

# 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

The image shows a periodic table of elements with various groups highlighted in colors. A red box highlights the transition metals (groups 3-10), and a blue box highlights the post-transition metals (groups 11-12). Other groups are color-coded: Group 1 (yellow), Group 2 (orange), Groups 13-15 (green), Groups 16-17 (light blue), and Group 18 (dark blue). The table includes atomic numbers, symbols, and names for all elements up to Oganesson (118). A legend at the top left indicates 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."

- **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 $T_t$

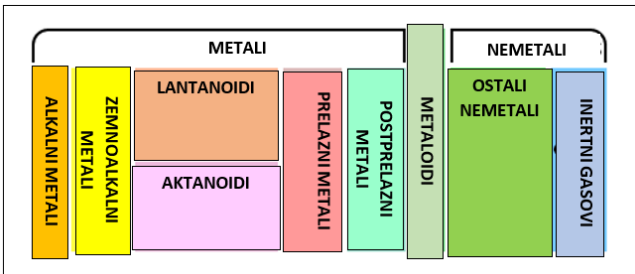
Prema temperaturi topljenja se dele na metale:

- 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	
													Prictogens	Chalcogens	Halogens			
1 <b>H</b> Hydrogen 1.008	Atomic # Symbol Name Weight																	2 <b>He</b> Helium 4.0026
3 <b>Li</b> Lithium 6.94	4 <b>Be</b> Beryllium 9.0122	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-bottom: 5px;"><b>C</b></div> <div style="margin-bottom: 5px;">čvrsto</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-bottom: 5px;"><b>Hg</b></div> <div style="margin-bottom: 5px;">tečnost</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-bottom: 5px;"><b>H</b></div> <div style="margin-bottom: 5px;">gas</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"><b>Rf</b></div> <div>?</div> </div> <div style="margin-left: 10px;">  </div> </div>															10 <b>Ne</b> Neon 20.180	
11 <b>Na</b> Sodium 22.990	12 <b>Mg</b> Magnesium 24.305	13 <b>Al</b> Aluminum 26.982	14 <b>Si</b> Silicon 28.085	15 <b>P</b> Phosphorus 30.974	16 <b>S</b> Sulfur 32.06	17 <b>Cl</b> Chlorine 35.45	18 <b>Ar</b> Argon 39.948											
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 <b>Lanthanoids</b>	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 <b>Actinoids</b>	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			

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

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

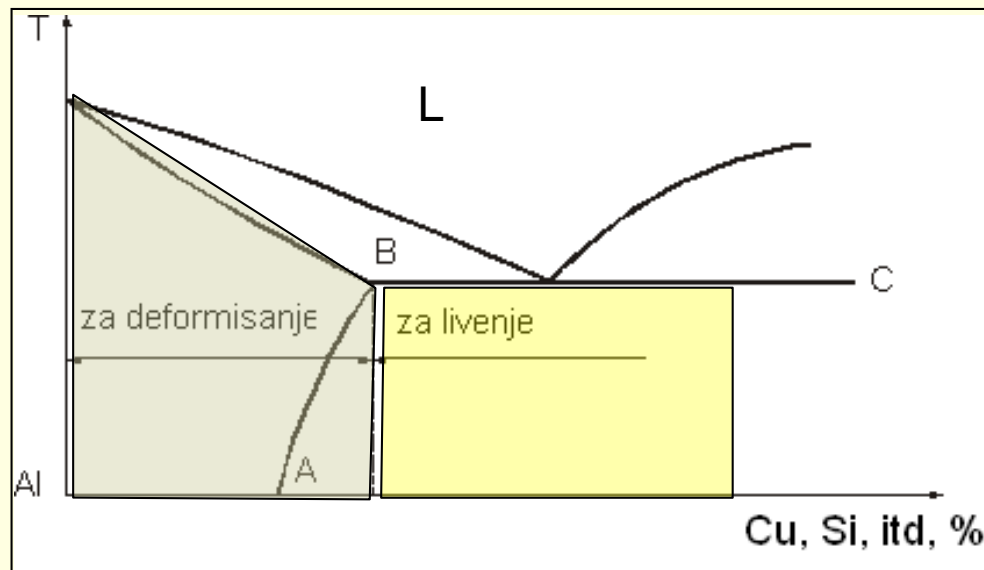
**-elektroni i iz preposlednje orbitale se uključuju u formiranje veze**

**-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

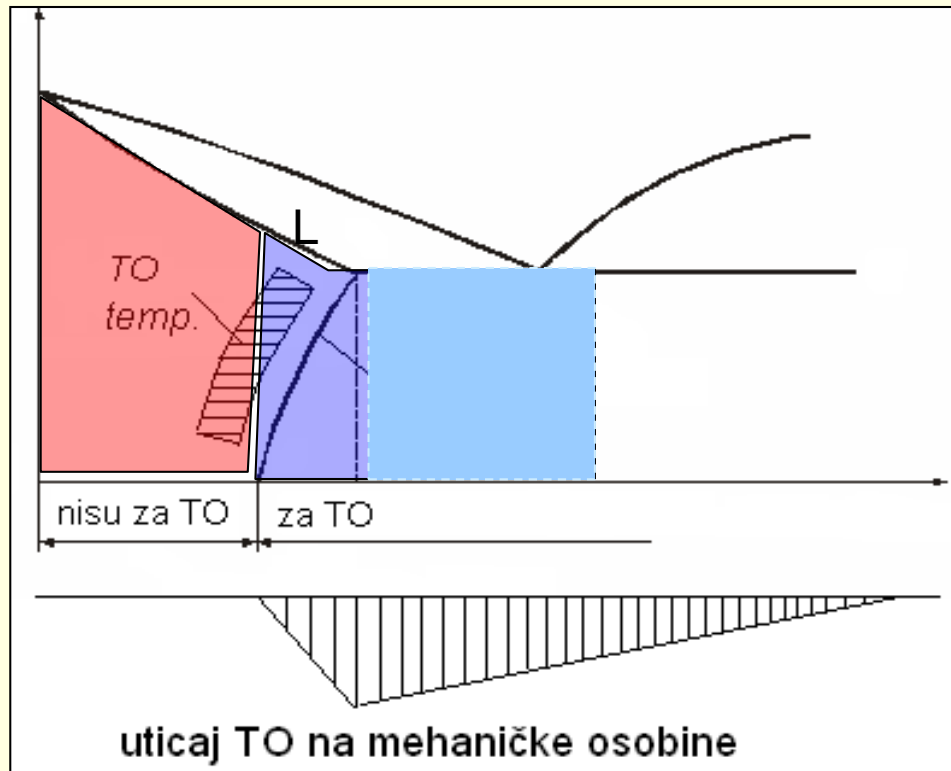
- c) Prema načinu **izradi** obojeni metali se dele na (šematski prikazano na faznom dijagramu):
- **legure za oblikovanje deformisanjem**
  - **legure livenje**



# 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)

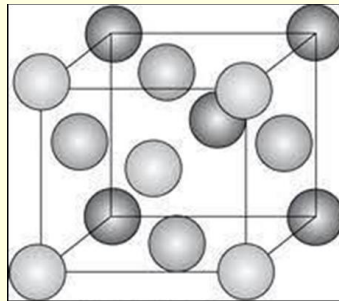
# Aluminijum i njegove legure

# 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
- **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

---

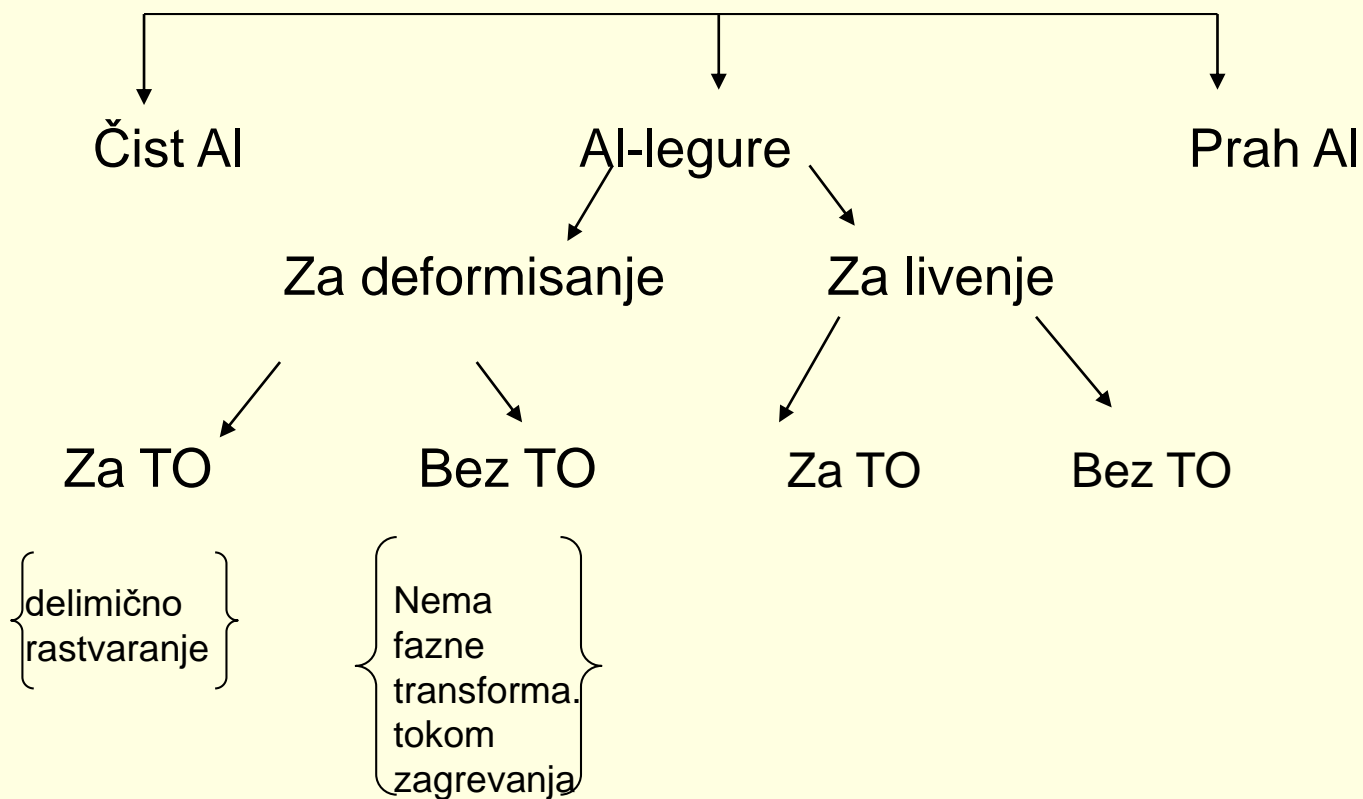
- **Dobra otpornost na koroziju** - Al stvara tanak oksidni sloj na svojoj površini  $\text{Al}_2\text{O}_3$  koji ga štiti.
- **Dobra otpornost na zamor**: npr. legure, Al-Cu i Al Zn, što ih čini pogodnim za primenu u avio industriji
- **Lako se reciklira** - ekološki prihvatljiv materijal.
  
- **Nedostaci:**
  - 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.	$\rho$ , 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

# 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 – čisti 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)

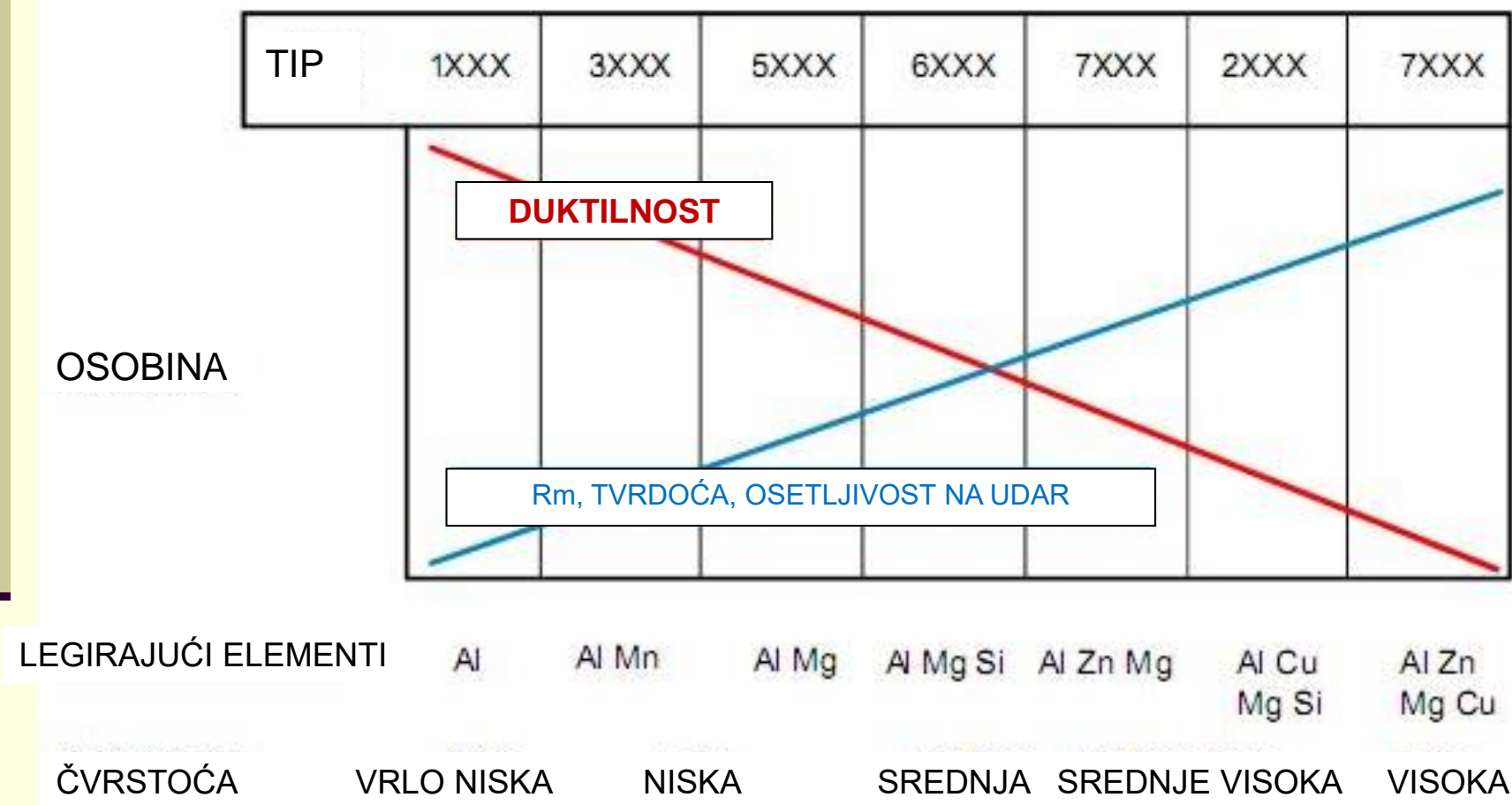
III i IV cifra – samo kod čistog Al znači čistoću – 1060 – 99.60%Al;

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

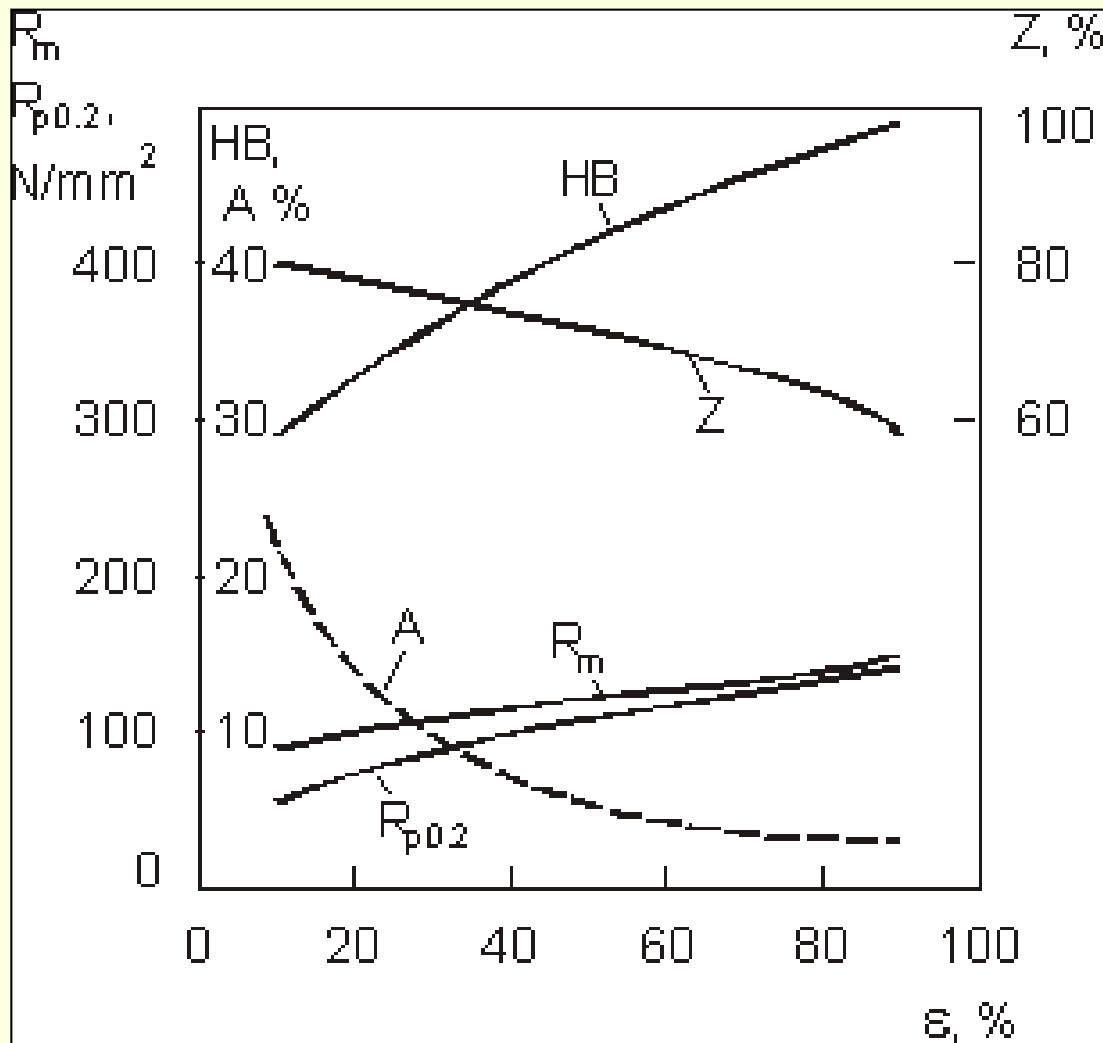
### **Za livenje**

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

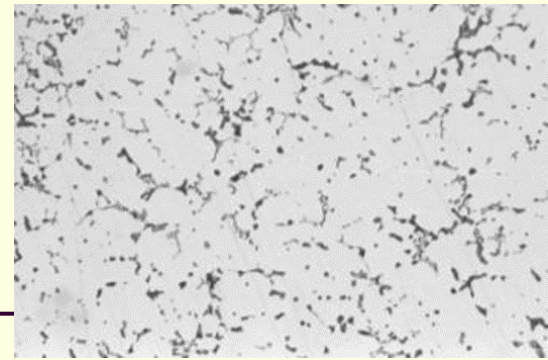
- Ove legure **ojačavaju deformaciono** – hladnim valjanjem, izvlačenjem, vučenjem.
- Lake su za oblikovanje i imaju odličnu otpornost na koroziju.
- **Seriya 1xxx (čisti aluminijum):** Sadrži više od 99% aluminijuma i ima odličnu otpornost na koroziju i visoku provodljivost, ali nisku čvrstoću. Koristi 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



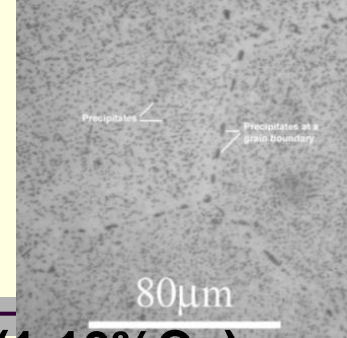
- **Seriya 5xxx (Al-Mg legure):** Sadrže do 5 % Mg.
- Dodatkom Mg postiže se **najveće ojačavanje kod legura koje nisu za TO i odlična otpornost na koroziju**, posebno koroziju u morskoj vodi.
- Generalno i pored toga ima niske mehaničke osobine za konstrukcioni materijal.
- Ako sadrže >3%Mg sklone su 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.

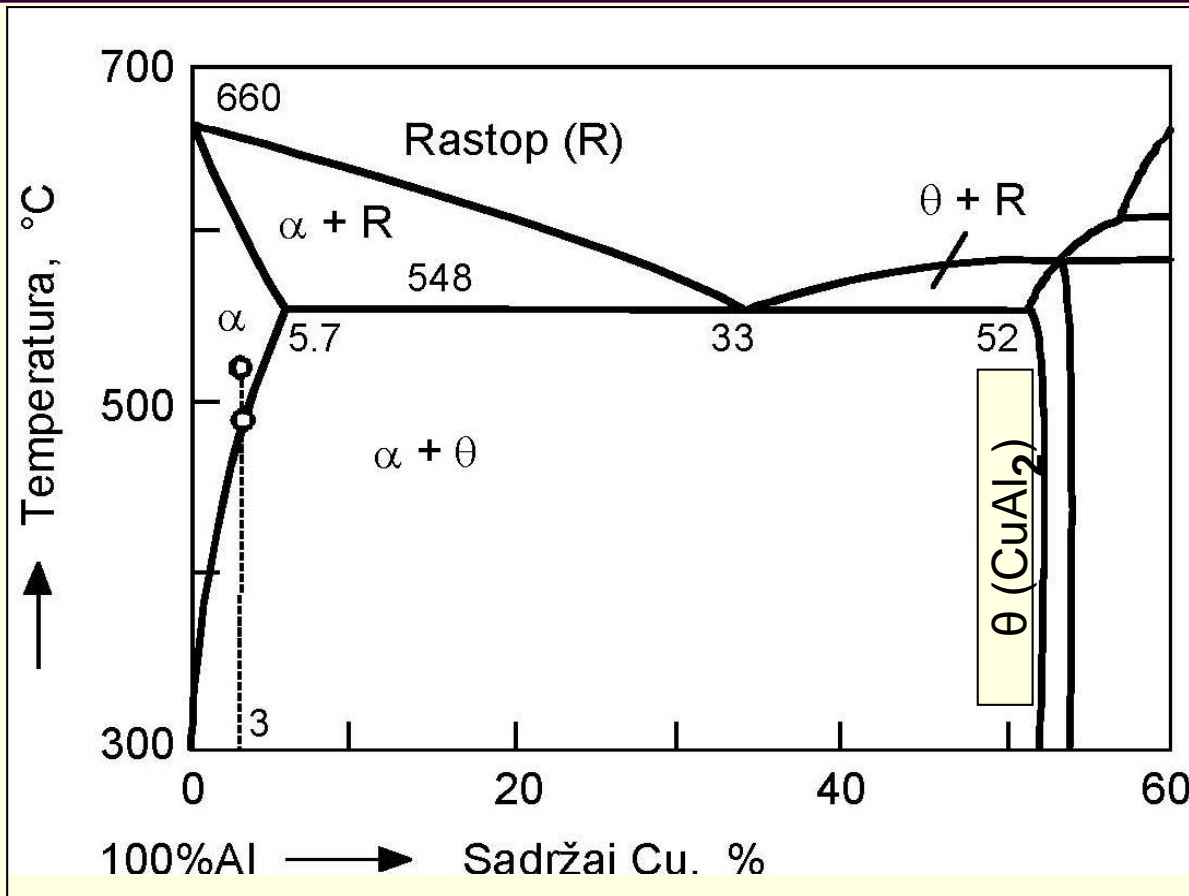
# Legure Al-Cu (2xxx)



- **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/cm<sup>3</sup>)**
  - Imaju manju otpornost na koroziju
- **Rm = 250 MPa -> 500 MPa**                      **R0,2 = 150 MPa -> 350 MPa**
- Npr. jedna od najpoznatijih je legura 2024 koja može dostići Rm) 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



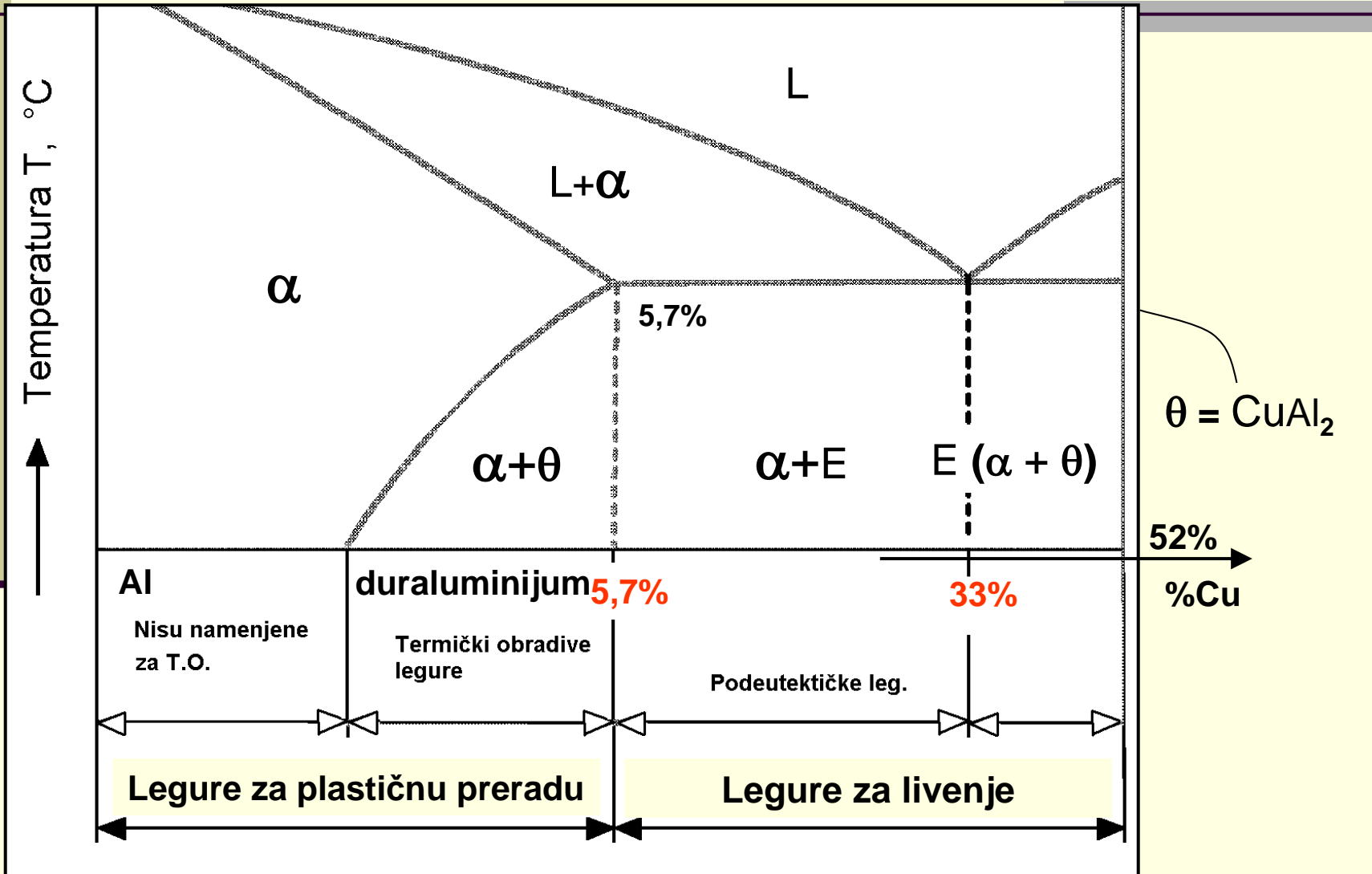
## Faze:

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

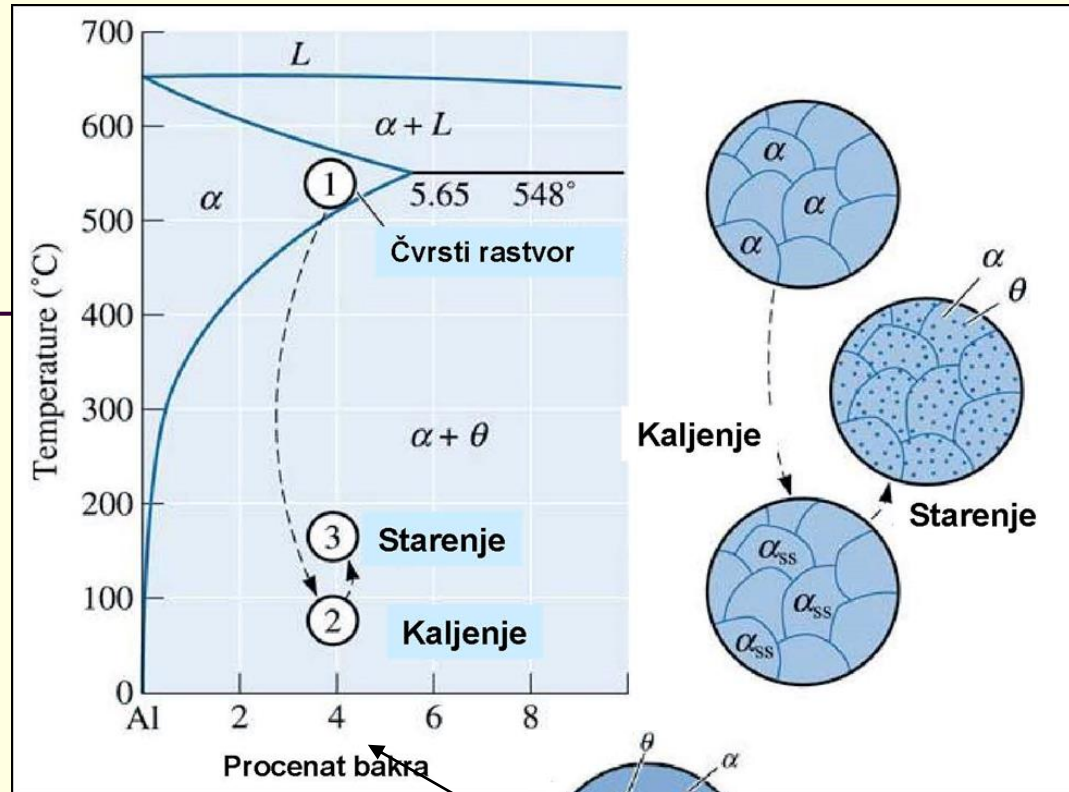
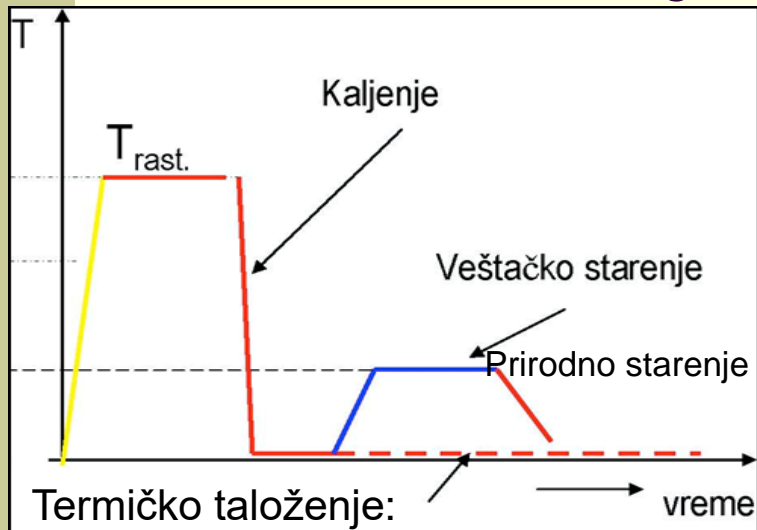
2) **E** ( $\alpha + \theta$ ) eutektikum – meh. smeša  $\alpha$  i  $\theta$

3)  $\theta$  faza – intermetalno jedinjenje **CuAl<sub>2</sub>**

# Podela legura Al-Cu



# Termičko taloženje



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

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

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

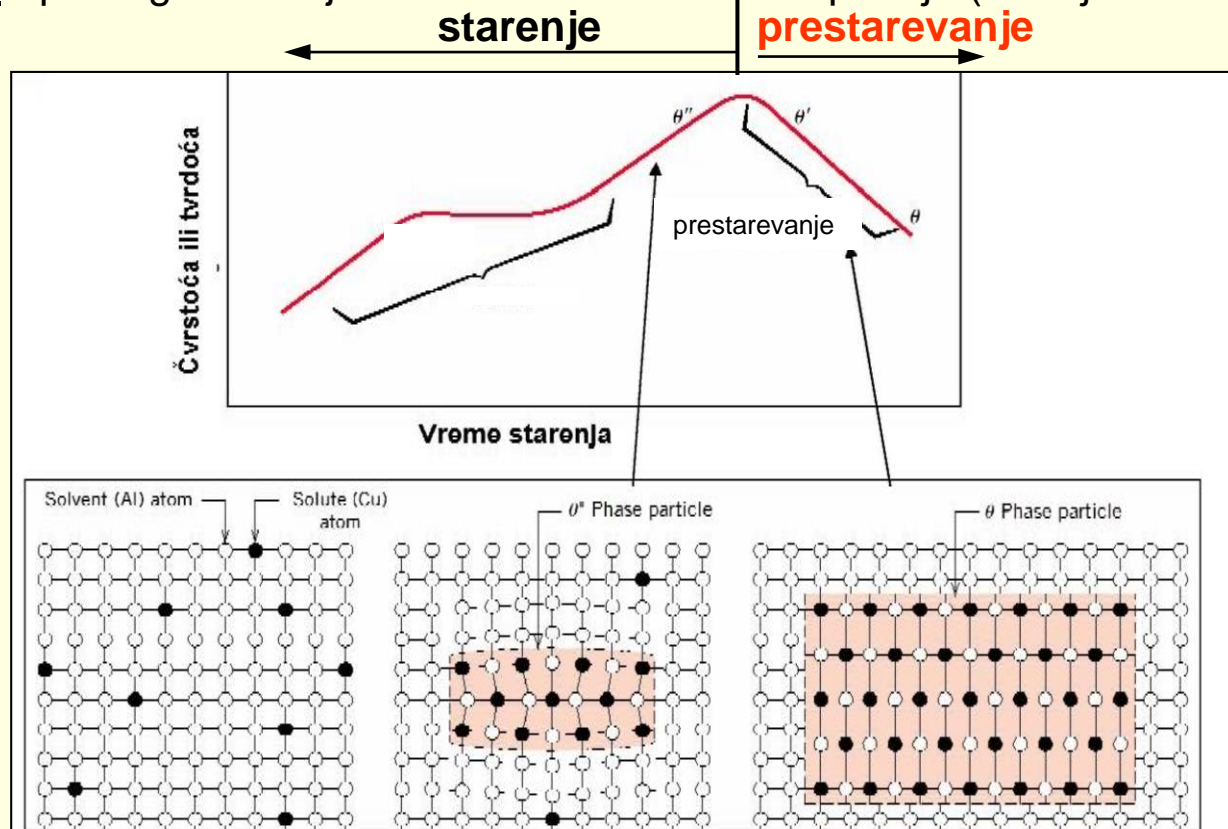
Taložno (čestično) ojačavanje

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)

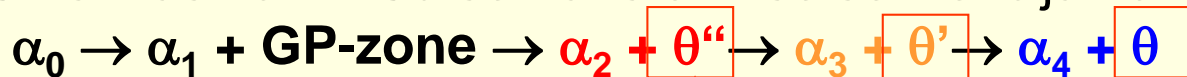


**Ako je potrebno da se Al-Cu legure obrade deformacijom, obrada se izvodi odmah posle kaljenja jer posle starenja teško mogu da se deformišu**

# 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:

$\alpha_n$  – Al prezasićeni čvrsti rastvor KPC

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

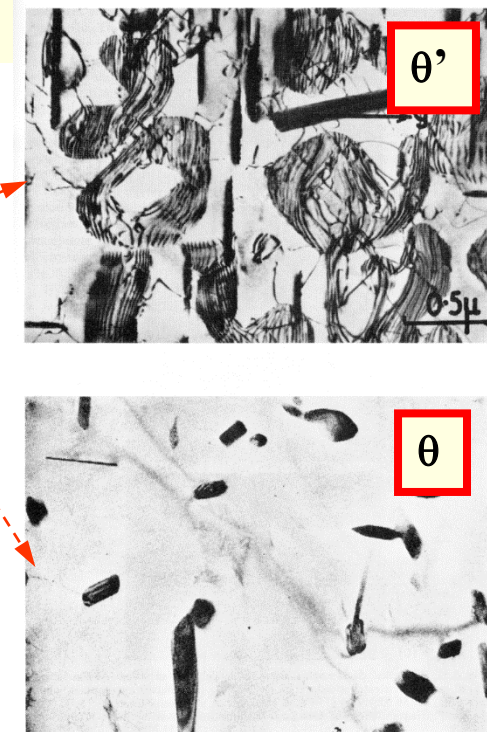
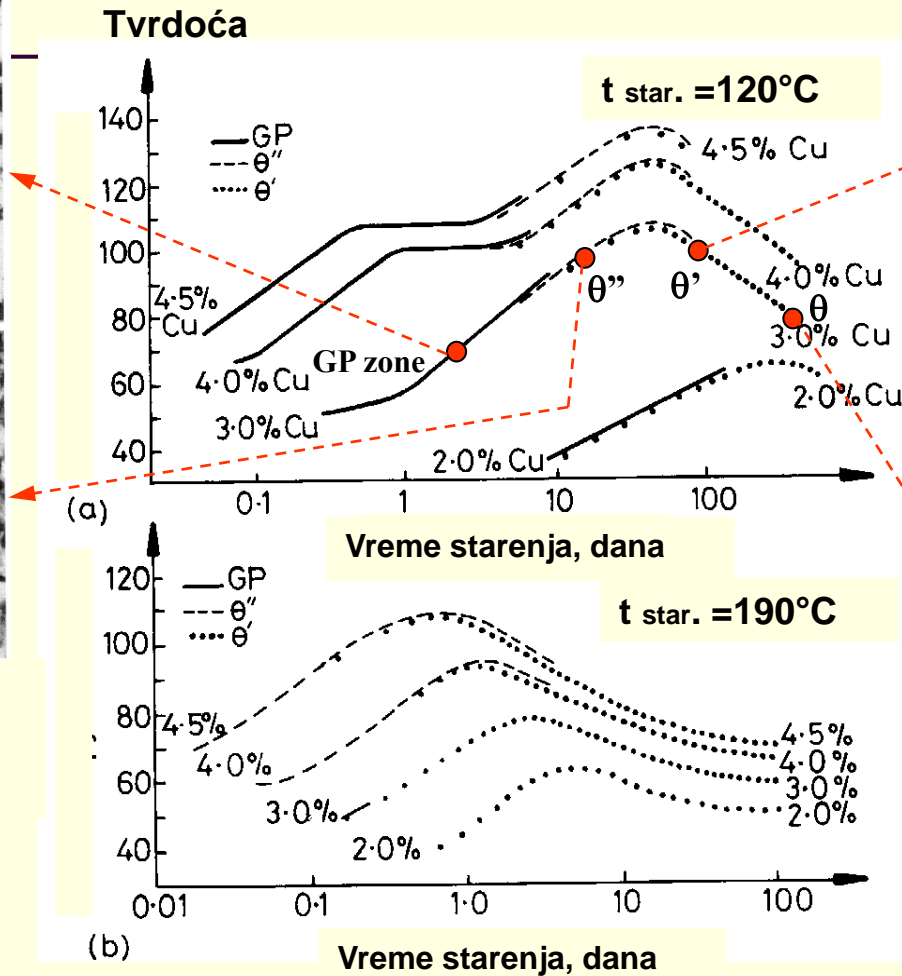
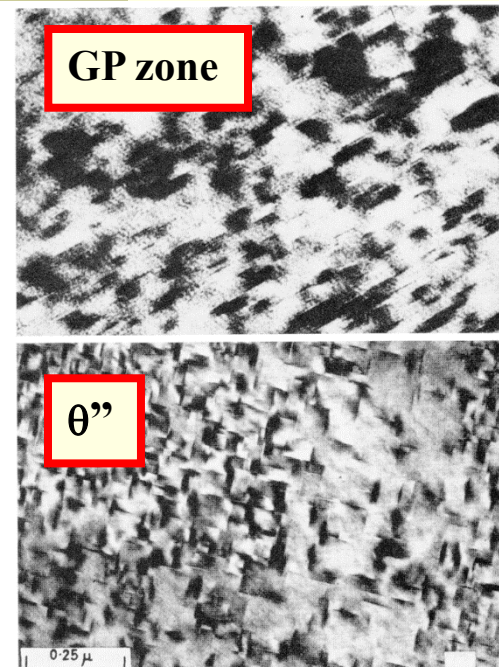
GP (Guinier-Preston) zone – slojevi Cu jednoatomne debljine

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

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

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

# Izgled mikrostrukture Al-Cu legura u različitim fazama veštačkog starenja

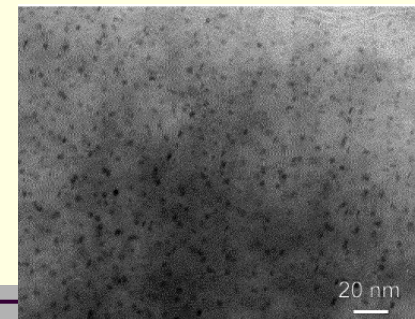


Krive starenja (mikrofotografije snimljene na TEM)

# 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 **Mg<sub>2</sub>Si**
- 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)

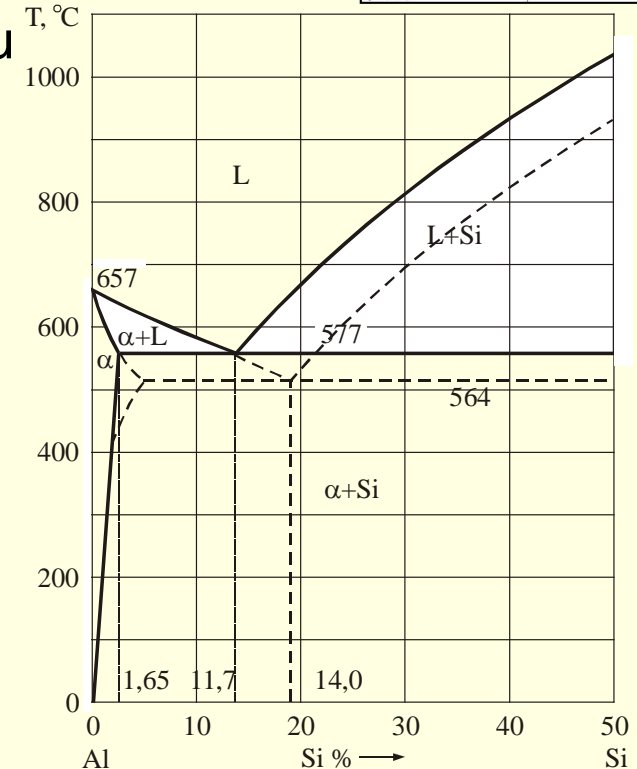
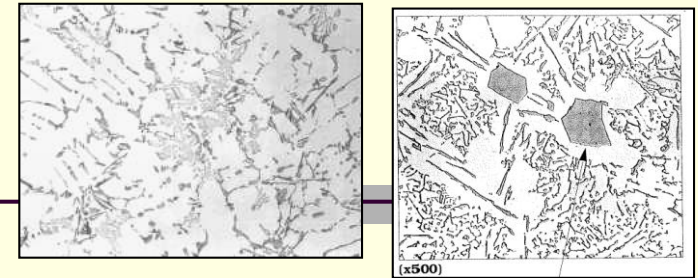


- Sadrže **4-8 % Zn** i **1-3 % Mg** koji formiraju intermetalne faze i **termički se obrađuju**.
- **Mogu da sadrže i Cu, Cr, Zr, Mn.** Legure koje sadrže Cu **imaju najvišu čvrstoću od svih komercijalnih legura Al.**
- **Rm = 450- 620MPa R0,2= 350->500MPa**
- Pošto prirodno stare **obrada deformacijom 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  $\rho$ , 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

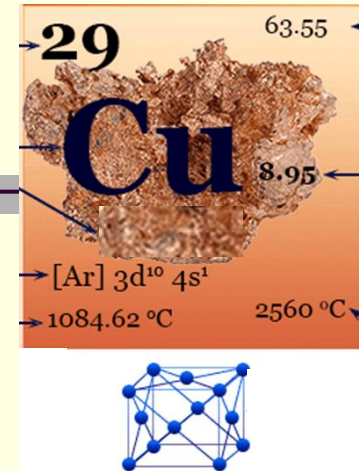
dobra livkost (mala razlika između likvidus i solidus T)



# Bakar i legure bakra

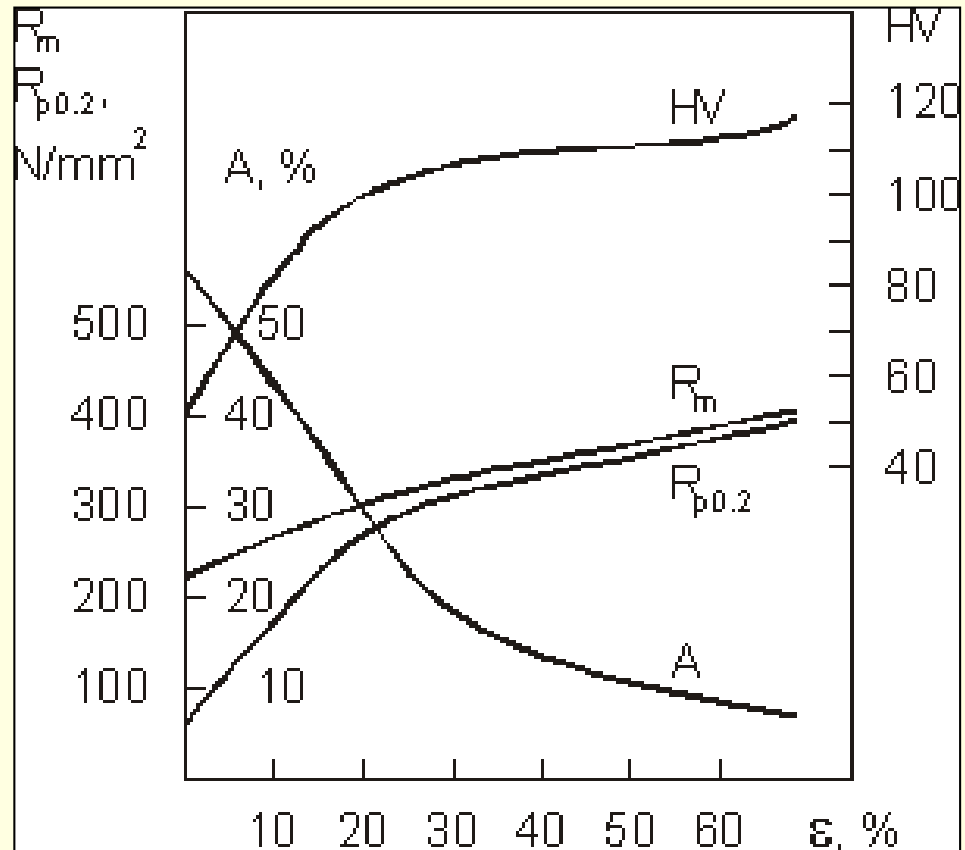
# Cu i njegove legure

- $\rho = 8,93 \text{ g/cm}^3$ .
- $T_f = 1083^\circ\text{C}$
- 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

<u>legure</u>	<u>naziv</u>	<u>oznaka</u>
Cu - Zn	<u>mesing</u>	CuZn37 CuZn38Pb CuZn36Pb1
	<u>specijalni mesing</u>	CuZn20Al CuZn28Sn CuZn40Al1
Cu - Sn	<u>kalajna bronza</u>	CuSn6 CuSn6Zn
Cu-Ni-Zn	<u>alpak</u>	CuNi10Zn45Pb CuNi25Zn15
Cu - Ni		CuNi5 CuNi30Fe
Cu - Al	<u>aluminijumska bronza</u>	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"><li>• Poboljšava mehaničke osobine, kao što su čvrstoća i otpornost na habanje.</li><li>• Dobar balans između čvrstoće i duktilnosti.</li><li>• Smanjuje tačku topljenja legure, što olakšava livenje.</li><li>• Smanjuje električnu provodljivost</li></ul>	Vodovodne cevi, armatura, brave, muzički instrumenti, dekorativni elementi.
----	--	---



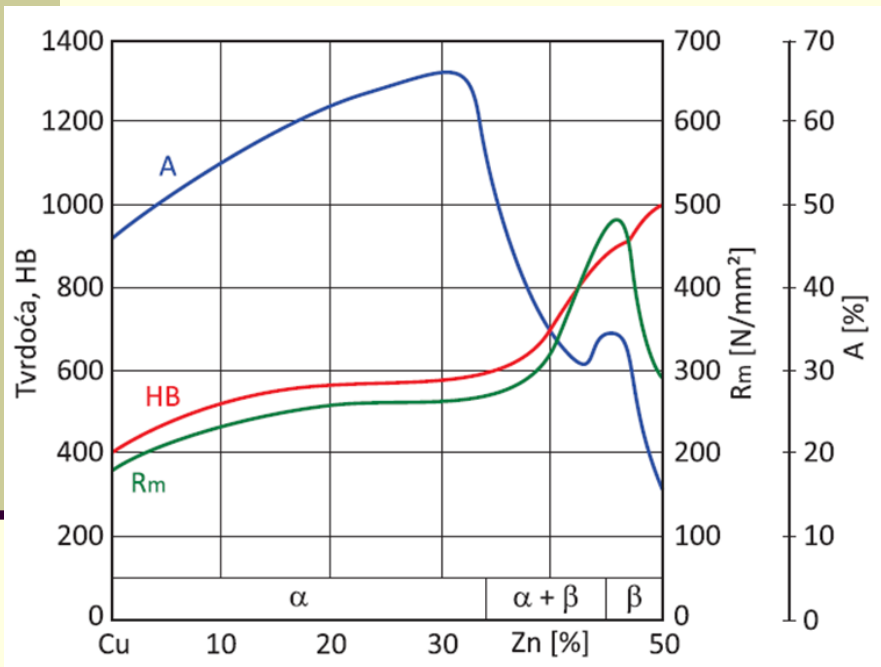
- Mesing je legura bakra sa cinkom (**najviše 50 % Zn**)
- Dodatni elementi, npr. Al, Pb, Sn i Ni se dodaju za postizanje veće otpornosti na koroziju ili viših mehaničkih osobina
- Cu i Zn grade veći broj čvrstih rastvora ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\epsilon$ ,  $\eta$ )

Postoje 2 rešetke i 3 vrste vrste mesinga:

- **$\alpha$  mesing (KPC) – do 35%Zn**
- **$\alpha+\beta$  mesing – 35-45%Zn**
- **$\beta$  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,

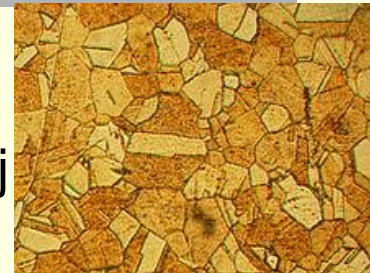
■ odlična obradljivost rezanjem (dodaje se Pb)

■ nizak koeficijent trenja

# Vrste mesinga

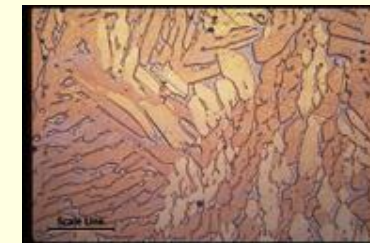
## $\alpha$ mesing – (do 35% Zn)

- 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



## $\beta$ 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: <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

# 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)



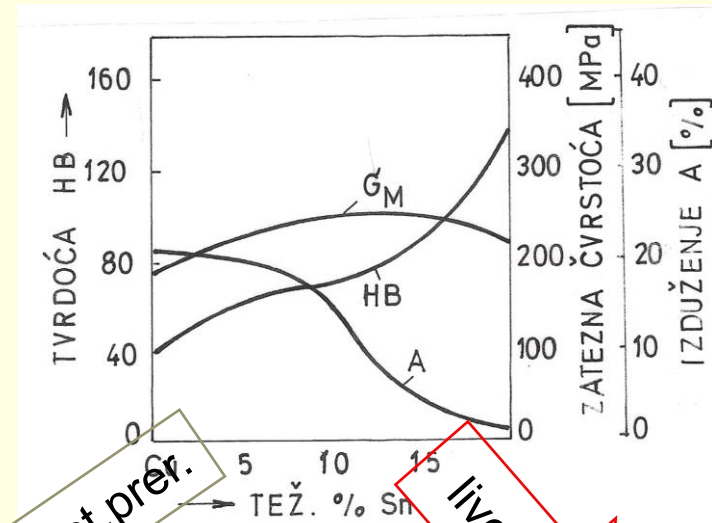
# Kalajne bronze - Sn bronza

Sn

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

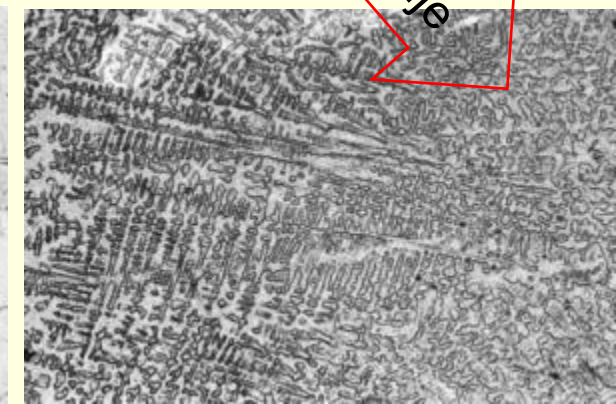
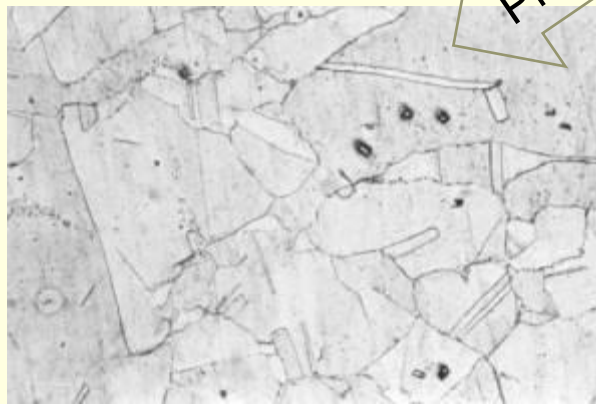
Pomorska oprema, zupčanici, ležajevi, kipovi, umetnički predmeti

- Za plastičnu preradu do 10%Sn
- Za livenje do 15-20%Sn
- Bronzано 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



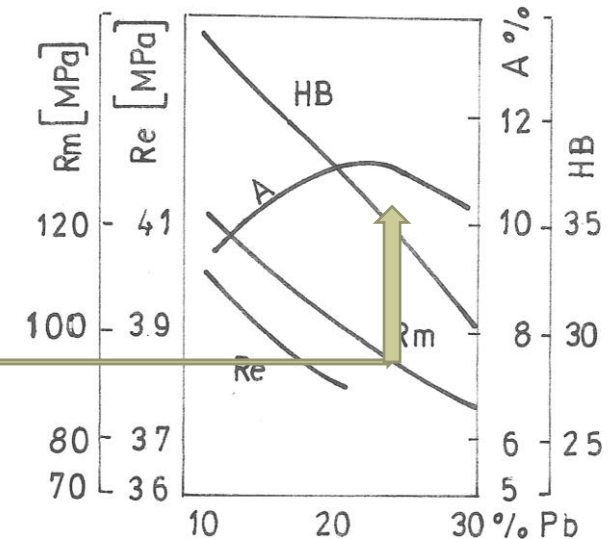
Pb

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"><li>• Povećava otpornost na habanje i eroziju.</li><li>• Poboljšava otpornost na koroziju posebno u kiselim i morskim sredinama</li><li>• Podiže mehaničke osobine.</li><li>• Omogućava dobru livkost legure</li></ul>	Pomorska oprema, naftna i petrohemijska industrija, pumpe, ventili, brodski delovi, izmenjivači toplote
----	--	---

- Al bronze 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

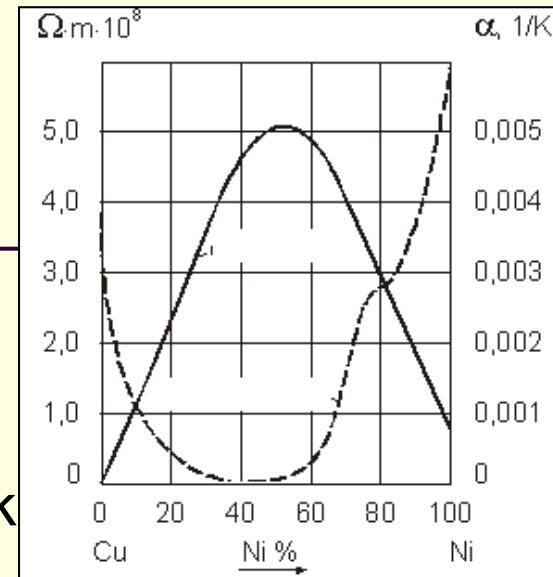
Alati otporni na varničenje, električni kontakti, opruge, precizni alati

- 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

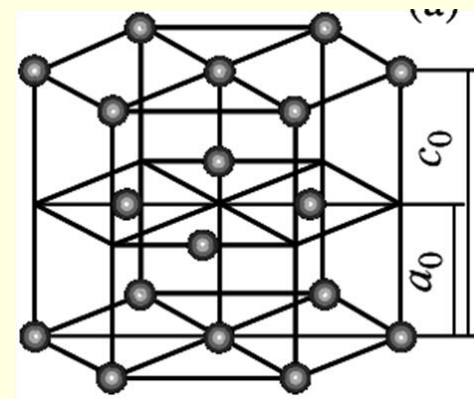
Cu - 10-20% Ni + 20-35% Zn  
(alpaka ili novo srebro).

# Magnezijum i njegove legure

# Mg i njegove legure

## Čist Mg

- Rešetka: HGP – loša plastičnost na niskoj i sobnoj T
- Temperatura topljenja  $T_t$ - 650 °C
- Temperatura paljenja - 482°C!!!
- Gustina  $\rho = 1.74 \text{ g/cm}^3$  (**najlakši inženjerski materijal**)
- Visoka  $R_m/\rho$ :  $R_m$  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:

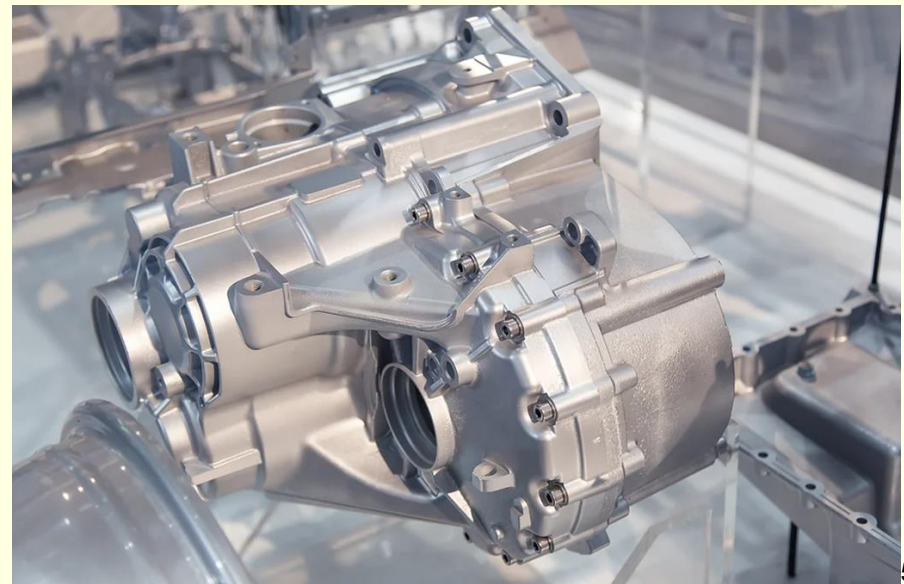
- Osetljivost na koroziju u određenim okruženjima (npr. u prisustvu soli).
- Otežano zavarivanja zbog reaktivnosti u vazduhu.
- Ograničena temperatura primene zbog niske Tt.

# 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.



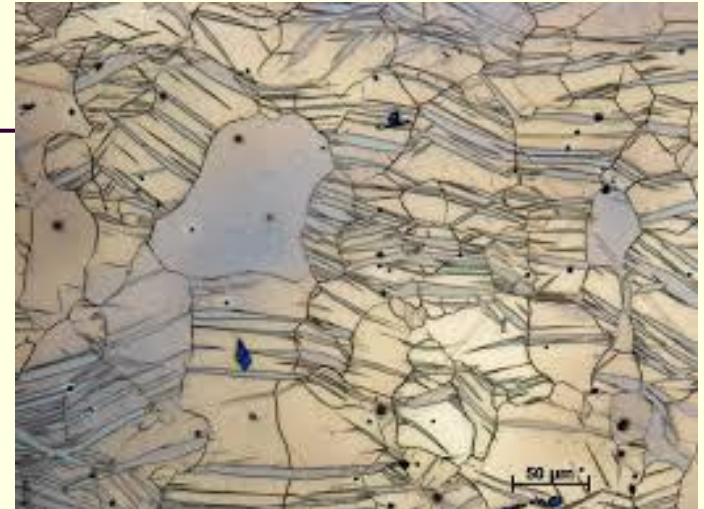
a, c) Deo kompresora; b) impeler od legure sa Li;  
d, e) delovi letelica; f) otkovak



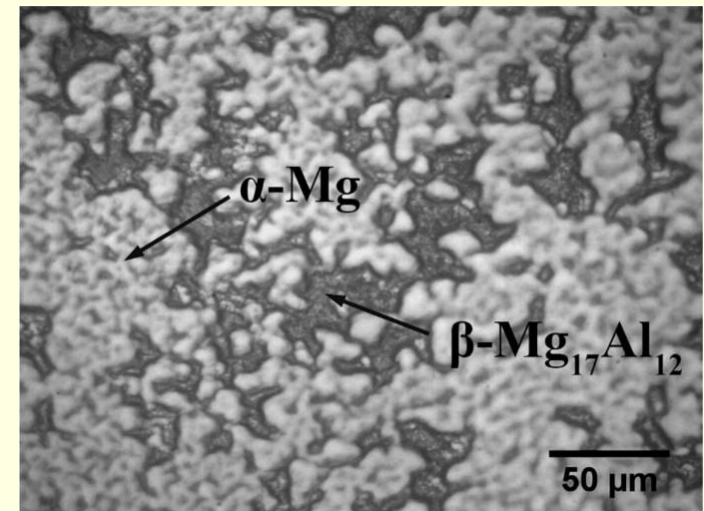
Kućište reduktora od livene legure Mg

# 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:
  - **$\alpha$  faza:** HGP rešetka, stabilna na sobnoj temperaturi ostaje stabilna do **650 °C**
  - **$\beta$  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**)

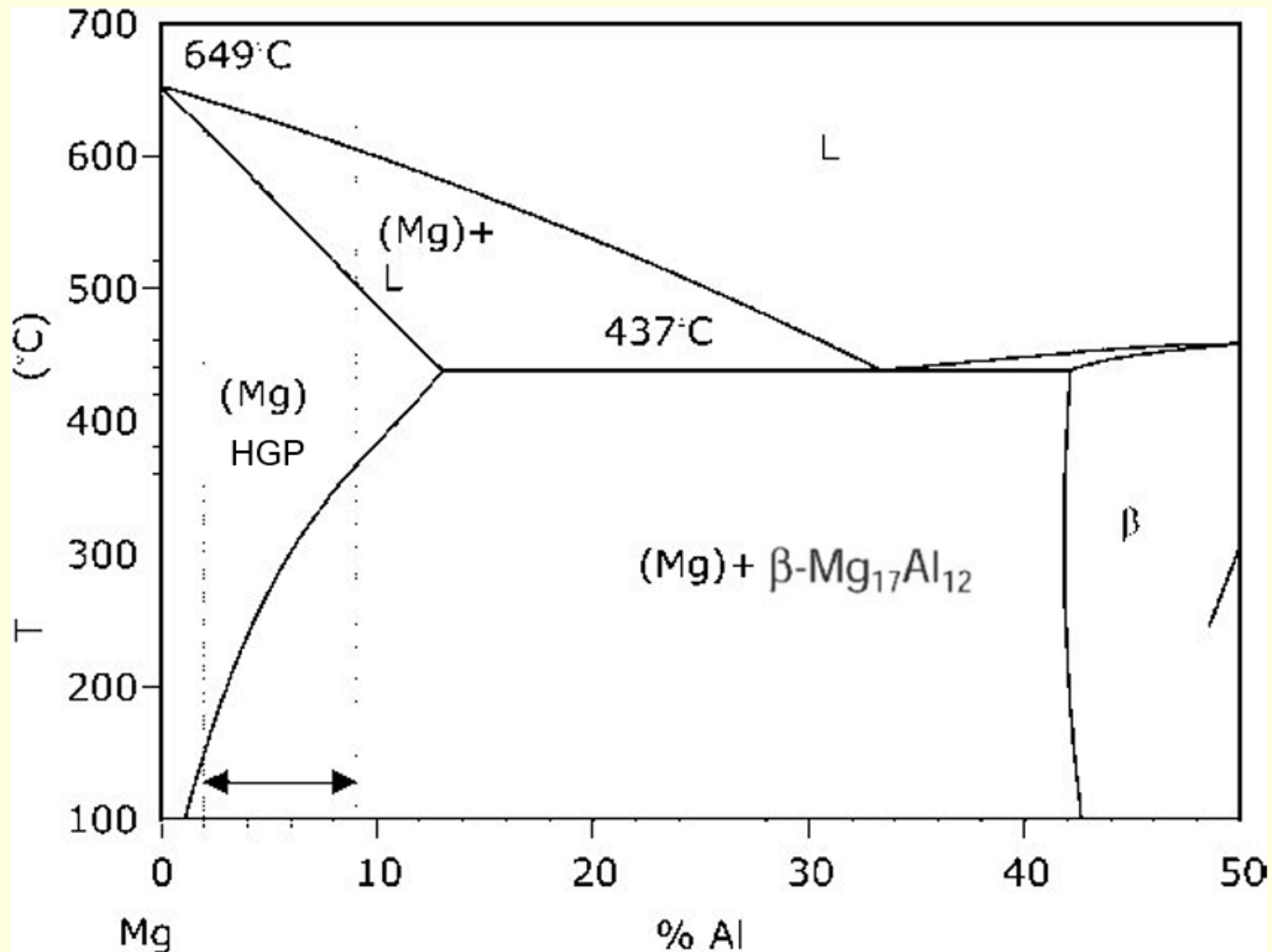
### Mg- legure za plastičnu preradu

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

# Dijagram stanja Mg- Al

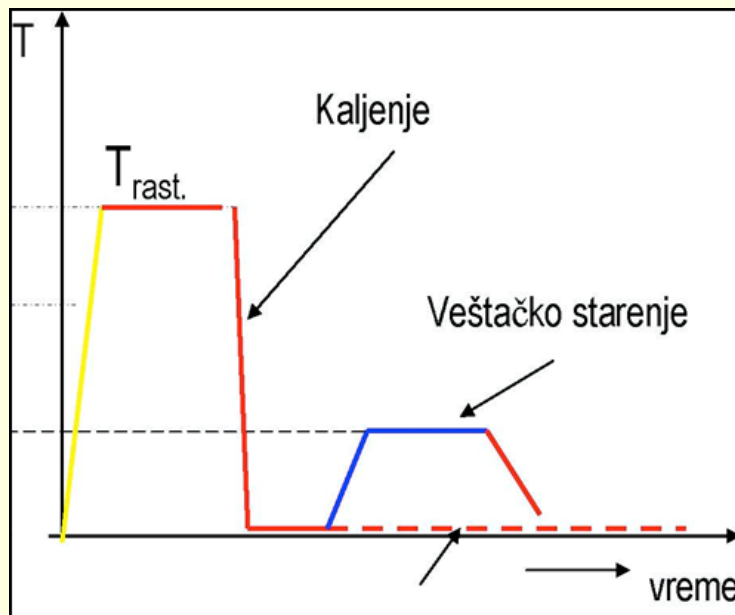


# Mg-Al legure

## 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...**