

Mašinski materijali 3

Obojeni metali i njihove legure

- **Obojeni metali – svi izuzev Fe legura (čelici i gvožđa)**
- **Obojeni metali se prema gustini dele na:**
 - lake metale (i legure) $\rho < 5\text{g/cm}^3$ (Mg, Al, Ti)
 - srednje teške metale (i legure) $\rho = 5\text{-}10\text{ g/cm}^3$ (Sn, Zn, Sb, Cr, Ni, Mn, Fe, Cu)
 - teške metale (i legure) $\rho > 10\text{ g/cm}^3$ (Pb, Ag, Au, Ta, W, Mo)

Podela metala

For elements with no stable isotopes, the mass number of the isotope with the longest half-life is in parentheses.

Periodic Table of Elements Copyright © 1997 Michael Daych, PeriodicTable.com updated Jan 15, 2017

- **Alkalni metali** – IA grupa; niska Tt (max 180°C za Li (litijum) pa sve do ~28°C za Cs (cezijum)), reaktivni, svi KZC
- **Zemnoalkalni metali** IIA grupa – ima ih puno u zemljinoj kori; TtMg=650°C, TtBe=1287°C, reaktivni, različite rešetke (HGP rešetka za Mg i Be)
- **Lantanoidi** (od lantana La) – retke zemlje – 15 elemenata sa specijalnom konfiguracijom valentnih elektrona (brzo korodiraju); slično se ponašaju i u prirodi se nalaze uglavnom zajedno; reaktivni; po ponašanju slični zemnoalkalnim metalima; koriste se u nuklearnim elektranama kao hidridi, kod keramika,... TtCe=795°C (cerijum) TtLu-1663°C (lutecijum)
- **Aktinoidi** (od aktinijuma Ac) – retke zemlje - 15 elemenata i svi su radioaktivni; u prirodi se nalaze uranijum U i torijum Th ostali se dobijaju veštačkim putem (nuklearno gorivo,...) Tt=639°C (neptunijum Np) -1750°C (torijum Th)
- **Prelazni metali** – valentni elektroni ih čine “prelaznim” jer mogu da imaju različitu valentnost: **Fe, Ti, Cu, Ag, Au, V, Cr, Ni, Pt, Ir, W, Nb, Ta, Hf, Co, Mn, Zr...** većina ima **jaku metalnu vezu**, veliku gustinu i visoku Tt
- **Postprelazni metali** – desno od prelaznih metala, pravi veći udeo kovalentne veze u odnosu na druge metale: **Al, Zn, Cd, Hg, Sn, Pb, Bi**
- **Metaloidi** – osobine između metala i nemetala **B, Si, Ge...**
- **Nemetali...**

Podela obojenih metala prema T_t

Prema temperaturi topljenja se dele na metale:

- sa **niskom** $T_t \rightarrow T_t < T_t^{Pb} = 327^\circ\text{C}$ (Sn, Pb, Bi)
- sa **srednje visokom** $T_t \rightarrow T_t = 327\text{-}1539^\circ\text{C}$ (Al, Mg, Mn, Cu, Ni, Co, Ag, Au)
- sa **visokom** $T_t \rightarrow T_t > T_t^{Fe} = 1539^\circ\text{C}$
- **vatrostalni ili refraktorni metali** $\rightarrow T_t > 1850^\circ\text{C}$

Element	Al	Cu	Ti	Ni	Co	Zn	Mg
$T_t, ^\circ\text{C}$	660	1084	1668	1455	1495	419	650

Element	Zr	Cr	V	Nb	Mo	Ta	W
$T_t, ^\circ\text{C}$	1855	1907	1910	2477	2623	3017	3422

Primer T_t na 0°C – samo je živa (Hg) u tečnom stanju

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
													Prictogens	Chalcogens	Halogens			
1 H Hydrogen 1.008	Atomic # Symbol Name Weight																	2 He Helium 4.0026
3 Li Lithium 6.94	4 Be Beryllium 9.0122	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">C</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Hg</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">H</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Rf</div> </div> <div> <p>čvrsto</p> <p>tečnost</p> <p>gas</p> <p>?</p> </div> </div>																10 Ne Neon 20.180
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305																	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.996	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.630	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.971	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.798	
37 Rb Rubidium 85.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.95	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.91	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.87	48 Cd Cadmium 112.41	49 In Indium 114.82	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.76	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90	54 Xe Xenon 131.29	
55 Cs Caesium 132.91	56 Ba Barium 137.33	57-71	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.95	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.21	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.97	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.38	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)	
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89-103	104 Rf Rutherfordium (267)	105 Db Dubnium (268)	106 Sg Seaborgium (269)	107 Bh Bohrium (270)	108 Hs Hassium (277)	109 Mt Meitnerium (278)	110 Ds Darmstadtium (281)	111 Rg Roentgenium (282)	112 Cn Copernicium (285)	113 Nh Nihonium (286)	114 Fl Flerovium (289)	115 Mc Moscovium (290)	116 Lv Livermorium (293)	117 Ts Tennessine (294)	118 Og Oganesson (294)	
			57 La Lanthanum 138.91	58 Ce Cerium 140.12	59 Pr Praseodymium 140.91	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.96	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.93	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93	70 Yb Ytterbium 173.05	71 Lu Lutetium 174.97	
			89 Ac Actinium (227)	90 Th Thorium 232.04	91 Pa Protactinium 231.04	92 U Uranium 238.03	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (266)	

Primer T_t - vatrostalni (refraktorni) metali

$T_t > 1850^\circ\text{C}$ (u nekim podelama 2200°C)

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	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og		
			* 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			



$T_t > 2200^\circ\text{C}$



$T_t > 1850^\circ\text{C}$

-elektroni i iz preposlednje orbitale se uključuju u formiranje veze

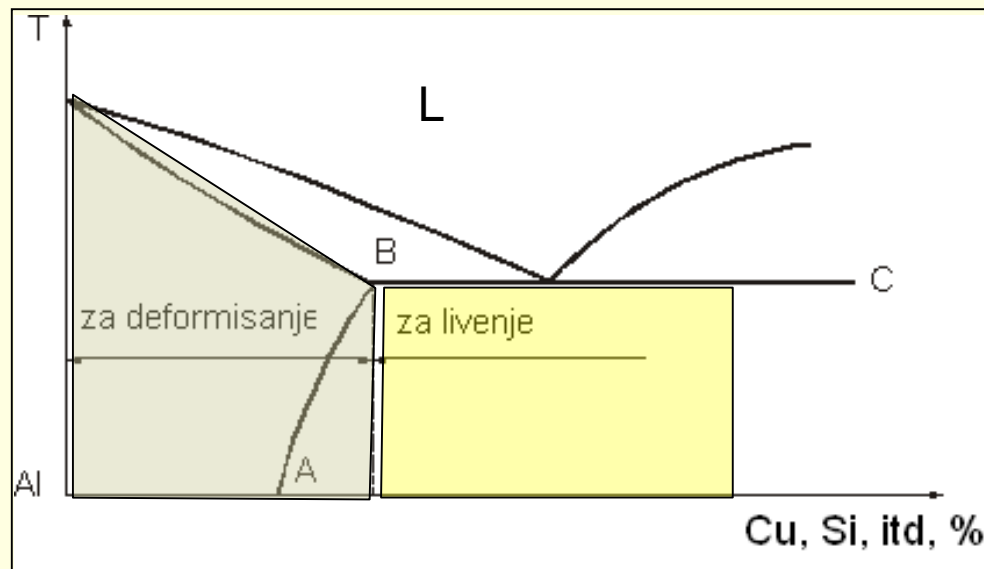
-veza je jaka zbog više elektrona $\rightarrow T_t \uparrow$

-visoko R_m i HV

-otporni na habanje, koroziju i deformaciju

Podela legura obojenih metala prema izradi

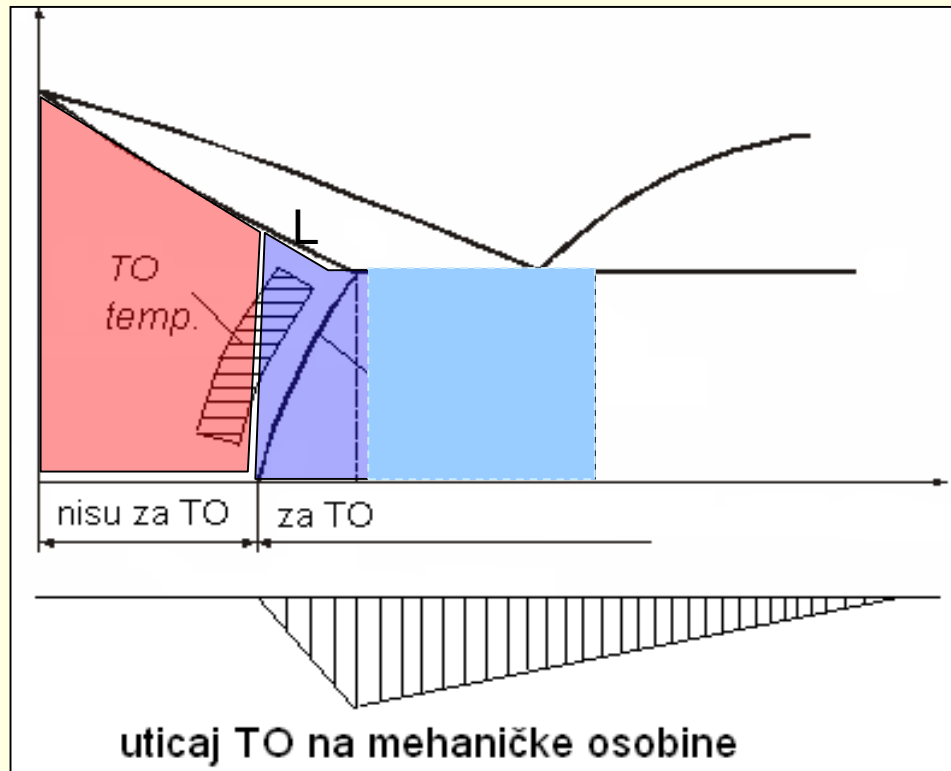
- c) Prema načinu **izradi** obojeni metali se dele na (šematski prikazano na faznom dijagramu):
- **legure za oblikovanje deformisanjem**
 - **legure livenje**






Podela legura obojenih metala prema TO

Prema mogućnosti da se **termički obrađuju** legure se dele na:

- legure koje **nisu namenjene za TO**
 - legure koje **jesu namenjene za TO ***
- TO: žarenje, otvrdnjavanje, starenje



-  (bez TO jer nema fazne transformacije)
-  (TO)
-  (TO bez fazne transformacije)

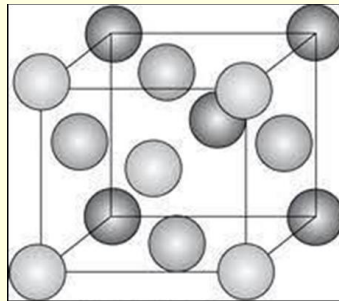
Aluminijum i njegove legure

Aluminijum

- Aluminijum je **najčešće korišćen metal posle Fe** i najrasprostranjeniji metal u Zemljinoj kori (80%).
- Proizvodnja aluminijuma, kao čistog metala, započela tek pre manje od 2 veka
- **Mala gustina:** oko $2,7 \text{ g/cm}^3$, što je znatno manje u poređenju sa čelikom (oko $7,8 \text{ g/cm}^3$), čime se smanjuje ukupna težina struktura.

■ **Tt=660°C**

■ **Gradi KPC rešetku**



- **Čvrstoća:** Al legure Rm od 70 MPa (za čisti Al) do preko 600 MPa (za Al-Zn legure).
- **Duktilne, Al legure se lako oblikuju deformacijom i lako se liju.**
- **Visoka električna i toplotna provodljivost** - koristi se u elektrotehnici.

Aluminijum

- **Dobra otpornost na koroziju** - Al stvara tanak oksidni sloj na svojoj površini Al_2O_3 koji ga štiti.
- **Dobra otpornost na zamor**: npr. legure, Al-Cu i Al Zn, što ih čini pogodnim za primenu u avio industriji
- **Lako se reciklira** - ekološki prihvatljiv materijal.

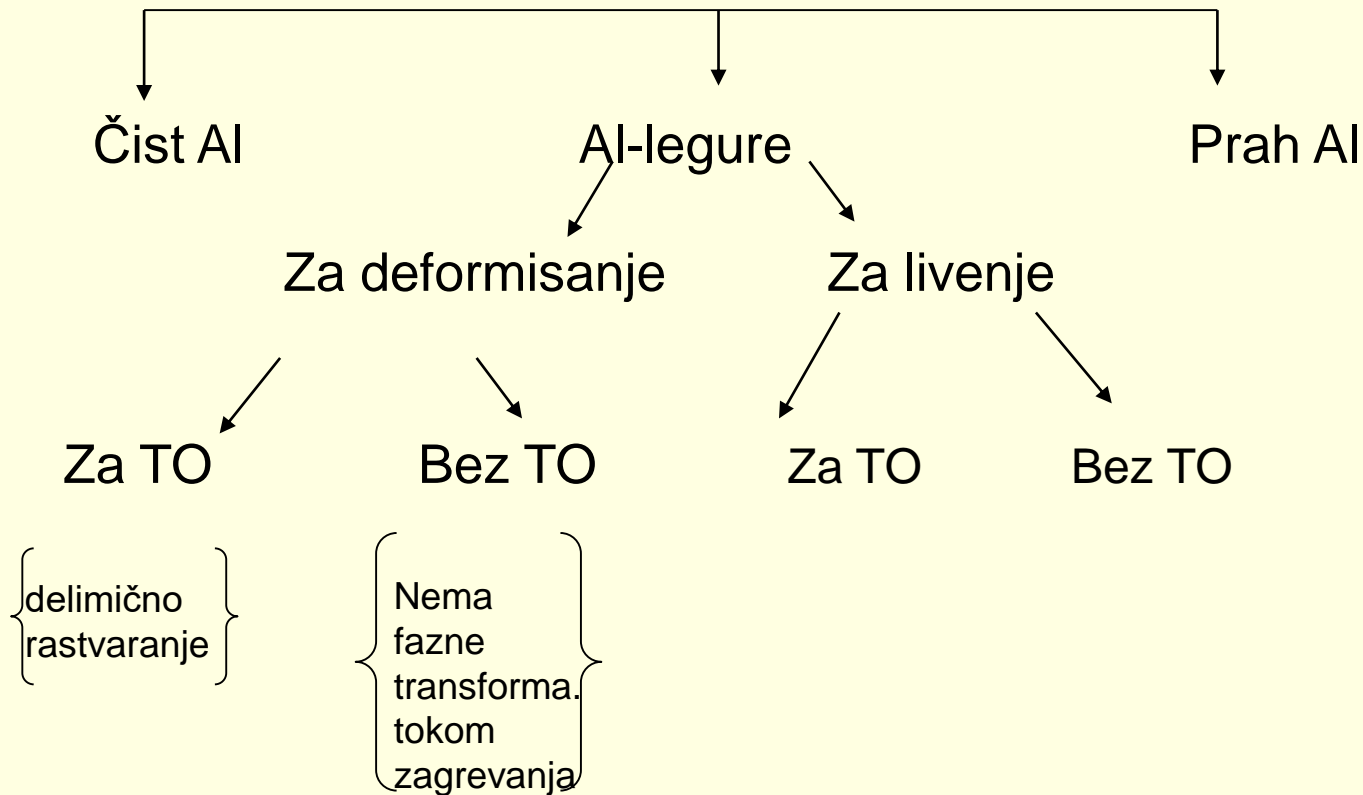
- **Nedostaci:**
 - niski modul elastičnosti,
 - pad mehaničkih osobina za $T > 100^\circ\text{C}$,
 - osetljivost prema zarezima

Gustina različitih legura Al

- Važna karakteristika **gustina se menja legiranjem**
- Legure Al koje sadrže Mg i Li su lakše od Al, dok su ostale teže.

Leg. el.	ρ , g/cm ³	Leg. el.	ρ , g/cm ³
Al	2.699	Mg	1.74
Ag	10.49	Mn	7.43
Au	19.32	Mo	13.55
Be	1.82	Ni	8.90
Bi	9.80	Pb	11.34
Cd	8.65	Si	2.33
Co	8.9	Sn	7.30
Cr	7.19	Ti	4.54
Cu	8.96	Zn	7.13
Fe	7.87	Zr	6.5
Li	0.53	Mg	1.74

Al i njegove legure



Sistem označavanja Al i njegovih legura

Prema hemijskom sastavu

- za plastičnu preradu (**SRPS EN 573-1:2008**)
 - EN-A**W**...(EN-AW- AlCu4Mg1) (**wrought** - gnječeno)
- za livenje – EN-A**C**...(EN-AC- AlSi11) (**cast** - liveno)

Oznaka za TO (SRPS EN 515:2017)

- O – žareno stanje
- H – hladno deformisano stanje
- W – kaljeno stanje
- T – stareno stanje

Njačešće korišćene: T4 – kaljeno + prirodno stareno
T6 – kaljeno + veštački stareno

Sistem označavanja Al i njegovih legura

Numeričke oznake

Za plastičnu preradu

serije	1000 – čisti Al
	2000 – Al- Cu -legure (npr. EN-AW-2014)
	3000 – Al- Mn - legure
	4000 – Al- Si - legure
	5000 – Al- Mg - legure
	6000 – Al- Mg-Si - (Mg_2Si) legure
	7000 – Al- Zn - legure
	8000 – Al- Fe - i ostale legure
	9000 – neoznačene

I cifra – hemijski element (koga ima najviše – ovde ima odstupanja)

II cifra – nivo kontrole nečistoća (0- čist Al, 1-9 različite mere)

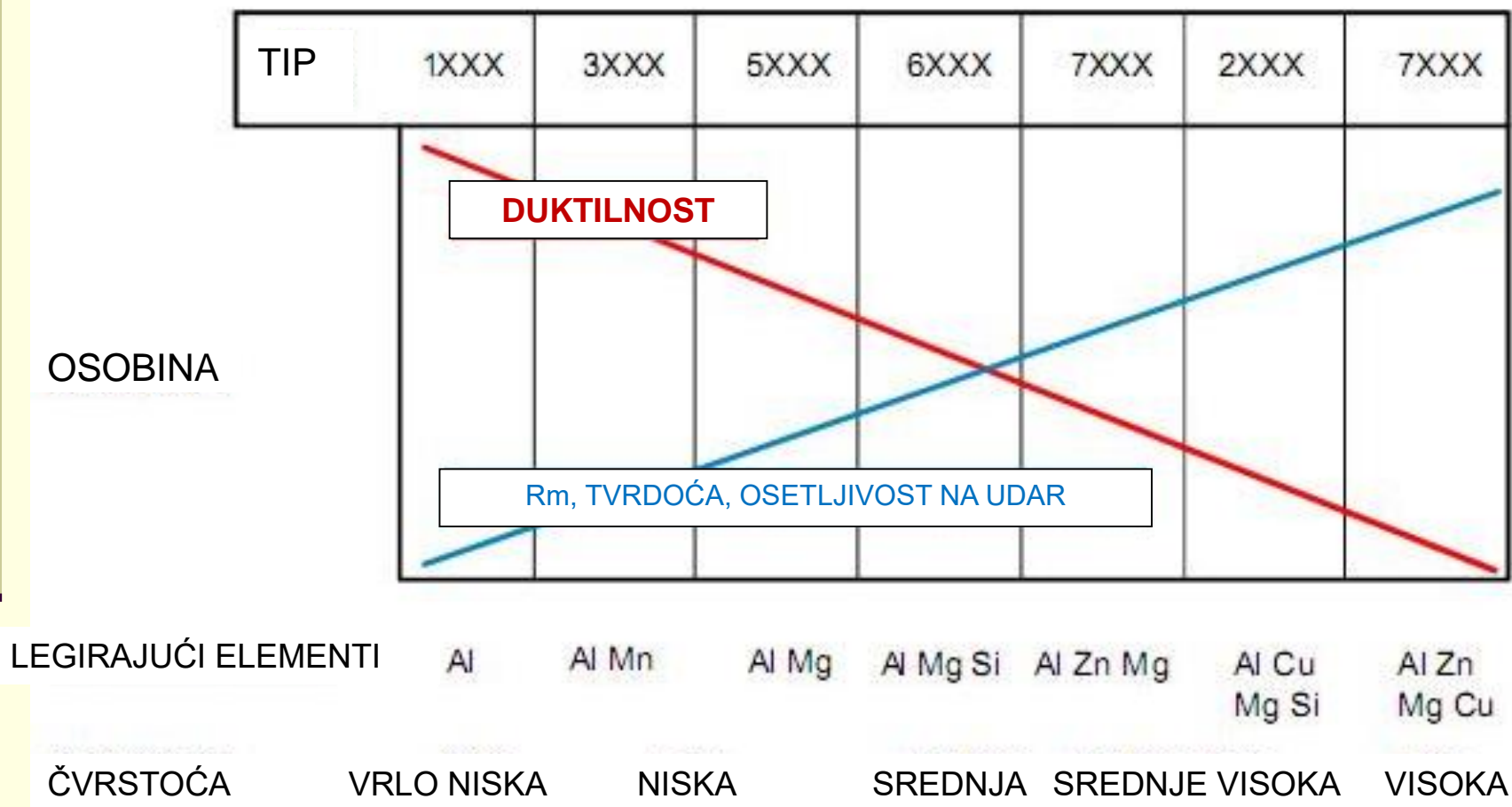
III i IV cifra – samo kod čistog Al znači čistoću – 1060 – 99.60%Al;

kod ostalih legura nema značenje koje je konzistentno – zavisi od vrste legure)

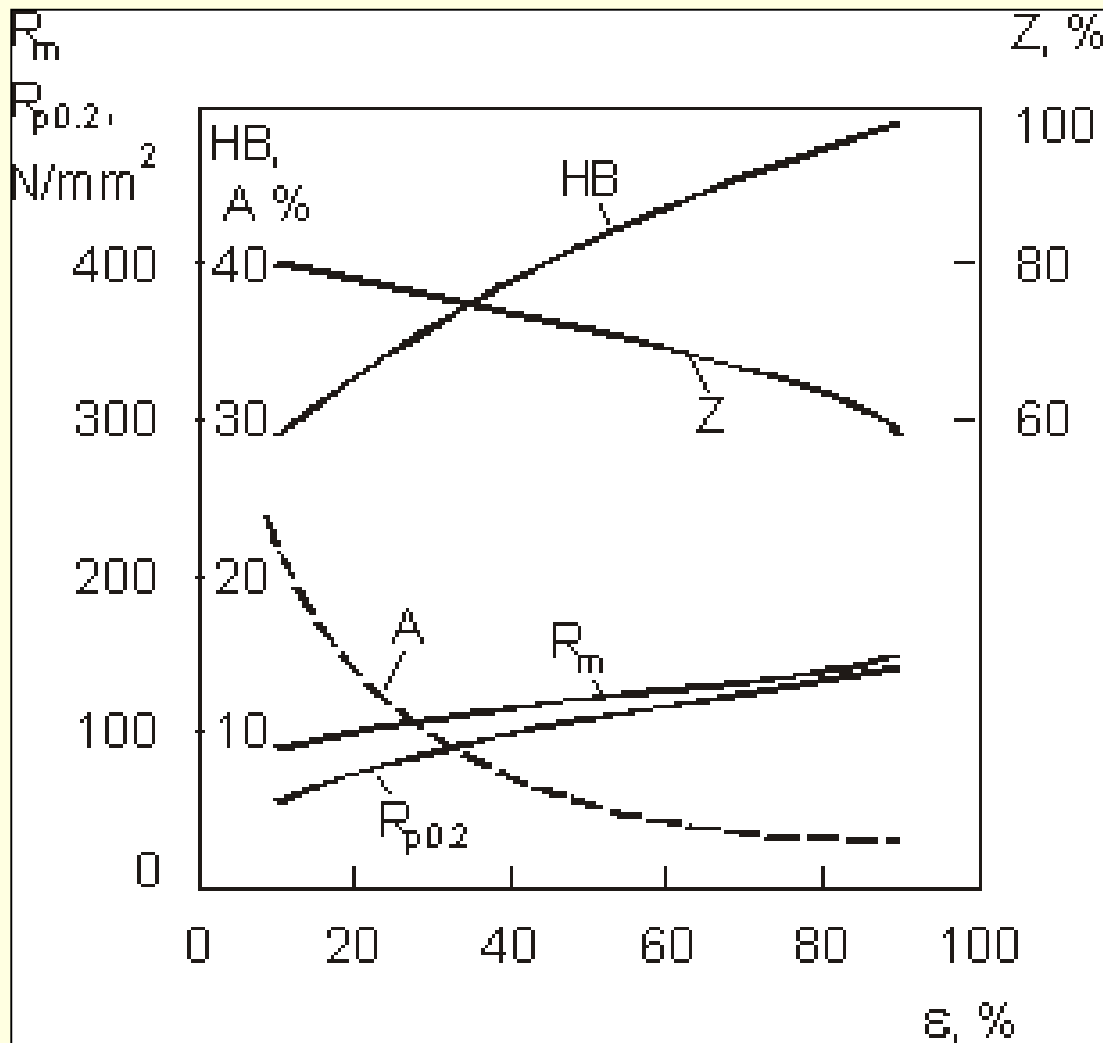
Za livenje

Serije	10000 – čist Al
	20000 – Al- Cu - legure
	40000-48000 – Al- Si - legure (npr silumin EN-AC-44000)
	50000 – Al- Mg - legure
	70000 – Al- Zn - legure

Mehaničke osobine različitih legura Al



- Deformisano stanje - Mehaničke osobine Al u funkciji % deformacije



Legure Al za plastičnu preradu

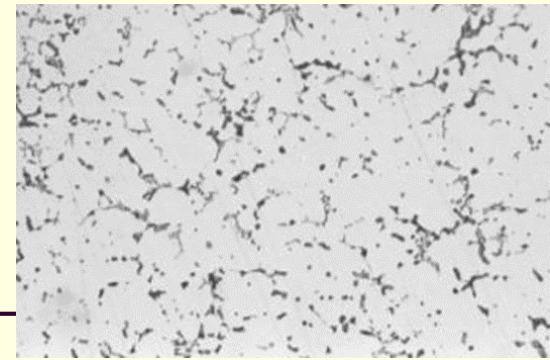
Čisti Al (1xxx) i legure sa Mn (3xxx) ili Mg (5xxx) ne mogu da se termički obrađuju zbog male količine legirajućih elemenata.

- Ove legure **ojačavaju deformaciono** – hladnim valjanjem, izvlačenjem, vučenjem.
- Lake su za oblikovanje i imaju odličnu otpornost na koroziju.
- **Seriya 1xxx (čisti aluminijum):** Sadrži više od 99% aluminijuma i ima odličnu otpornost na koroziju i visoku provodljivost, ali nisku čvrstoću. Koristi se za električne provodnike i u industriji ambalaže.
 - **Primer:** Legura 1100 se koristi za posuđe, ploče i elektrotehničke primene.

Legure Al za plastičnu preradu

- **Serijska 3xxx (Al-Mn legura):** Dodavanjem mangana se povećava čvrstoća bez značajnog smanjenja duktilnosti. Ove legure imaju dobru otpornost na koroziju i često se koriste u proizvodnji limova i različitih posuda.
- **Fe**, prisutno u ovim legurama kao nečistoća, smanjuje rastvorljivost Mn u aluminijumu
- Osobine ograničavaju primenu ovih legura kao ozbiljnijeg konstrukcionog materijala
- Zavarljive – raznorodno
 - **Primer:** Legura 3003 se često koristi za proizvodnju različitih posuda i limova za auto-industriju.

Legure Al za plastičnu preradu



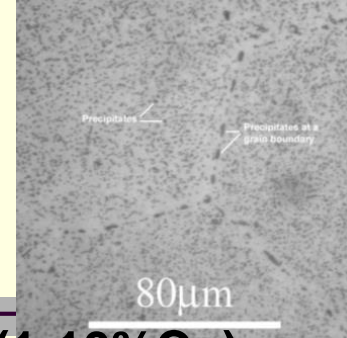
- **Seriya 5xxx (Al-Mg legure):** Sadrže do 5 % Mg.
- Dodatkom Mg postiže se **najveće ojačavanje kod legura koje nisu za TO i odlična otpornost na koroziju**, posebno koroziju u morskoj vodi.
- Generalno i pored toga ima niske mehaničke osobine za konstrukcioni materijal.
- Ako sadrže >3%Mg sklone su senzitivizaciji (slabljenje granica zrna zbog izdvajanja čestica).
- Ove legure su poznate po dobroj zavarljivosti i koriste se za izradu limova i u brodogradnji i gde god je to moguže u industriji.
- Kombinuje se deformaciono ojačavanje sa čestičnim ojačavanjem (izdvajaju se čestice Al_3Mg_2)
 - **Primer:** Legura 5083 se koristi u brodogradnji, zbog odlične otpornosti na koroziju u morskoj vodi.



Legure Al za termičku obradu

- Al-Cu (2xxx), Al-Mg-Si (6xxx) i Al-Zn (7xxx) legure mogu termički da se obrađuju.
- Termička obrada se sastoji od rastvarajućeg žarenja+hlađenje+starenje.
- Tokom TO se izdvajaju čestice koje doprinose porastu čvrstoće.
- Kroz primer duraluminijuma Al-Cu (2xxx) će biti prikazana TO i način ojačavanja. I za ostale legure je isti princip, samo se izdvajaju druge čestice.

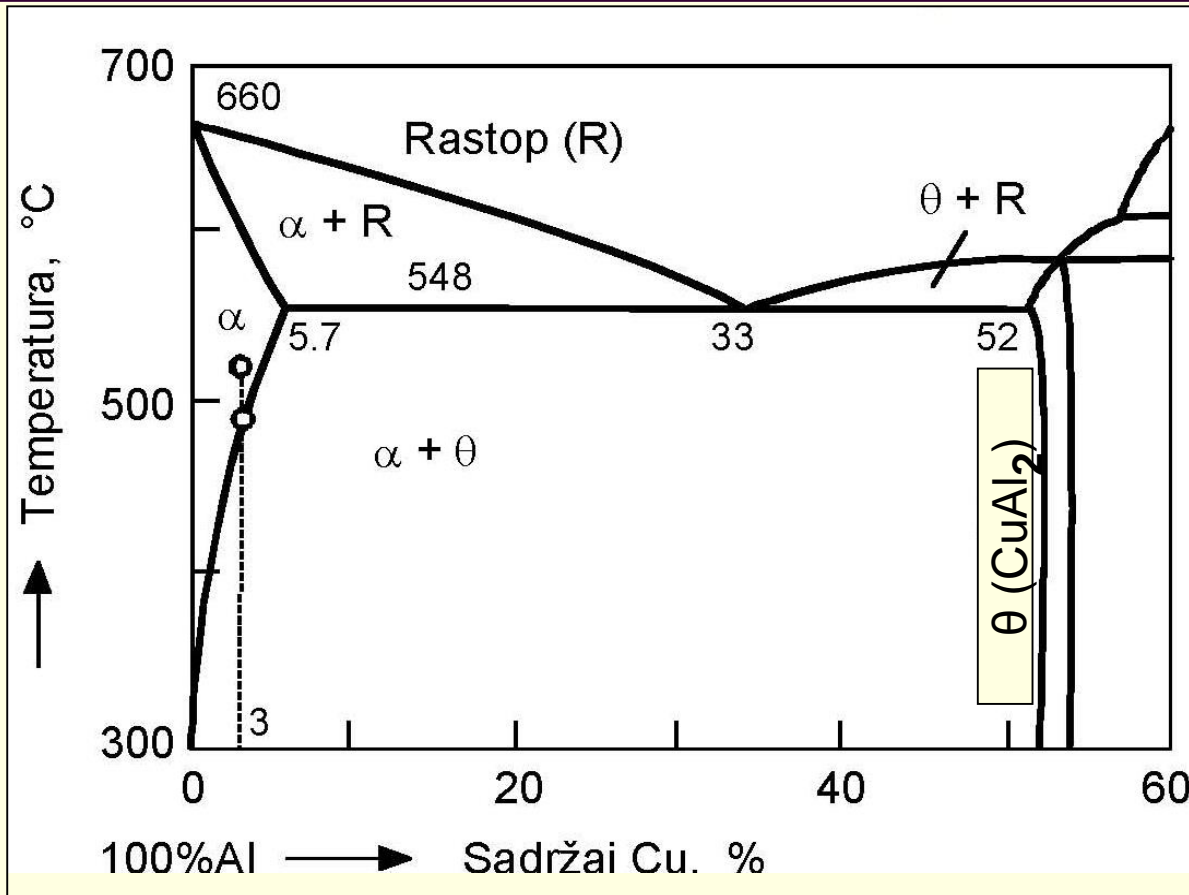
Legure Al-Cu (2xxx)



- **Legure iz grupe 2xxx, sadrže Cu kao glavni legirni element (1-10%Cu)**
 - Sadrže i Mg (npr.: legura 2024 ima kombinaciju visoke čvrstoće i otpornosti na zamor i sadrži **3,8-4,9% Cu, 1,2-1,8% Mg, 0,3-0,9% Mn**)
 - **Najveća gustina od svih leg. Al (>2,8 g/cm³)**
 - Imaju manju otpornost na koroziju
- **R_m = 250 MPa -> 500 MPa** **R_{0,2} = 150 MPa -> 350 MPa**
- Npr. jedna od najpoznatijih je legura 2024 koja može dostići R_m) 470 MPa
- Koriste se u avio, automobilskoj i vojnoj industriji (za izradu krila i trupova aviona, šasija i delova motora automobile, oklopna vozila, itd.). Spajaju se zakovicama ili vijcima, ili zavaruju raznorodno
- Mane su mala otpornost na koroziju i složena obrada



Deo ravnotežnog dijagrama stanja Al-Cu



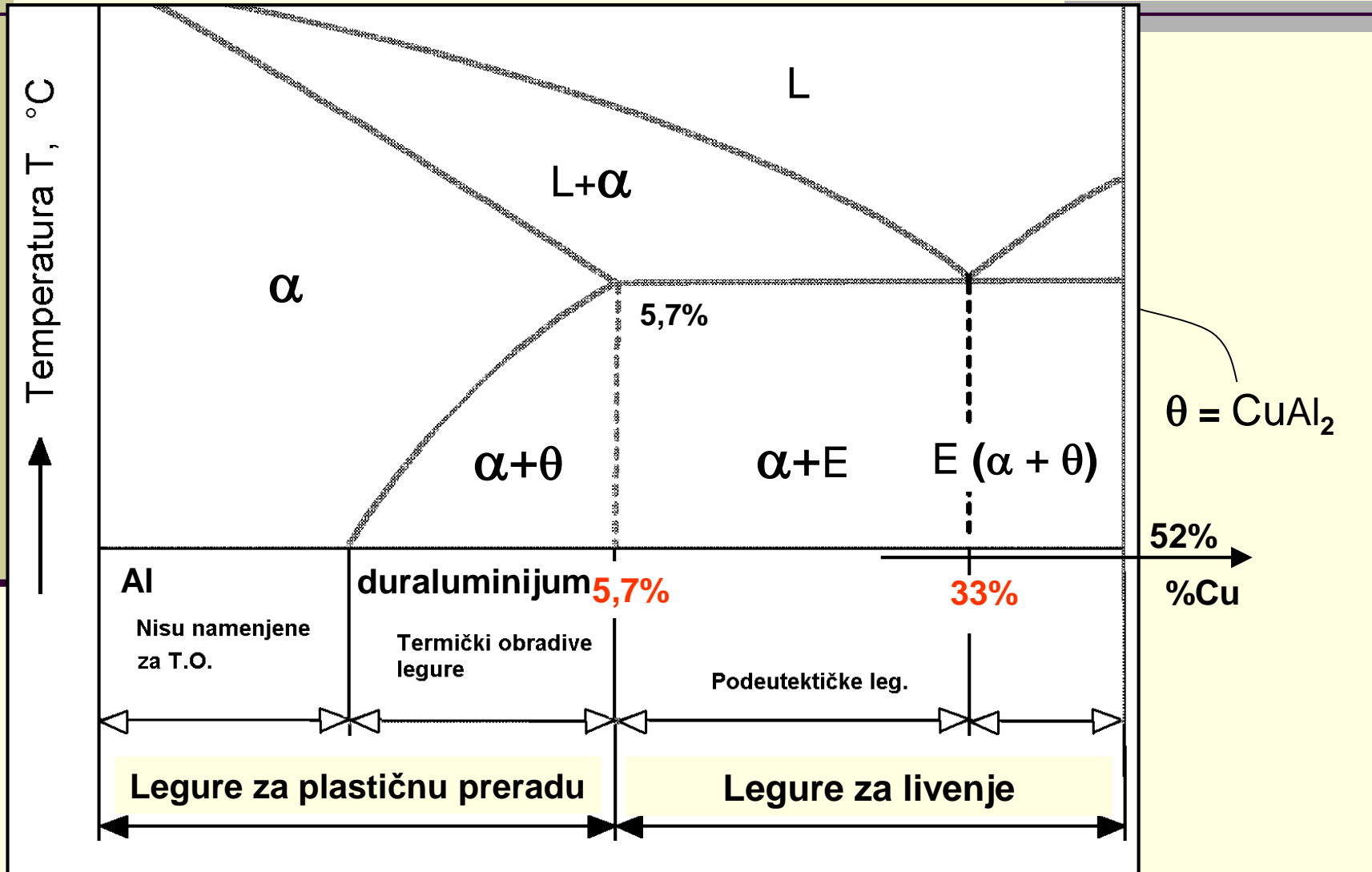
Faze:

1) α - sup. čvrsti rastvor **Cu u Al**

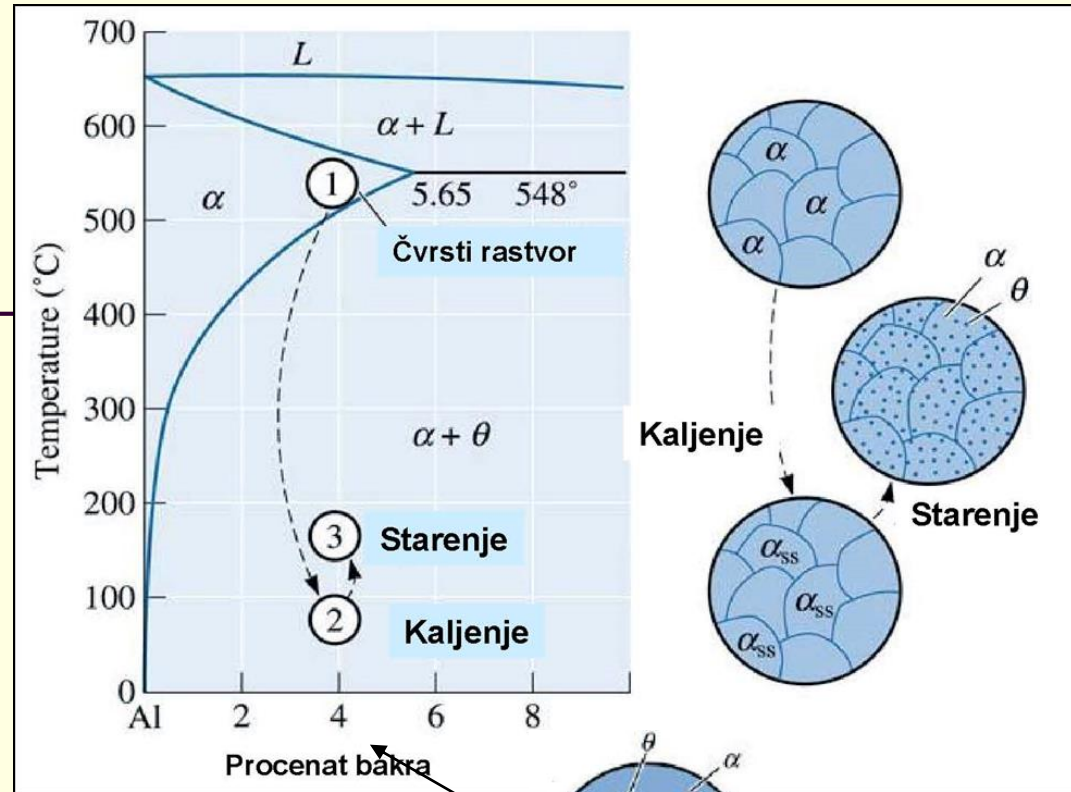
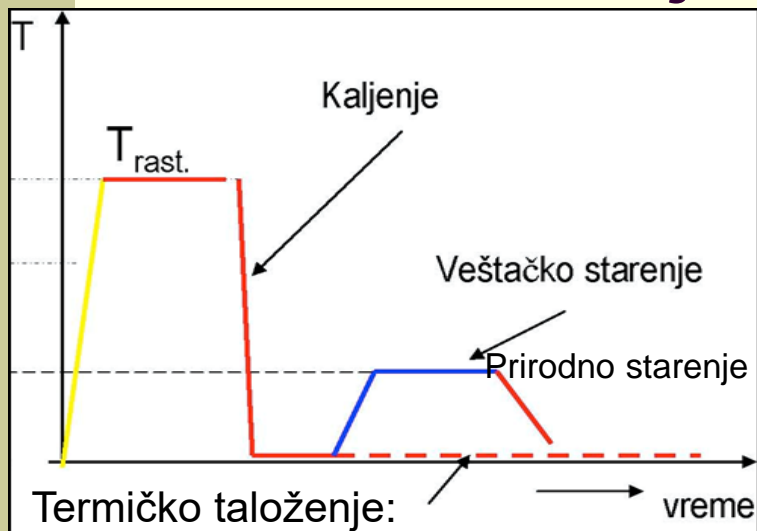
2) **E** (α + θ) eutektikum – meh. smeša α i θ

3) θ faza – intermetalno jedinjenje **CuAl₂**

Podela legura Al-Cu



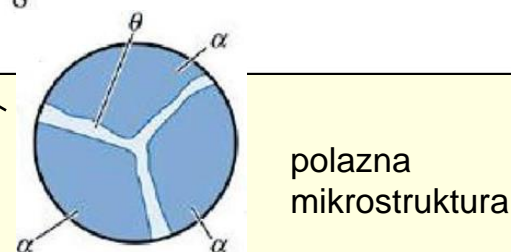
Termičko taloženje



- 1 faza - **Rastvarajuće žarenje**
- 2 faza - **Naglo hladjenje**
- 3 faza - **Starenje**

Kaljenje: → **rastvarajuće žarenje** → voda - **brzo hladjenje** → α -prezasićeni čvrsti rastvor $R_m, R_{p0,2} \downarrow; A, Z \uparrow$

Starenje: → prirodno starenje (20°C) ili veštačko starenje ($T > 20^\circ$)
 → $R_m, R_{p0,2} \uparrow, A, Z \downarrow$



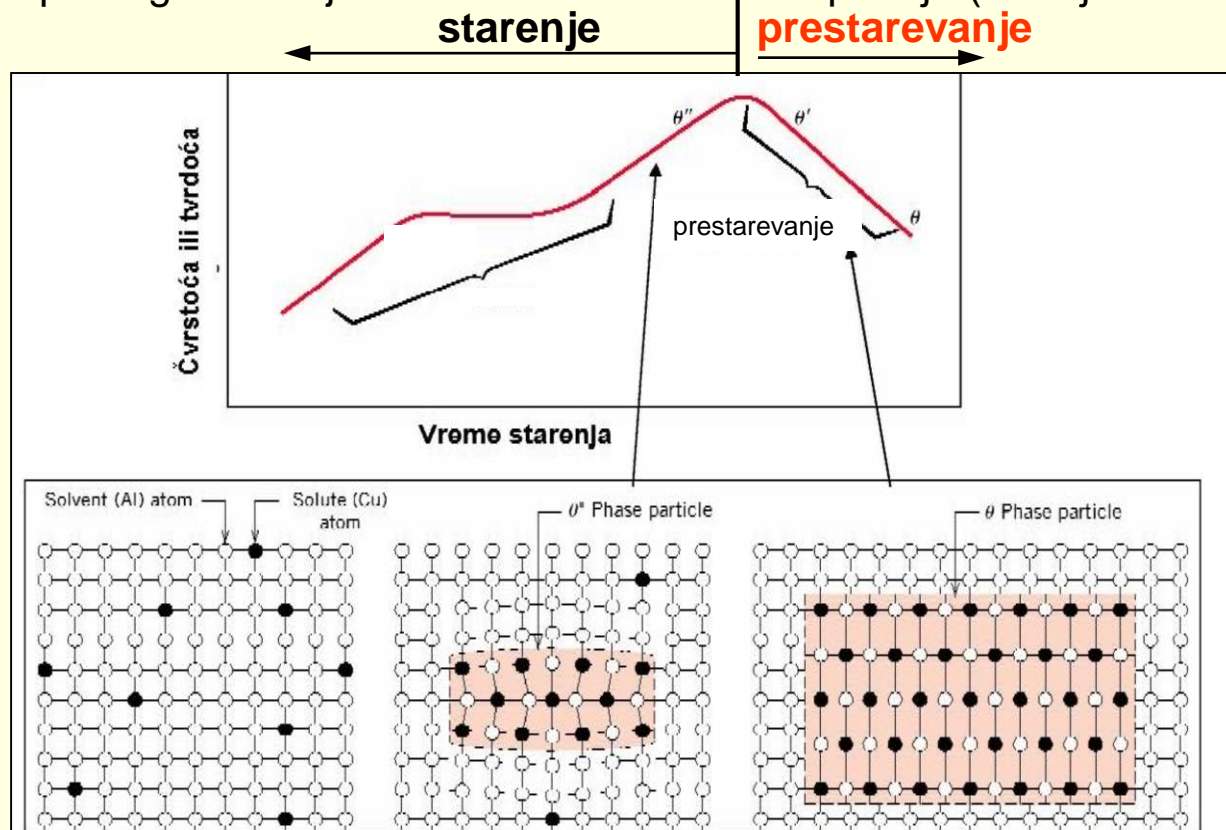
Taložno (čestično) ojačavanje

niže T starenja (100...150°C)
 $(R_{0,2}/R_m = 0,6...0,7)$

više T starenja (200...250°C)
 $(R_{0,2}/R_m = 0,9...0,95)$

Starenje

- **Prirodno starenje** – tokom dužeg vremena na sobnoj temperaturi izdvajaju se (talože) čestice sekundarne faze → rastu mehaničke osobine
- **Veštačko starenje** – zagrevanjem se ubrzava taloženje → rastu mehaničke osobine
- **Prestarevanje** - predugo starenje → mehaničke osobine opadaju (izdvaja se nekoherentan, krupni talog)

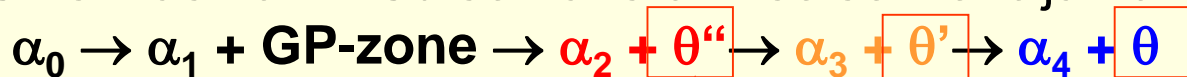


Ako je potrebno da se Al-Cu legure obrade deformacijom, obrada se izvodi odmah posle kaljenja jer posle starenja teško mogu da se deformišu

Taložno ojačavanje

- Sa višim sadržajem Cu raste zapreminski udeo ojačavajućih čestica → raste čvrstoća i **max HV**

- Čvrsti rastvor Al-Cu se transformiše sekvencijalno:



- Faze su:

α_n – Al prezasićeni čvrsti rastvor KPC

n (n=1,2,3) – označava ravnotežno stanje

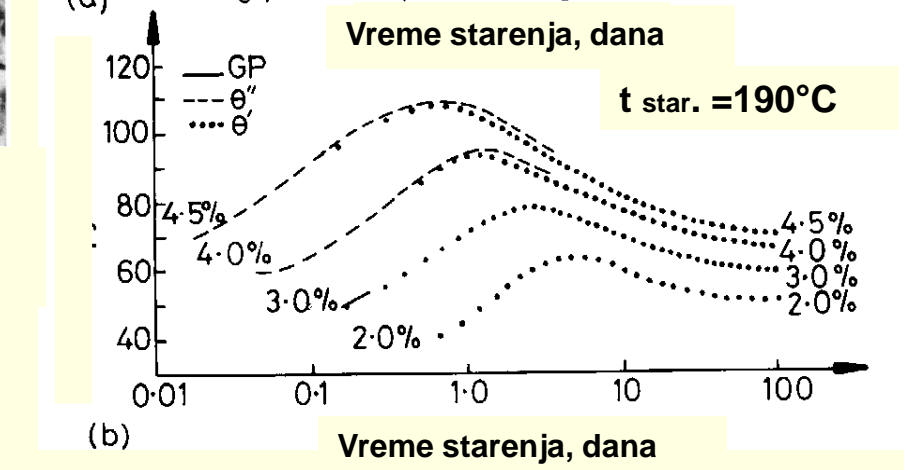
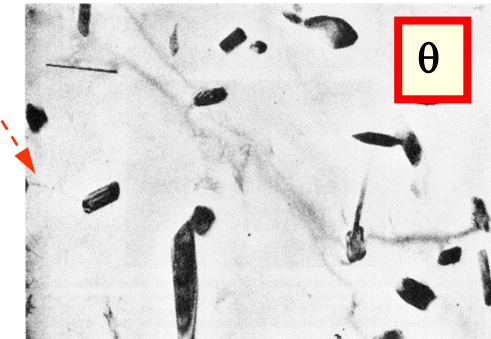
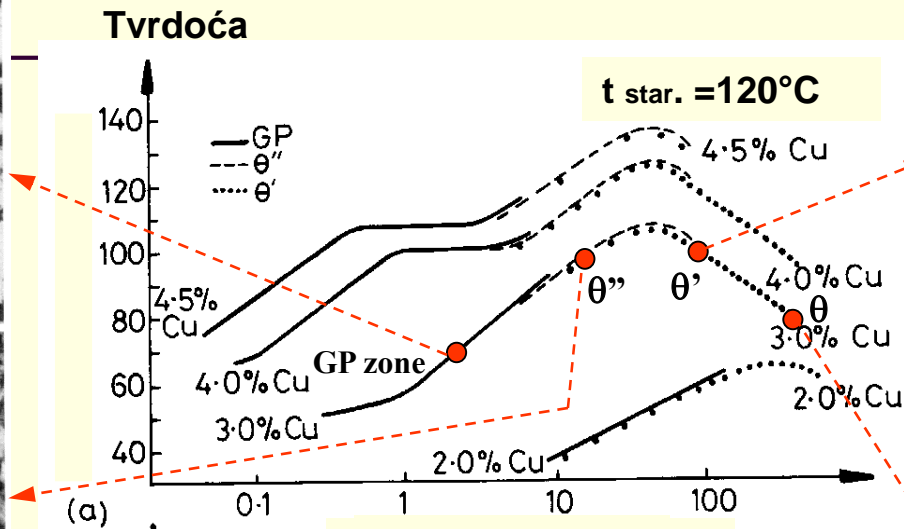
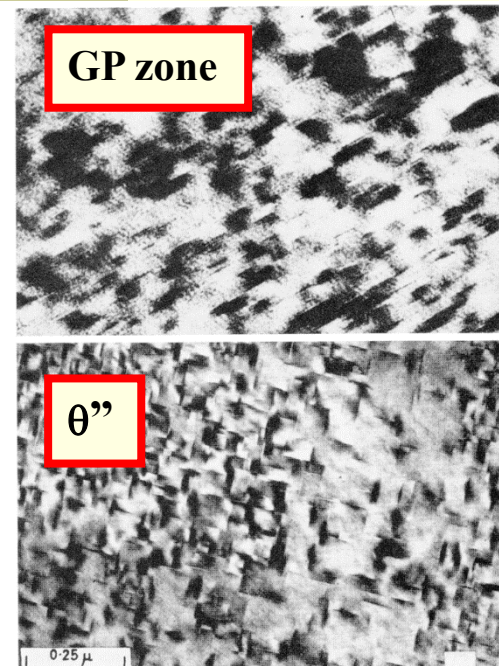
GP (Guinier-Preston) zone – slojevi Cu jednoatomne debljine

θ'' – potpuno **koherentan** talog

θ' – sočivasti **polukoherentan** talog

θ - **nekoherentan** talog prost.c. tetragonalna rešetka

Izgled mikrostrukture Al-Cu legura u različitim fazama veštačkog starenja

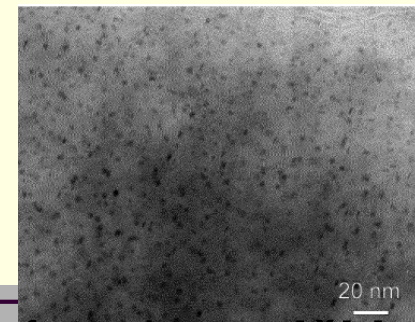


Krive starenja (mikrofotografije snimljene na TEM)

Legure Al-Mg-Si 6xxx (pantali)

- Imaju dobru kombinaciju čvrstoće, otpornosti na koroziju, duktilnost, zavarljivosti i
- Sadrže 0,45%-1,2% Mg i 0,2%-1,0% Si, koji formiraju ojačavajuće čestice **Mg₂Si**
- Mogu da sadrže i Mn, Cu, Fe i Cr.
- 6xxx legure su **termički obradive i primenjuje se termičko taloženje (kaljenje + starenje).**
- Rm =200 MPa -> 300 MPa
- Otporne su i na zamor
- Primena: građevinska industrija, auto industrija, železnica, izrada cevi,...
- **Primer:** Legura 6061 je jedna od najčešće korišćenih legura u građevinarstvu i automobilskoj industriji.

Legure Al-Zn-Mg - 7xxx (konstrukta)li

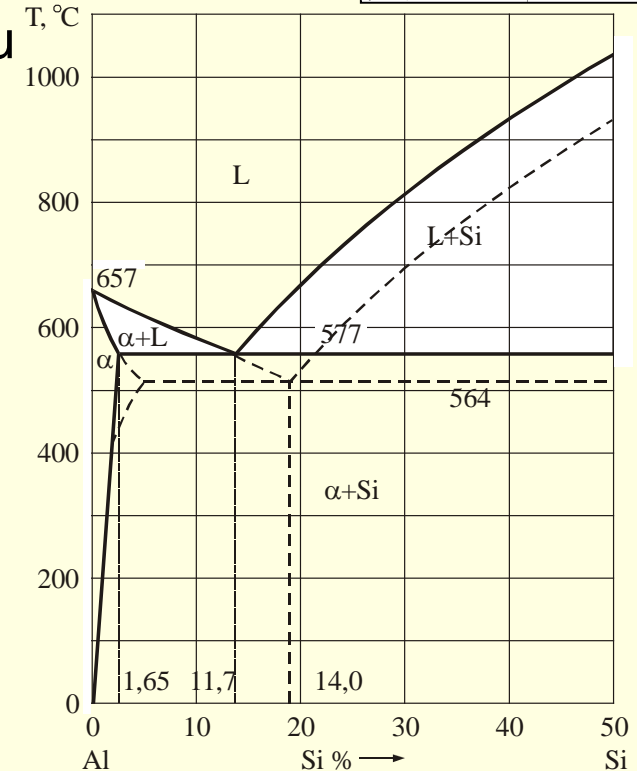
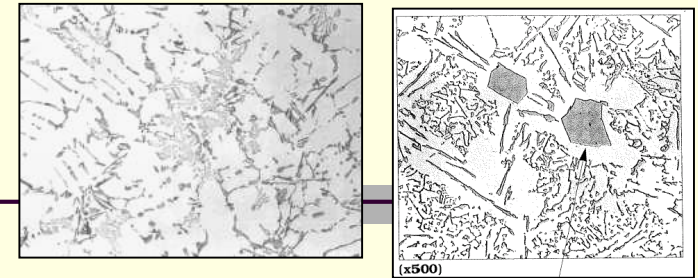


- Sadrže **4-8 % Zn** i **1-3 % Mg** koji formiraju intermetalne faze i **termički se obrađuju**.
- **Mogu da sadrže i Cu, Cr, Zr, Mn.** Legure koje sadrže Cu **imaju najvišu čvrstoću od svih komercijalnih legura Al.**
- **Rm = 450- 620MPa R0,2= 350->500MPa**
- Pošto prirodno stare **obrada deformacijom se radi odmah posle kaljenja.**
- Neke iz ove grupe legura se vrlo teško zavaruju - podela u dve grupe:
 - I) **legure visoke čvrstoće**, sa sadržajem **Cu > 1%**, **ne zavaruju se** - najčešće se primenjuju u avio industriji
 - II) **sa manjim sadržajem Cu su zavarljive ali im je niža čvrstoća**
- Loša otpornost na atmosfersku koroziju
- Primena – kao i Al-Cu
 - **7075-T6:** Najpoznatija legura Rm=**570-620 MPa** i R0,2= **500 MPa.** Primenjuje se u avio-industriji.
 - **7050-T7451:** Otporne su i na koroziju



Legure Al i Si (silumin) - 4xxx

- Silumini sadrže 4-22%Si, odlično se liju – legure za livenje, mala ρ , otporne na koroziju
- Si formira eutektikum sa Al:
 - **Podeutektički silumini** <12,6% Si. silicijum je rastvoren u aluminijumu. Dobra kombinacija mehaničkih osobina i livkosti
 - **Nadeutektički silumini** > 12,6% Si. sadrže primarne kristale silicijuma- otpornost na habanje.
- Ako se dodaju npr. **Mg, Cu moguća je TO** jer tada taložno ojačavaju
- **Često se koriste kao dodatni materijal za zavarivanje zbog nižih temperatura topljenja**
- Dobijaju sivu boju vremenom



Legure za livenje

niska T_t (Al-Si eutektička legura)

$T_t = 577^\circ\text{C}$ za 11,7%Si

$T_t = 564^\circ\text{C}$ za 14 % Si

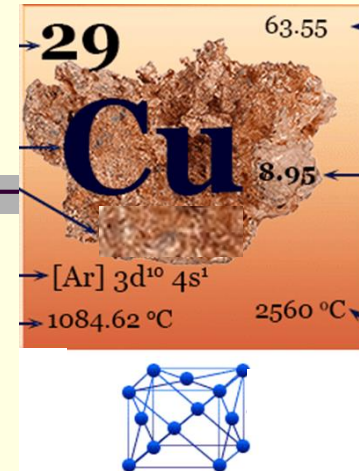
dobra livkost (mala razlika između likvidus i solidus T)



Bakar i legure bakra

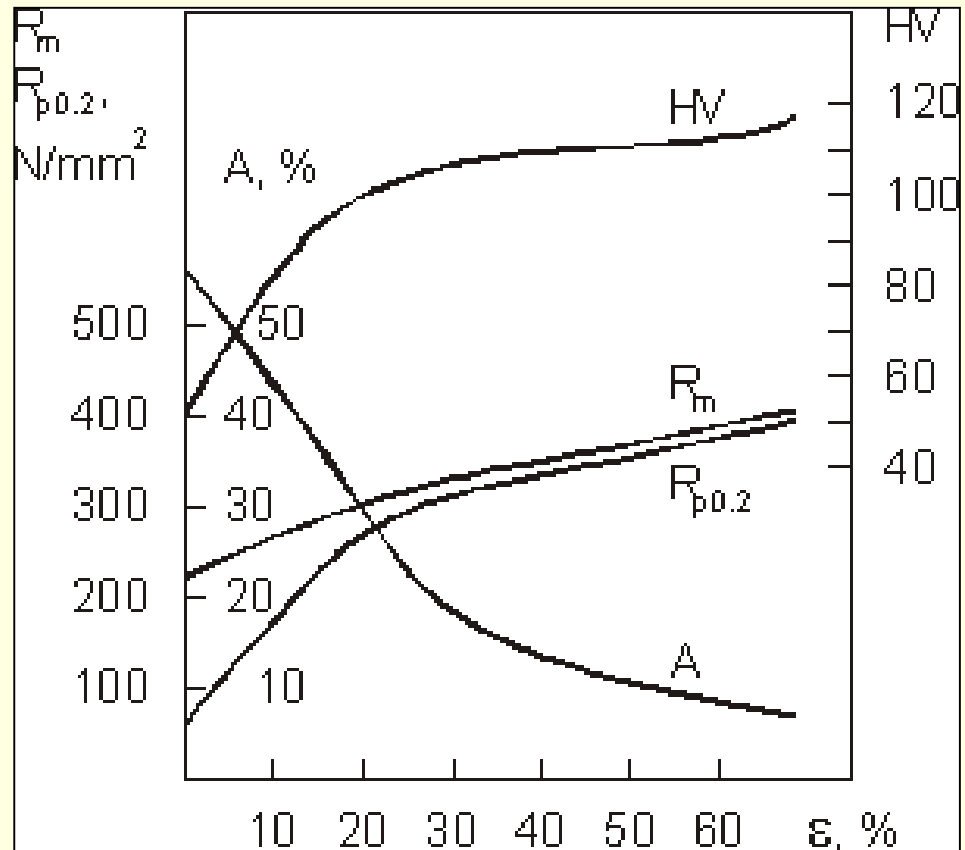
Cu i njegove legure

- $\rho = 8,93 \text{ g/cm}^3$.
- $T_f = 1083^\circ\text{C}$
- KPC rešetka.
- Posle Au i Ag ima najveću električnu provodljivost
- Toplotna provodljivost bakra je veća
 - 6x od Fe legura i
 - 2x od Al legura
- Cu - čisti metal ima široku primenu za izradu provodnika
- Obrazuje veliki broj tehničkih legura koje imaju dobra mehanička i tehnološka svojstva.
- Gradi stabilan površinski sloj pa je otporan na koroziju
- Veoma duktilan
- Čisti Cu u livenom stanju ima R_m od oko 200MPa, a **posle ojačavanja hladnim deformacijom** dostiže 400 MPa uz pad duktilnosti



Tehnički čist Cu

- Čistoća 99,95%,
 - Sadržaj kiseonika (O) do 0,04% (ostatak su drugi elementi u tragovima)
 - Ojačava hladnom deformacijom
 - Niske mehaničke osobine
- Primena: *u elektrotehnici kao provodnik*



Uticaj ojačavanja Cu hladnom deformacijom na mehaničke osobine

Legure Cu

■ Dve osnovne grupe legura:

1. Mesing – legura Cu sa Zn

2. Bronza: - kalajna (**Sn**)
- olovna (**Pb**)
- niklova (**Ni**)
- aluminijumska (**Al**)
- silicijumova (**Si**)
- berilijumska (**Be**)

Legure Cu

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 bronza	CuAl8 CuAl8Fe

- Legure bakra se **označavaju prema hemijskom sastavu**
- **Prva slovna oznaka je uvek Cu** - hemijski simbol bakra, kao osnovni metal,
- Iza Cu se u nizu navode hemijski **simboli legirajućih elemenata po uticajnosti**
- Iza slovnih oznaka su brojčane oznake koje pokazuju njihov **procentualni sadržaj**.

Legure Cu mogu da budu:

- za livenje ili
- za plastičnu preradu

Skoro sve Cu legure ojačavaju hladnom deformacijom

Sistem označavanja Cu legura

Označavanje prema hemijskom sastavu

- Cu za plastičnu preradu – CuZn36Pb3
- Cu za **livenje** – **G**-CuSn10

Dodatne oznake (**SRPS EN 1173:2011**)

Značenje slovne oznake

- A** – izduženje (npr. Cu-**A007**)
- B** – savojna čvrstoća (npr. CuSn8-**B410**)
- D** – izvlačen, bez garantovanih meh. osobina
- G** – veličina zrna (npr. CuZn37-**G020**)
- H** – HB ili HV (npr. CuZn37-**H150**)
- M** – u proizvedenom stanju, bez garantovanih meh. osobina
- R** – **Rm** (npr. CuZn39Pb3-**R500**)
- Y** – **Re** (npr. CuZn30-**Y460**)

Uticaj legirajućih elemenata

- Najvažniji legirajući elementi - Zn, Sn, Al, Be, Ni, Mn, Si, Ag, itd. Fosfor (P) se dodaje kao dezoksidator.
- Osobine - zavise od čistoće i sadržaja gasova.
- Štetne primese - Sb, S, Se, Te, Bi i O sadržaj ograničen (npr.na 0,005 %).
- Ostale elemente radimo kroz legure↓

Cu-Zn legure – mesing



Zn	<ul style="list-style-type: none">• Poboljšava mehaničke osobine, kao što su čvrstoća i otpornost na habanje.• Dobar balans između čvrstoće i duktilnosti.• Smanjuje tačku topljenja legure, što olakšava livenje.• Smanjuje električnu provodljivost	Vodovodne cevi, armatura, brave, muzički instrumenti, dekorativni elementi.
----	--	---



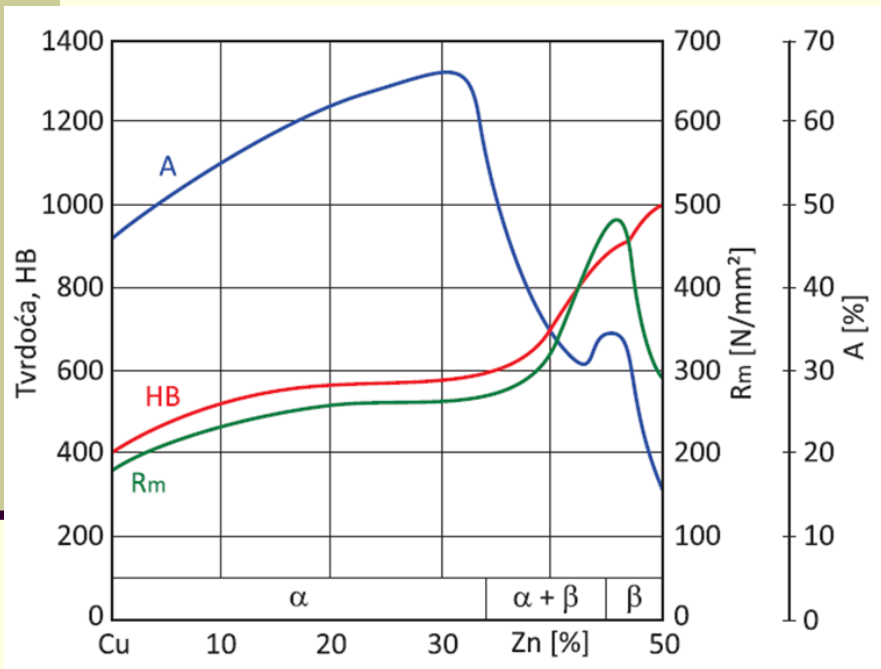
- Mesing je legura bakra sa cinkom (**najviše 50 % Zn**)
- Dodatni elementi, npr. Al, Pb, Sn i Ni se dodaju za postizanje veće otpornosti na koroziju ili viših mehaničkih osobina
- Cu i Zn grade veći broj čvrstih rastvora (α , β , γ , ϵ , η)

Postoje 2 rešetke i 3 vrste vrste mesinga:

- **α mesing (KPC) – do 35%Zn**
- **$\alpha+\beta$ mesing – 35-45%Zn**
- **β mesing (KZC) ->45%Zn**

Cu-Zn legure – mesing

Uticaj sadržaja Zn na osobine



■ **Rm=200-550 Mpa**

■ **HB=50 - 150 HB**

■ %Zn↑ → do ~50% čvrstoća R↑, a zatim naglo opada

■ %Zn↑ do 30% → duktilnost ↑

■ %Zn↑ preko 30% → A ↓

■ %Zn↑ → tvrdoća HB↑

■ Osobine:

■ niža HB, visoka žilavost

■ otporan na zamor

■ otporan na koroziju,

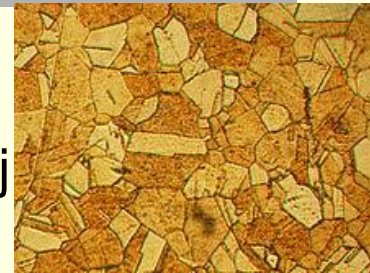
■ odlična obradljivost rezanjem (dodaje se Pb)

■ nizak koeficijent trenja

Vrste mesinga

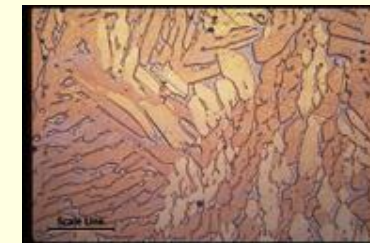
α mesing – (do 35% Zn)

- jednofazna legura sa KPC rešetkom
- deformabilan na sobnoj temperaturi, a nije na povišenoj – **obrađuje se na hladno** presovanjem, kovanjem, itd



$\alpha+\beta$ mesing 35-45%Zn

- dvofazna struktura (KPC i KZC)
- **obrada na toplo**
- viša čvrstoća



β mesing - 45-50%Zn - max 50% Zn (sa višim sadržajem postaje krt)

- KZC rešetka
- nije deformabilan na sobnoj temperaturi – obrađuje se na toplo
- viša čvrstoća
- pogodan **za livenje**
- najsvetliji mesing (zlatne boje)



Primena mesinga

Naziv	Oznaka	Legure Cu 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	28...31 %Zn	Kondenzatorske i druge cevi za izmenjivače toplote, za duboko izvlačene čaure
Mesing za obradu gnječenjem	CuZn35	28...35 %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, zavrtnjeve, profile

Cu sa drugim elementima - bronzе

- Cu-Sn (klajna bronza)
- Cu-Pb (olovna bronza)
- Cu-Al (aluminijumska bronza) $R_m \rightarrow 700 \text{ MPa}$
- Cu-Be (berilijumska bronza) – $R_m \rightarrow \underline{\underline{1400 \text{ MPa}}}$
- Cu-Si (silicijumova bronza)



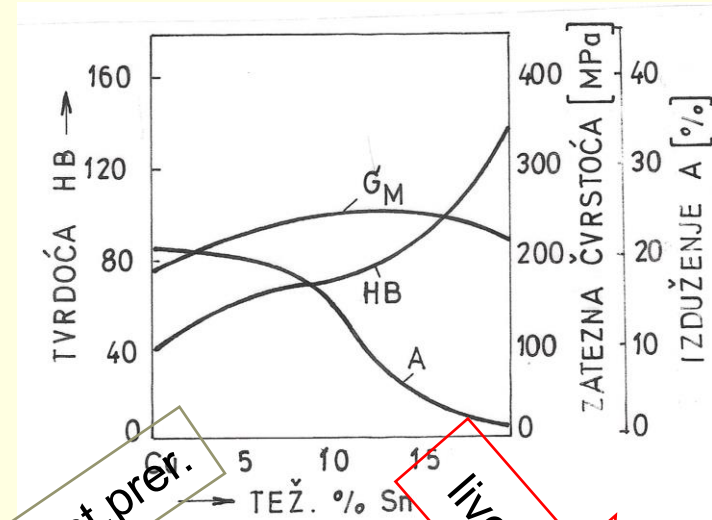
Kalajne bronze - Sn bronza

Sn

- Poboljšava otpornost na koroziju.
- Povećava tvrdoću i čvrstoću legure.
- Smanjuje duktilnost, ali bronza ostaje dovoljno obradiva za kovanje i livenje.

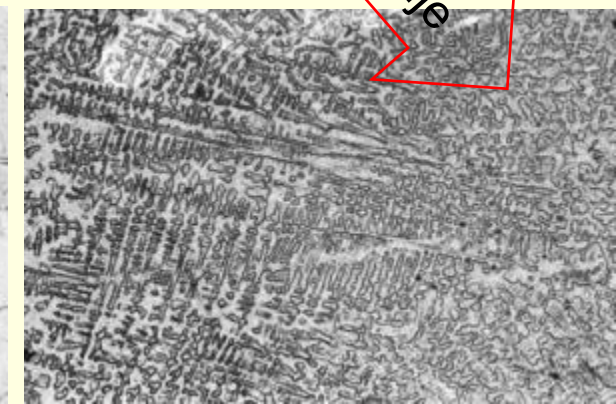
Pomorska oprema, zupčanici, ležajevi, kipovi, umetnički predmeti

- Za plastičnu preradu do 10%Sn
- Za livenje do 15-20%Sn
- Bronzano doba nazvano prema ovoj leguri
- U starom veku se koristila za oružje i oklope
- Izuzetno otporne na koroziju i habanje, visoke tvrdoće i čvrstoće
- Žilavost niža od mesinga
- Zavarljive



Plast. prer.

livenje



Pb bronza



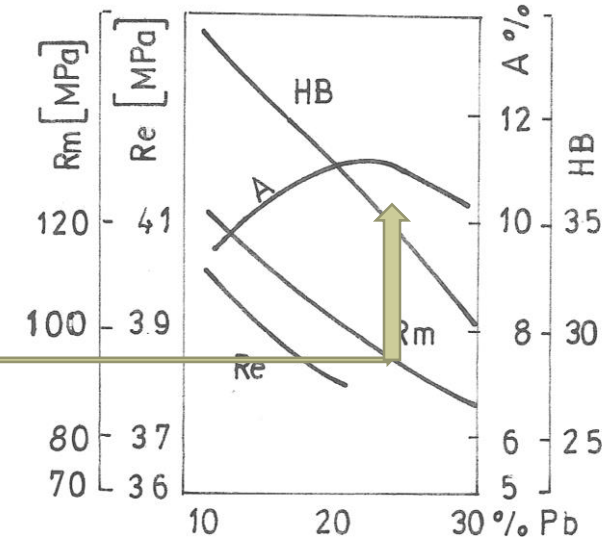
Pb

Olovo se teško rastvara u bakru i formira uključke koji smanjuju duktilnost i čvrstoću materijala

- Lako se liju
- Odličan koeficijent trenja
- Smanjena čvrstoća i duktilnost.
- Smanjena električna i termička provodljivost.
- Moguća pojava interkristalnih prslina na visokim temperaturama

visokoopterećeni klizni ležajevi

- Olovne bronze su legure bakra sa olovom koje su namenjene **za livenje**
- Za inženjersku praksu su važne:
 - **Cu + 25 % Pb**-visokoopterećeni **klizni ležajevi**
 - **Cu+5-22%Pb i 5-10%Sn** - visokoopterećeni **klizni ležajevi sa udarnim opterećenjem**



Al bronza

Al	<ul style="list-style-type: none">• Povećava otpornost na habanje i eroziju.• Poboljšava otpornost na koroziju posebno u kiselim i morskim sredinama• Podiže mehaničke osobine.• Omogućava dobru livkost legure	Pomorska oprema, naftna i petrohemijska industrija, pumpe, ventili, brodski delovi, izmenjivači toplote
----	--	---

- Al bronzne su legure Cu sa **max 12 %Al**
- **Jednofazne** legure imaju sadržaj **Al do 7%**
- Kompleksne **dvofazne legure** - sadrže oko 11% Al sa dodacima Fe, Ni i Mn.



Be bronza

Be

- Izuzetno visoka čvrstoća, tvrdoća i elastičnost.
- Dobra otpornost na zamor i habanje.
- Dobra otpornost na koroziju.
- Ne varniči

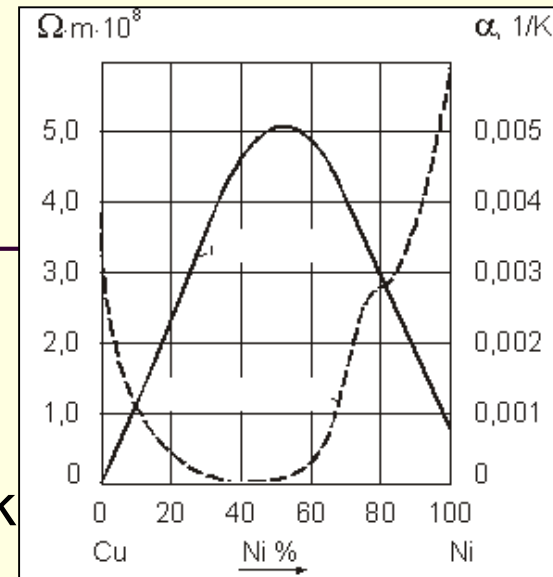
Alati otporni na varničenje, električni kontakti, opruge, precizni alati

- Sadrže 2-2,5 %Be, taložno ojačavaju i imaju mehaničke osobine na nivou čelika za poboljšanje



Ni bronze

- **Cu-Ni legure** (na dijagramu stanja max 50% Ni) - provodljivost do 45% Ni (*konstantan*)
- **Cu-Ni legure** sadrže od **5 do 30% Ni** i dodatak **Fe i Mn** – otporne na koroziju.



- Koriste se za izradu izmenjivača toplote, cevovoda itd, kada se zahteva dobra koroziona otpornost i visoka mehanička svojstva. **Struktura i zavarljivost Cu-Ni legura je slična čistom Cu, dok su tvrdoća i čvrstoća izrazito više.**



Ni bronza
Cu75Zn20Ni5



Nordijsko zlato
Cu89Al5Zn5Sn

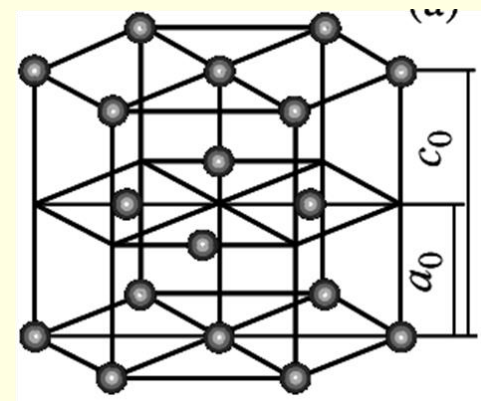
Cu - 10-20% Ni + 20-35% Zn
(alpaka ili novo srebro).

Magnezijum i njegove legure

Mg i njegove legure

Čist Mg

- Rešetka: HGP – loša plastičnost na niskoj i sobnoj T
- Temperatura topljenja T_f - 650 °C
- Temperatura paljenja - 482°C!!!
- Gustina $\rho = 1.74 \text{ g/cm}^3$ (**najlakši inženjerski materijal**)
- Visoka R_m/ρ : R_m čistog Mg ~100-200 MPa, **legiranjem može da dostigne 400-450MPa**
- Mala duktilnost čistog Mg zbog HGP rešetke(A~8%) se podiže legiranjem (npr. Al i Zn) i postaje **izrazito duktilan**
- Gradi oksid MgO čija je $T_t = 2600^\circ\text{C}$ ali je njegov oksid porozan. Kod legura se dobija stabilni zaštitni oksidni sloj na površini, što im daje **veliku otpornost na koroziju**.
- Teško zavarljiv zbog reaktivnosti



Mg i njegove legure

■ Prednosti:

- Laki metal - smanjuje masu konstrukcije.
- Dobro se lije
- Visoka čvrstoća i legure Mg su otporne na koroziju.
- Dobre osobine na povišenim temperaturama.
- Magnezijum se dobro deformiše i **ima dobru obradivost, uprkos svojoj HGP rešetki jer mu se aktivira i mehanizma dvojnikanja**, kao i sekundarne ravni klizanja na određenim temperaturama i opterećenjima. Takođe, legiranje npr. Al, Zn i drugim elementima može poboljšati deformabilnost

■ Nedostaci:

- Osetljivost na koroziju u određenim okruženjima (npr. u prisustvu soli).
- Otežano zavarivanja zbog reaktivnosti u vazduhu.
- Ograničena temperatura primene zbog niske Tt.

Mg i njegove leg

- **Primena legura magnezijuma**
- Automobilska
- Vazduhoplovna industrija (npr. legure sa litijumom tipa WE43)
- Elektronska industrija: kućišta mobilnih telefona, laptopova itd.
- Biokompatibilnost i biorazgradivost - Mg legure se koriste i za hirurške implante.
- Sportska oprema.



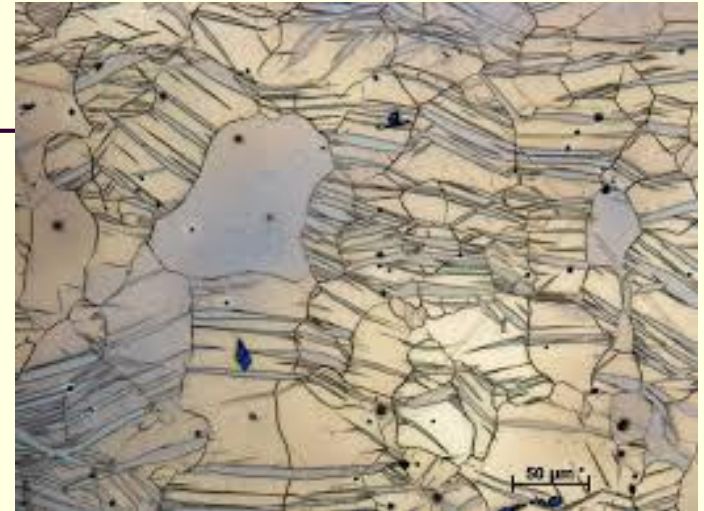
a, c) Deo kompresora; b) impeler od legure sa Li;
d, e) delovi letelica; f) otkovak



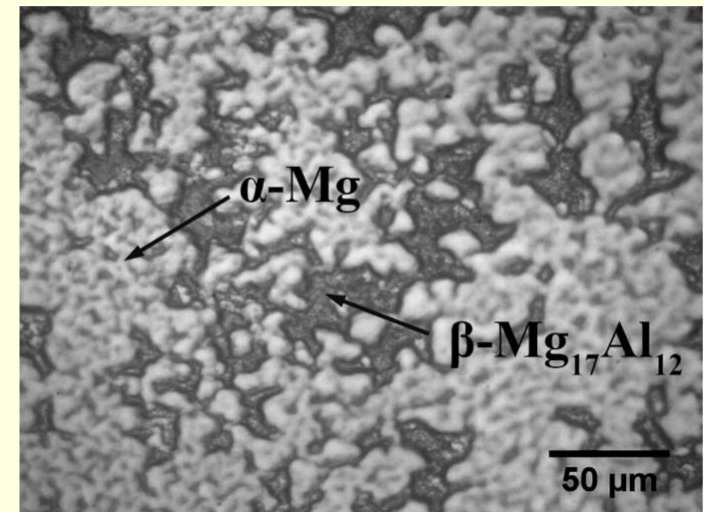
Kućište reduktora od livene legure Mg

Mg i njegove legure

- Legure Mg se dobro deformišu i imaju dobru obradivost, uprkos HGP rešetki jer im se aktivira mehanizma dvojnikanja, ali se aktiviraju i sekundarne ravni klizanja.
- Mikrostruktura Mg legura može uključivati različite faze, kao što su:
 - **α faza:** HGP rešetka, stabilna na sobnoj temperaturi ostaje stabilna do **650 °C**
 - **β faza:** uglavnom čestice ali se pojavljuje i KZC rešetka (samo pod određenim uslovima, kao što su brzina hlađenja, **visoki pritisak ili legiranjem Al, Zn itd.**)



Dvojnici u mikrostrukturi deformisane legure Mg



$\alpha+\beta$ legura Mg

Oznake prema ASTM B275										
A	B	C	D	E	F	H	J	K	L	M
Al	Bi	Cu	Cd	retke zemlje	Fe	Th	St	Zr	Li	Mn
N	P	Q	R	S	T	V	W	X	Y	Z
Ni	Pb	Ag	Cr	Si	Sn	Gd Gadolinijum lantanoid	Y Itrijum retka zemlja	Ca	Sb Antimon	Zn

Označavanje i podela legura Mg prema ASTM

Podela legura Mg:

- **1. Mg-Al-Zn legure (AZ legure – oznake prema ASTM)**
- Delovi se izrađuju livenjem, ekstruzijom, kovanjem. Primenjuje se TO (npr. AZ31, AZ61, AZ80, AZ81A ili AZ63A). **Imaju dobru čvrstoću, duktilnost i otpornost na koroziju**, što ih čini pogodnim za širok spektar primena. Termički se obrađuju
- **2. Mg-Zn-Zr ili torijum (Th) legure** (npr. ZK60, ZK70, ZK61A, AZ31A ili HZ11). **Imaju odličnu žilavost, obradivost rezanjem i otpornost na koroziju, višu čvrstoću i manju duktilnost od Mg-Al legura.** Termički se obrađuju
- **3. Mg-Mn legure (M legure prema ASTM).** **Mn poboljšava otpornost na koroziju. Imaju dobru zavarljivost** (npr M2 ili MgMn2 i M1 ili MgMn1.5)
- **4. Mg-Si legure.** Imaju dobru otpornost na koroziju ali nižu čvrstoću.
- **5. Legure sa Li** (npr. WE43). Veoma su lagane i imaju visoku čvrstoću, što ih čini pogodnim za avio i vojnu industriju.

Mg i njegove legure

Označavanje prema EN

- za plastičnu preradu (MgMn2)
- za livenje (**MCMgAl8**)

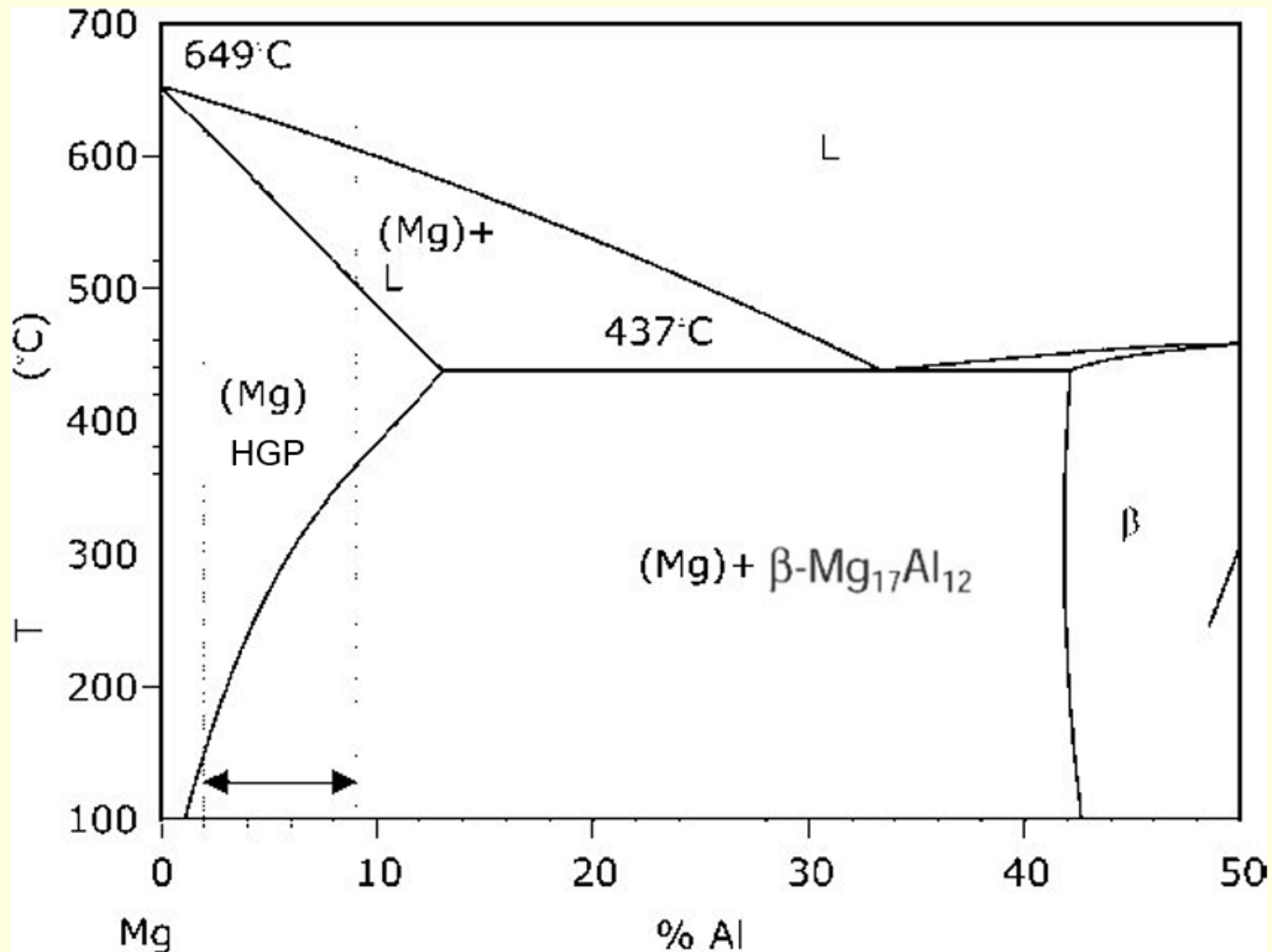
Mg- legure za plastičnu preradu

Oznaka	R_m	$R_{p0,2}$	A	Primena
	N/mm ²		%	
MgMn2	200	145	15	<u>Koroziono otporne, zavarljive</u> legure za auto i avio-industriju kontejnere,...
MgAl8Zn	310	215	6	

Mg legure za livenje (SRPS EN 1753:2011)

MCMgAl8Zn1	240	90	8	<u>Dinamički otporne legure.</u> Za auto i avio industriju.
MCMgAl6	190-250	120-150	4-14	
MCMgAl4Si	200-250	120-150	3-12	

Dijagram stanja Mg- Al

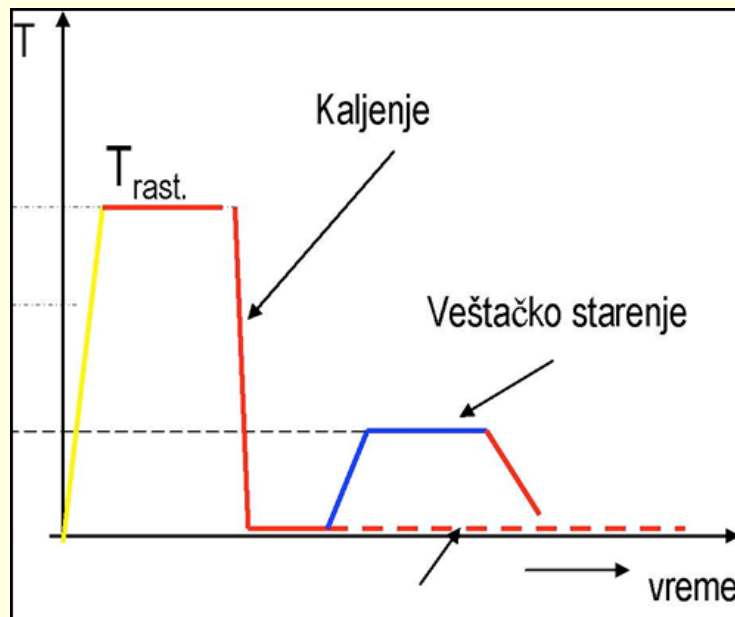


Mg-Al legure

TO Mg-Al legura

- Osnovna TO slično kao kod Al-legura:

Kaljenje + starenje → (izdvajaju se čestice $MgZn_2$, Mg_4Al_3 , itd.) →
 $R_m \uparrow 20-30\%$



- rastvarajuće žarenje 400-520°C.
- brzo hlađenje (mora da bude nereaktivna sredina)
- starenje na 150-200°C

Ostale TO:

- homogenizacija
- rekristalizaciono žarenje
- žarenje radi uklanjanja zaostalih napona

Titan i legure titana sledeci put...