primjena i opis
Cu-Al8	Al 7-9% Cu ostalo	Rp0,2 = 120-270 N/mm ² Rm = 370-490 N/mm ² A5 = 35-15 HB ≈ 90-130	Koristi se u kemijskoj industriji prvenstveno zbog otpornosti na sumpornu i octenu kiselinu.
CuAl8Fe3	Al 6,5-8,5% Fe 1,5-3,5 % Cu ostalo	Rp0,2 = 200-270 N/mm ² Rm = 470-590 N/mm ² A5 = 25-10 HB ≈ 110-150	legura koja se može hladno oblikovati. Koristi se kod izrade podnožja kondenzatora, limove kemijskih aparata i sl.
CuAl10Fe3Mn2	Al 8,5-11% Fe 2-4% Mn 1,5-3,5% Cu ostalo	Rp0,2 = 250-340 N/mm ² Rm = 590-690 N/mm ² A5 = 12-7 HB ≈ 150-180	Koriste se kao konstrukcijski dijelovi kemijskih aparata koji su otporni na visokotemperaturnu oksidaciju, primjerice osovine, šarafi, blazinice ležaja..
CuAl10Ni5Fe4	Al 8,5-11% Ni 4-6% Fe 2-5% Cu ostalo	Rp0,2 = 270-390 N/mm ² Rm = 640-740 N/mm ² A5 = 15-10 HB ≈ 180-185	Koristi se za npr. dna kondenzatora, osovine, šarafe, potrošne dijelove, blazinice ležaja, upravljačke dijelove za hidrauliku, usisne valjke i sl.



Slika 3.12: Kuglasti ventil od aluminijske bronce [13]

Bakar - nikal legure tvore sustav potpune rastvorivosti u krutnini, sa zamjenskim mješancima koji čine plošno centriranu kubnu rešetku. Legure koje sadržavaju nikal ispod 30 % su legure sa svojstvima bližim bakru, a legure u kojima je udio nikla preko 70 % spadaju u skupinu niklovih legura. U te legure se još dodavaju i male količine željeza i mangana. Bakar - nikal legure imaju dobro antikorozijsko svojstvo u morskoj vodi i otpornost na kavitaciju te im se istovremeno povećava i čvrstoća koja može parirati čvrstoći nehrđajućeg čelika. Zavarljivost im je odlična, a otporne su i na obraštanje morskih organizama. Imaju posebnu primjenu kod izrade kovanog novca.

Tablica 3.7: Kemijski sastav i mehanička svojstva te primjena legure Cu-Ni [5]

Oznaka prema DIN-u	Postotak udjela u masi	Mehanička svojstva	Primjena i opis
CuNi10Fe1Mn	Ni 9-11% Fe 1-2% Mn 0,5-1% Cu ostalo	Rp0,2 = 100-250 N/mm2 Rm = 280-350 N/mm2 A5= 30-10 % HB ≈ 80-100	Jaka otpornost na koroziju, eroziju i kavitaciju, dobro je zavarljiva. Primjena: kod cijevi za vodovode sa morskom vodom; za cijevi, ploče i podnice kod kondenzatora, kod izmjenjivača topline i grijača voda i kod pripreme slatkih voda, klima uređaja, vodova za kočnice, rebrastih cijevi i sl.
CuNi30Mn1Fe	Ni 30-32% Fe 0,4-1% Mn 0,5-1,5% Cu ostalo	Rp0,2 = 120-300 N/mm2 Rm = 340-420 N/mm2 A5= 35-14 % HB ≈ 90-120	Također jako optorna na koroziju, eroziju i kavitaciju i dobro je zavarljiva. Primjena: cijevovodi u brodogradnji; za cijevi, ploče i podnice kod kondenzatora, kod izmjenjivača topline rashladnika ulja, proizvodnje pitke vode od morske, klima uređaja, rebrastih cijevi i sl.



Slika 3.13: Cu-Ni legirane prirubnice [15]

Novo srebro je legura bakra, nikla i cinka. Zbog većeg udjela nikla u kemijskom sastavu (do 18 % Ni) legura ima srebrnu boju površine. Te legure imaju uglavnom primjenu u preciznoj mehanici, izradi posuđa i metalnog novca.

Tablica 3.8: Kemijski sastav i mehanička svojstva te primjena novog srebra [5]

Oznaka prema DIN-u	Postotak udjela u masi	Mehanička svojstva	Primjena i opis
CuNi12Zn24	Cu 63-66% Ni 11-12% Zn ostatak	Rp0,2= 290-540 N/mm ² Rm = 340-640 N/mm ² A5 = 40-8 % HB ≈ 85-195	Dobro hladno oblikovljiva legura. Primjena: za duboko vučenje, stolni pribor, ukrasne predmete u graditeljstvu, unutarnju arhitekturu i dr.
CuNi18Zn20	Cu 60-63% Ni 17-19% Zn ostatak	Rp0,2= 340-570 N/mm ² Rm = 340-570 N/mm ² A5 = 40-5 % HB ≈ 95-190	Također kao i prethodna legura, ali još postojanija. Koristi se prvenstveno za opruge.
CuNi12Zn30Pb1	Cu 56-58% Ni 11-13% Pb 0,3-1,5% Zn ostatak	Rp0,2= 240-370 N/mm ² Rm = 410-490 N/mm ² A5 = 25-8 % HB ≈ 120-150	Glavna primjena joj je za obradu odvajanjem čestica, a koristi se kod fine mehanike, optika, ključeva i dr.
CuNi18Zn19Pb1	Cu 59-63% Ni 17-19% Pb 0,3-1,5% Zn ostatak	Rp0,2= 290-420 N/mm ² Rm = 430-530 N/mm ² A5 = 25-6 % HB ≈ 135-160	Ima primjenu i svojstva kao prethodna legura, ali je postojanija.



Slika 3.14: Trake od novog srebra [9]

3.1.2. Olovo

Olovo (Pb) – metal s niskim talištem od 327 °C koji ima plošno centriranu kubnu rešetku (FCC). Mogućnost plastične deformacije mu je velika i može podnijeti kontinuirane deformacije zbog niske temperature rekristalizacije. Kod prisutnosti zraka prevlači se slojem olovnog oksida, PbO_2 , a u vodi slojem karbonata, $PbCO_3$ uz djelovanja ugljične kiseline. Oporan je u većini slučajeva što se tiče korozije i odlično apsorbira ionizirajuća zračenja. Olovo, ukoliko se unosi u tijelo dodirrom ili otopljeno u hrani može biti kobno za organizam zbog svoje otrovnosti, a prilikom rada potrebno je koristiti zaštitnu opremu. Ima visoku specifičnu težinu koja je jako korisna tamo gdje je potrebno puno mase na što manjem volumenu, a čisto olovo ili legirano koristi se kod izrade sanitarnih cijevi, oblaganja spremnika različitih kiselina, brtvi i zaštite podzemnih kablova. Primjenjuje se i za platiniranje čelika za postizanje otpornosti atmosferskoj koroziji, kod punjenja projektila i slično dok se velike količine olova troše kod izrade akumulatora.

Tablica 3.9: Osnovna svojstva olova [5]

GUSTOĆA	11 340 kg/m ³
TALIŠTE	327 °C
VRELIŠTE	1740 °C
ELEKTRIČNA VODLJIVOST	5 m/Ωmm ²
VLAČNA ČVRSTOĆA	10-15 N/mm ²
MODUL ELASTIČNOSTI	17 500 N/mm ²



Slika 3.15: Sekundarno olovo [16]

3.1.3. Cink

Cink (Zn) je metal koji se dobro lijeva i ima gusto složenu heksagonsku kristalnu strukturu (HCP) zbog koje je prikladan za oblikovanja deformacijom. Sa željezom stvara intermetalni tvrdi spoj. U galvanskom nizu negativniji je od željeza, tako da u dodiru željezo - cink u elektrolitu dolazi do rastvaranja cinka, koji time štiti željezo. Temperatura tališta mu iznosi 419 °C, a gustoća 7140 kg/mm³. Koristi se za nanošenje antikorozivnih prevlaka na čelicima, umakanjem u talinu ili naštrcavanjem te kao dodatak bojama. Također se potrebljava se za anode to jest protektore čelika u morskoj vodi i vlažnim sredinama koje se često legiraju i s aluminijem dok se u građevinarstvu koristi u obliku pocinčanih limova za izradu građevinske limarije. Puno se koriste legure cinka kod izrade precizno lijevanih dijelova koji ne zahtijevaju daljnju obradu (legura se aluminijem i bakrom) . Cink se često koristi u legurama bakra i aluminija jer im povećava čvrstoću stvaranjem intermetalnih spojeva.

Tablica 3.10: Osnovna svojstva cinka [5]

GUSTOĆA	7140 kg/m ³
TALIŠTE	419 °C
VRELIŠTE	906 °C
ELEKTRIČNA VODLJIVOST	17 m/Ωmm ²



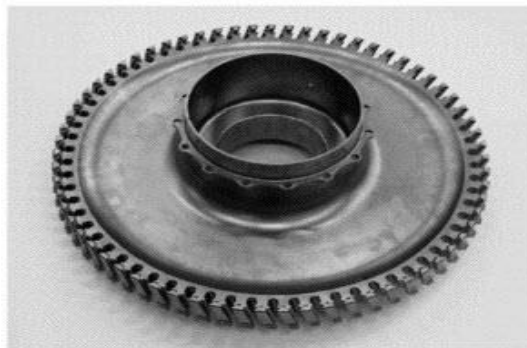
Slika 3.16: Pocinčavanje konstrukcijskih dijelova dalekovoda [17]

3.1.4. Nikal i njegove legure

Talište nikla (Ni) iznosi 1455 °C i ima plošno centriranu kubnu rešetku (FCC). Na temperaturama ispod 360 °C ima slabu magnetičnost. Gnječeni nikal ima mehaničku čvrstoću i do 850 MPa, a rastezljivost mu je do 40 %. Mehanička čvrstoća mu ostaje ista i na 400 °C te posjeduje oksidacijsku i korozivnu otpornost kod većine agresivnih sredina. U svom stopostotnom obliku se koristi kao antikorozijski sloj na površini čelika i kao ukrasne prevlake koje se nanose na određeni materijal. Veliku primjenu nikal ima u svojim legurama i kao legirni element u legiranim željezima. U legurama željeza nikal poboljšava antikorozivna svojstva, a u većim količinama onemogućava transformaciju austenita u ferit, tako da na sobnoj temperaturi ostane stabilna austenitna faza. Sa kromom predstavlja nekoliko skupina nehrđajućih čelika, od kojih je čelik s homogenom austenitnom fazom nemagnetičan, a sa željezom tvori zamjenski mješanac.

Tablica 3.11: Osnovna tablica nikla [5]

GUSTOĆA	8900 kg/m ³
TALIŠTE	1455 °C
VRELIŠTE	2913 °C
MODUL ELASTIČNOSTI	210 000 N/mm ²
TOPLINSKA RASTEZLJIVOST	13 10 ⁻⁶ /K



Slika 3.17: Nikleni disk turbine zrakoplova [18]

Tablica 3.12: Kemijski sastav i mehanička svojstva te primjena niklenih legura [5]

Oznaka prema DIN-u	Postotak udjela u masi	Mehanička svojstva	Primjena i opis
NiCu30Al	Ni+Co ≥ 63% Fe 0,5-2% Cu 28-32% C ≤ 0,15% Mn ≤ 1% Al 2-3;3-15% Ti 0,3-0,5%	Rp0,2 = 725-790 N/mm2 Rm ≥ 1120 N/mm2 A5 ≥ 25	Precipitacijskim očvršćenjem povećavaju se granica razvlačenja i čvrstoća te ostaje dobra otpornost na koroziju. Primjenjuje se u dijelovima povećane čvrstoće, otpornim na koroziju i trošenje kao npr. osovine za propelere i pumpe, ventile i čahure i dr.
NiCr21Mo	Ni 38-42% Cr 20-22% Fe 31-35% Cu 1,5-3% C ≤ 0,02% Mo 2,5-3% Ti 0,6-1%	Rp0,2 = 155-220 N/mm2 Rm ≥ 550 N/mm2 A5 ≥ 30	Legura otporna na sumpornu i fosforu kiselinu, a koristi se za dobivanje nafte i plina (na kopnu u moru), kao izmjenjivači topline, vodovi i transportne cijevi. U tlačnim spremnicima se upotrebljava do temperature stijenki od 425°C.
NiMo28	Ni 70-72% Cr ≤ 1% Fe ≤ 2% C ≤ 0,01% Mo 27-30% Si ≤ 0,06% Co ≤ 1	Rp0,2 = 255-340 N/mm2 Rm = 750 N/mm2 A5 = 40	Izuzetno otporna na solne, octene, sumpornu i dušične kiseline te na plinovite klorovodike. Radi malog udjela ugljika, željeza i silicija otporna je na interkristalnu koroziju u području vara i stoga se može koristiti bez daljne toplinske obrade.
NiCr20Ti	Ni 72-76% Cr 19-21% Fe ≤ 5% C 0,08-0,13% Si 0,3-0,7% Ti 0,2- 0,6%	Rp0,2 = 240-450 N/mm2 Rm = 650 N/mm2 A5 = 25	Ima visoku oksidirajuću otpornost i izvrsna mehanička svojstva kod visokih temperatura te se stoga rabi kao lim u izgradnji industrijskih peći, turbina i opreme za toplinsku obradu.
NiCr23Co12Mo	Ni 53-57% Cr 20-23% Fe ≤ 2% C 0,05% Mo 8-10% Ti 0,2-0,6% Co 10-13% Al 0,6-1,5%	Rp0,2 = 185-300 N/mm2 Rm = 700 N/mm2 A5 = 35	Ima dobru čvrstoću i antikorozivna svojstva te zadovoljavajuću otpornost na oksidaciju i pougljičenje u vrućim plinovima i do 1100°C. Primjena: za dijelove plinskih turbina, grijače zraka, dijelove peći i mlazne cijevi. Pogodna za sve vrste toplog i hladnog oblikovanja.

3.1.5. Titanij

Titanij (Ti) je „najlakši“ metal od težih obojenih metala. Tvrd je i sjajan, ali lagan i snažan metal srebrnkaste boje sa dobrim antikorozivnim svojstvom, a zbog sloja oksida na svojoj površini i lako je zapaljiv u prašnatom obliku. Široko je rasprostranjen, a najviše se u prirodi pronalazi u Rusiji, Norverškoj, Kanadi i Africi te nešto manje u drugim dijelovima svijeta. Samo dobivanje titana se provodi u nekoliko faza - dobivanjem granula, prešanjem te taljenjem u elektrolučnim pećima. Čisti titanij ima najveću upotrebljivost kao antikorozijski materijal kod primjerice platiranja posuda u prehrambenoj industriji, a industrijska proizvodnja mu je krenula za vrijeme Hladnog rata kada je govorilo da je titanij zbog svojih fizikalnih i mehaničkih svojstava (omjer čvrstoće i gustoće, visoko

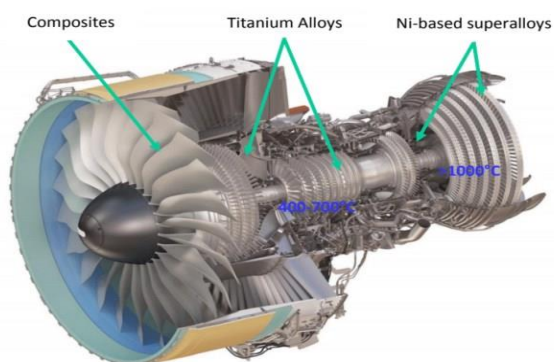
talište, otpornost na umor..) metal doba svemirskih istraživanja. Njegove legure se često koriste u aviotehnici kod primjerice izrade nekih elemenata trupa (primjerice krila) i dijelova motora za nadzvučne avione, koji su uglavnom na visokim temperaturama u letu. Koristi se i kao nakit te kod izrade reznih alata.

Tablica 3.13: Osnovna svojstva titanija [5]

GUSTOĆA	4500 kg/m ³
TALIŠTE	1670 °C
VRELIŠTE	3287 °C
TOPLINSKA RASTEZLJIVOST	9*10 ⁻⁶ /K
MODUL ELASTIČNOSTI	110 000 N/mm ²



Slika 3.18: Valjčaste poluge titanija [19]



Slika 3.19: Primjena nikla i titana u plinskoj turbini zrakoplova [18]

Tablica 3.14: Kemijski sastav i mehanička svojstva titanijevih legura ovisno o toplinskoj obradi [5]

Legura	Toplinska obrada	Mehanička svojstva
TiAl5Sn2,5	rekristalizacijski žareno 790°C/zrak	Rp0,2 = 850 N/mm ² Rm = 950 N/mm ² A5 = 15 %
TiAl6V4	rekristalizacijski žareno 750°C/zrak	Rp0,2 = 890 N/mm ² Rm = 970 N/mm ² A5 = 13 %
TiAl6V4	rastvorno žareno 930°C/voda + 540°C/zrak	Rp0,2 = 1080 N/mm ² Rm = 1180 N/mm ² A5 = 11 %
TiV13Cr11Al3	rekristalizacijski žareno 790°C/zrak	Rp0,2 = 900 N/mm ² Rm = 950 N/mm ² A5 = 14 %
TiV13Cr11Al3	rastvorno žareno 790°C/voda + 480°C/zrak	Rp0,2 = 1220 N/mm ² Rm = 1290 N/mm ² A5 = 7 %
TiV13Cr11Al3	rastvorno žareno 790°C/zrak + hladno oblikovanje + 440°C/zrak	Rp0,2 = 1700 N/mm ² Rm = 1820 N/mm ² A5 = 4 %

3.1.6. Ostali teški obojeni metali

Ostali teški metali imaju posebne primjene u čistom ili legirajućem obliku. Uglavnom su skupi i nepristupačni kao prethodni metali, a nerijetko i samo jedna do dvije tvornice proizvodi neki metal. Teški metali nižeg tališta imaju u načelu malu čvrstoću (mala energija vezivanja, pa se lakše i tale) dok su metali višeg tališta mehanički čvrsti i uglavnom tvrdi, a zadržavaju čvrstoću i kod visokih temperatura.

Kadmij (Cd), talište 321 °C, po nekim svojstvima i po samom izgledu priliči cinku, ali je zato otrovan. Isparava na temperaturi od 785 °C i stoga je potrebna odgovarajuća ventilacija kada se tali kadmij ili legure s udjelom kadmija. Najveću upotrebu ima kao antikorozivna prevlaka čelicima i niskotaljivim lemovima.

Tablica 3.15: Osnovna svojstva kadmija [5]

GUSTOĆA	8650 kg/m ³
TALIŠTE	321 °C
VRELIŠTE	785 °C

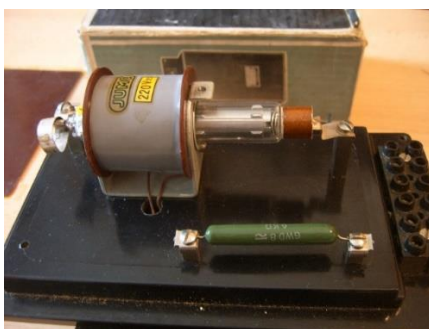


Slika 3.20: Kadmij [20]

Živa (Hg) - poznati metal jer je jedini metal u tekućem stanju pri temperaturi od 20-tak °C, a u kruto stanje prelazi na temperaturi od -39 °C. U mehatronici je prije imao primjenu kao tekući prekidač, dok danas nešto manje. Primjenjuje se i za punjenje lampi sa živinim parama, punjenje manometara i termometara, te za izradu legura s mnogim metalima. Živine pare su izrazito otrovne i mogu izazivati trajna oštećenja organizma.

Tablica 3.16: Osnovna svojstva žive [5]

GUSTOĆA	13 530 kg/m ³ (na 25 °C)
TALIŠTE	-39 °C
VRELIŠTE	356 °C



Slika 3.21: Živin prekidač [21]

Volfram (W) je metal sjajne srebrnobijele boje sa velikom vlačnom čvrstoćom i najvišeg je tališta od svih metala i legura (3422 °C) što mu omogućava primjenu za žarne niti u žaruljama, katodnim cijevima i za elektrode u elektrolučnom zavarivanju. Čelici su u legurama sa volframom izvanredne tvrdoće i elastičnosti. U alatnim čelicima se upotrebljava uglavnom kao legirajući element, a volframov karbid (WC) je najtvrdi karbid i može uspješno biti zamjena dijamantu u mnogim

primjenama. Pri visokim temperaturama volfram puno oksidira i stoga ga se od kisika štiti inertnim ili neutralizirajućim plinovima kao naprimjer u žaruljama.

Tablica 3.17: Osnovna svojstva volframa [5]

GUSTOĆA	19 250 kg/m ³
TALIŠTE	3422 °C
VRELIŠTE	5930 °C



Slika 3.22: Žarulja sa volframskom žarnom niti [22]

Tantal (Ta) je metal također visokog tališta – 3030 °C i time drži drugo mjesto kod visokotaljivih metala. Visoke je tvrdoće, čvrst je i antikorozivan u gotovo svim sredinama gdje je korozija moguća. Ima primjenu kod izrade dijelova instrumenata, nakita i implatanata u kirurgiji te u kemijskoj industriji gdje su pristune agresivne sredine.

Tablica 3.18: Osnovna svojstva tantala [5]

GUSTOĆA	16 690 kg/m ³
TALIŠTE	3030 °C
VRELIŠTE	5458 °C



Slika 3.23: Prsten izrađen od tantala [23]

Molibden (Mo) je srebrnobijel metal visokog tališta (2630 °C), velike čvrstoće i dobre je toplinske i električne vodljivosti. Otporan je što se tiče oksidacije i koristi se primjerice kod izrade električnih prekidača, nosača žarnih tijela... Ima veliku ulogu kao legirni element u čeliku jer svojim udjelom povisuje čvrstoću, žilavost te otpornost puzanju i koroziji.

Tablica 3.19: Osnovna svojstva molibdena [5]

GUSTOĆA	10 280 kg/m ³
TALIŠTE	2630 °C
VRELIŠTE	4640 °C



Slika 3.24: Molibdenove elektrode za taljenje stakla [24]

Cirkonij (Zr) je čeličnosivkast mekani metal visokog sjaja kojemu je temperatura tališta 1855 °C. Otporan je na koroziju i na visokim temperaturama jer stvara prevlaku otpornog oksida. Zajedno sa bakrom ima dobra mehanička svojstva i odličnu električnu vodljivost. Najmanje se degradira neutronske zračenjem i stoga ima primjenu kod izrada kapsula nuklearnog goriva.

Tablica 3.20: Osnovna svojstva cirkonija [5]

GUSTOĆA	6520 kg/m ³
TALIŠTE	1855 °C
VRELIŠTE	4410 °C



Slika 3.25: Cirkonijska valjčasta polugica [25]

Uranij (U) je srebrnobijeli i žilav metal, mekan gotovo kao čelik i slab je električni vodič. Ima veliku gustoću od $19\ 100\ \text{kg/mm}^3$ i talište od $1130\ ^\circ\text{C}$. U prirodi ima veliku rasprostranjenost i ponajviše se proizvodi u SAD-u, Rusiji, Norverškoj, Kanadi, Kini, Španjolskoj, Francuskoj i dr. Bez radioaktivnih izotopa primjenjuje se kao zaštita od zračenja zbog odlične apsorpcije ionizirajućih zračenja. Kod visokih temperatura dosta brzo i lako oksidira, pa se kod zavarivanja zaštićuje inertnim plinovima. Veliku primjenu ima u vojnom sektoru za streljiva koja se sastoje od osiromašenog uranija - streljivo koje probija snažno oklopljena vozila. Stoga su se i oklopi na tenkovima i ostalim borbenim vozilima također očvršćivali osiromašenim uranijem. U civilnoj primjeni uglavnom se koristi kao gorivo u nuklearnim elektranama (npr. 1 kg uranija prije potpunog raspadnuća proizvede energije koliko može dati otprilike 1500 tona ugljena ($80 \cdot 10^{12}\text{J}$)). Također služi kao zaštitni materijal kontejnera, za transport radioaktivnog materijala, podešavanje težine u avionima te se zbog svoje gustoće koristi u navigacijskim uređajima.

Tablica 3.21: Osnovna svojstva uranija [5]

GUSTOĆA	$19\ 100\ \text{kg/m}^3$
TALIŠTE	$1130\ ^\circ\text{C}$
VRELIŠTE	$3930\ ^\circ\text{C}$



Slika 3.26: Kemijski element uranij [2]

3.2. Laki obojeni metali

U lake obojene metala spadaju obojeni metali čija je gustoća manja od 5000 (3800) kg/ m³. To su: aluminij (Al), berilij (Be), magnezij (Mg), litij (Li) i drugi.

3.2.1. Aluminij i njegove legure

Aluminij (Al) je jedan od najupotrebljivijih metala radi manje specifične težine, čvrstoće i obradivosti. Područje primjene prevladava od transportne industrije, građevinarstva (krovovi, žljebovi..) ili proizvodnje i pakiranja hrane te kemijske industrije, a svojstva koja ga određuju tehničkim materijalom su:

- a) dobar odnos čvrstoće i gustoće (R_m/ρ) zbog kojeg se aluminij i njegove legure ponajviše koriste u proizvodnji vozila (zračnih, cestovnih, plovni..)
- b) dobar odnos električne vodljivost s obzirom na masu koji se smatra najpovoljnijim među metalima i time u zadnje vrijeme istiskuje bakar iz vodećih materijala od vodičkih metala tasmu gdje nije važan veći volumen i gdje nije potrebna dobra lemljivost
- c) korozijska otpornost (koju čini oksidni film debljine 20 do 100 μm) zbog koje se još odavnina primjenjuje za izradu raznih dijelova i opreme, primjerice posuda, dalekozora, dijelova oruđa i oružja, a u novije vrijeme za kabine i okvire radiostanica, radarske antene.

Čisti aluminij ima pozajamno slabu tvrdoću i ne posjeduje gotovo ikakav otpor plastičnoj deformaciji. U strojarstvu ima veliku potrošnju, gotovo da parira čeliku, a cijene mu podosta osciliraju zavisno od cijena energije, obično nekoliko puta veće nego ugljičnog čelika. Dobiva se procesom elektrolize rastaljenih soli fluora, klora i aluminijevog oksida (glinice). Kisik iz glinice odlazi na ugljenu anodu (koja tijekom elektrolize izgara), a rastaljeni aluminij ostaje na dnu posude, koja je ujedno i katoda. Nakupljeni aluminij se u određenim vremenskim intervalima odlijeva iz kade i šalje na preradu.



Slika 3.27: Kolutovi aluminijskog lima [26]

Talište čistog aluminija iznosi 660 °C i vrelište 2270 °C, a kristalizira se u plošno centriranoj kubnoj rešetki (FCC) i nema modifikacija rešetke. Gustoća mu iznosi 2700 kg/m³. Legira se s nekoliko grupa legiranih elemenata i svojim udjelom legure upotpunjuje specifičnim svojstvima. Neotrovan je i moguće ga je reciklirati pretaljivanjem otpadnog aluminija čime se dobivaju legure niže čistoće.

Tehnički čisti aluminij ima čistoću oko 99.5 % i privlačnog je izgleda, a čvrstoća mu je niska i može se povećati gnječenjem. Zagrijavanjem čvrstoća pada zbog rekristalizacije, ali je također lako i hladno oblikovljiv deformiranjem. Isprešavanjem se mogu proizvesti profili složenih oblika za raznovrsne primjene. Livljivost mu nije loša i dobro se spaja zavarivanjem. Aluminij rastvara vodik uključinski, ali to ne kviri mehanička svojstva, nego jedino izaziva poroznost.

Sekundarni aluminij odnosno otpadni aluminij koji se najčešće koristi za izradu odlijevaka. On nastaje očuvanjem otpadaka primarne proizvodnje (tokarenja, glodanja, rezanja..) iz naravno ekoloških razloga, ali i radi što veće iskorištenosti samog materijala.

Tablica 3.22: Osnovna svojstva aluminija [5]

GUSTOĆA	2700 kg/m ³
TALIŠTE	660 °C
VRELIŠTE	2270 °C
MODUL ELASTIČNOSTI	69 000 N/mm ²
ELEKTRIČNA VODLJIVOST	36 - 38 m/Ωmm ²
TOPLINSKA RASTEZLJIVOST	23,8 10 ⁻⁶ /K
TEMPERATURNI KOEFICIJENT OTPORA	0,0042/K
ISTEZLJIVOST*	50 - 54 %

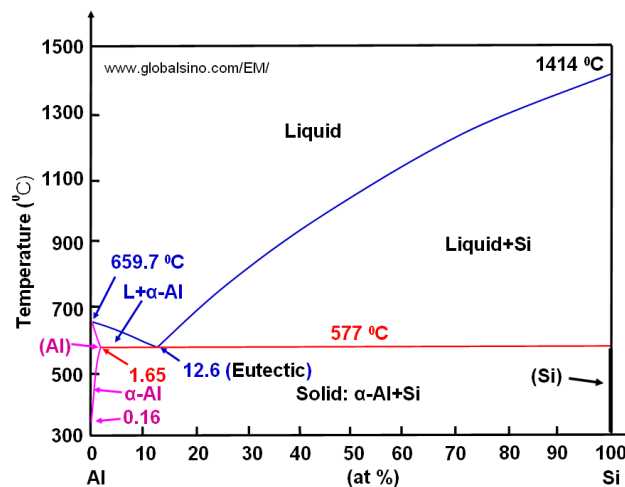
Legure aluminija

Aluminijske legure se koriste i u lijevanim, ali i u gnječenim stanjima. Cilj je naravno poboljšanje čvrstoće i tvrdoće, ali i žilavosti te ostalih mehaničkih svojstava. Najvažnije legure su legure sa bakrom (Cu), magnezijom (Mg), silicijom (Si) i manganom (Mn). U manje postojanoj količini tu se također pojavljuju i željezo (Fe), krom (Cr) i titanij (Ti) te kod posebnih svrha dodaju se i kobalt (Co), srebro (Ag), nikal (Ni), kositar (Sn) i drugi.

Legure aluminij - silicij (Al-Si) eutektičkog su tipa pri temperaturi od 577 °C i masenim udiom silicija iznosi od 11,6 % do 12,6 %, a glavne značajke eutektičkih Al-Si legura su:

- a) visoka antikorozivna otpornost i otpornost trošenju
- b) visoka toplinska vodljivost
- c) visoka specifična krutost
- d) dobra specifična čvrstoća.

Eutektičke Al-Si legure se koriste kod proizvodnje dijelova koji rade na povišenim temperaturama, primjerice u automobilskoj industriji kod izradu klipova i ventila.



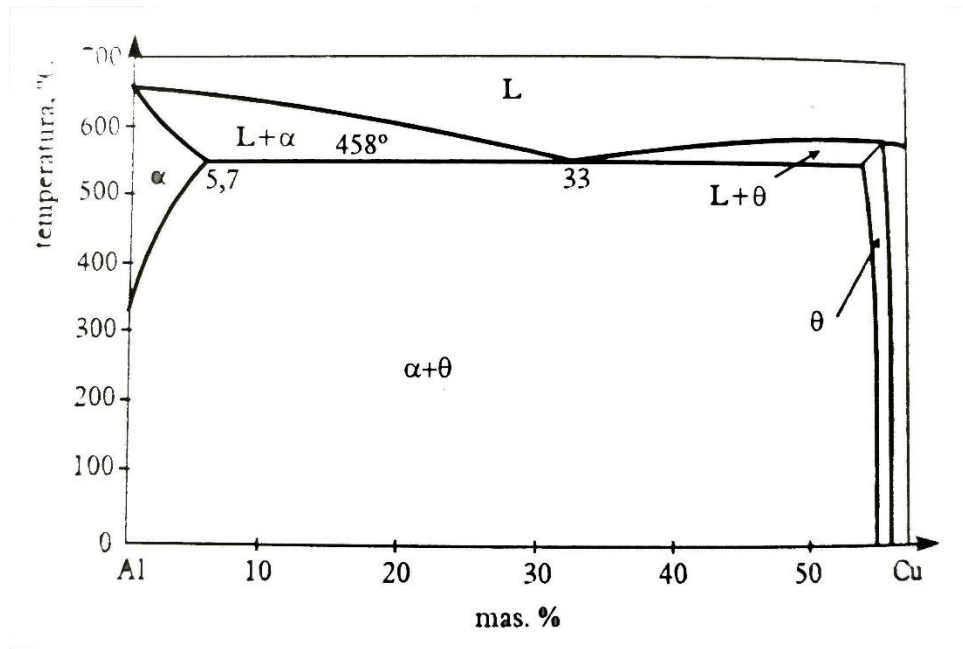
Slika 3.28: Dijagram stanja aluminij - silicij [27]

U posebnim slučajevima važnu ulogu u legiranju Al-Si legura za rad na povišenim temperaturama ima nikal (Ni) koji i malim udjelom dosta utječe na povećanje čvrstoće i modul elastičnosti, pogotovo kod dijelova za rad pri povišenim temperaturama.

Legure aluminij - bakar (Al-Cu) su legure čije su glavne značajke :

- a) toplinski očvrstljive legure s osrednje visokom čvrstoćom
- b) srednje ili slabo otporne na udarce
- c) dobra otpornost pri povišenim temperaturama i dobra rezljivost
- d) slaba livljivost
- e) najslabija korozivna postojanost među svim aluminijским legurama
- f) dodaje im se magnezij kako bi si izbjeglo pogrubljenje zrna pri skrućivanju
- g) odljevci se mogu koristiti na temperaturama do 300 °C.

Te legure zapravo su primjer nastajanja intermetalne faze θ koje su tvrde i krhke što znači da su nepoželjne u tehničkim legurama. Kod ove legure se to pojavljuje kada je udio bakra 54 %. Zapravo, kod svih legura sa udio bakra većim od 5,7 % treba voditi brigu o intermetalnim fazama.

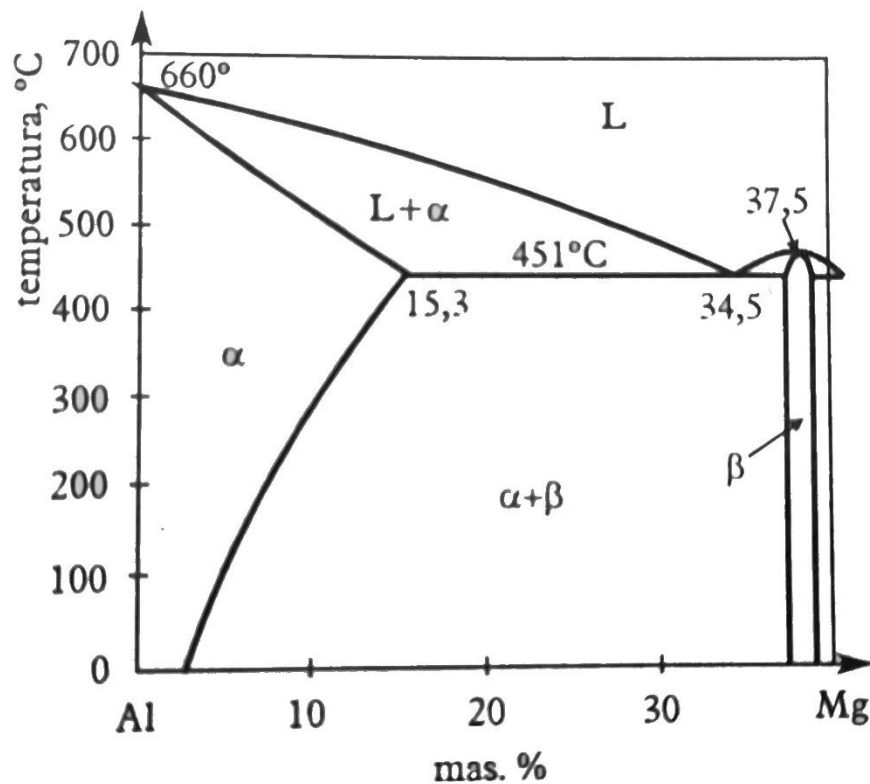


Slika 3.29: Prikaz intermetalne faze θ u dijelu Al-Cu dijagrama [28]

Glavne značajke legura aluminij - magnezij (Al-Mg) su:

- korozijski vrlo postojane – moguće postići vrlo visok sjaj (dekorativne svrhe)
- neke su vrlo otporne na udarce (za umjereno opterećene dijelove u pomorstvu)
- jako dobro se zavaruju (arhitektura i dekoracija)
- legura s 10 % Mg ima najbolju kombinaciju čvrstoće i žilavosti, no teško ju je dobiti zbog otežane livljivosti
- u uporabi najčešće legure s 3 % i 5 % Mg .

Te legure stvaraju intermetalnu fazu β gdje je udio magnezija otprilike 38 %. Kao i intermetalna faza θ kod legure Al-Cu i ova je faza dosta nepoželjna iz razloga što je tvrda i slabo oblikovljiva deformacijom.



Slika 3.30: Prikaz intermetalne faze β [28]

Kod eutenkičkih legura gdje je udio 34,5 % Mg može se vidjeti jako niska temperatura skrućivanja od 451 °C. Te legure, zbog sadržavanja 80 % tvrde i krhke faze, nisu upotrebljive kao ljevačke legure. Lijevane legure se dijele u tri osnovne skupine: Al-Cu, Al-Si i Al-Mg. Sa svakom legurom od te tri skupine se dobiva neka poboljšanost i prednost materijala naspram svakog zasebnog. Lijevanje se može odviti na tri osnovna načina: tlačno, u kokilu i u pijesku.

Tablica 3.23. Kemijski sastav i mehanička svojstva te primjena aluminijevih legura [5]

Oznaka prema DIN-	Postotak udjela u masi	Mehanička svojstva	Mehanička svojstva2	Mehanička svojstva3	Primjena i opis
AlSi12	Si 10,5-13,5 % Mn ≤ 0,4% Al ostalo	GK Rp0,2=80-110 N/mm2 Rm = 170-230 N/mm2 A5 = 6-12% HB ≈ 50-65	G Rp0,2 =70-100 N/mm2 Rm =150-200 N/mm2 A5 = 5-10% HB ≈ 45-60		Primjena: za složene,tankostijene odljevke otporne na tlak i vibriranje,uz vrlo dobru otpornost na koroziju.
AlSi10Mg	Si 9-11% Mg 0,2-0,5% Mn ≤ 0,4% Al ostalo	GK Rp0,2=210-280 N/mm2 Rm = 240-320 N/mm2 A5 = 1-4% HB ≈ 85-115	G Rp0,2 =180-260 N/mm2 Rm = 220-320 N/mm2 A5 = 1-4% HB ≈ 80-110		Toplinski očvrstnute kao i AlSi12.
AlSi6Cu4	Si 6-7,5% Cu 3-5% Mn ≤ 0,6% Al ostalo	GK Rp0,2=120-180 N/mm2 Rm = 180-240 N/mm2 A5 = 1-3% HB ≈ 75-110	G Rp0,2 =100-150 N/mm2 Rm = 160-200 N/mm2 A5 = 1-3% HB ≈ 65-90		Višestruko upotrebljivana legura otporna pri povišenim temperaturama
AlSi7Mg	Si 6,5-7,5% Mg ≤ 0,45% Ti ≤ 0,2% Al ostalo	GK Rp0,2=200-280 N/mm2 Rm = 250-340 N/mm2 A5 = 5-9% HB ≈ 80-115	G Rp0,2 =190-240 N/mm2 Rm = 230-310 N/mm2 A5 = 2-5% HB ≈ 75-110	GF Rp0,2=200-260 N/mm2 Rm = 260-320 N/mm2 A5 = 3-6% HB ≈ 80-110	Primjenjuje se za odljevke srednjih i većih debljina stijenki, velike čvrstoće i žilavosti (primjerice za automobilske kotače). Otporna je na koroziju, tlak i udarna opterećenja.
AlCu4Ti	Cu 4,5-5,2% Ti 0,15-0,3% Mn ≤ 0,5% Al ostalo	GK Rp0,2=180-230 N/mm2 Rm = 320-400 N/mm2 A5 = 8-18% HB ≈ 95-110	G Rp0,2 =200-260 N/mm2 Rm = 300-380 N/mm2 A5 = 3-8% HB ≈ 95-110	GF Rp0,2=220-270 N/mm2 Rm = 330-400 N/mm2 A5 = 7-12%	Koristi se za jednostavne odljevke s najvećom čvrstoćom i žilavosti.
AlCu4TiMg	Cu 4,2-4,9% Mg 0,15-0,3% Ti 0,15-0,3% Mn ≤ 0,5% Al ostalo	GK Rp0,2=220-300 N/mm2 Rm = 320-400 N/mm2 A5 = 8-18% HB ≈ 95-115	G Rp0,2 =220-280 N/mm2 Rm = 300-400 N/mm2 A5 = 5-15% HB ≈ 90-115	GF Rp0,2=220-280 N/mm2 Rm = 300-400 N/mm2 A5 = 5-10% HB ≈ 90-120	Primjenjuje se kod odljevaka veće čvrstoće ili veće žilavosti,kao precizni lijev i za složenije odljevke (primjerice zrakoplovna industrija).
AlMg3	Mg 2,5-3,5% Ti ≤ 0,2% Mn ≤ 0,4% Al ostalo Be na zahtjev	GK Rp0,2=70-100 N/mm2 Rm = 150-200 N/mm2 A5 = 5-12% HB ≈ 50-60	G Rp0,2 =70-100 N/mm2 Rm = 140-190 N/mm2 A5 = 3-8% HB ≈ 50-60	GF Rp0,2 =90-120 N/mm2 Rm = 150-200 N/mm2 A5 = 3-8% HB ≈ 60-80	Ima izvrsnu otpornost na koroziju-primjerice u slanoj vodi i lužnatim medijima, a primjenjuje se kod odljevaka sa dekorativnom površinom.
AlMg5Si	Mg 4,5-5,5% Si 0,9-1,5% Mn ≤ 0,4% Ti ≤ 0,2% Al ostalo Be na zahtjev	GK Rp0,2=110-150 N/mm2 Rm = 180-240 N/mm2 A5 = 2-5% HB ≈ 65-85	G Rp0,2 =110-130 N/mm2 Rm = 160-200 N/mm2 A5 = 2-4% HB ≈ 60-75		Koristi se za odljevke postojane u morskoj vodi i slabo lužnatim medijima, za unutarnju i vanjsku arhitekturu te u prehrambenoj i kemijskoj industriji.
AlSi12(Cu)	Si 10,5-13,5% Mn ≤ 0,5% Cu ≤ 1,2% Al ostalo	GD Rp0,2=140-200 N/mm2 Rm = 220-300 N/mm2 A5 = 1-3% HB ≈ 70-100			Koristi se za tankostijene odljevke složenog oblika,otpornije su na koroziju i umor.
AlSi10Mg	Mg 0,2-0,5% Si 9-11% Mn ≤ 0,4% Al ostalo	GD Rp0,2=140-200 N/mm2 Rm = 220-300 N/mm2 A5 = 1-3% HB ≈ 70-100			Istih je svojstava i primjene kao i prijašnja legura

3.2.2. Magnezij i njegove legure

Magnezij (Mg) je obojeni metal koji ima najmanju gustoću od svih metala. U zemljinoj kori ima ga gotovo 2 %, a dobiva se najviše elektrolizom i to u gotovo tri četvrtine njegove svjetske proizvodnje. Jedna četvrtina nastajanja magnezija izvodi se toplinskom redukcijom i destilacijom. Vrelište mu je podosta blizu tališta (razlika je 400-tinjak °C) i stoga je lako zapaljiv, a gori bijelim intezivnim plamenom. Ima HCP strukturu i pri povišenju temperature iznad 220 °C dolazi do olakšanja oblikovljivosti. Čisti magnezij se ne koristi kao konstrukcijski metal nego služi za dezoksidaciju metala (npr. proizvodnju nodularnog lijeva), temperaturnu redukciju metala i naravno za legiranje.



Slika 3.31: Magnezij [2]

Tablica 3.24: Osnovna svojstva magnezija [5]

GUSTOĆA	1740 kg/m ³
TALIŠTE	650 °C
VRELIŠTE	1090 °C
MODUL ELASTIČNOSTI	45 100 N/mm ²
TOPLINSKA ISTEZLJIVOST	25 10 ⁻⁶ /K

Magnezijske legure uglavnom nastaju zbog uklanjanja nedostataka same magnezijeve mikrostrukture jer pri skrućivanju magnezij ima gubitak do 4 % i stvara se mikroporoznost. Magnezij je sam po sebi podosta osjetljiv na ureze i slabe je žilavosti i stoga se prvobitno i legira. Materijal sa kojima magnezij legira su najčešće: aluminij, mangan, cink, cirkonij, torij i cer, a znaju biti i silicij i bakar. Magnezij se legira sa aluminijom (do 10 %) radi povećanja granice razlačenja odnosno same tvrdoće i čvrstoće, cinkom (do 6 %) koji ima ulogu povišenja oblikovljivosti, manganom (od 1 do 2 %) koji pridonosi

veliku otpornost na koroziju, ali smanjuje dinamičku izdržljivost. Cer i torij imaju veliku ulogu kod statičke izdržljivosti (do 300 °C) gdje torij poboljšava zavaraljivost i livljivost te smanjuje poroznost odljevka. Cirkonij ustinjaše grubozrnastu mikrostrukturu magnezija i smanjuje poroznost i povisuje čvrstoću.

Tablica 3.25: Dvije vrste legure magnezija i njihova svojstva [5]

Legura	Oblik	Toplinska obrada	Mehanička svojstva
G-MgAl9Zn1	kokilni lijev pješćani lijev tlačni lijev	*rastvorno žareno	Rp0,2 = 90* N/mm2 Rm = 170* N/mm2 A5 = 3%
MgAl6Zn	limovi šipke otkovnici		Rp0,2 = 160 N/mm2 Rm = 260 N/mm2 A5 = 8%

3.2.3. Berilij

Berilij (Be) je metal čeličnosive boje koji među lakim obojenim metalima pokazuje najveću elastičnost, gustoću i tvrdoću. Ima heksagonsku kristalnu strukturu (HCP) i specifičan modul elastičnosti koji iznosi 287 000 N/mm² (287 GPa) i time ostvaruje svoju superiornost u odnosu na ostale metale. Također, nezaobilazne su i njegova toplinska stabilnost i provodnost te njegova vrlo mala gustoća. Najviše se koristi kao dodatak legurama kao npr. bakru, aluminiju, niklu i željezu, a ima i primjenu u izradi manjih konstrukcija u aeronautici (avionima, svemirskim letjelicama i satelitima), kod izrade projektila te radi svoje male gustoće i u medicini jer propušta x-zrake i koristi se za otvore na rendgenskoj opremi (prozorima cijevi). Primjerice alati napravljeni od legura bakra i berilija su izrazito velike kvalitete što se tiče čvrstoće i tvrdoće. Radi velike otrovnosti samog metala, kod taljenja i same obrade potrebno je koristiti posebnu zaštitu.

Tablica 3.26: Osnovna svojstva berilija [5]

GUSTOĆA	1848 kg/m ³
TALIŠTE	1287 °C
VRELIŠTE	2969 °C
MODUL ELASTIČNOSTI	287 000 N/mm ²



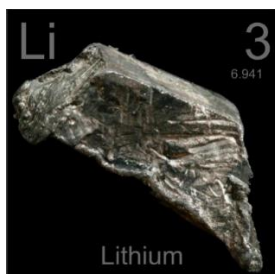
Slika 3.32: Berilij [2]

3.2.4. Litij

Litij (Li) je najlakši od svih metala i najnižeg tališta. Ima prostorno centriranu kubičnu kristalnu rešetku (BCC). Srebrnastobijele je boje, ali zato u kontaktu sa plamenom proizvode jarko crvenu boju. Relativno je rijedak, ali je zato dobro rasprostanjen (najviše Amerika i Europa). Gotovo upola manje je gustoće naspram vode, ali zato ima najveći specifični toplinski kapacitet od svih metala. Gustoća mu je svega 534 kg/m^3 , a temperatura tališta $180 \text{ }^\circ\text{C}$ te se radi svoje žilavosti mehanički lako može oblikovati. Koristi se uglavnom za pročišćavanje taline metala tj. u rastaljenoj fazi jer zbog svog oksidacijskog djelovanja na sebe veže kisik, sumpor i druge plinove. Najviše se koristi kod proizvodnje bakra i njegovih legura, a u novije vrijeme se koristi u obliku praha kao čvrsti elektrolit - najviše kod baterija.

Tablica 3.27: Osnovna svojstva litija [5]

GUSTOĆA	534 kg/m^3
TALIŠTE	$180 \text{ }^\circ\text{C}$
VRELIŠTE	$1342 \text{ }^\circ\text{C}$
MODUL ELASTIČNOSTI	4900 N/mm^2



Slika 3.33: Litij [2]

3.3. Plemeniti obojeni metali

Plemeniti obojeni metali se još nazivaju i rijetki metali. Njihova svojstva, pogotovo kod zlata i srebra, mogu parirati naprimjer bakru što se tiče električne i toplinske vodljivosti.

3.3.1. Zlato

Zlato (Au) je mekan metal žute/žutonarančaste boje i „zlatne“ sjajnoće koji ima plošno centriranu kubnu rešetku (FCC). Ima ulogu jednog od najrjeđih elemenata - smatra se da ga ima samo nekoliko miligrama po toni i u prirodi se pojavljuje samorodno - u obliku pločica, zrnaca ili kao skup razgranatih žicica. Najveća nalazišta zlata su u Africi, točnije u Južnoafričkoj Republici. Što se tiče toplinske i električne vodljivosti gotovo parira srebru (oko 70 %). Gustoća mu iznosi $19\,300\text{ kg/m}^3$, a tali se na 1064 °C . Zlato se još od davnina dobiva sijanjem i ispiranjem riječnog pijeska jer zbog svoje gustoće unatoč strujanju vode zlato opada na dno korita kroz koje prolaze te sve sirovine. Čisto zlato ima veoma dobar otpor prema kisiku, vodi, sumporu te pojedinim kiselinama i solnim otopinama, a proizvodi se elektrolizom sirovog zlata. Radi svoje mekoće koristi se uglavnom u obliku slitina. U velikoj većini slučajeva zlato služi kao nakit ili nekakva platna moć, uglavnom kao zlatne poluge, novčići (kovanice), ali se također koriste u elektronici kao neki kontakti, u optici zbog svoje reflektivnosti te u dentalnoj medicini.

Tablica 3.28: Osnovna svojstva zlata [29]

GUSTOĆA	$19\,300\text{ kg/m}^3$
TALIŠTE	1064 °C
VRELIŠTE	2856 °C
MODUL ELASTIČNOSTI	$78\,000\text{ N/mm}^2$



Slika 3.34: Zlato kao kontakt na tiskanoj pločici [30]

3.3.2. Srebro

Srebro (Ag) je mekan plemeniti metal srebrnobijele sjajne boje i velike rastezljivosti te stoga je lako obradiv. Ima plošno centriranu kubnu rešetku (FCC) i ima ga 20 puta više nego zlata u Zemljinoj kori (1 gram po toni). U prirodi se nalazi obično sa bakrom i zlatom, a može se i u rijetkim situacijama naći u svojim sulfidnim mineralima (argentit, prustit..). Danas se dobiva cijanizacijom iz svojih te olovnih i bakrenih ruda te u rastaljenom stanju slitina srebra pomiješana uglavnom sa cinkom ispluta na površinu gdje se destilacijom uklanja cink i dobiva 98 do 99 % srebra uz primjesu zlata i platine. Gustoća srebra je gotovo upola manja od zlata - $10\,490\text{ kg/m}^3$ te je mnogo reaktivnije i nestabilnije u nekim uvjetima nego zlato. Stabilno u vodi, a na zraku je prvenstveno postojano i ne oksidira, ali primjerice ulašteno srebro s vremenom izlaganja zraku može izgubiti svoj prvobitni sjaj i potamnjeti. Ne otapa se u neoksidirajućim kiselinama nego u dušičnoj i vrućoj sumpornoj kiselini, a izrazito je otporno prema rastaljenim alkalijama. Tali se na $961\text{ }^\circ\text{C}$, a vrelište iznosi $2162\text{ }^\circ\text{C}$. Rastaljeno srebro upija velike količine kisika koje pri hlađenju opadaju ali se poznaju „kraterići“ na površini materijala. Ima veliku otpornost na koroziju zbog visoke elektropozitve, a ne samo sa stvaranjem zaštitnog sloja na površinu materijala jer srebro, od svih metala, najbolje provodi toplinu i elektricitet te ima visoku refleksivnost. Srebro ima podosta široku primjenu u svijetu - najviše se koristi za kovanje novca (sa udjelom bakra), zatim u proizvodnji nakita, pribora za jelo te dentalnoj medicini. U mehatroničkom svijetu srebro se koristi za tvrdo lemljenje, za kontaktne spojeve, u baterijama i osiguračima te zbog svoje otpornosti na koroziju i alkalije u kemijskoj, farmaceutskoj i prehrambenoj industriji za izradu cijevi, posuda, armatura i raznoraznih spremnika.

Tablica 3.29: Osnovna svojstva srebra [31]

GUSTOĆA	$10\,490\text{ kg/m}^3$
TALIŠTE	$961\text{ }^\circ\text{C}$
VRELIŠTE	$2162\text{ }^\circ\text{C}$
MODUL ELASTIČNOSTI	$83\,000\text{ N/mm}^2$



Slika 3.35: Srebrni osigurač [32]

3.3.3. Platina

Platina (Pt) je plemeniti metal sivkaste boje, nije pretjerano tvrd i ima visoku žilavost. U prirodi se može naći i samородna kao zlato, ali je rjeđa i skuplja. U Zemljinoj kori ima jako mali udio (otprilike $3 \cdot 10^{-6}$ %). Najveće podrijetlo joj je isto kao i kod zlata - Južnoafrička Republika (oko 90 % svjetskih zaliha), a zatim su tu Rusija, SAD i Kanada. Ima plošno centriranu kubičnu rešetku (FCC), stabilna je na zraku i ne oksidira ni pri kojoj temperaturi, ali je podložna koroziji radi utjecaja cijanida, sumpora i teških metala. Sa fosforom ostvaruje veoma taljive slitine i posjeduje veliku otpornost na kemijske utjecaje te je otporna na habanje i gubitak boje što je dobra karakteristika za izradu finog nakita. Dobiva se iz ruda tako što se prvenstveno zbog svoje gustoće može opredijeliti od nečistoća u vodi. Također budući da je nemagnetična, prelaskom elektromagneta preko smjese se uklanjaju ostale sirovine - primjerice željezo i nikal. Ima visoku temperaturu tališta nasparam ostale većine metala pa spaljivanjem uklanjaju mnoge nečistoće nižeg tališta od platine. Snažno apsorbira plinove radi čega ima veliku primjeru u katalizatorima automobila. Također, zbog neoksidacije u bilo kakvim uvjetima, katalizira kemijske reakcije kod oksidacija nastalih u proizvodnji sumporove i dušične kiseline te kod prerade nafte. Platine i slitine se osim kao katalizatori koriste i kod izrade elektroda i električnih kontakata, termoelemenata, svjećica, turbina, otpornika, električnih peći i posuda u laboratorijima.

Tablica 3.30: Osnovna svojstva platine [33]

GUSTOĆA	21 450 kg /m ³
TALIŠTE	1768 °C
VRELIŠTE	3825 °C
MODUL ELASTIČNOSTI	168 000 N/mm ²



Slika 3.36: PT100 senzor [34]

4. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu prikazani su i pojašnjeni obojeni metali te njihova fizikalna i mehanička svojstva te ponašanja samih materijala. Također je prikazana raznolikost i važnost primjene obojenih metala u gotovo svakoj grani svjetskog gospodarstva. Laki i obojeni metali ne zaostaju previše u primjeni u svijetskom gospodarstvu naspram čeličnih i željeznih metala. Jedna od zastupljenijih grana jest mehatronika koja predstavlja cjelovit pristup u inženjerskom projektiranju, proizvodnji, održavanju i vođenju strojeva, uređaja, naprava i raznoraznih alata te je stoga ona jedna od cjenjenih i širokopojasnih grana gospodarstva. Danas živimo u automatiziranom svijetu gdje se iz dana u dan napredak u automatizaciji vidi i traže se savršenstva. Zato se obojeni metali zapravo koriste i imaju ključnu ulogu zbog svojih specifičnih svojstava, strukture i ponašanja pri utjecajima raznih čimbenika.

5. LITERATURA

- [1] Wikipedia: PSE [Online]. Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Periodic_trends (20.09.2020.)
- [2] Wikipedia: Metals [Online]. Dostupno na: <https://en.wikipedia.org/wiki/Metal> (20.09.2020.)
- [3] Refinery kletus [Online]. Dostupno na: <https://www.rafinerija-plemeniti-metali.hr/laboratory.php> (20.09.2020.)
- [4] Copper Development association Inc.: Coppers [Online]. Dostupno na: <https://www.copper.org/resources/properties/microstructure/coppers.html> (20.09.2020.)
- [5] dr.sc. Tomislav Filetin, dr.sc. Franjo Kovačiček, dr.sc. Janez Indof: Svojstva i primjena materijala, Zagreb, 2007.
- [6] Shutterstock [Online]. Dostupno na: <https://www.shutterstock.com/search/copper+wire> (20.09.2020.)
- [7] ResearchGate [Online]. Dostupno na: https://www.researchgate.net/figure/Equilibrium-Cu-Zn-phase-diagram-5_fig2_316598481 (20.09.2020.)
- [8] B&B Industrial [Online]. Dostupno na: <https://bbindustrial.com.au/product/brass-pipe-fittings> (20.09.2020.)
- [9] IMPK [Online]. Dostupno na: http://www.impk.biz/katalog_obojenih_metala.pdf (20.09.2020.)
- [10] Acura [Online]. Dostupno na: <http://a.2002-acura-tl-radio.info/page-a/cu-sn-phase-diagram-73007.html> (20.09.2020.)
- [11] Jiaerda [Online]. Dostupno na: <https://www.jiaerda.cn/tin-ronze-bearing.html> (20.09.2020.)
- [12] Coiling Technologies Inc. [Online]. Dostupno na: <https://www.coilingtech.com/phosphor-bronze-springs/> (20.09.2020.)
- [13] Wikipedia: Bronze [Online]. Dostupno na: <https://en.wikipedia.org/wiki/Bronze> (20.09.2020.)
- [14] [Online]. Dostupno na: https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_8/illustr/i8_2_1.html (20.09.2020.)
- [15] Kenco Tubes [Online]. Dostupno na: <https://www.kencotubes.com/copper-nickel-flanges-supplier-exporter.html> (20.09.2020.)
- [16] Wikipedia: Lead [Online]. Dostupno na: <https://en.wikipedia.org/wiki/Lead> (20.09.2020.)
- [17] Dalekovod proizvodnja [Online]. Dostupno na: <http://www.dalekovod-proizvodnja.com/cincanje.aspx> (20.09.2020.)

- [18] Engine Alliance [Online]. Dostupno na:
<https://www.enginealliance.com/media/> (20.09.2020.)
- [19] Pinterest [Online]. Dostupno na:
<https://cz.pinterest.com/mapasik/titanium/> (20.09.2020.)
- [20] Belmont [Online]. Dostupno na:
<https://www.belmontmetals.com/product-category/cadmium/> (20.09.2020.)
- [21] CroWave [Online]. Dostupno na:
<http://www.crowave.com/blog/2016/04/20/sklopke-sa-zivom/> (20.09.2020.)
- [22] Pngtree [Online]. 2017. Dostupno na: <https://pngtree.com/so/light-bulb> (20.09.2020.)
- [23] Wikipedia: Tantalum [Online]. Dostupno na:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Tantalum> (20.09.2020.)
- [24] Smeid Tunsten Molybdenum [Online]. Dostupno na:
<https://www.forgedmoly.com/fy/molybdenum-electrode.html> (20.09.2020.)
- [25] ThoughtCo [Online]. Dostupno na:
<https://www.thoughtco.com/zirconium-facts-606622> (20.09.2020.)
- [26] Shutterstock [Online]. Dostupno na:
<https://www.shutterstock.com/search/rolls+aluminum> (20.09.2020.)
- [27] Tech Notes [Online]. Dostupno na:
<https://www.buehler.com/assets/solutions/technotes/vol5issue1.pdf> (20.09.2020.)
- [28] dr.sc. Joseph R. Davis: Metals handbook, 1998.
- [29] dr.sc. Sebastian Blumentritt: Periodensystem der Elemente, 6. izdanje, Münster, 2012.
- [30] Geology.com [Online]. Dostupno na:
<https://geology.com/minerals/gold/uses-of-gold.shtml> (20.09.2020.)
- [31] Hrvatska enciklopedija: Leksikografski zavod „Miroslav Krleža“ [Online]. Zagreb: CARNet; 1999. Dostupno na: <https://www.enciklopedija.hr/> (20.09.2020.)
- [32] Wikipedia: Fuse [Online]. Dostupno na:
[https://en.wikipedia.org/wiki/Fuse_\(electrical\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Fuse_(electrical)) (20.09.2020.)
- [33] dr.sc. Mel M. Schwartz: Encyclopedia od Materials, Parts and Finishes, 2002.
- [34] Beamex [Online]. Dostupno na:
<https://blog.beamex.com/pt100-temperature-sensor> (20.09.2020.)

[35] Kolegij „Tehnički materijali“ Merlin sustav za e-učenje, prezentacija broj 6. Dostupno na: <https://moodle.srce.hr/2017-2018/>

[36] dr.sc. Tomislav Filetin: Izbor materijala pri razvoju proizvoda, Zagreb, 2006.

[37] dr.sc. Franjo Kovačiček, dr.sc. Mladen Novosel, dr.sc. Janez Indof, dr.sc. Igor čatić, dr.sc. Mladen Franz, dr.sc. Zvonimir Jakobović: Inženjerski priručnik – ip4 - Proizvodno strojarstvo, Zagreb, 1998.

6. OZNAKE I KRATICE

Al - aluminij

Be - berilij

Cu - bakar

Zn - cink

Ni - nikal

Au - zlato

Ag - srebro

Pt - platina

Mg - magnezij

Mn - mangan

Sn - kositar

Fe - željezo

Cr - krom

Hg - živa

Co - kobalt

Pb - olovo

Ti - titanij

U - uranij

Cd - kadmij

Zr - cirkonij

Li - litij

Si - silicij

W - volfram

Ta - tantal

Mo - molibden

θ - intermetalna faza Al-Cu

β - intermetalna faza Al-Mg

α - kristal mješanac osnovnog elementa u leguri

HCP - gusto složena heksagonska rešetka

BCC - prostorno centrirana rešetka

FCC - plošno centrirana rešetka

G - pješčano lijevano

GK - lijevano u kokilu

GF - precizno lijevano

GD - tlačno lijevano

7. SAŽETAK

Naslov: Primjena obojenih i lakih metala u mehatronici

Kroz ovaj završni rad opisano je prvenstveno općenito o metalima i njihovoj podjeli. Zatim su detaljnije opisani laki i obojeni metali, njihova fizikalna i mehanička svojstva zbog kojih, u usporedbi sa svojstvima neobojenih metala, imaju prednost primjene u nekim mehatroničkim sklopovima gdje se traži visoka kvaliteta dijelova i dobro ponašanje u ovisnosti vanjskih i unutarnjih čimbenika. Obojeni metali u praksi preuzimaju vodeću ulogu u većini grana mehatronike, od finomehaničkih elemenata do nekih konstrukcijskih, ali se radi cijene koja je znatno veća od željeznih i čeličnih upotrebljavaju kada je neophodno ili kada cijena materijala nema utjecaj na konačnost funkcionalnosti sklopova, konstrukcija, elementa i drugih.

Ključne riječi: tehnički materijali, metali, teški i laki obojeni metali

8. ABSTRACT

Title: Application of light and non - ferrous metals in mechatronics.

Through this final work, it is described primarily in general about metals and their division. Then there are light and non - ferrous metals described in more detail, their physical and mechanical properties due to which, compared to the properties of non-ferrous metals, they have the advantage of application in some mechatronic assemblies where high quality of parts and good behavior depending on external and internal factors are required. Non - ferrous metals in practice take a leading role in most branches of mechatronics, from fine mechanical elements to some structural, but a price is significantly higher than iron and steel so they are used when it is necessary or when the price of materials does not affect the finality of assemblies, structures, elements and others.

Key works: technical materials, metals, heavy and light non - ferrous metals

IZJAVA O AUTORSTVU ZAVRŠNOG RADA

Pod punom odgovornošću izjavljujem da sam ovaj rad izradio/la samostalno, poštujući načela akademske čestitosti, pravila struke te pravila i norme standardnog hrvatskog jezika. Rad je moje autorsko djelo i svi su preuzeti citati i parafraze u njemu primjereno označeni.

Mjesto i datum	Ime i prezime studenta/ice	Potpis studenta/ice
U Bjelovaru, <u>1. 10. 2020</u>	ANTONIO VUGRINOC	Vugrinec A.

Prema Odluci Veleučilišta u Bjelovaru, a u skladu sa Zakonom o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju, elektroničke inačice završnih radova studenata Veleučilišta u Bjelovaru bit će pohranjene i javno dostupne u internetskoj bazi Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu. Ukoliko ste suglasni da tekst Vašeg završnog rada u cijelosti bude javno objavljen, molimo Vas da to potvrdite potpisom.

Suglasnost za objavljivanje elektroničke inačice završnog rada u javno dostupnom nacionalnom repozitoriju

ANTONIO VUGRINEC

ime i prezime studenta/ice

Dajem suglasnost da se radi promicanja otvorenog i slobodnog pristupa znanju i informacijama cjeloviti tekst mojeg završnog rada pohrani u repozitorij Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu i time učini javno dostupnim.

Svojim potpisom potvrđujem istovjetnost tiskane i elektroničke inačice završnog rada.

U Bjelovaru, 1.10.2020.

Vugrinac A.
potpis studenta/ice