

Mašinski materiali 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

- **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 nuklerkama kao hidridi, kod keramika,... TtCe=795°C (cerijum) TtLu=1663°C (lutecijum)
- **Aktinoidi** (od aktinijumu Ac) – retke zemlje - 15 elemenata i svi su radioaktivni; u prirodi uranijum U i torinun 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...**
- **Nemetali...**

The image shows a periodic table of elements. The elements are color-coded by groups: Alkali metals (yellow), Alkaline earth metals (orange), Transition metals (pink), Post-transition metals (light green), Metalloids (green), and Nonmetals (blue). The Lanthanoid and Actinoid series are shown at the bottom. The table includes atomic number, symbol, and name for each element. A legend at the top right indicates the states of matter: Solid (C), Liquid (Hg), Gas (H), and Unknown (Rf). A note at the bottom states: "For elements with no stable isotopes, the mass number of the isotope with the longest half-life is in parentheses."

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																		
													Pnictogens		Chalcogens	Halogens																			
1 H Hydrogen 1.008	<div>Atomic # Symbol Name Weight</div> <div>C čvrsto</div> <div>Hg tečnost</div> <div>H gas</div> <div>Rf ?</div>																	2 He Helium 4.0026																	
3 Li Lithium 6.94	4 Be Beryllium 9.0122	<div>METALI</div> <div>ALOKALNI METALI</div> <div>ZEMIOALKALNI METALI</div> <div>LANTANOIDI</div> <div>AKTANOIDI</div> <div>PRELAZNI METALI</div> <div>POSTRELAZNI METALI</div> <div>METALOIDI</div> <div>NEMETALI</div> <div>OSTALI NEMETALI</div> <div>INERTNI GASOVI</div>																5 B Boron 10.81	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.180												
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305	13 Al Aluminium 26.982	14 Si Silicon 28.085	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.06	17 Cl Chlorine 35.45	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 (260)						

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 ukljuuju u formiranje veze

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

-elektroni i iz preposlednje orbitale se uključuju u formiranje veze

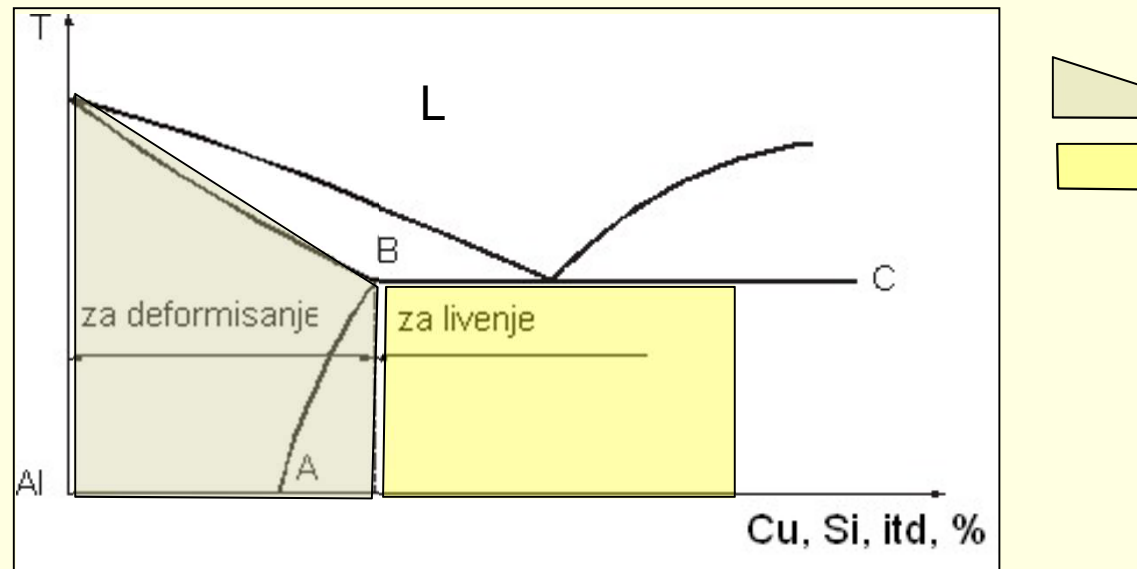
-veza je jaka zbog više elektrona $\rightarrow T_t \uparrow$

-visoko R_m i HV

-otporni na habanje, koroziju i deformaciju

Podela legura obojenih metala prema izradi

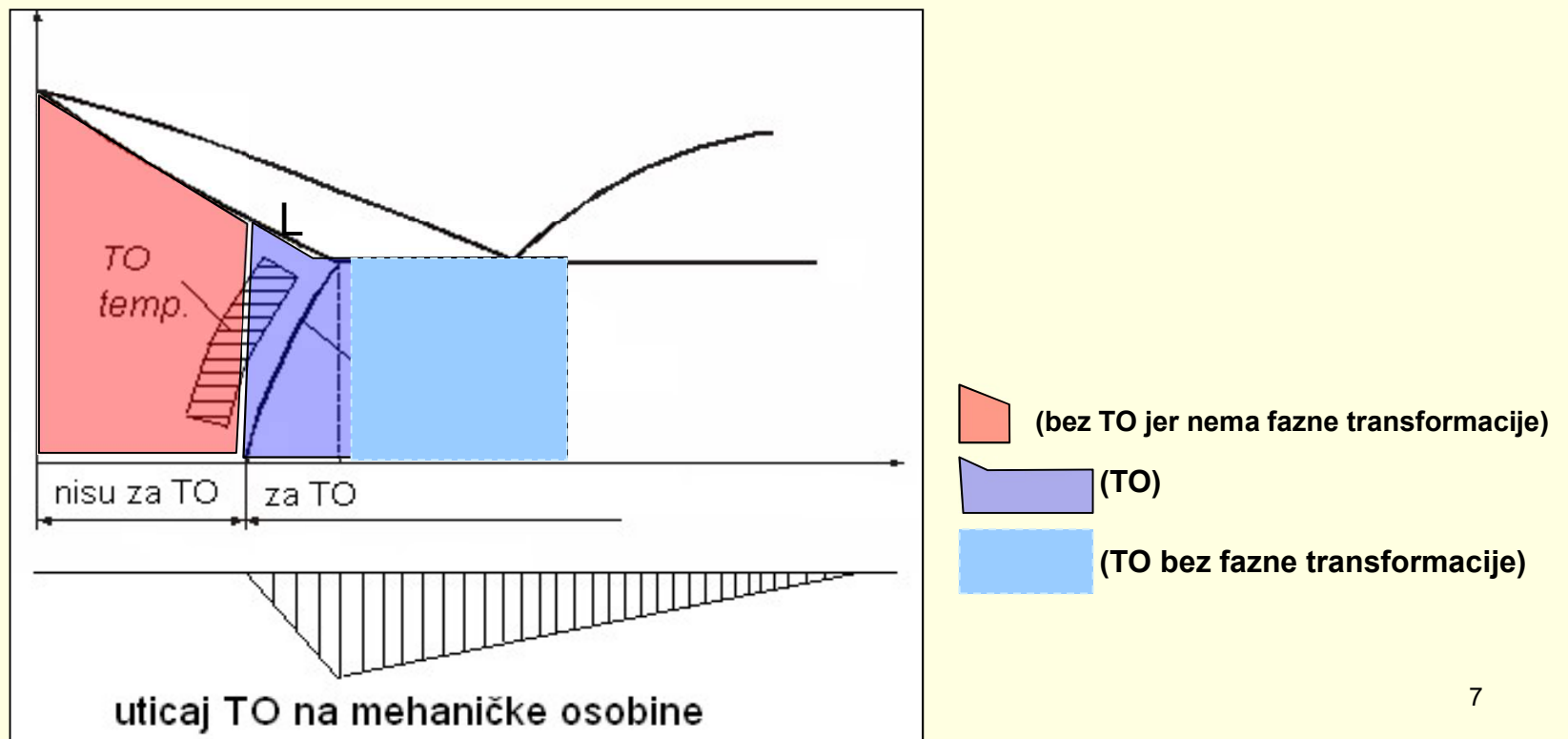
- c) Prema načinu **izradi** obojeni metali se dele na (šematski prikazano na faznom dijagramu):
- **legure za oblikovanje deformisanjem**
 - **legure livenje**



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

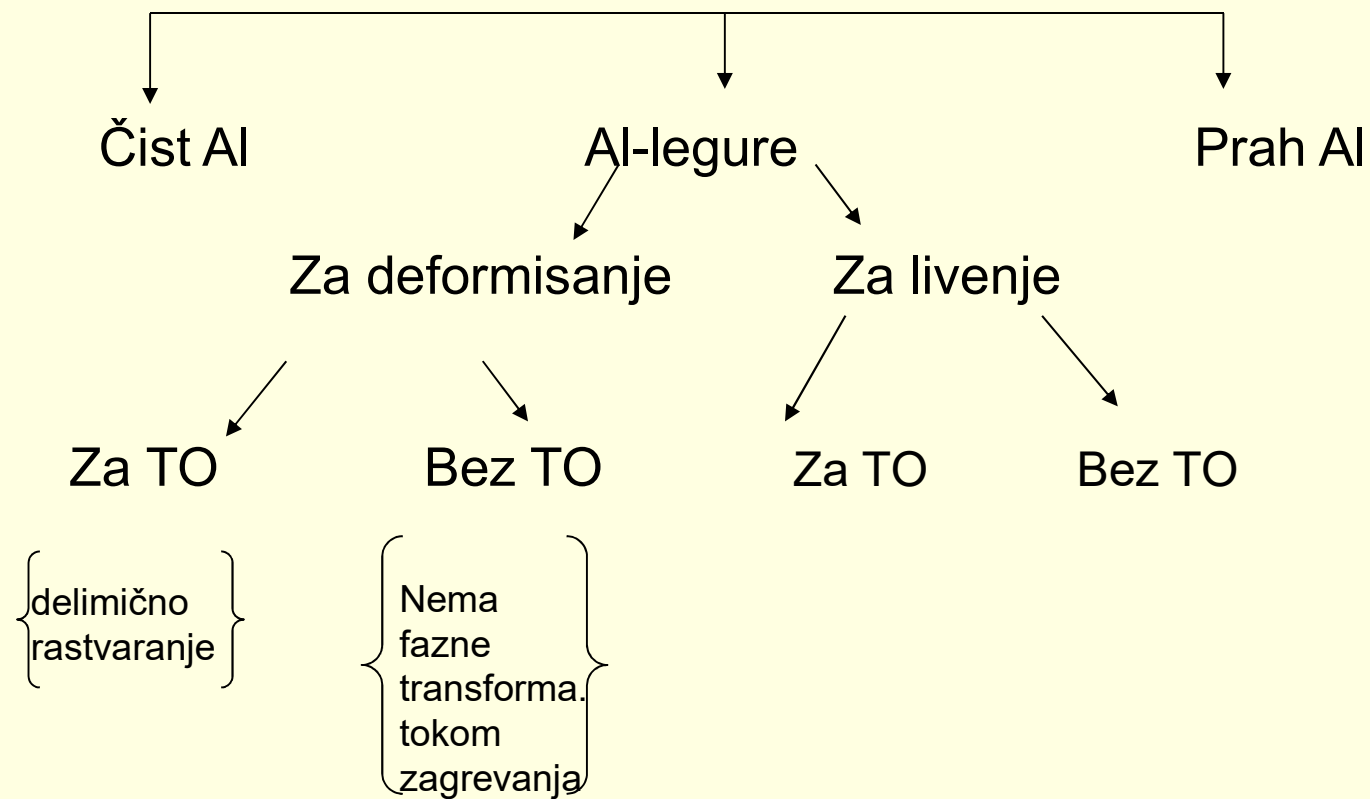


Aluminijum i njegove legure

Aluminijum

- Aluminijum je najčešće korišćen metal posle Fe i najrasprostranjeniji metal u Zemljinoj kori (80%).
- Produkcija aluminijuma, kao čistog metala, započela tek pre manje od 2 veka
- Osnovne prednosti legura Al u odnosu na klasične legure Fe su:
 - manja specifična težina,
 - odgovarajuća žilavost,
 - velika toplotna i električna provodnost,
 - dobra postojanost prema dejstvu agresivnih sredina i atmosferskoj koroziji – gradi stabilni oksid Al_2O_3 .
- Nedostaci:
 - niski modul elastičnosti,
 - pad mehaničkih osobina za $T > 100^\circ\text{C}$,
 - osetljivost prema zarezima

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 – čist 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)

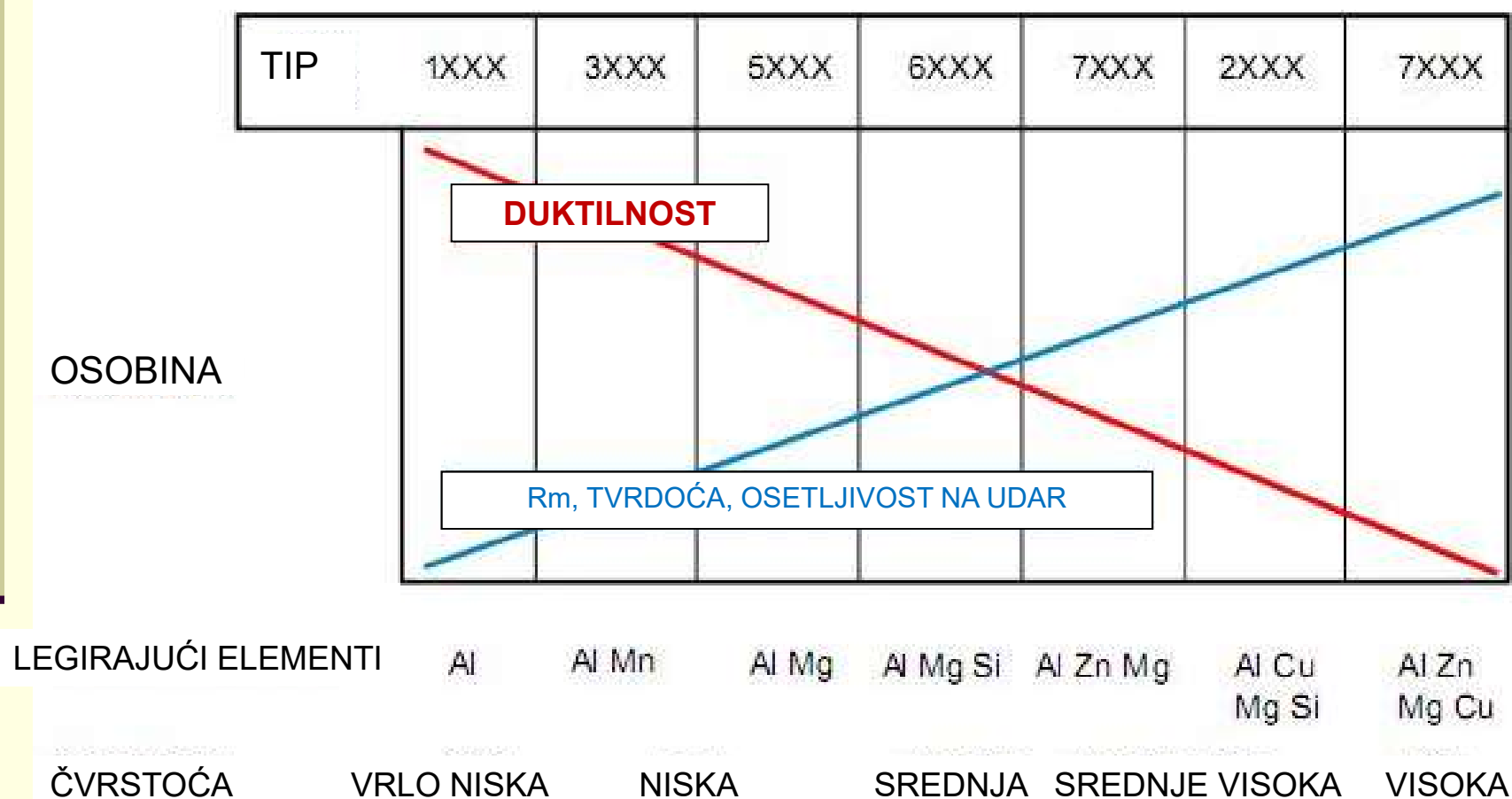
III i IV cifra – samo kod čistog Al znači čistoću – 1060 – 99.60%Al;

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

Za livenje

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

Mehaničke osobine različitih legura Al



Termička obrada legura Al

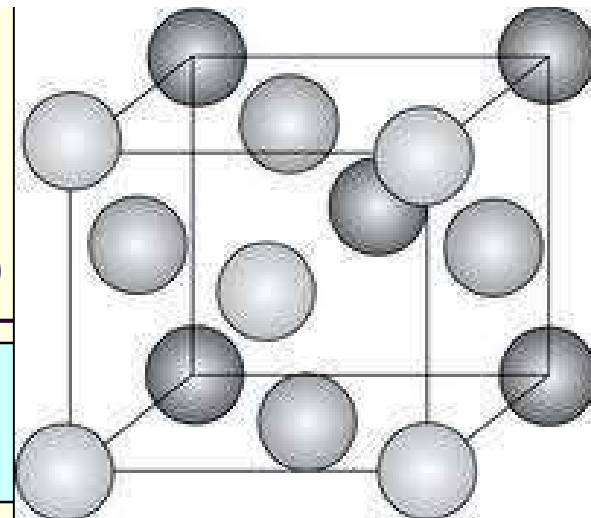
- Čist Al (**1xxx**) i legure sa Mn (**3xxx**) ili Mg (**5xxx**)
 - ne mogu da se termički obrađuju zbog male količine legirajućih elemenata
 - ove legure moraju da se **ojačavaju deformaciono** – hladnim valjanjem, izvlačenjem, vučenjem.
- Ostale, a posebno Al-Cu (**2xxx**), Al-Zn (**7xxx**), i Al-Mg-Si (**6xxx**) legure
 - **mogu da se termički obrađuju** (grade jedinjenja)
 - najčešće se podvrgavaju rastvarjućem žarenju i starenju čime postižu višu čvrstoću
 - **taložno ojačavaju starenjem.**

Gustina različitih legura Al

- Važna karakteristika **gustina: legiranjem se menja**
- 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

Fizičke osobine čistog Al (1xxx)



Fizičke osobine

Kristalna građa	Površinski centrirana kubna rešetka	
Temperatura topljenja	660 °C	↓
Gustina	2.7 g/cm ³	↓ → mala masa
Toplotna provodljivost	200 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	

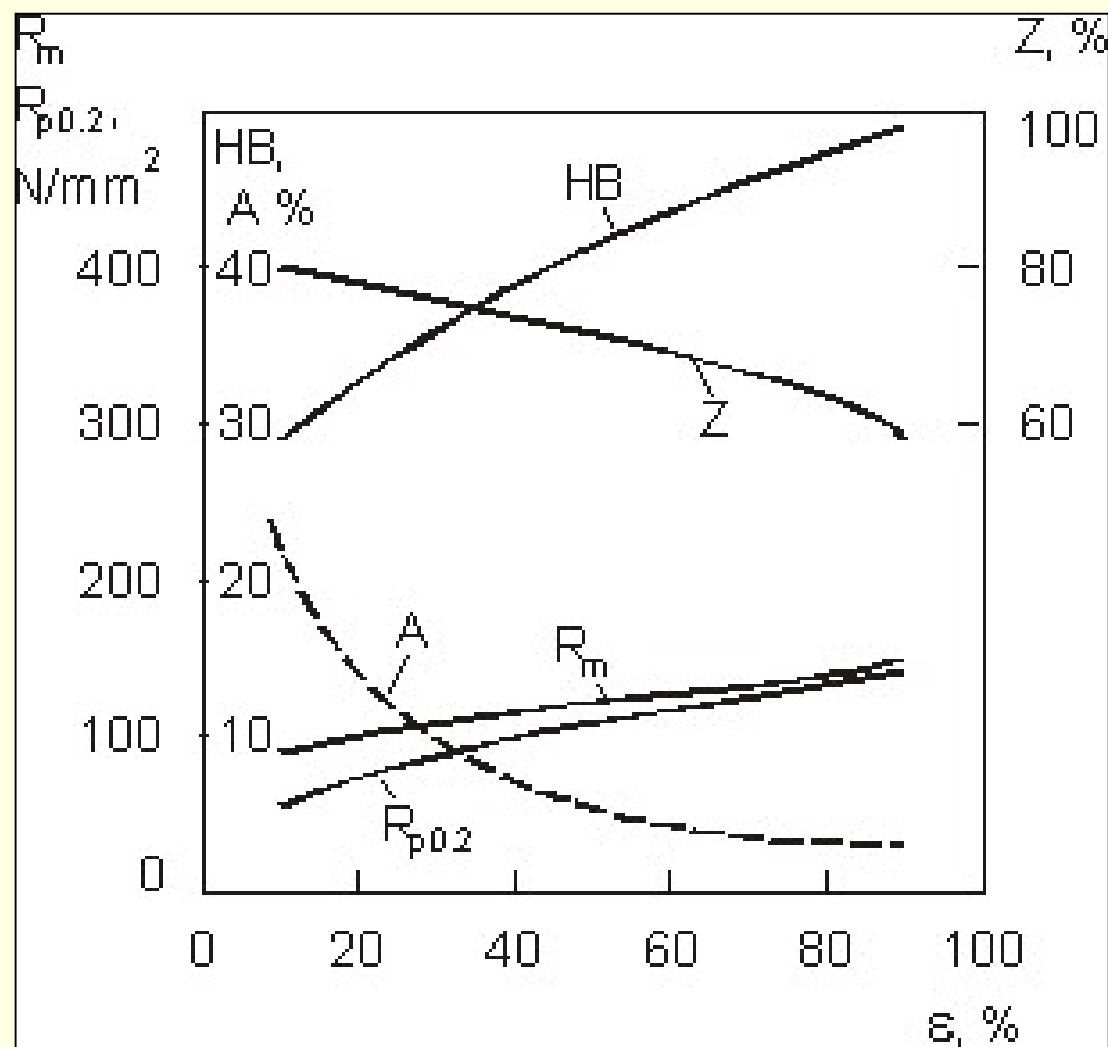
Mehaničke osobine čistog Al u žarenom stanju na 20°C

■ 1xxx, Al

- **čvrstoća je niska** (↓) čak i u deformisanom stanju.
- ekstremna duktilnost i sposobnost oblikovanja,
- visoka električna provodnost,
- otporne na koroziju.

Mehaničke osobine (zavise od čistoće)		Al 99.99	Al 99.5
Napon tečenja	Re, MPa	15	50
Zatezna čvrstoća	Rm, MPa	50	80
Procentualno izduženje	A, %	45	30
Procentualno suženje	Z, %	90	70
Modul elastičnosti	E, MPa	71 000	71 000
Tvrdoća	HB	15	20

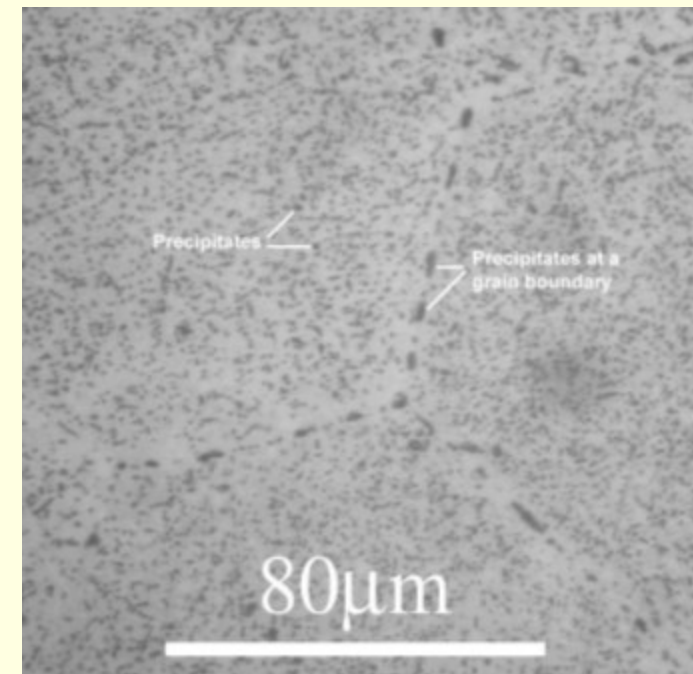
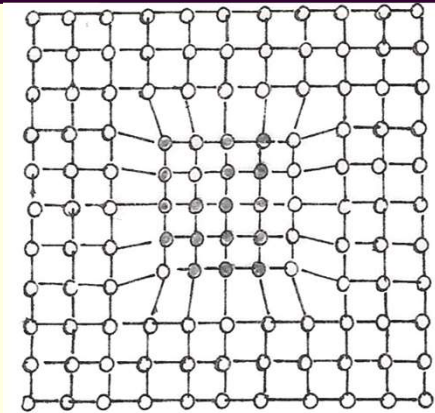
- Deformisano stanje - Mehaničke osobine u funkciji % deformacije Al



Legure Al-Cu (2xxx) duraluminijum

2xxx, Cu (1-10%Cu)

- Sadrže i do 1,5 % Mg
- Izraženo ojačavanje sekundarnim fazama – (veštačkim starenjem izlučuju **polukoherentni talog**)
- **%Cu** $\uparrow \rightarrow$ **Rm** \uparrow **A** \downarrow (ima izuzetaka) zbog taložnog čestičnog ojačavanja;
- nemaju dobru otpornost na koroziju u poređenju sa većinom legura Al koje nisu za TO
- sklone su naponskoj koroziji
- ako treba da se obrade deformacijom to se rade odmah posle kaljenja (posle starenja teško se deformišu)

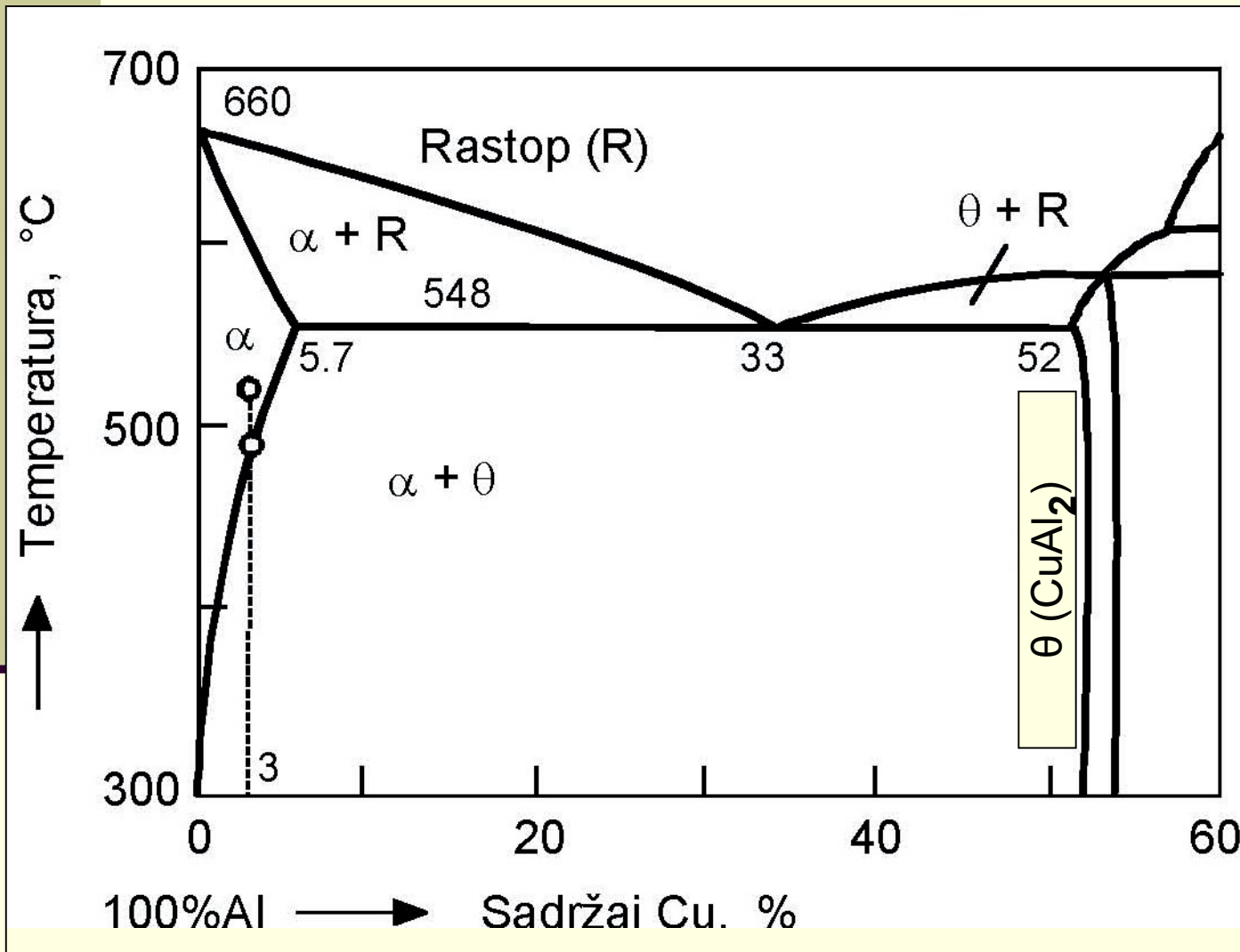


Legure Al-Cu (2xxx) duraluminijum

- Mehaničke osobine: visoke
- Neke se teško zavaruju (moguće je zavarivanje, ali je čvrstoća šava mala zbog razgradnje taloga)
- Spajaju se zakovicama ili vijcima, ili **zavaruju raznorodno**
- **Najveća gustina od svih leg. Al** ($>2,8 \text{ g/cm}^3$)
- Primena: avio-industrija (oplata i strukturalni elementi), rezervoari za raketno gorivo, visoko opterećeni klipovi, kompresori mlaznih motora, balistička zaštita,...



Deo ravnotežnog dijagrama stanja Al-Cu



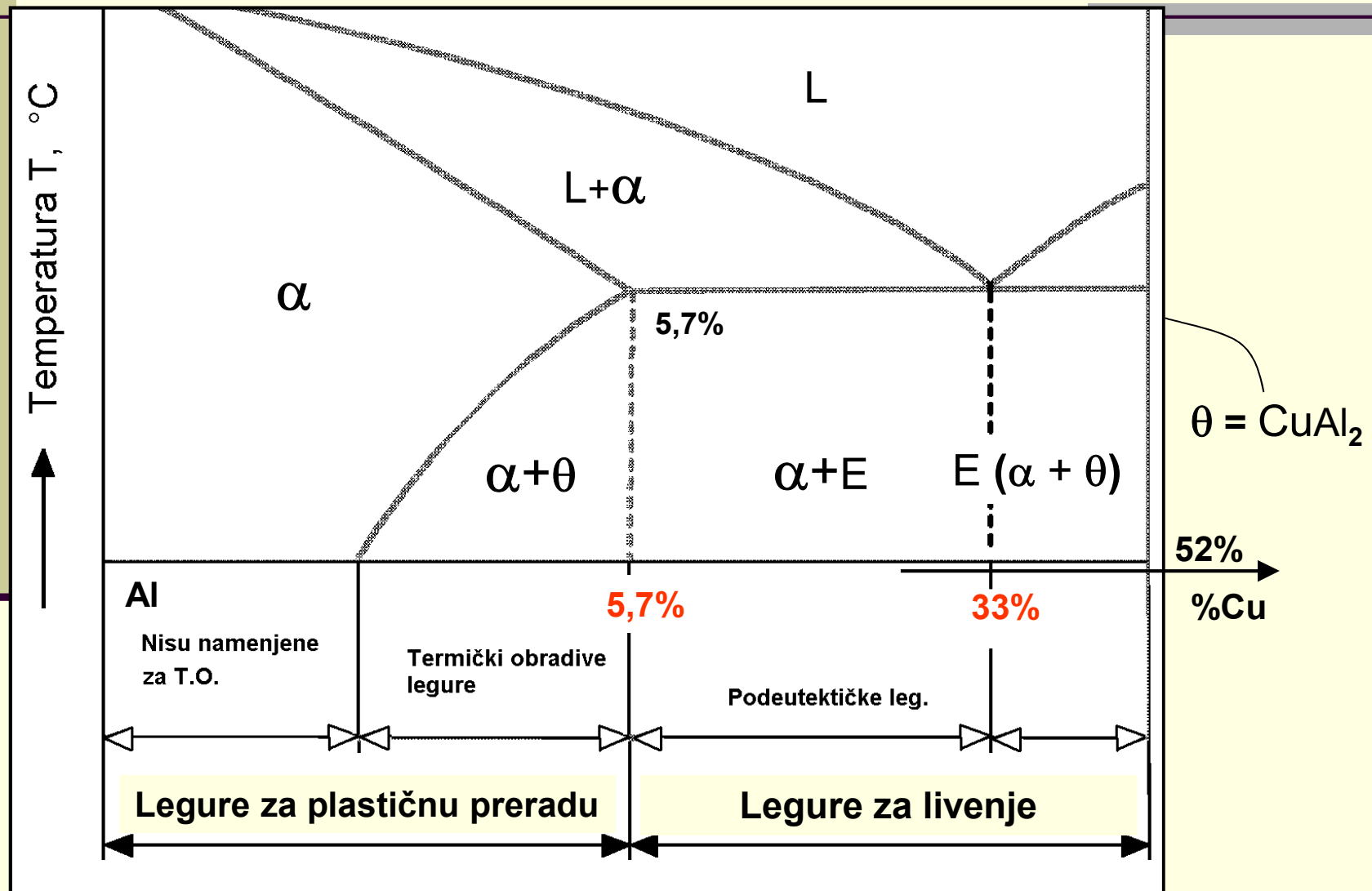
Faze:

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

2) **E** ($\alpha + \theta$) eutektikum – meh. smeša α i θ

3) θ faza – intermetalno jedinjenje **CuAl_2**

Podela legura Al-Cu

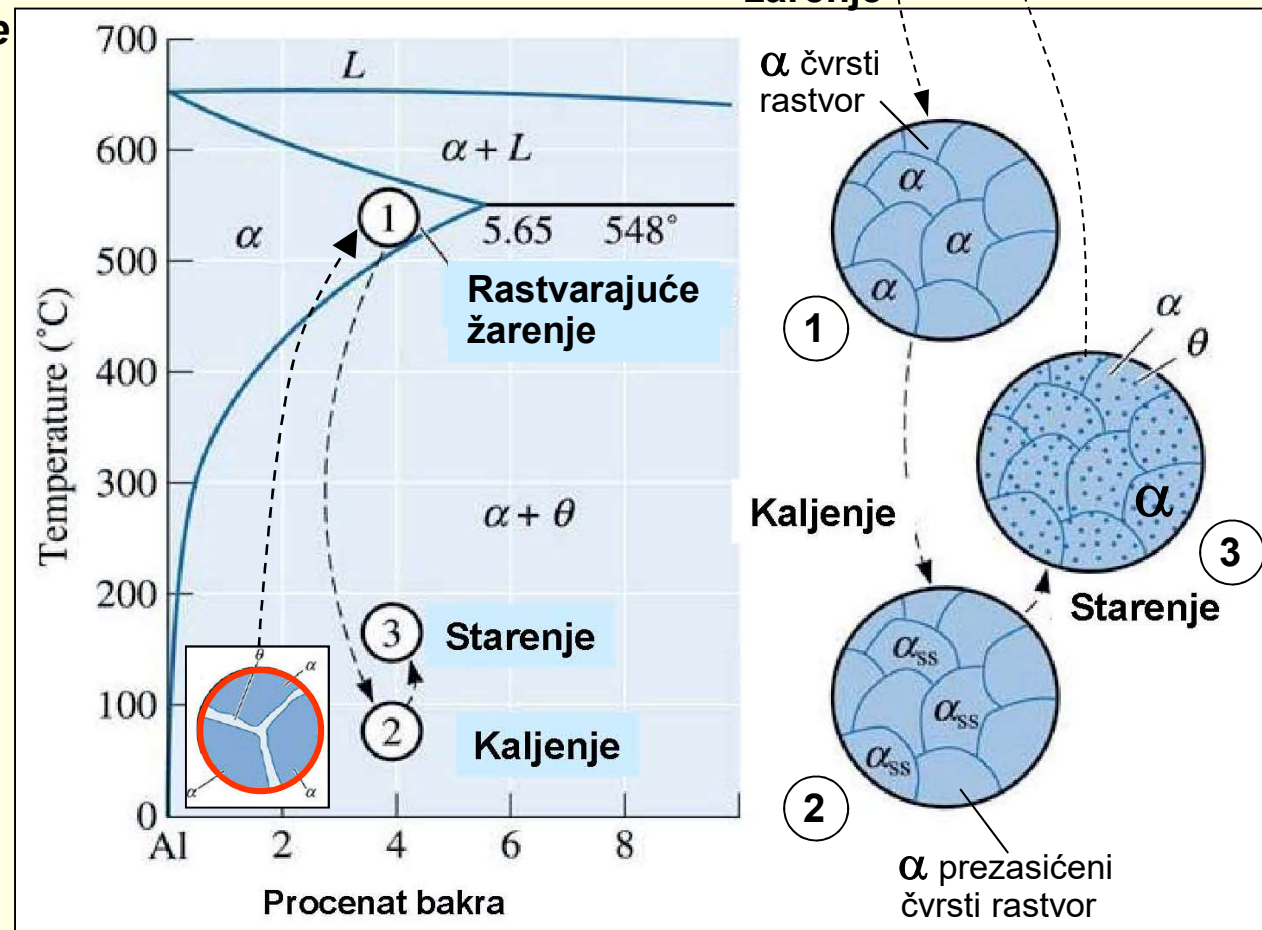


Termička obrada Al-Cu legura

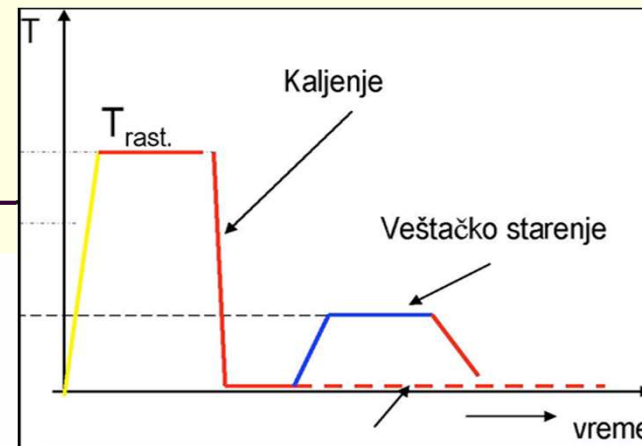
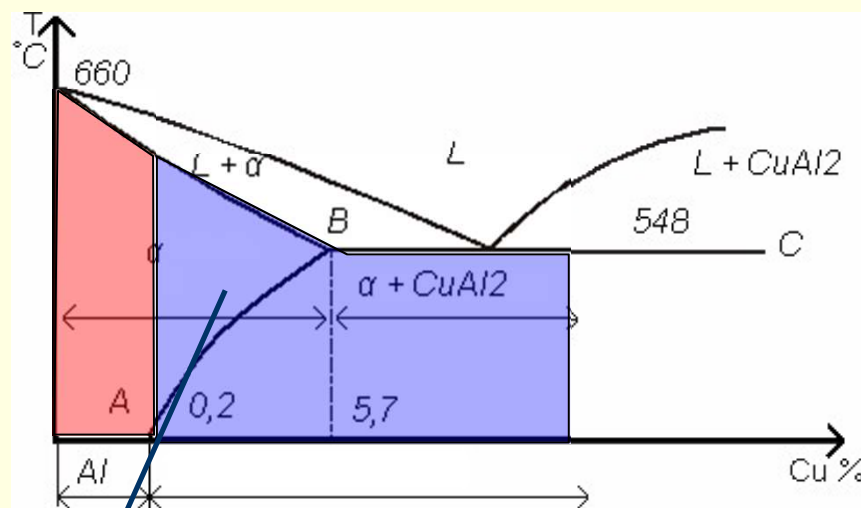
Termičko taloženje

Proces ojačavanja odvija se u sledeće tri faze:

- 1 faza - **Rastvarajuće žarenje**
- 2 faza – **Naglo hlađenje**
- 3 faza - **Starenje**



Termičko taloženje



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

Starenje: → prirodno starenje (20°C) → α + Guinier-Prestonove (GP) zone
 → veštačko starenje
 → $R_m, R_{p0,2} \uparrow, A, Z \downarrow$

Taložno
(čestično)
ojačavanje

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

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

Taložno ojačavanje

- sadržaj Cu $\uparrow \rightarrow$ zapreminski udeo ojačavajućih čestica $\uparrow \rightarrow$
 \rightarrow **max HV** \uparrow
- Čvrsti rastvor Al-Cu se transformiše sekvencijalno:
 $\alpha_0 \rightarrow \alpha_1 + \text{GP-zone} \rightarrow \alpha_2 + \theta'' \rightarrow \alpha_3 + \theta' \rightarrow \alpha_4 + \theta$
- 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

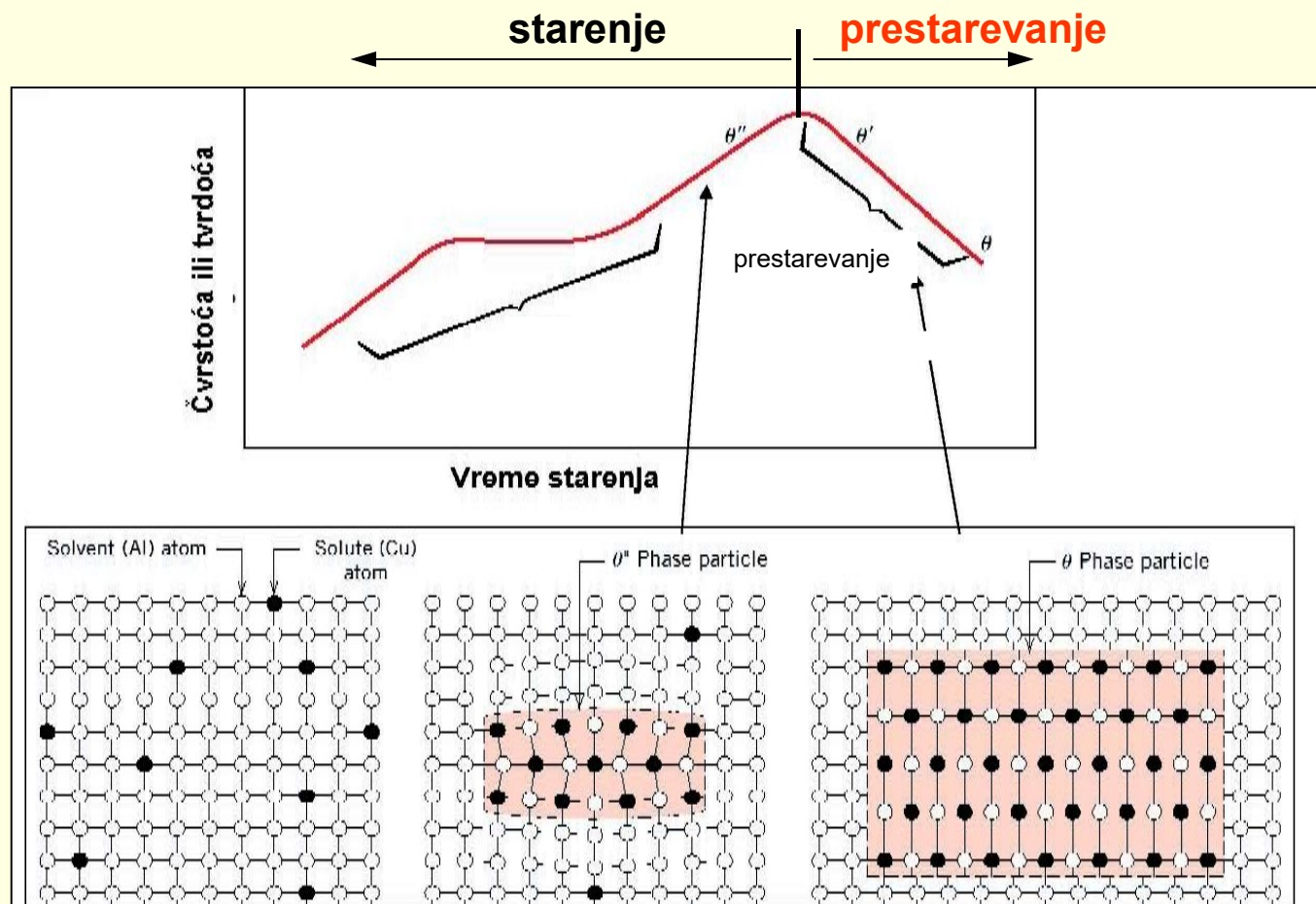
θ'' – potpuno **koherentan** talog

θ' – sočivasti **polukoherentan** talog

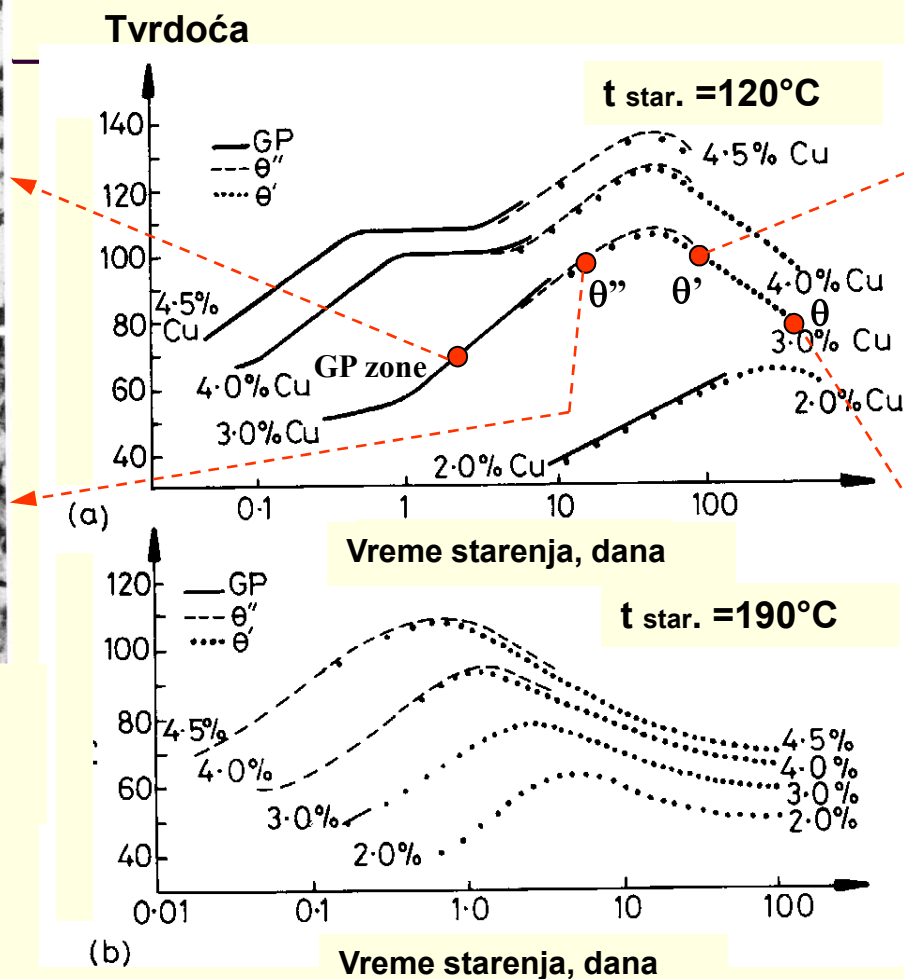
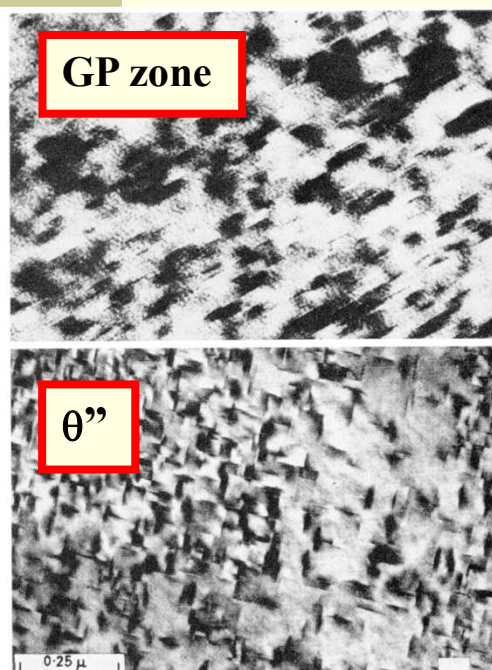
θ - **nekoherentan** talog prost.c. tetragonalna rešetka

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 talog)



Izgled mikrostrukture Al-Cu legura u različitim fazama veštačkog starenja



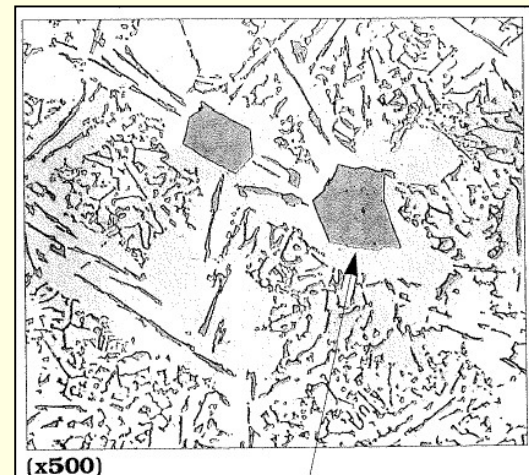
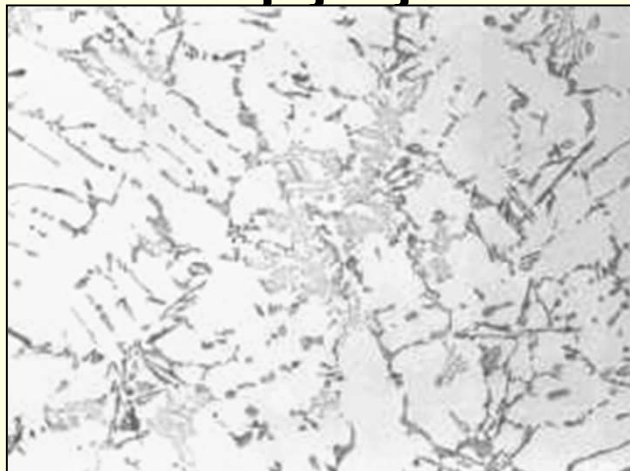
Krive starenja (mikrofotografije snimljene na TEM)

Legure Al i Mn - 3xxx

- Legure serije 3xxx spadaju u grupu termički neobradivih legura namenjenih opštoj upotrebi.
- **Fe**, prisutno u ovim legurama kao nečistoća, smanjuje rastvorljivost Mn u aluminijumu.
- Legure umerene čvrstoće, - uglavnom ojačavaju hladnom plastičnom deformacijom
- Osobine ograničavaju primenu ovih legura kao ozbiljnijeg konstrukcionog materijala
- Zavarljive – raznorodno

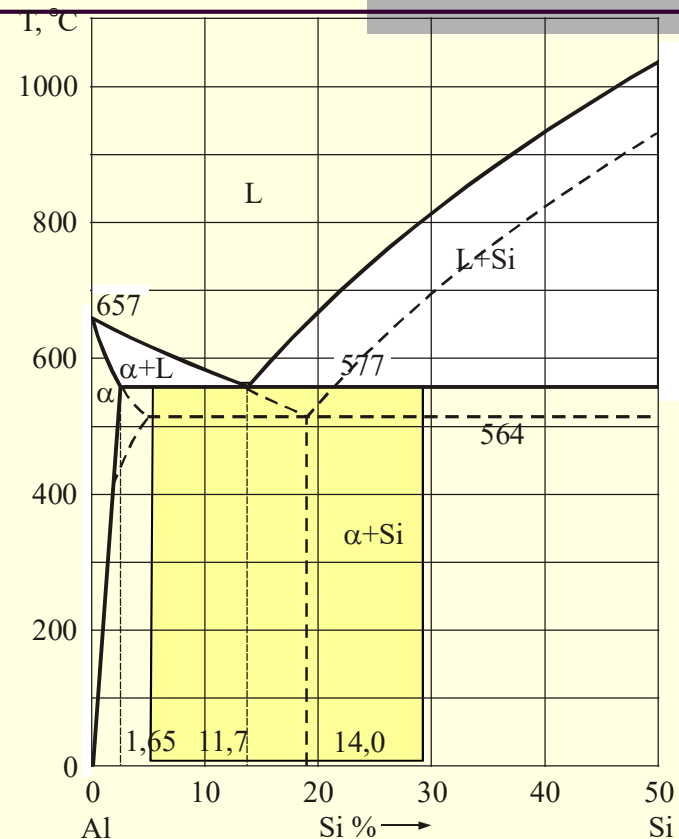
Legure Al i Si (silumin) - 4xxx

- Tipične **legure za livenje** (Si=5 – 20 %)
- Što je viši sadržaj silicijuma, viša je čvrstoća ali i niža plastičnost otežano rezanje (mašinska obrada)
- Način livenja: u kalupima od peska, čelika ili pod pritiskom
- Osobine: odlična livkost (za delove najsloženijih preseka), teško se mašinski obrađuje pri višim sadržajima Si
- **Često su dodatni materijal za zavarivanje zbog nižih temperatura topljenja**



Al-Si dijagram stanja

- Kod Al-Si (4xxx), legiranje samo Si ne obezbeđuje mogućnost TO tako da **Al legiran samo Si nije za TO obradu** jer se ne obrazuju intermetalna jedinjenja.
- Ako se dodaju drugi elementi, npr. **Mg, Cu moguća je TO** jer tada taložno ojačavaju
- Za poboljšanje svojstava na povišenim temperaturama dodaje se **Ni**.
- Dobro su zavarljive.
- Nisu mnogo otporne na atmosfersku koroziju
- Dobijaju sivu boju vremenom.



Legure za livenje

niska Tt (Al-Si eutektička legura)

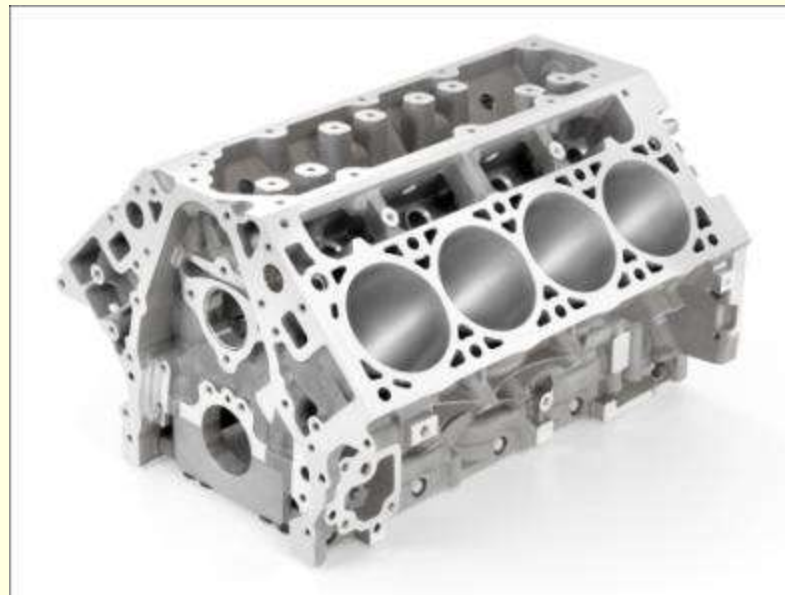
Tt = 577°C za 11,7%Si

Tt = 564°C za 14 % Si

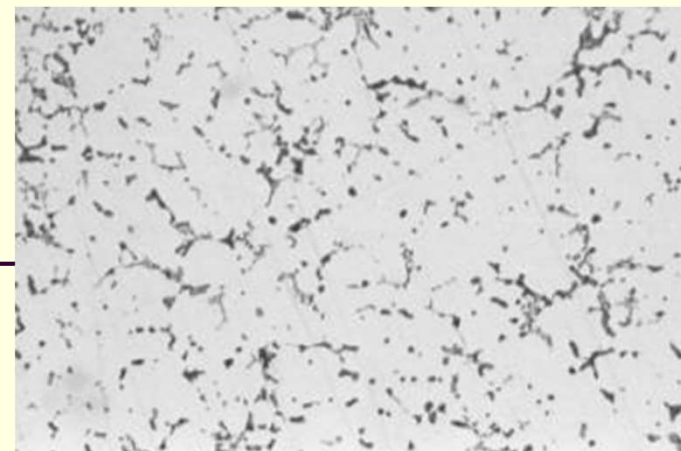
dobra livkost (mala razlika između likvidus i ³⁰ solidus T)

Legure Al i Si (silumin) - 4xxx

- Primena: glave i blokovi motora (5-10% Si), klipovi (10-20 % Si), felne (10-12 % Si),...
- Vodeća legura u automobilskoj industriji zahvaljujući dobroj livkosti, zavarljivosti i dobroj mašinskoj obradivosti
- Dodatni materijal za zavarivanje



Legure Al i Mg 5xxx

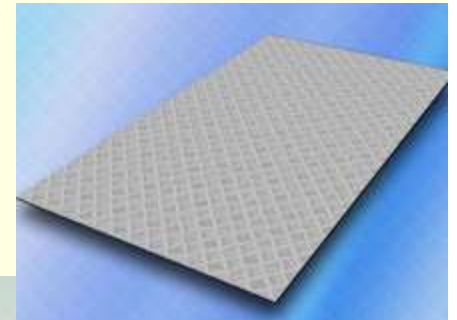


■ 5xxx, Mg

- Sadrže **do 5 % Mg**
- Dodatkom **Mg** postiže se **najveće ojačavanje** kod legura koje **nisu za TO**.
- Kombinuje se deformaciono ojačavanje sa taložnim ojačavanjem (čestice Al_3Mg_2)
- Ako sadrže $>3\%$ Mg sklone senzitivizaciji
- Osobine:
 - niske mehaničke osobine,
 - lako zavarljive legure,
 - odlična obradivost rezanjem
- Odlična otpornost na atmosfersku i koroziju u morskoj vodi.

Legure Al i Mg 5xxx

- Izrađuju se proizvodi u vidu: limova, traka, cevi, profila...
- Primena:
 - u brodogradnji,
 - u avio industriji,
 - vojnoj industriji,
 - sudovi pod pritiskom,...



Legure Si i Mg 6xxx (pantali)

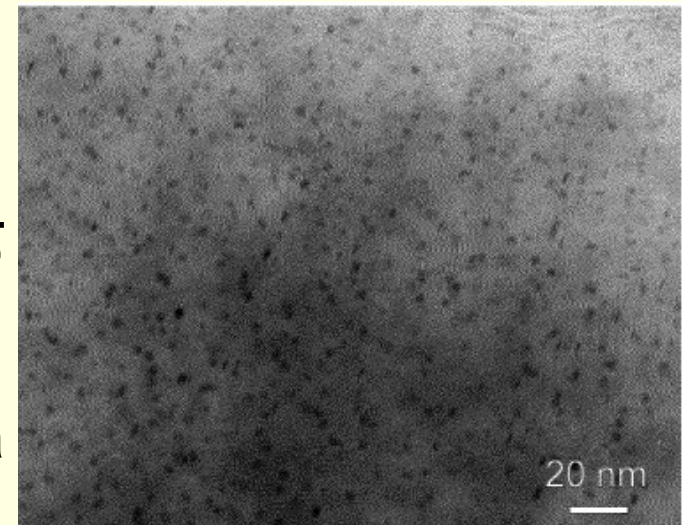
■ 6xxx, Si + Mg

- 6xxx legure jesu **termički obradive**.
- Ojačavajuća komponenta u leguri su čestice **Mg₂Si**.
- Mogu biti i legirane i sa Mn, Cu, Zn i Cr.
- Imaju umerenu čvrstoću.
- **Zavaruju se uglavnom raznorodno**
- Primena:
 - auto industrija,
 - železnica
 - izrada cevi,...

Legure Al-Zn-Mg - 7xxx (konstruktili)

■ 7xxx, Zn

- Sadrže **do 8 % Zn i do 3 % Mg**
- Legure sa Zn koje sadrže Cu i Mg imaju najvišu čvrstoću od svih komercijalnih legura Al. Viša čvrstoća je praćena nešto nižom žilavošću.
- Termički su obradive
- Izraženo ojačavanje sekundarnim fazama – talozima nastalim nakon termičke obrade (veštačkim starenjem se izdvajaju polukoherentne čestice)
- Pošto prirodno stare obrada deformacijom se radi odmah posle kaljenja.



Legure Al-Zn-Mg - 7xxx (konstruktni)

- Neke iz ove grupe legura se vrlo teško zavaruju - podela u dve grupe:
 - I) legure visoke čvrstoće, sa sadržajem Cu preko 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

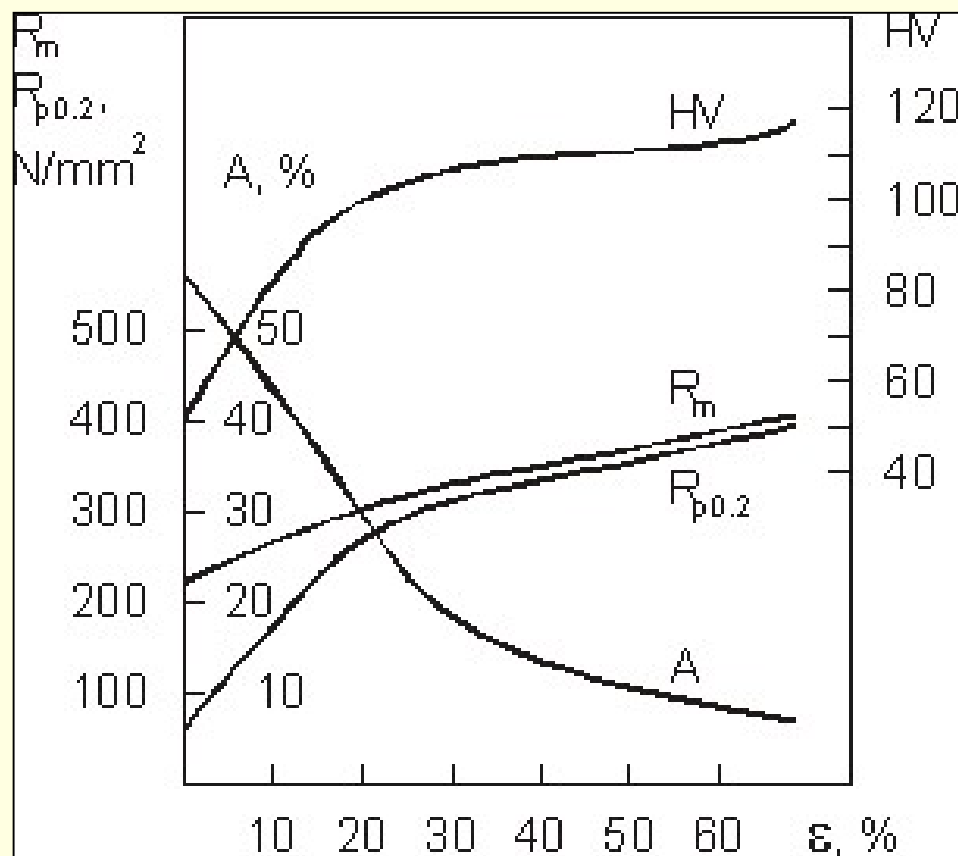
Bakar i legure bakra

Cu i njegove legure

- $\rho = 8,93 \text{ g/cm}^3$.
- $T_t = 1083^\circ\text{C}$
- KPC rešetka.
- Posle zlata i srebra ima najveću električnu provodljivost
- Toplotna provodljivost bakra je veća
 - 6x od Fe legura i
 - 2x od Al legura
- Cu - čist metal ima široku primenu za izradu provodnika, izvanredna električna i toplotna provodljivost
- veoma plastičan
- obrazuje veliki broj tehničkih legura koje imaju dobra mehanička i tehnološka svojstva.
- $R_{m_{\max}}$ npr u livenom stanju iznosi 150MPa, a **posle ojačavanja hladnim deformisanjem raste** do 440 MPa

Tehnički čist Cu

- Čistoća 99,95%,
- Sadržaj kiseonika (O) do 0,04% (ostatak su drugi elementi u tragovima)
- Niske meh. osobine:
 $R_m = 200\text{-}250\text{ MPa}$
- Nije za npr dalekovode -
Ne može da izdrži opterećenje sopstvene mase i vetra
- Primena: *u elektrotehnici kao provodnik*



Uticaj ojačavanja Cu hladnom deformacijom na mehaničke osobine

Legure Cu

■ Dve osnovne grupe legura:

1. **Mesing** – legura sa **Zn**

2. **Bronza**:

- olovna (**Pb**)
- kalajna (**Sn**)
- olovno-kalajna (**Pb-Sn**)
- 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 Cu mogu da budu:

- za livenje ili
- za plastičnu preradu

- 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**.

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 hemijskih elemenata

- Najvažniji legirajući elementi - Zn, Sn, Al, Be, Ni, Mn, Si, Ag i Au.
- Osobine - zavise od čistoće i sadržaja gasova.
- Štetne primese - Sb, S, Se, Te, Bi i O sadržaj ograničen (npr. na 0,005 %).
- **Kiseonik**
 - Utiče na povećanje HB i R, ali zato značajno snižava električnu provodljivost.
 - **Cu₂O** (smanjuje el. provodljivost) – što ga je manje, žica je kvalitetnija
- Nepoželjno je i prisustvo **H** zbog pojave poroznosti
 - $H+O \rightarrow$ šupljina po granicama zrna - krtost bakra.

Cu-Zn legure – mesing

- Mesing je legura bakra sa cinkom (**najviše 50 % Zn**)
- Cu i Zn grade veći broj čvrstih rastvora (α , β , γ , ϵ , η)

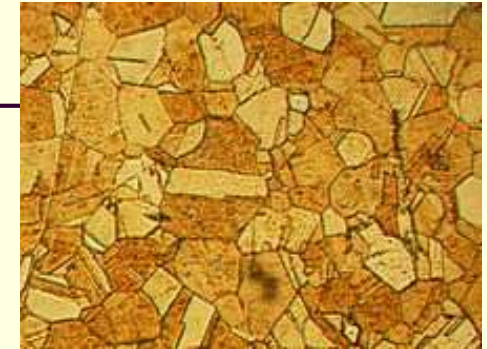
Koriste se 2 vrste mesinga: **i mesinga:**

- **α mesing (PCK)** - deformabilan na sobnoj temperaturi, a nije na povišenoj – **obrađuje se na hladno**
- **β mesing (ZCK)** – nije deformabilan na sobnoj temperaturi – **obrađuje se na toplo**

Vrste mesinga

■ α mesing – (do 35% Zn)

- jednofazna legura sa KPC rešetkom
- lako se liju
- **hladna deformacija** 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)

- samo obrada na toplo
- viša čvrstoća
- pogodan **za livenje**
- najsvetliji mesing (zlatne boje)

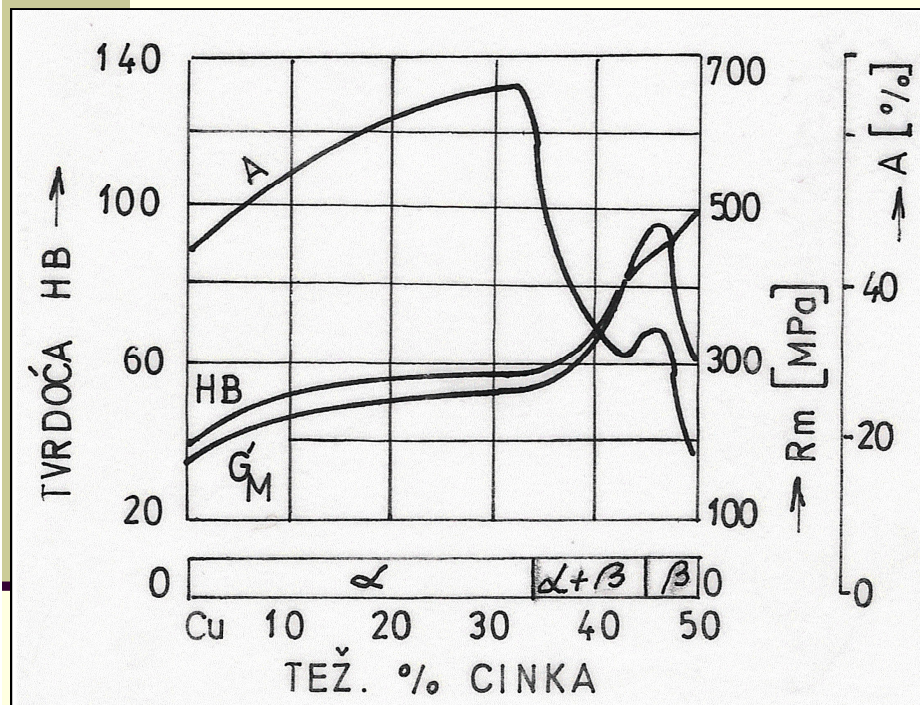


Vrste mesinga i njihova primena

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	31...28 %Zn	Kondenzatorske i druge cevi za izmenjivače toplote , za duboko izvlačene čaure
Mesing za obradu gnječenjem	CuZn37	35...28 %Zn	Osnovna legura za hladnu deformaciju: cevi, limovi, opruge, zavrtnji
Mesing za kovanje	CuZn40	38...41 %Zn	Za deformaciju u toplom i hladnom stanju: žice , okovi, brave, zavrtnji
Tvrđi mesing	CuZn40Pb2	40...44 %Zn + 2%Pb	Osnovna legura za obradu skidanjem strugotine: mesing za graviranje, za zupčanike časovnika, zavrtnje, profile

Cu-Zn legure – mesing

Uticaj sadržaja Zn na osobine



- $\%Zn \uparrow \rightarrow$ do $\sim 50\%$ čvrstoća $R \uparrow$, a zatim naglo opada
- $\%Zn \uparrow$ do 30% \rightarrow duktilnost \uparrow
- $\%Zn \uparrow$ preko 30% $\rightarrow A \downarrow$
- $\%Zn \uparrow \rightarrow$ tvrdoća HB \uparrow
- Osobine:
 - niža HB, visoka žilavost
 - otporan na koroziju,
 - odlična obradljivost rezanjem (dodaje se Pb)
 - nizak koeficijent trenja

Primena mesinga

- Primena: cevi, ukrasni predmeti, čaure, bravarija, fitinzi, slavine, duvački instrumenti...

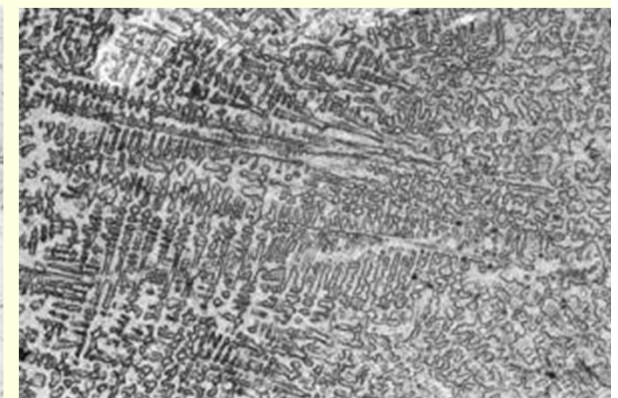
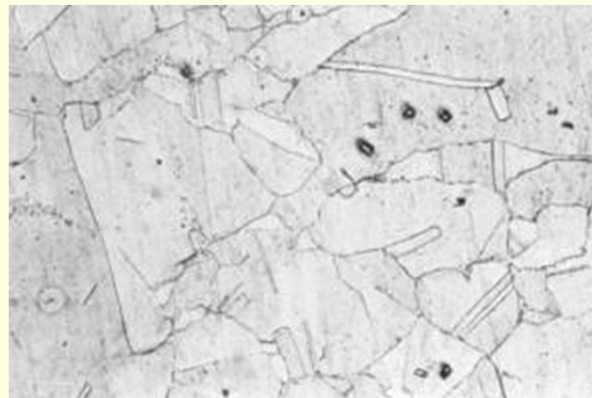
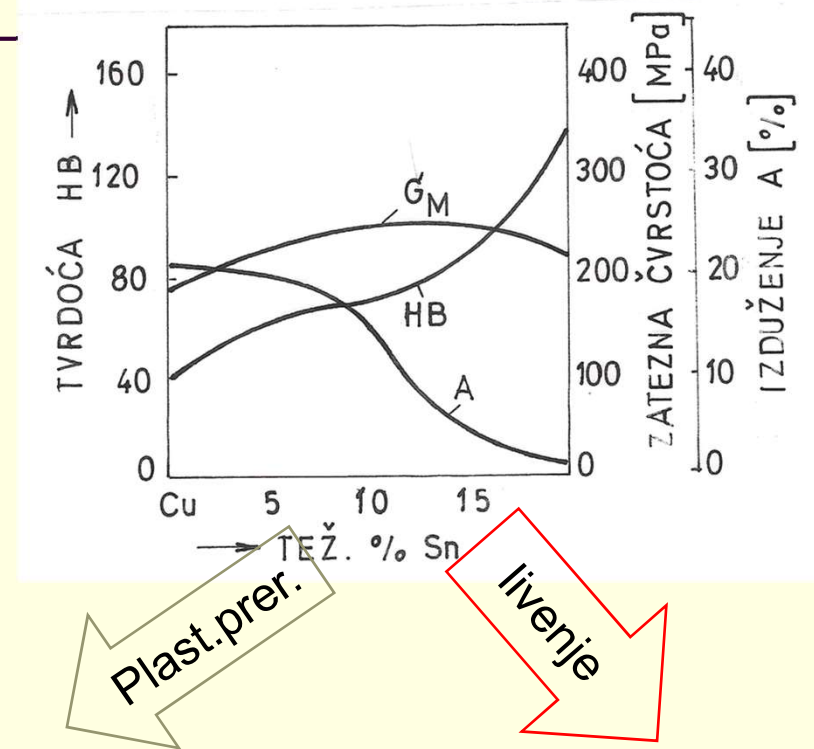


Cu sa drugim elementima - bronzе

- 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)

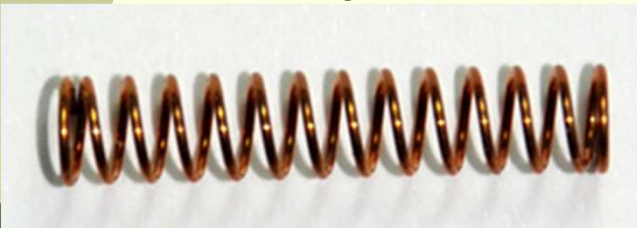
Kalajne bronzze - Sn bronza

- 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



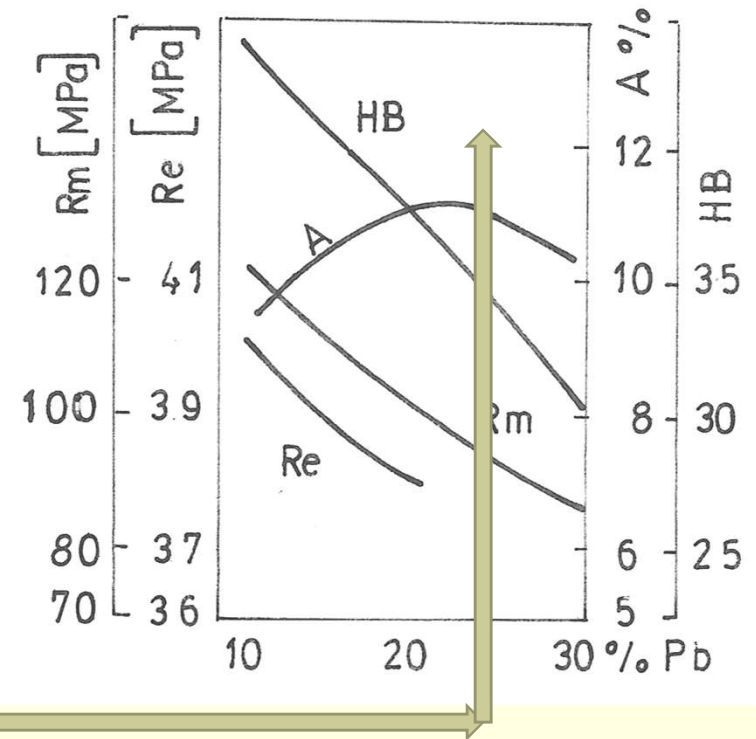
Sn bronza

- Osobine: visoka čvrstoća i tvrdoća, visoka otpornost na koroziju, mali koeficijent trenja, dobra el.provodljivost, **zavarljive**
- Primena: cevovodi, zavrtnjevi, zupčanici, fina sita, propeleri za brodove, klizni ležajevi, opruge koje provode el.struju, zvona, medalje...



Pb bronza

- 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

- Legure Cu sa **max 12 %Al**
- **Jednofazne** legure imaju sadržaj **Al do 7%**
- Kompleksne **dvofazne legure** - sadržaj Al oko 11% Al sa dodacima Fe, Ni i Mn.
- Osobine: visoka čvrstoća, koroziona otpornost (masne kiseline i morska voda), ne varniče
- Primena: klizni ležajevi, naftna i petrohemijska industrija, fitinzi, zupčanici, ventili, metalni novac



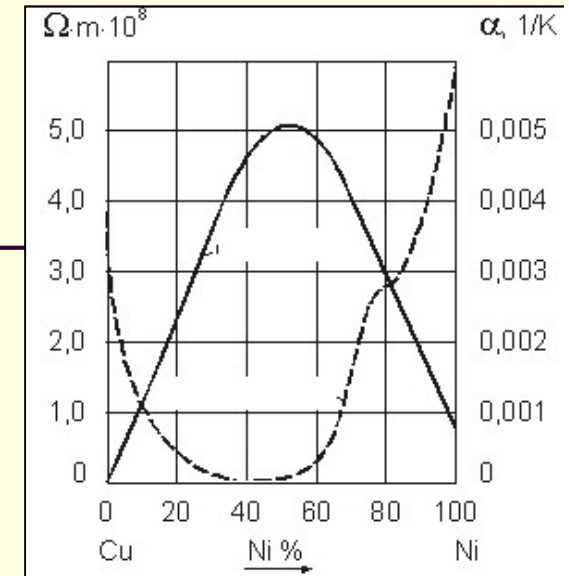
Be bronza

- Sa 2-2,5 %Be
- Osobine:
 - taložno ojačavaju i imaju mehaničke osobine na nivou čelika za poboljšanje,
 - visoka otpornost na habanje i koroziju
- Primena: specijalni ležajevi, za delove izložene habanju, lisnate opruge, za alate i delove za naftnu i hemijsku industriju od kojih se zahteva da ne varniče, ...



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 u određenim sredinama.
- 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

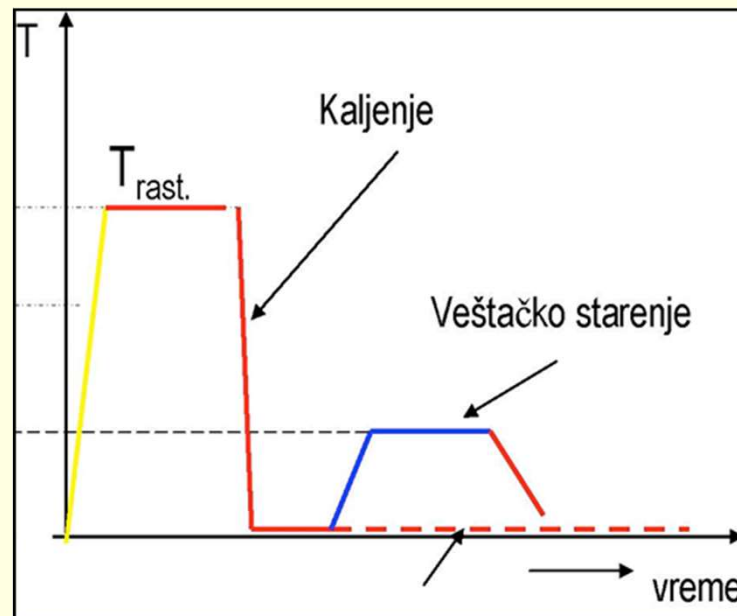
- Rešetka: HGP – loša plastičnost na niskoj i sobnoj T
-
- $T_t = 650^{\circ}\text{C}$
- $\rho = 1,74 \text{ g/cm}^3$ (**najlakši inženjerski materijal**)
- gradi oksid MgO čija je $T_t = 2600^{\circ}\text{C}$.
- oksid nije kompaktan kao kod Al i ne štiti površinu - površinu je neophodno zaštititi
- **loša zavarljivost**

Mg i njegove legure

TO Mg-legura

- Slično kao kod Al-legura

Kaljenje + starenje (čestice MgZn_2 , Mg_4Al_3) $\rightarrow R_m \uparrow 20-30\%$



Legure Mg

Označavanje

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

Mg- legure za plastičnu preradu

Oznaka	R_m N/mm ²	$R_{p0,2}$	A %	Primena
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	

Titan i legure titana sledeci put...