

# 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, Cu) (*po gustini bliski Fe*)
  - teške metale (i legure)  $\rho > 10\text{ g/cm}^3$  (Pb, Ag, Au, Ta, W, Mo)

# Podela metala

Periodic table showing the classification of elements into groups: Alkali metals, Alkaline earth metals, Lanthanoids, Actinoids, Transition metals, Post-transition metals, Metalloids, and Nonmetals. The table includes atomic numbers, symbols, and names for elements up to 118.

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

- **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:

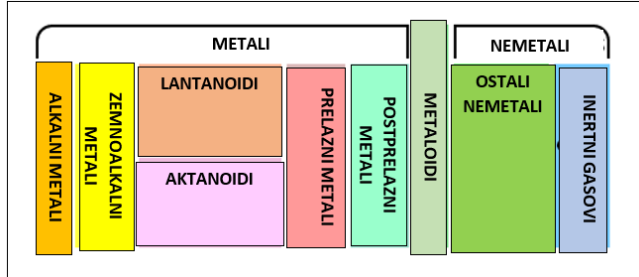
- sa **niskom**  $T_t \rightarrow T_t < T_t^{Pb} = 327^\circ\text{C}$  (Sn, Pb, Bi)
- sa **srednje visokom**  $T_t \rightarrow T_t = 327\text{-}1539^\circ\text{C}$  (Al, Mg, Mn, Cu, Ni, Co, Ag, Au)
- sa **visokom**  $T_t \rightarrow T_t > T_t^{Fe} = 1539^\circ\text{C}$
- **vatrostalni ili refraktorni 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 $0^\circ\text{C}$ – 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 <b>H</b> Hydrogen 1.008	Atomic # Symbol Name Weight		<b>C</b> čvrsto														273	2 <b>He</b> Helium 4.0026
3 <b>Li</b> Lithium 6.94	4 <b>Be</b> Beryllium 9.0122		<b>Hg</b> tečnost															10 <b>Ne</b> Neon 20.180
11 <b>Na</b> Sodium 22.990	12 <b>Mg</b> Magnesium 24.305		<b>H</b> gas															18 <b>Ar</b> Argon 39.948
			<b>Rf</b> ?															
19 <b>K</b> Potassium 39.098	20 <b>Ca</b> Calcium 40.078	21 <b>Sc</b> Scandium 44.956	22 <b>Ti</b> Titanium 47.867	23 <b>V</b> Vanadium 50.942	24 <b>Cr</b> Chromium 51.996	25 <b>Mn</b> Manganese 54.938	26 <b>Fe</b> Iron 55.845	27 <b>Co</b> Cobalt 58.933	28 <b>Ni</b> Nickel 58.693	29 <b>Cu</b> Copper 63.546	30 <b>Zn</b> Zinc 65.38	31 <b>Ga</b> Gallium 69.723	32 <b>Ge</b> Germanium 72.630	33 <b>As</b> Arsenic 74.922	34 <b>Se</b> Selenium 78.971	35 <b>Br</b> Bromine 79.904	36 <b>Kr</b> Krypton 83.798	
37 <b>Rb</b> Rubidium 85.468	38 <b>Sr</b> Strontium 87.62	39 <b>Y</b> Yttrium 88.906	40 <b>Zr</b> Zirconium 91.224	41 <b>Nb</b> Niobium 92.906	42 <b>Mo</b> Molybdenum 95.95	43 <b>Tc</b> Technetium (98)	44 <b>Ru</b> Ruthenium 101.07	45 <b>Rh</b> Rhodium 102.91	46 <b>Pd</b> Palladium 106.42	47 <b>Ag</b> Silver 107.87	48 <b>Cd</b> Cadmium 112.41	49 <b>In</b> Indium 114.82	50 <b>Sn</b> Tin 118.71	51 <b>Sb</b> Antimony 121.76	52 <b>Te</b> Tellurium 127.60	53 <b>I</b> Iodine 126.90	54 <b>Xe</b> Xenon 131.29	
55 <b>Cs</b> Caesium 132.91	56 <b>Ba</b> Barium 137.33	57-71	72 <b>Hf</b> Hafnium 178.49	73 <b>Ta</b> Tantalum 180.95	74 <b>W</b> Tungsten 183.84	75 <b>Re</b> Rhenium 186.21	76 <b>Os</b> Osmium 190.23	77 <b>Ir</b> Iridium 192.22	78 <b>Pt</b> Platinum 195.08	79 <b>Au</b> Gold 196.97	80 <b>Hg</b> Mercury 200.59	81 <b>Tl</b> Thallium 204.38	82 <b>Pb</b> Lead 207.2	83 <b>Bi</b> Bismuth 208.98	84 <b>Po</b> Polonium (209)	85 <b>At</b> Astatine (210)	86 <b>Rn</b> Radon (222)	
87 <b>Fr</b> Francium (223)	88 <b>Ra</b> Radium (226)	89-103	104 <b>Rf</b> Rutherfordium (267)	105 <b>Db</b> Dubnium (268)	106 <b>Sg</b> Seaborgium (269)	107 <b>Bh</b> Bohrium (270)	108 <b>Hs</b> Hassium (277)	109 <b>Mt</b> Meitnerium (278)	110 <b>Ds</b> Darmstadtium (281)	111 <b>Rg</b> Roentgenium (282)	112 <b>Cn</b> Copernicium (285)	113 <b>Nh</b> Nihonium (286)	114 <b>Fl</b> Flerovium (289)	115 <b>Mc</b> Moscovium (290)	116 <b>Lv</b> Livermorium (293)	117 <b>Ts</b> Tennessine (294)	118 <b>Og</b> Oganesson (294)	
			57 <b>La</b> Lanthanum 138.91	58 <b>Ce</b> Cerium 140.12	59 <b>Pr</b> Praseodymium 140.91	60 <b>Nd</b> Neodymium 144.24	61 <b>Pm</b> Promethium (145)	62 <b>Sm</b> Samarium 150.36	63 <b>Eu</b> Europium 151.96	64 <b>Gd</b> Gadolinium 157.25	65 <b>Tb</b> Terbium 158.93	66 <b>Dy</b> Dysprosium 162.50	67 <b>Ho</b> Holmium 164.93	68 <b>Er</b> Erbium 167.26	69 <b>Tm</b> Thulium 168.93	70 <b>Yb</b> Ytterbium 173.05	71 <b>Lu</b> Lutetium 174.97	
			89 <b>Ac</b> Actinium (227)	90 <b>Th</b> Thorium 232.04	91 <b>Pa</b> Protactinium 231.04	92 <b>U</b> Uranium 238.03	93 <b>Np</b> Neptunium (237)	94 <b>Pu</b> Plutonium (244)	95 <b>Am</b> Americium (243)	96 <b>Cm</b> Curium (247)	97 <b>Bk</b> Berkelium (247)	98 <b>Cf</b> Californium (251)	99 <b>Es</b> Einsteinium (252)	100 <b>Fm</b> Fermium (257)	101 <b>Md</b> Mendelevium (258)	102 <b>No</b> Nobelium (259)	103 <b>Lr</b> Lawrencium (266)	



# Primer $T_t$ - vatrostalni (refraktorni) metali

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

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**

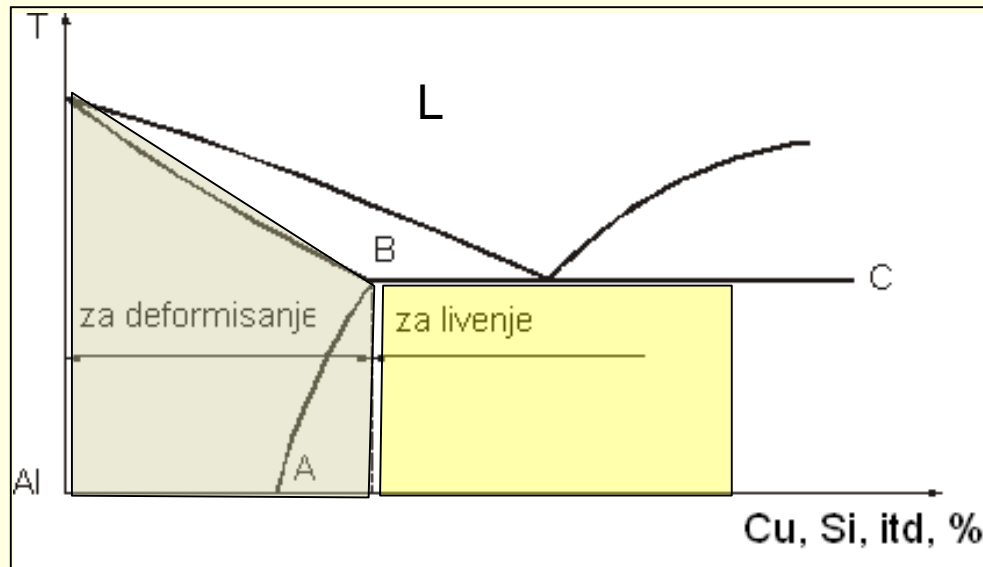
**-veza je jaka zbog više elektrona  $\rightarrow T_t \uparrow$**

**-visoko  $R_m$  i HV**

**-otporni na habanje, koroziju i deformaciju**

# Podela legura obojenih metala prema izradi

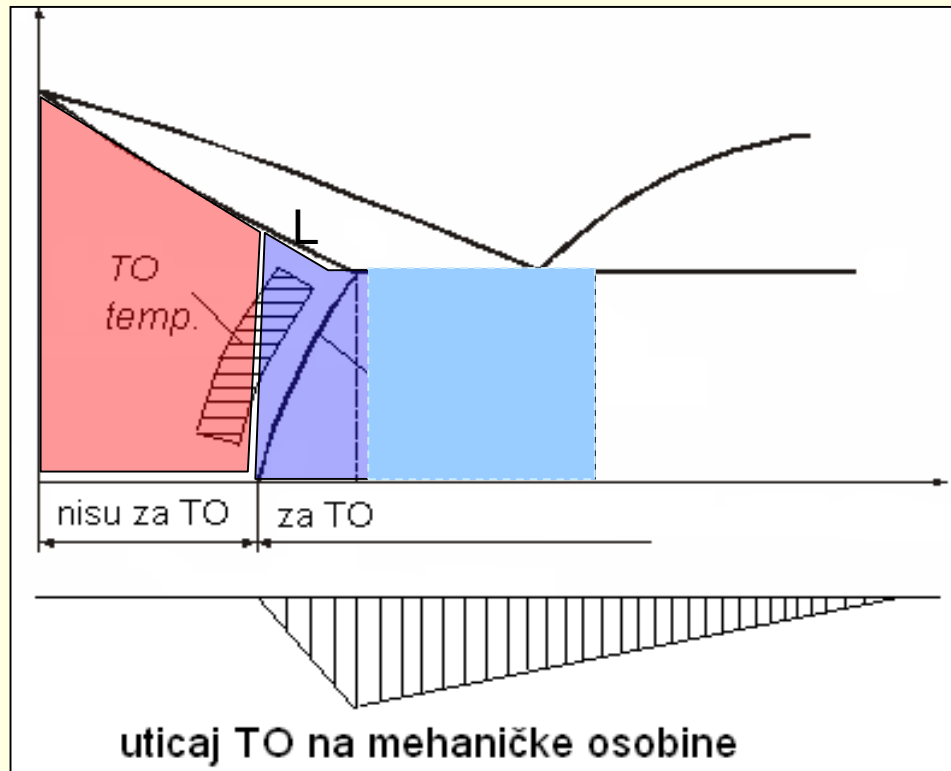
- c) Prema načinu **izradi** obojeni metali se dele na (šematski prikazano na faznom dijagramu):
- **legure za oblikovanje deformisanjem**
  - **legure livenje**






# 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)

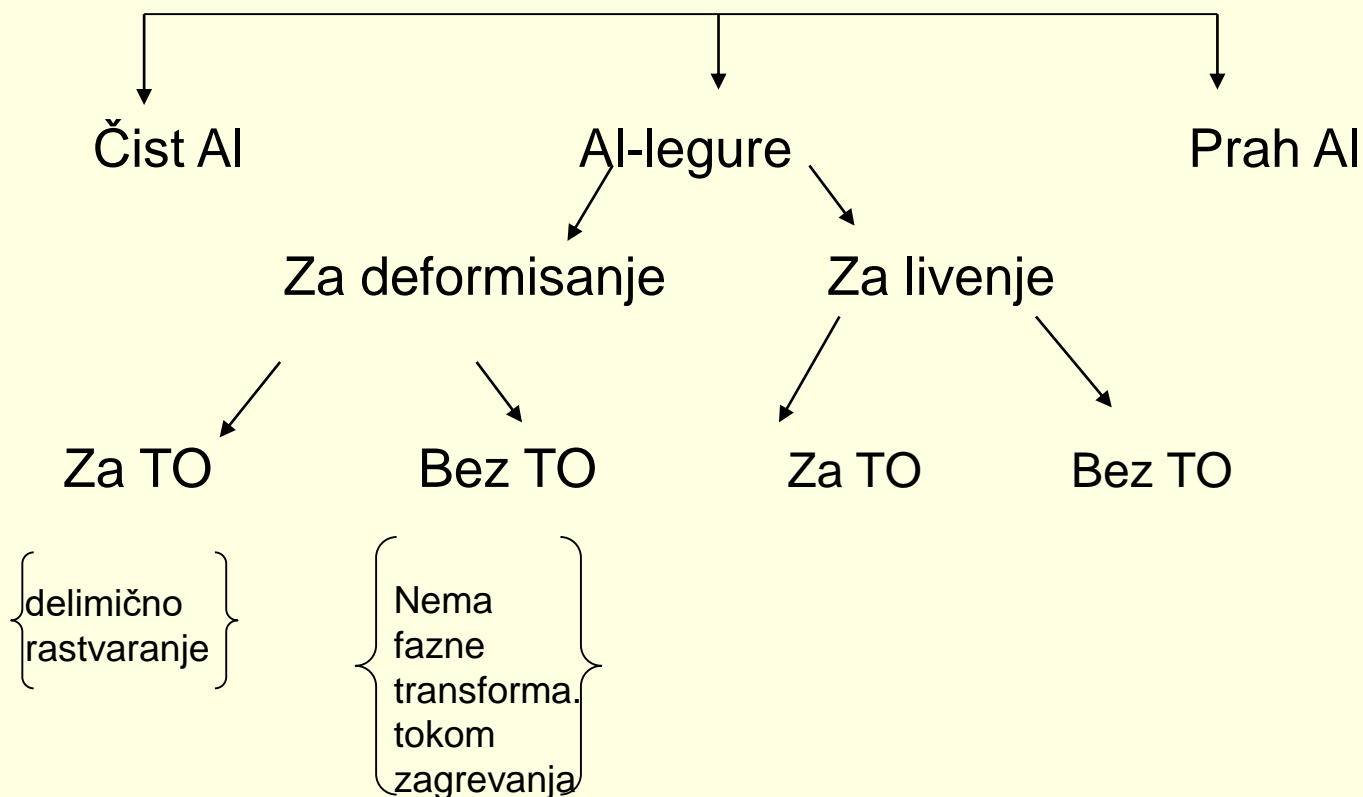
# Aluminijum i njegove legure

# 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
- 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  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .
- 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- $\text{AlCu4Mg1}$ ) (**wrought** - gnječeno)
- za livenje – EN-A**C**...(EN-AC- $\text{AlSi11}$ ) (**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- <b>Cu</b> -legure (npr. EN-AW-2014)
	3000 – Al- <b>Mn</b> - legure
	4000 – Al- <b>Si</b> - legure
	5000 – Al- <b>Mg</b> - legure
	6000 – Al- <b>Mg-Si</b> - ( $Mg_2Si$ ) legure
	7000 – Al- <b>Zn</b> - legure
	8000 – Al- <b>Fe</b> - 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)

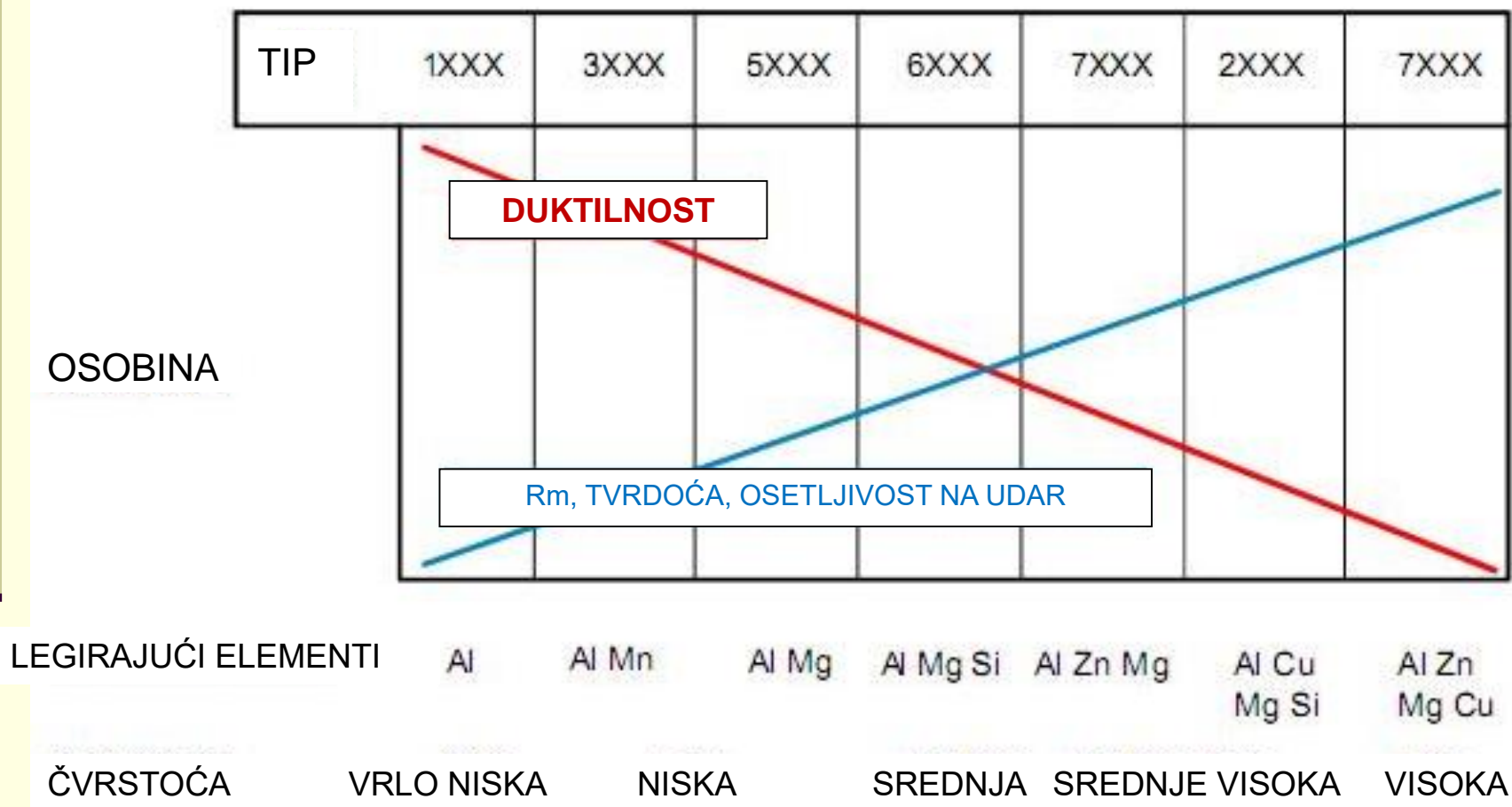
III i IV cifra – samo kod čistog Al znači čistoću – 1060 – 99.60%Al;

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

### **Za livenje**

Serije	10000 – čist Al
	20000 – Al- <b>Cu</b> - legure
	40000-48000 – Al- <b>Si</b> - legure ( <i>silumini</i> npr EN-AC-44000)
	50000 – Al- <b>Mg</b> - legure
	70000 – Al- <b>Zn</b> - legure

# Mehaničke osobine različitih legura Al



# Termička obrada legura Al

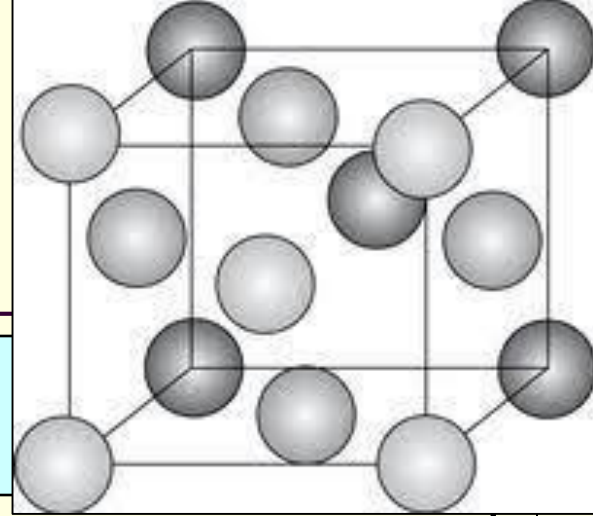
- Čist Al (1xxx) i legure sa Mn (3xxx) ili Mg (5xxx)
  - ne mogu da se termički obrađuju zbog male količine legirajućih elemenata
  - ove legure moraju da se ojačavaju deformativno – hladnim valjanjem, izvlačenjem, vučenjem.
- Ostale, a posebno Al-Cu (2xxx), Al-Zn (7xxx), i Al-Mg-Si (6xxx) legure
  - mogu da se termički obrađuju (grade jedinjenja)
  - najčešće se podvrgavaju rastvarajućem 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.	$\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Leg. el.	$\rho$ , g/cm <sup>3</sup>
Al	2.699	Mg	<b>1.74</b>
Ag	10.49	Mn	7.43
Au	19.32	Mo	13.55
Be	<b>1.82</b>	Ni	8.90
Bi	9.80	Pb	11.34
Cd	8.65	Si	<b>2.33</b>
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	<b>0.53</b>	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 <sup>3</sup> ↓ → mala masa
Toplotna provodljivost	200 W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>

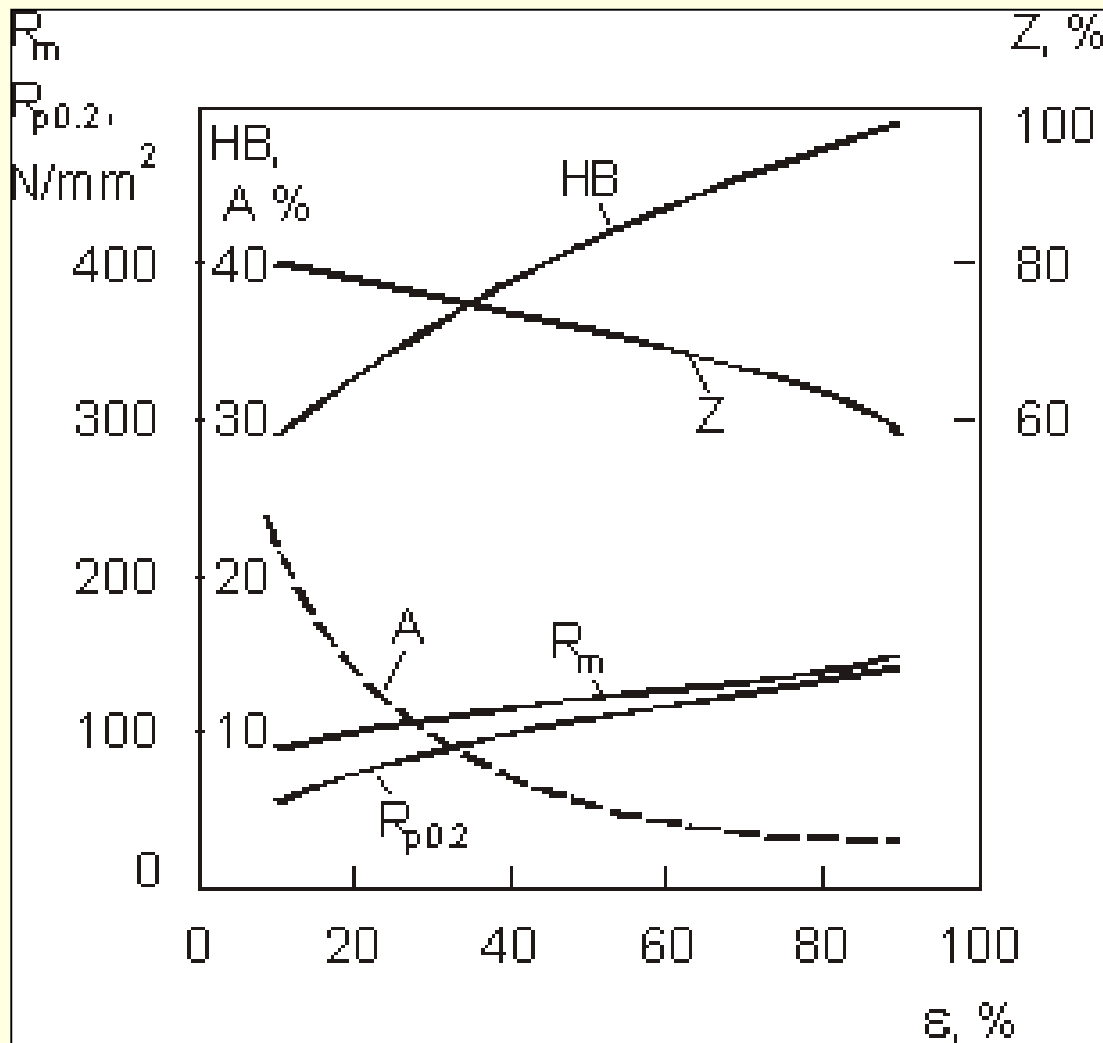
# Mehaničke osobine čistog Al u žarenom stanju na 20°C

## ■ 1xxx, Al

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

<i>Mehaničke osobine (zavise od čistoće)</i>		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

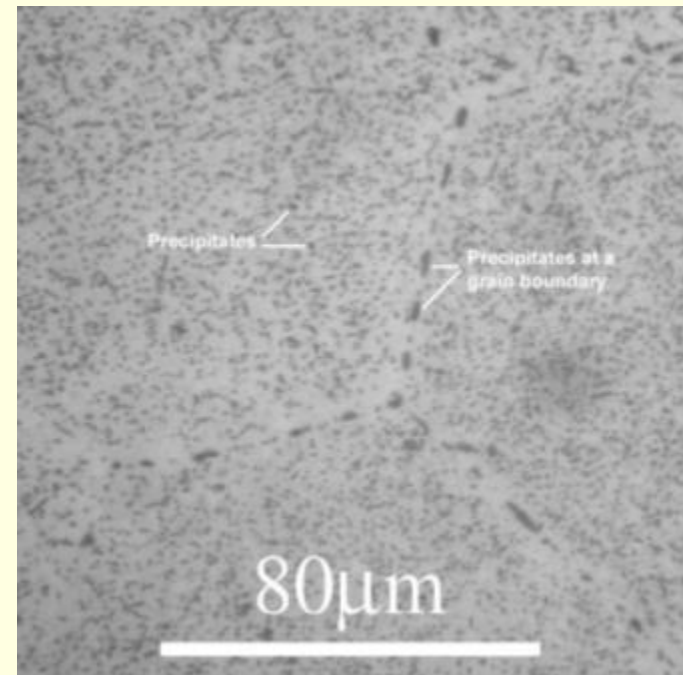
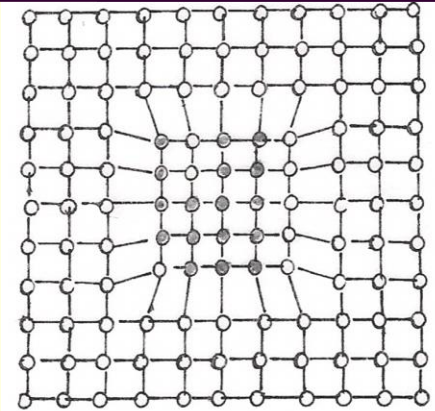
## - Deformisano stanje - Mehaničke osobine u funkciji % deformacije Al



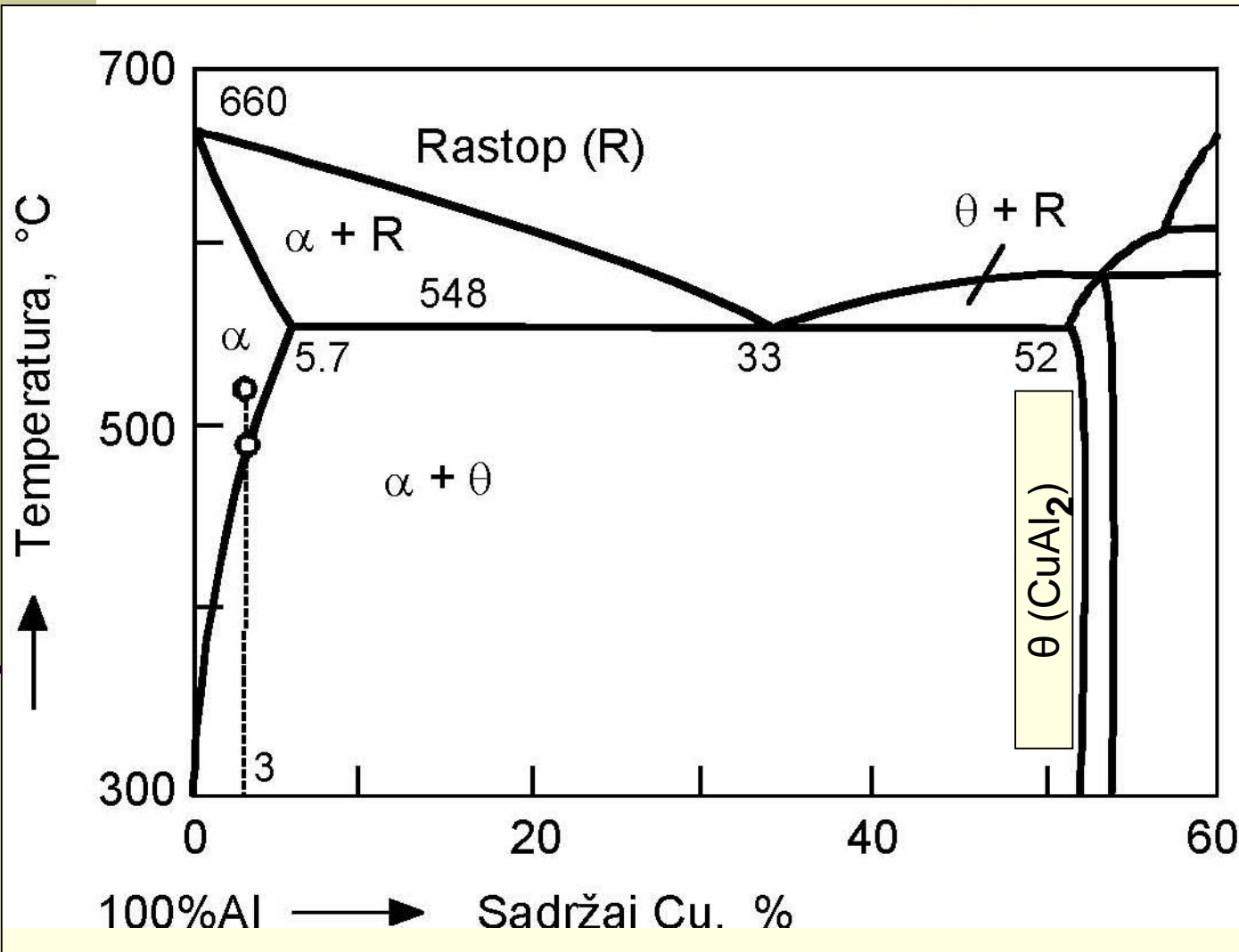
# Legure Al-Cu (2xxx) duraluminijum

## 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)



# Deo ravnotežnog dijagrama stanja Al-Cu



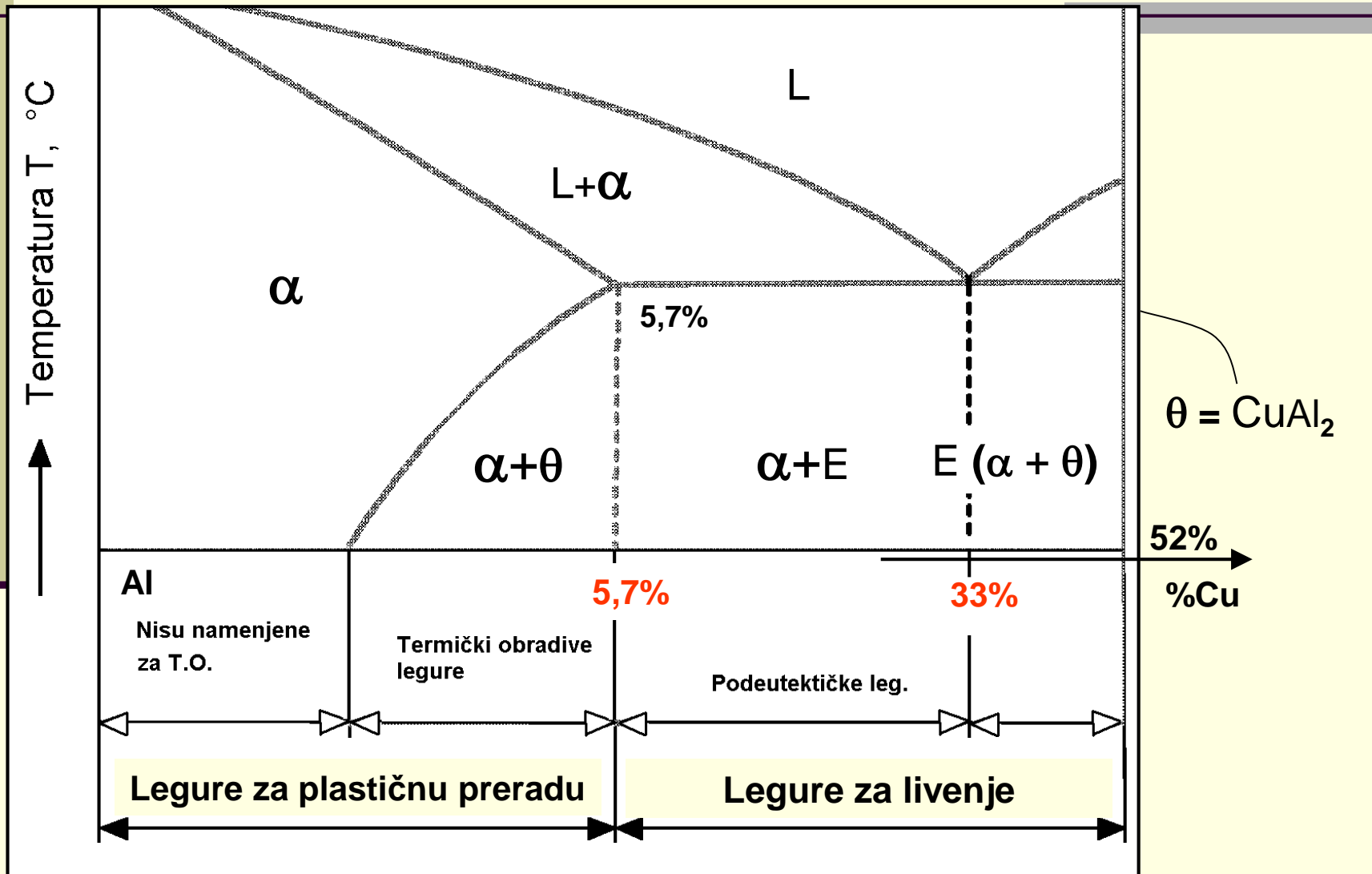
## Faze:

1)  $\alpha$  - sup. čvrsti rastvor **Cu u Al**

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

3)  $\theta$  faza – intermetalno jedinjenje  **$\text{CuAl}_2$**

# Podela legura Al-Cu

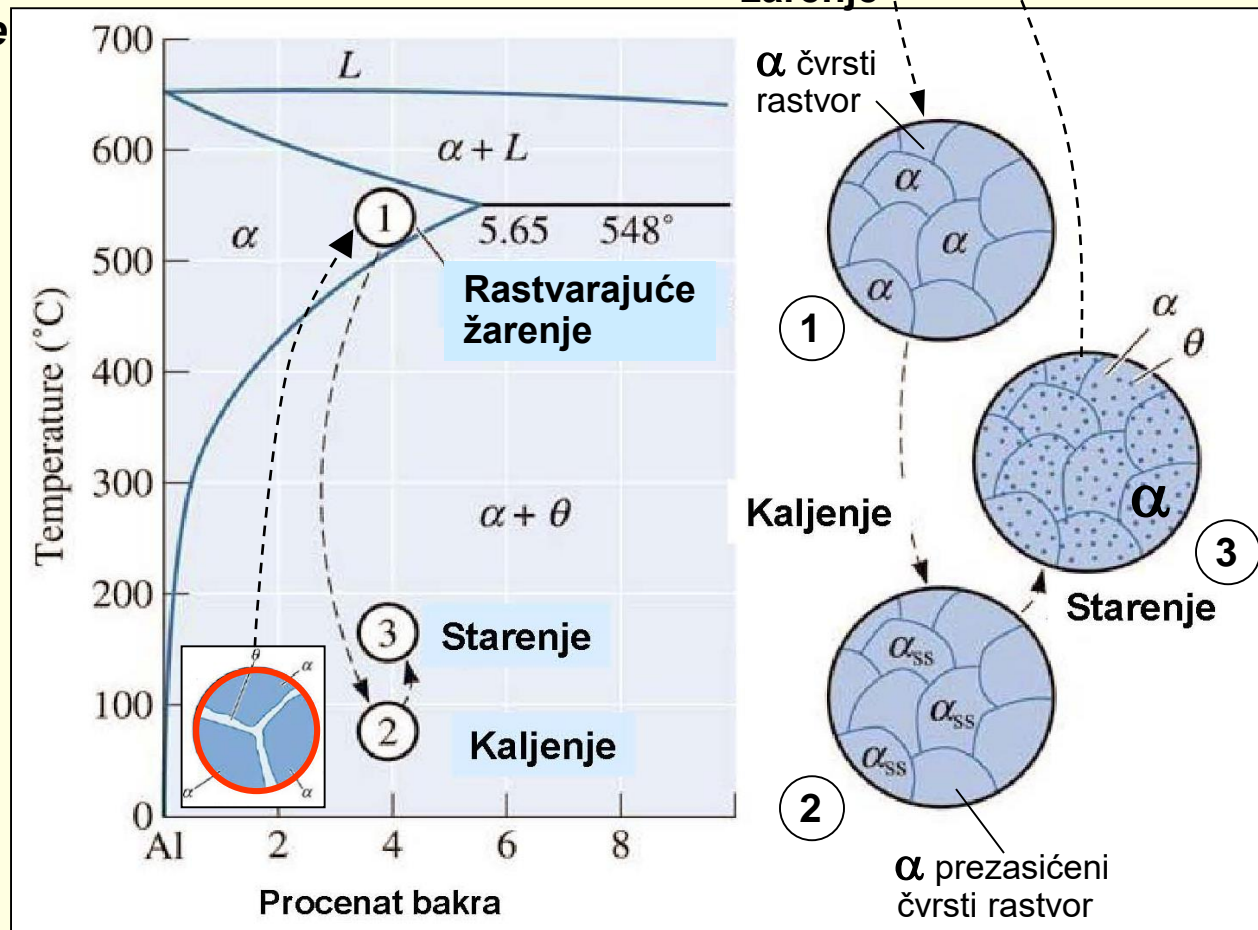


# Termička obrada Al-Cu legura

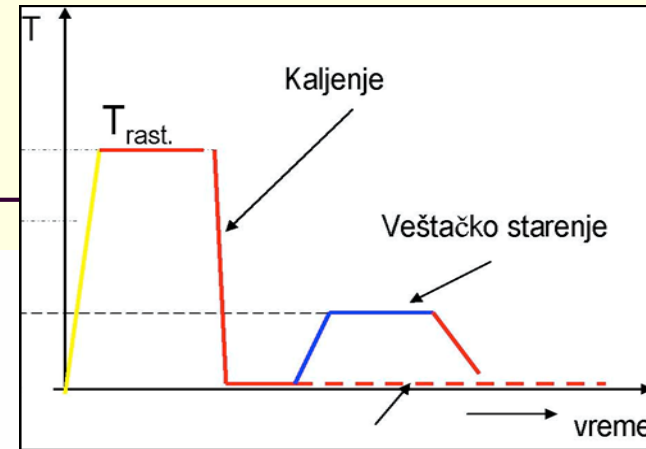
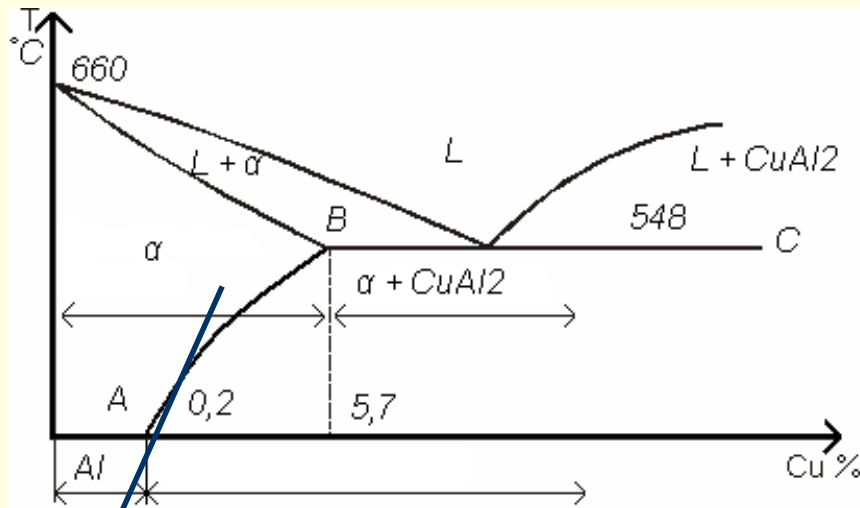
## Termičko taloženje

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 →  $\alpha$ -prezasićeni čvrsti rastvor  $R_m$ ,  $R_{p0,2} \downarrow$ ;  $A$ ,  $Z \uparrow$

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

Taložno  
(čestično)  
ojačavanje

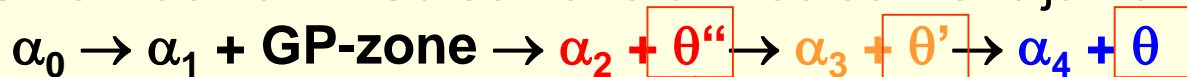
niže T (100...150°C)  
( $R_{0,2}/R_m = 0,6...0,7$ )

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:



- Faze su:

$\alpha_n$  – Al prezasićeni čvrsti rastvor KPC

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

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

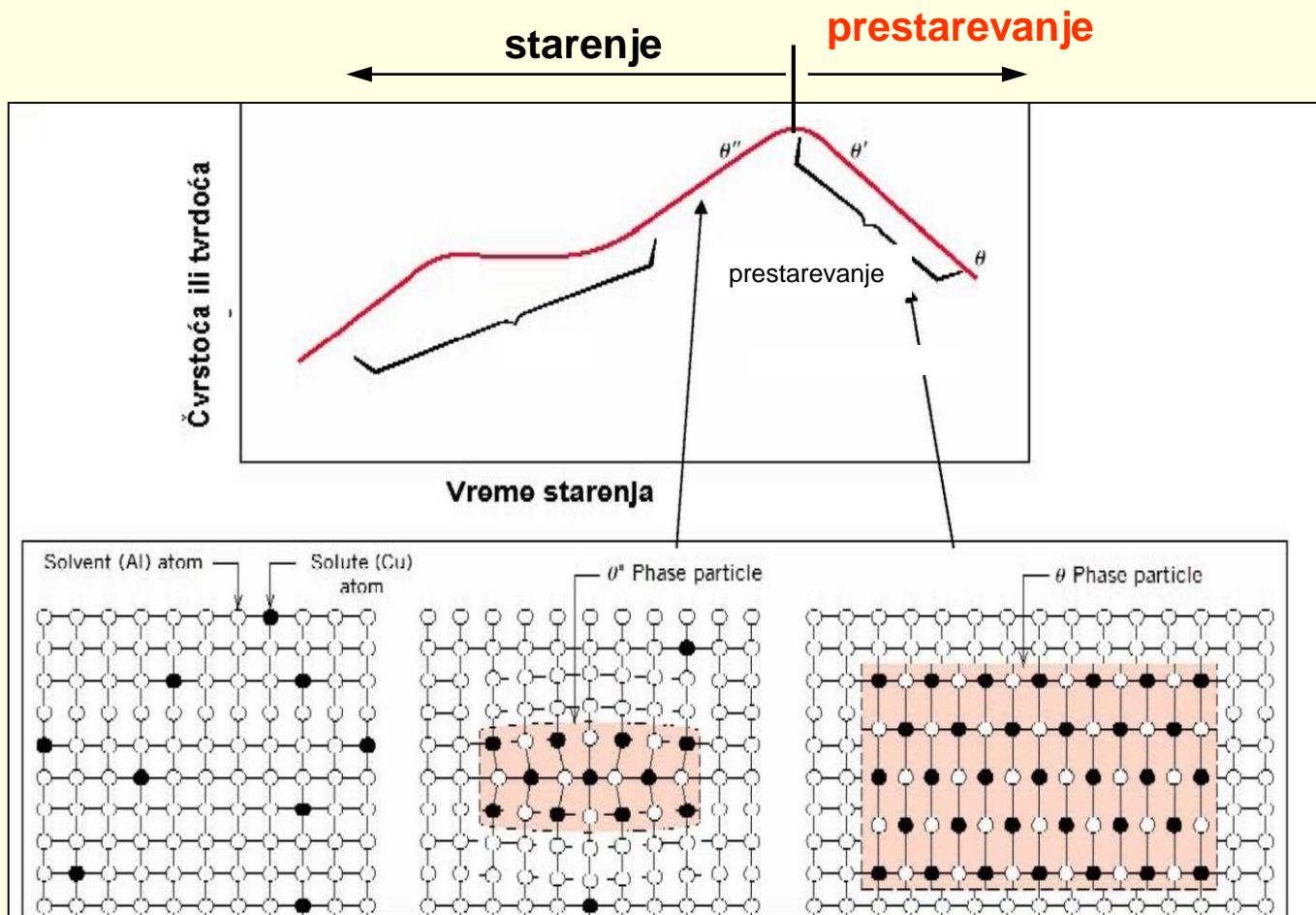
$\theta''$  – potpuno **koherentan** talog

$\theta'$  – sočivasti **polukoherentan** talog

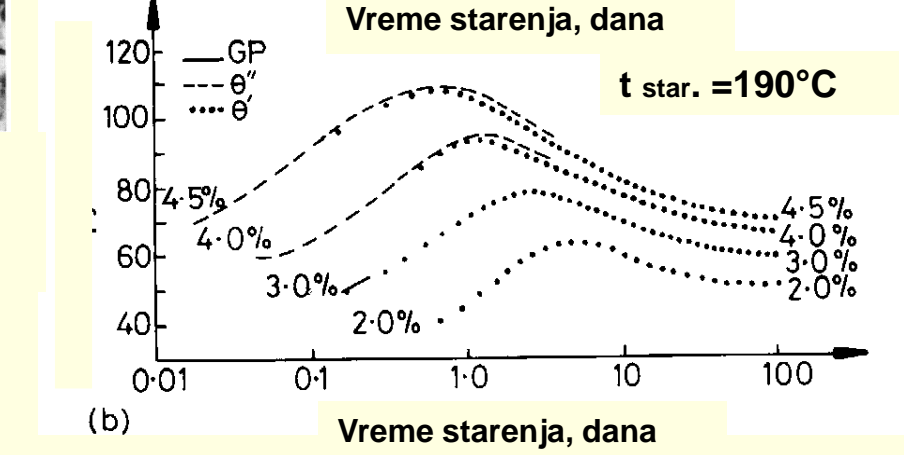
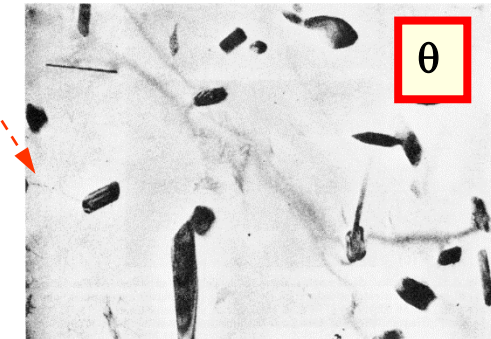
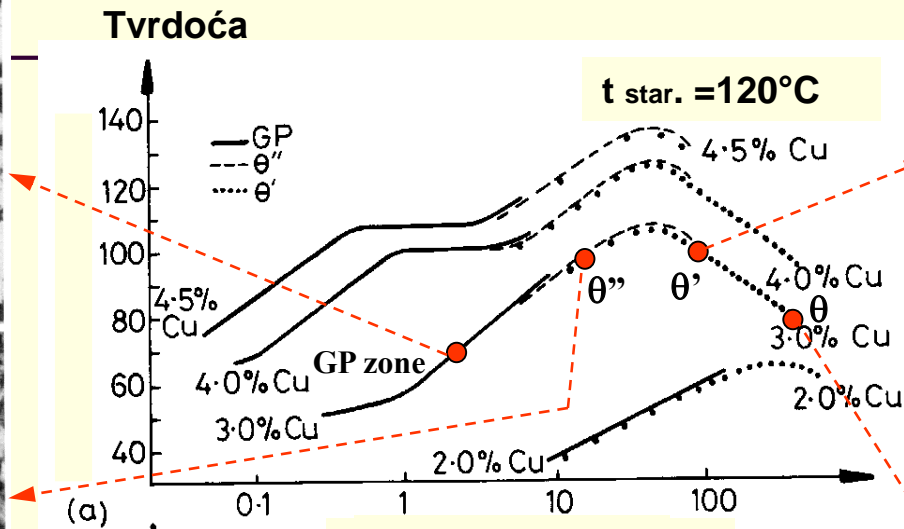
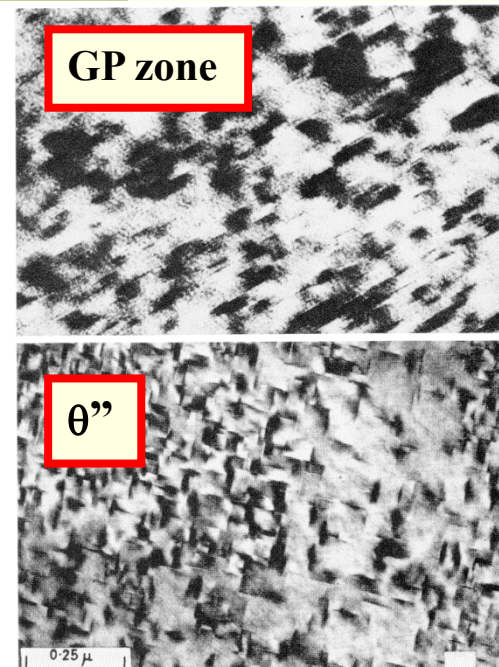
$\theta$  - **nekoherentan** talog prost.c. tetragonalna rešetka

# 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-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,...

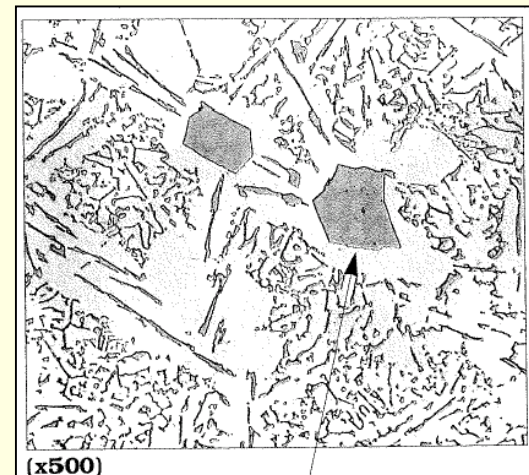
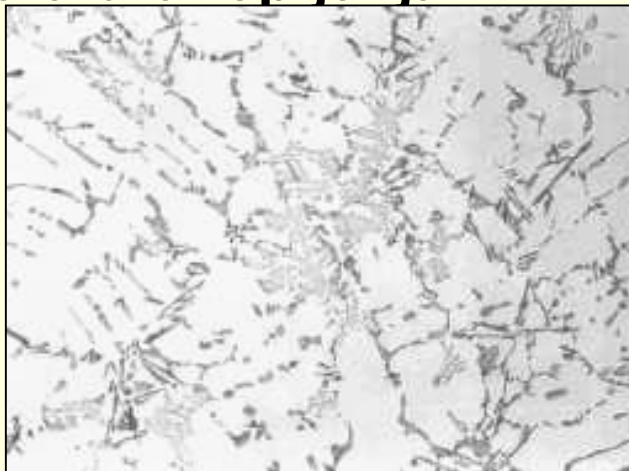


# Legure Al i Mn - 3xxx

- 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

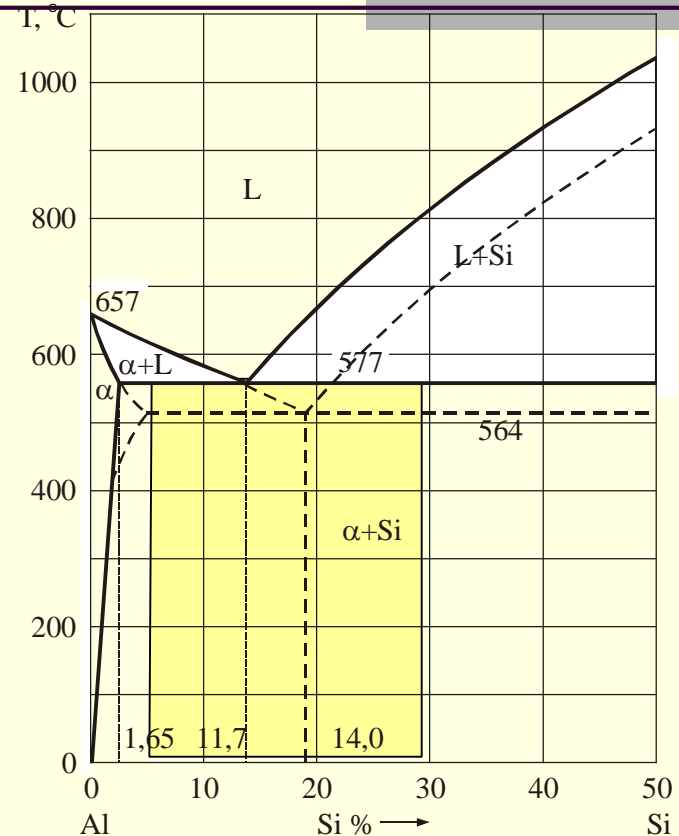
# Legure Al i Si (silumin) - 4xxx

- 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)

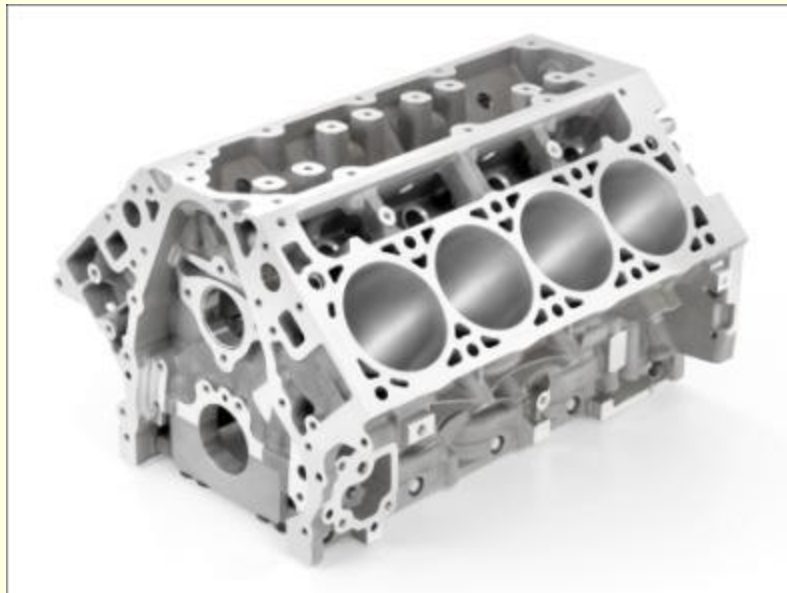
Tt = 577°C za 11,7%Si

Tt = 564°C za 14 % Si

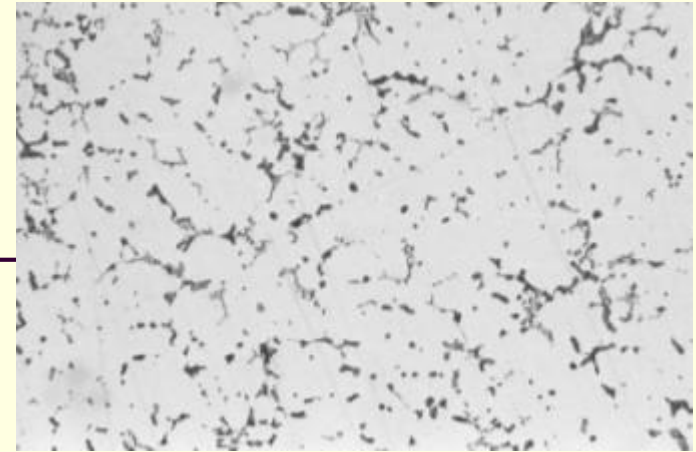
dobra livkost (mala razlika između likvidus i solidus T)

# 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

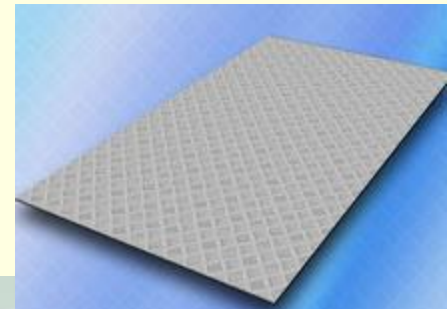
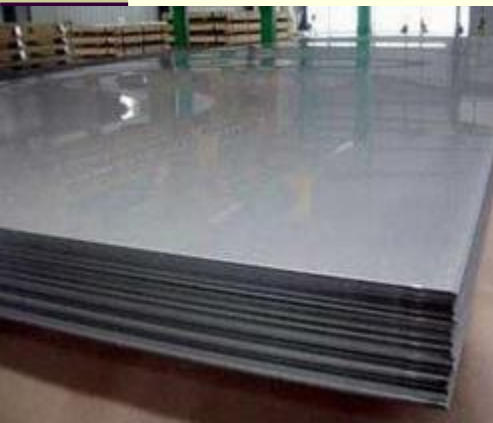


## ■ 5xxx, Mg

- Sadrže **do 5 % Mg**
- Dodatkom **Mg** postiže se **najveće ojačavanje** kod legura koje **nisu za TO**.
- Kombinuje se deformaciono ojačavanje sa taložnim ojačavanjem (čestice  $\text{Al}_3\text{Mg}_2$ )
- 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,...



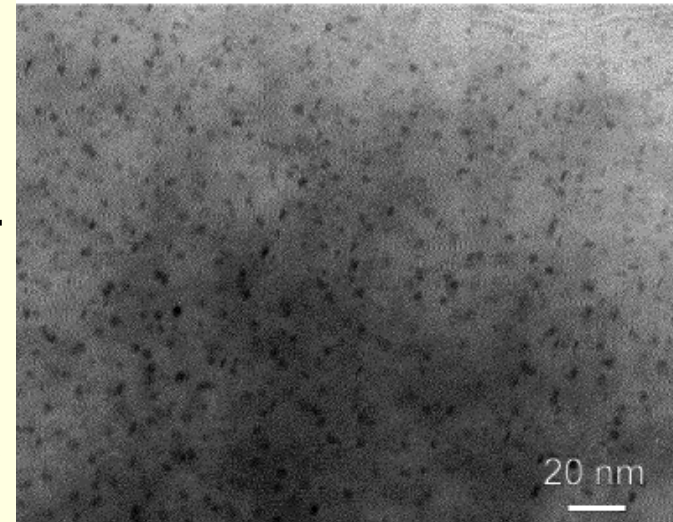
# Legure Si i Mg 6xxx (pantali)

- **6xxx, Si + Mg**
  - 6xxx legure jesu **termički obradive**.
  - Ojačavajuća komponenta u leguri su čestice **Mg<sub>2</sub>Si**.
  - 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 (konstruktali)

## 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 (konstruktali)

- 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

# Cu se koristi od praistorije

- Pre otkrića topljenja čovek je metal koristio petrografski materijal npr. samородni bakar koji je nalazio u prirodi i koristio za izradu nakita.
- Pre 7000-8000 godina, dolazi se do jednog od najvećih čovekovih otkrića u istoriji da komad stene na visokoj temperaturi (u vatri) prelazi u metal.
- Prvobitno su to bili površinski kopovi
- Rude bakra (karbonatnih minerali, malahit, azurit i samородni bakar) razlikuju se od okoline po zelenoplavoj i crvenoj boji.
- Slučajnim stavljanjem u vatru dobijen je bakar!

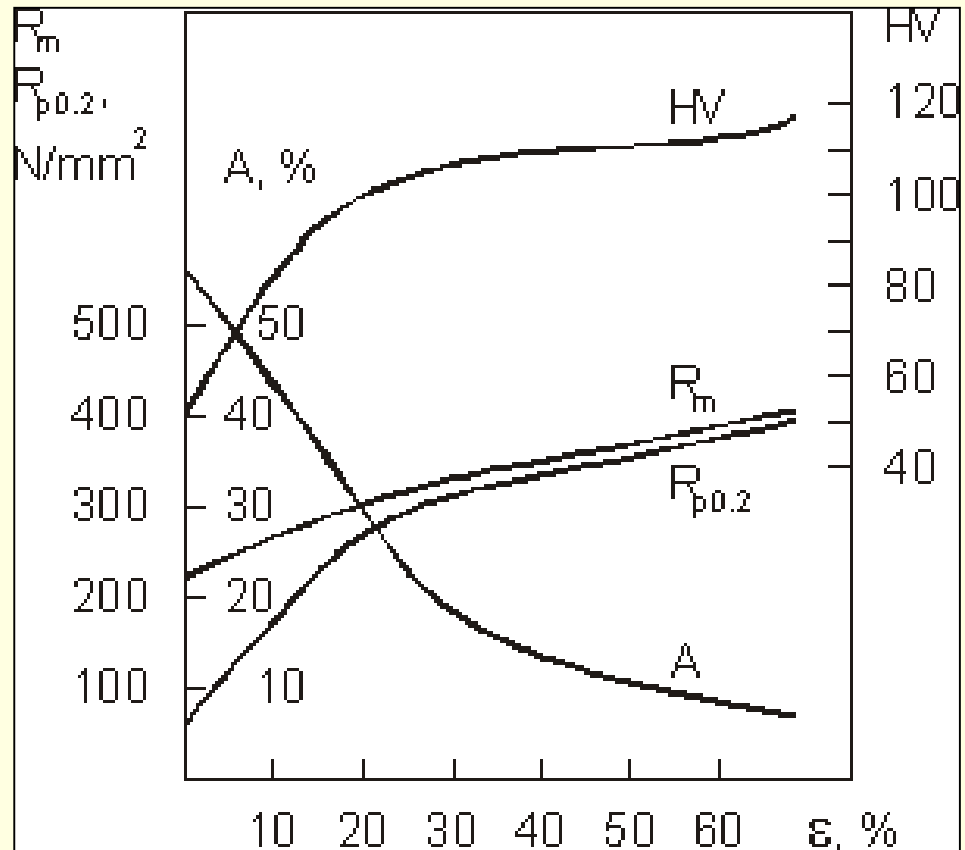
Rudna glava, praistorijska rudarska okna - Cu



Dolaskom Rimljana počinju da se koriste alati od gvožđa i bronza (Bronzano doba).

# Tehnički čist Cu

- Čistoća 99,95%,
- Sadržaj kiseonika (O) do 0,04% (ostatak su drugi elementi u tragovima)
- Niske meh. osobine:  
 $R_m = 200-250 \text{ MPa}$
- 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 Cu 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 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 hemijskih elemenata

- Najvažniji legirajući elementi - Zn, Sn, Al, Be, Ni, Mn, Si, Ag i Au. (mesing i bronzes)
- 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 Rm, ali zato značajno snižava električnu provodljivost.
  - **Cu<sub>2</sub>O** (smanjuje el.provodljivost) – što ga je manje, žica je kvalitetnija
- Nepoželjno je i prisustvo **H** zbog pojave poroznosti
  - H+O →šupljina po granicama zrna - krtost bakra.

# Cu-Zn legure – mesing

---

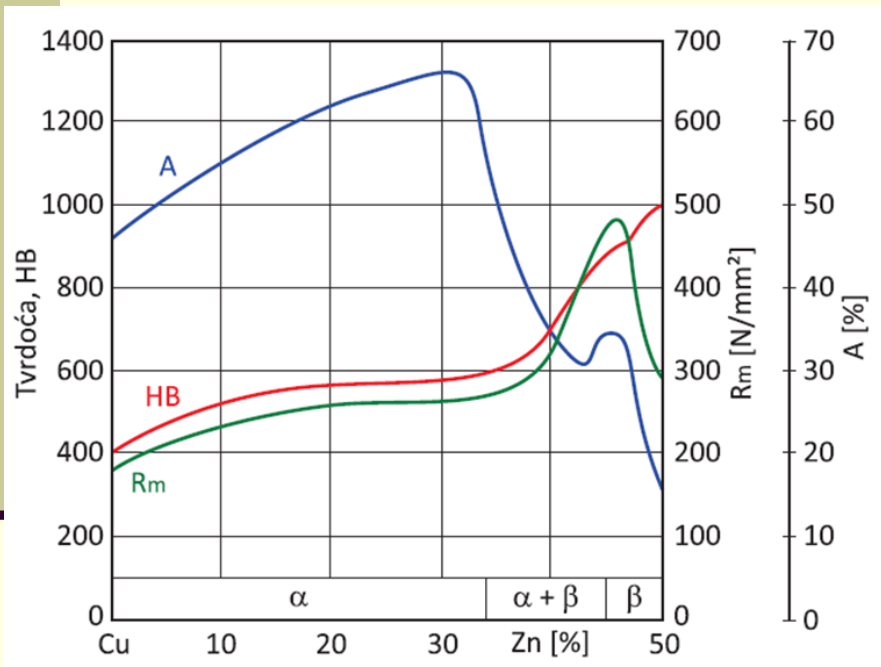
- Mesing je legura bakra sa cinkom (**najviše 50 % Zn**)
- Cu i Zn grade veći broj čvrstih rastvora ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\epsilon$ ,  $\eta$ )

Koriste se 2 vrste mesinga:

- **$\alpha$  mesing (PCK)** - deformabilan na sobnoj temperaturi, a nije na povišenoj – **obrađuje se na hladno**
- **$\beta$  mesing (ZCK)** – nije deformabilan na sobnoj temperaturi – **obrađuje se na toplo**

# Cu-Zn legure – mesing

## Uticaj sadržaja Zn na osobine

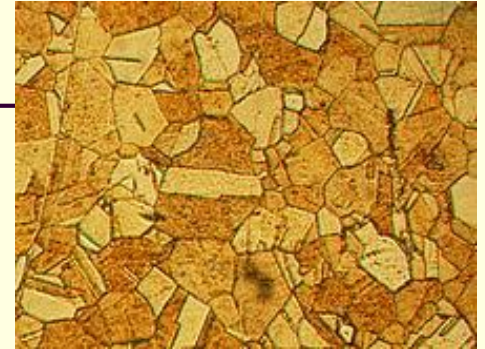


- $\%Zn \uparrow \rightarrow$  do  $\sim 50\%$  čvrstoća  $R \uparrow$ , a zatim naglo opada
  - $\%Zn \uparrow$  do  $30\%$   $\rightarrow$  duktilnost  $\uparrow$
  - $\%Zn \uparrow$  preko  $30\%$   $\rightarrow$   $A \downarrow$
  - $\%Zn \uparrow \rightarrow$  tvrdoća  $HB \uparrow$
- Osobine:
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

# Vrste mesinga

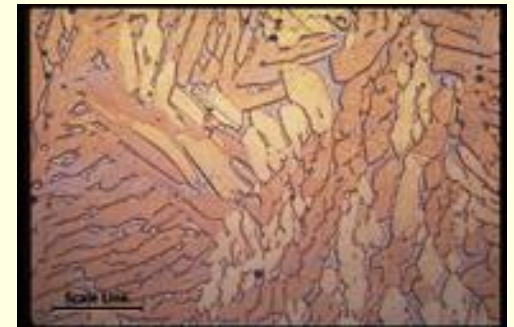
## ■ $\alpha$ mesing – (do 35% Zn)

- 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



## ■ $\beta$ 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 <b>cevi za izmenjivače toplote</b> , za duboko izvlačene čaure
Mesing za obradu gnječenjem	CuZn35	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: <b>žice</b> , 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

# Primena mesinga

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



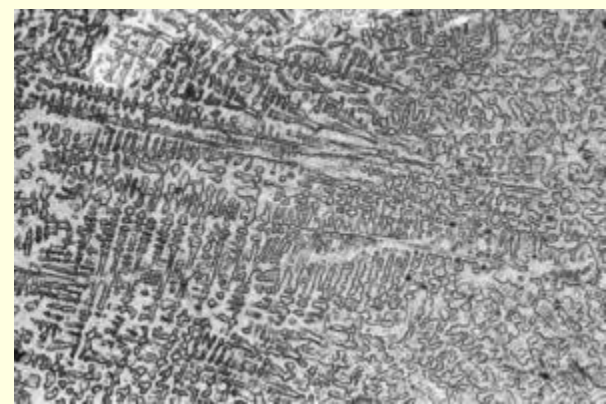
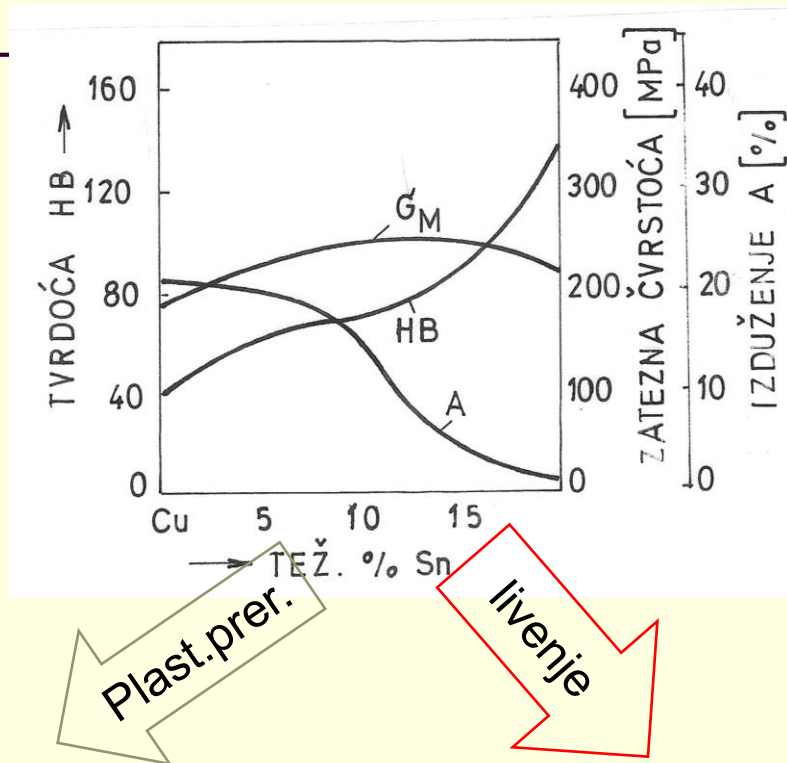
# Cu sa drugim elementima - bronzе

---

- 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



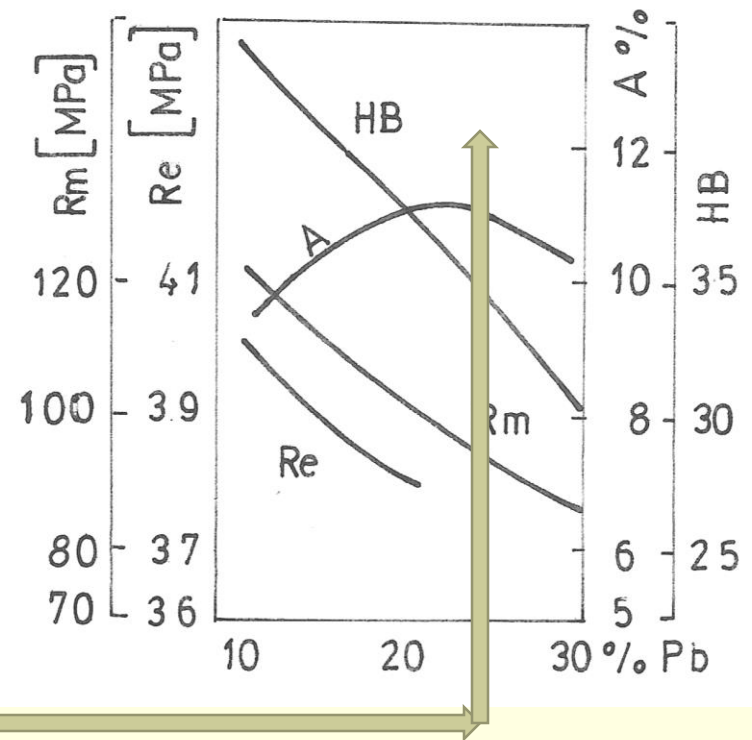
# Sn bronza

- 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-** visokopterećeni **klizni ležajevi**
  - **Cu+5-22%Pb i 5-10%Sn** - visokopterećeni **klizni ležajevi sa udarnim opterećenjem**



# Al bronza

- 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.
- Osobine: visoka čvrstoća, koroziona otpornost (masne kiseline i morska voda), ne varniče
- Primena: klizni ležajevi, naftna i petrohemijska industrija, fitinzi, zupčanici, ventili, metalni novac



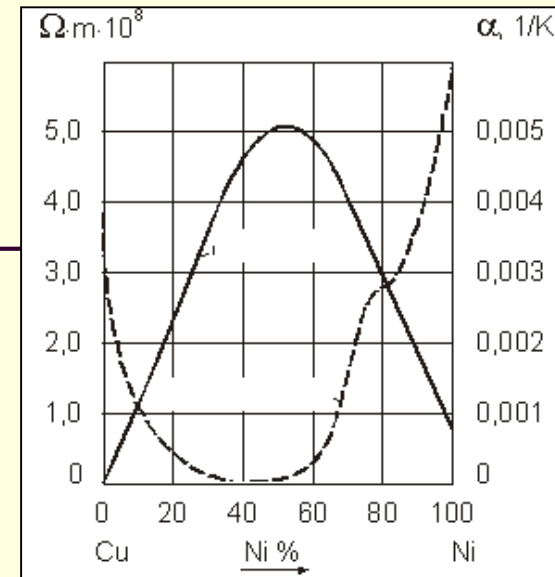
# Be bronza

- 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 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

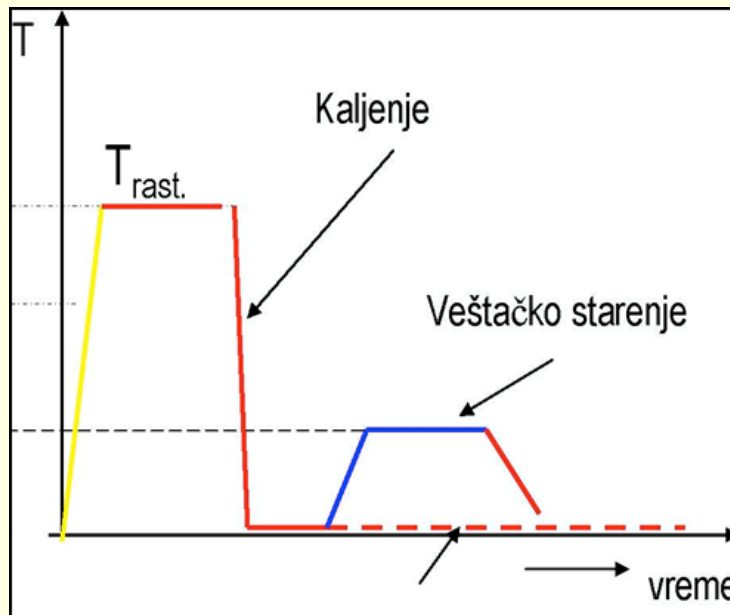
- Rešetka: HGP – loša plastičnost na niskoj i sobnoj T
- 
- $T_t = 650^\circ\text{C}$
- $\rho = 1,74 \text{ g/cm}^3$  (**najlakši inženjerski materijal**)
- gradi oksid MgO čija je  $T_t = 2600^\circ\text{C}$ .
- oksid nije kompaktan kao kod Al i ne štiti površinu - površinu je neophodno zaštititi
-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

# Mg i njegove legure

## TO Mg-legura

- Slično kao kod Al-legura

Kaljenje + starenje (čestice  $\text{MgZn}_2$ ,  $\text{Mg}_4\text{Al}_3$ )  $\rightarrow R_m \uparrow 20-30\%$



# Legure Mg

## Označavanje

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

### Mg- legure za plastičnu preradu

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

### Mg legure za livenje (SRPS EN 1753:2011)

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

# **Titan i legure titana sledeci put...**