

# Mašinski materijali 3

---

## Titan i legure titana



# Titan - Ti

- Ti - otkriven 1791 (UK W.Gregor)
- $\rho = 4.5\text{g/cm}^3$  - laki metal srebrnkaste boje
- $T_t = 1665\text{ }^\circ\text{C}$
- U prirodi **10. najzastupljeniji element** ali se retko koristio zbog visoke reaktivnosti sa gasovima dok nije usavršena njegova proizvodnja i zaštita
- Čvrstoća oko 300 MPa (**legiranjem čvrstoća raste do nivoa čelika za poboljšanje, ali je skoro dvostruko lakši**)
- Dobra plastičnost/duktilnost
- $E = 112.5\text{ GPa}$
- Nemagnetičan
- **Skup** – oko 6 x skuplji od Al

# Titan - Ti

- Osobine:
  - netoksičan
  - biokompatibilan,
  - iako vrlo reaktivan ima odličnu otpornost na koroziju kada se formira stabilan oksid na površini (TiO<sub>2</sub>) koji ga štiti od daljeg napredovanja korozije
  - ima dobru otpornost na eroziju,
  - lako se boji,...
  - trenutno najpovoljniji odnos čvrstoća/gustina kod metala

Legure Ti se koriste za izradu

1. koroziono otporne opreme
2. konstrukcija visoke čvrstoće

# Poređenje Ti sa drugim metalima

## Poređenje Ti sa drugim metalima

### Osobine

Tt. °C

gustina, g/cm<sup>3</sup>

toplotna provodljivost

električna otpornost, μΩcm

toplotni kapacitet

koeficijent linearnog širenja x 10<sup>6</sup> /°C

Modul elastičnosti, GPa

Ti	Mg	Al	Fe	Cu
1665	650	660	1535	1083
4.51	1.74	2.7	7.86	8.94
0.0407	0.35	0.57	0.17	0.92
55.4	4.40	2.68	10.0	1.72
0.126	0.245	0.211	0.109	0.093
8.9	25.7	24.0	11.9	16.4
112	45	72.5	200	122.5

dobre osobine

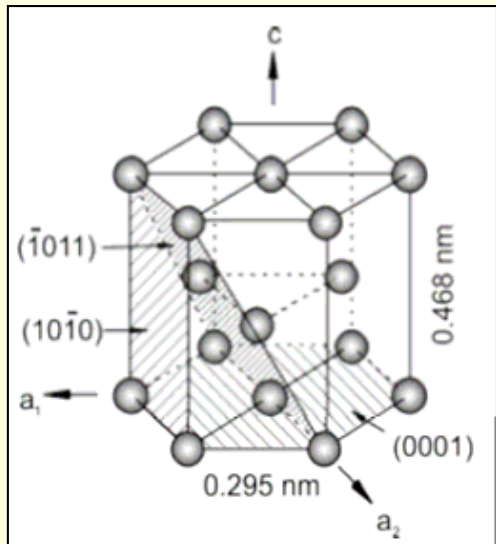
loše osobine

teško mogu da budu u sklopu  
jer se različito ponašaju  
pri zagrevanju/hlađenju

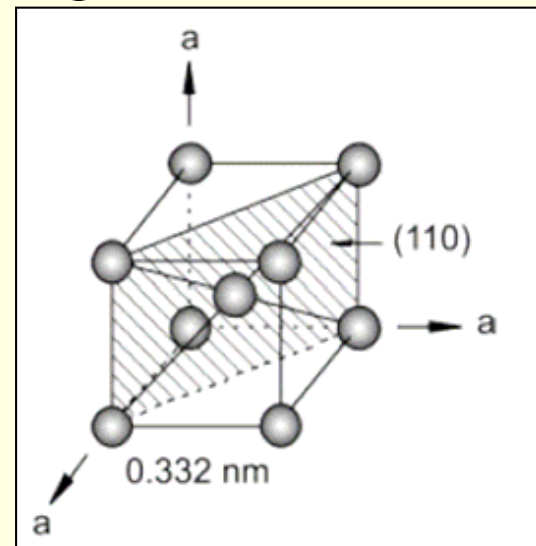
# Titan - polimorfija

Titan je polimorfan – ima dve rešetke:

- $\alpha$  rešetka – stabilna do  $882^{\circ}\text{C}$   
heksagonalna gusto pakovana rešetka  
HGP



- $\beta$  rešetka – stabilna iznad  $882^{\circ}\text{C}$   
kubna zapreminski centrirana rešetka  
KZC

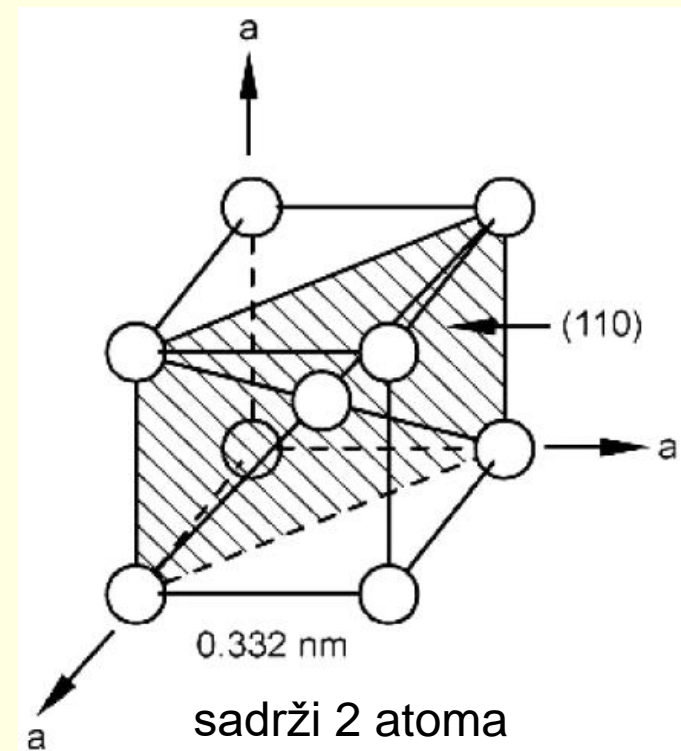
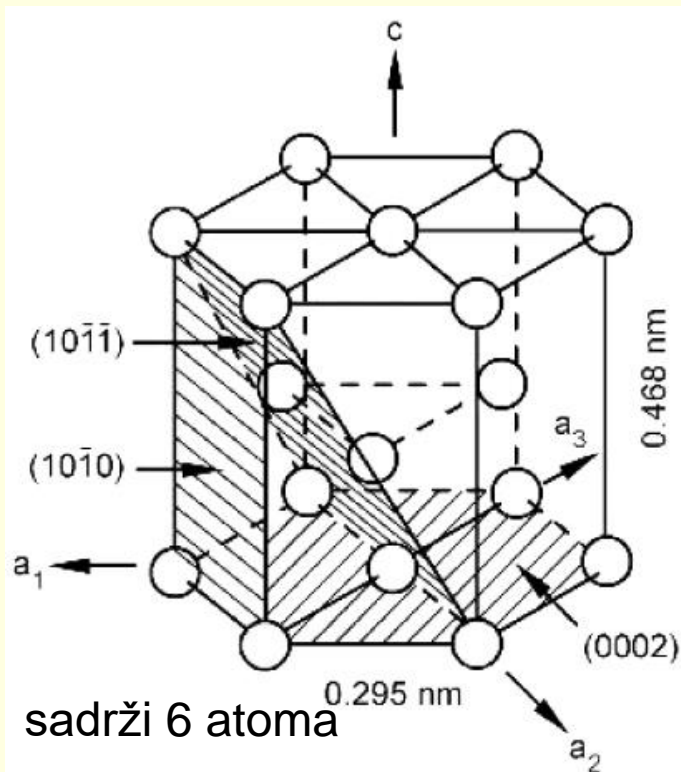


# Stabilnost faza

- $\alpha$  – faza je stabilna ispod  $882^{\circ}\text{C}$
- $\beta$  – faza je stabilna iznad  $882^{\circ}\text{C}$
- $882^{\circ}\text{C}$  je temperatura *fazne transformacije*

HGP -  $\alpha$  faza

KZC -  $\beta$  faza



# Legure Ti

- Titan sa legirajućim elementima **gradi:**
  - **supstitucijske čvrste rastvore** i
  - **i intersticijske čvrste rastvore**

Legirajući elementi mogu da budu  $\alpha$  ili  $\beta$  stabilizatori:

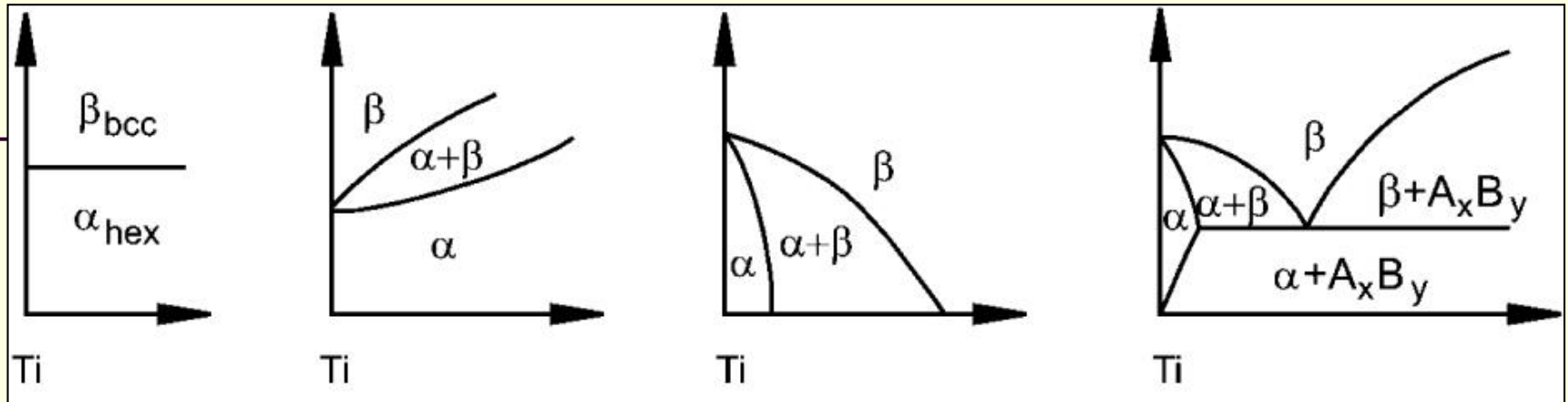
$\alpha$  stabilizatori podižu temperaturu fazne transformacije iznad 882°C

$\beta$  stabilizatori spuštaju temperaturu fazne transformacije

$\alpha$ stabilizatori		$\beta$ stabilizatori	
intersticijski	supstitucijski	intersticijski	supstitucijski
O, N, C	Al, Pb	H	Ag, Au, Nb, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pd, Pt, Ta, W, V

- Ti je vrlo reaktivan sa gasovima ali se oni i rastvaraju u njemu (dodatkom O, N  $\rightarrow$  raste 2x HB $\uparrow$ )

# Uticaj legirajućih elemenata na legure Ti



**Neutralni**

**$\alpha$  - stabilizatori**

**$\beta$  - stabilizatori  
čvrstog rastvora**

**$\beta$  - stabilizatori  
eutektoidne reakcije**

Uticaj legirajućih elemenata na T fazne transformacije:

**Neutralni elementi – Zr, Sn**

$\alpha$  – stabilizatori **Al, O, N, C** - podižu T fazne transformacije

$\beta$  – stabilizatori čvrstog rastvora **Mo, V, Cr, Ta, Nb** snižavaju T fazne transformacije

$\beta$  – stabilizatori eutektoidne reakcije – **Fe, Mn, Cr, Co, Ni, Cu, H**  
utiču i na pojavu eutektoidne reakcije - stvaranje intermetalnih čestica  $A_xB_y$

# Podela legura Ti

-Čist Ti na sobnoj T → samo  $\alpha$  – faza

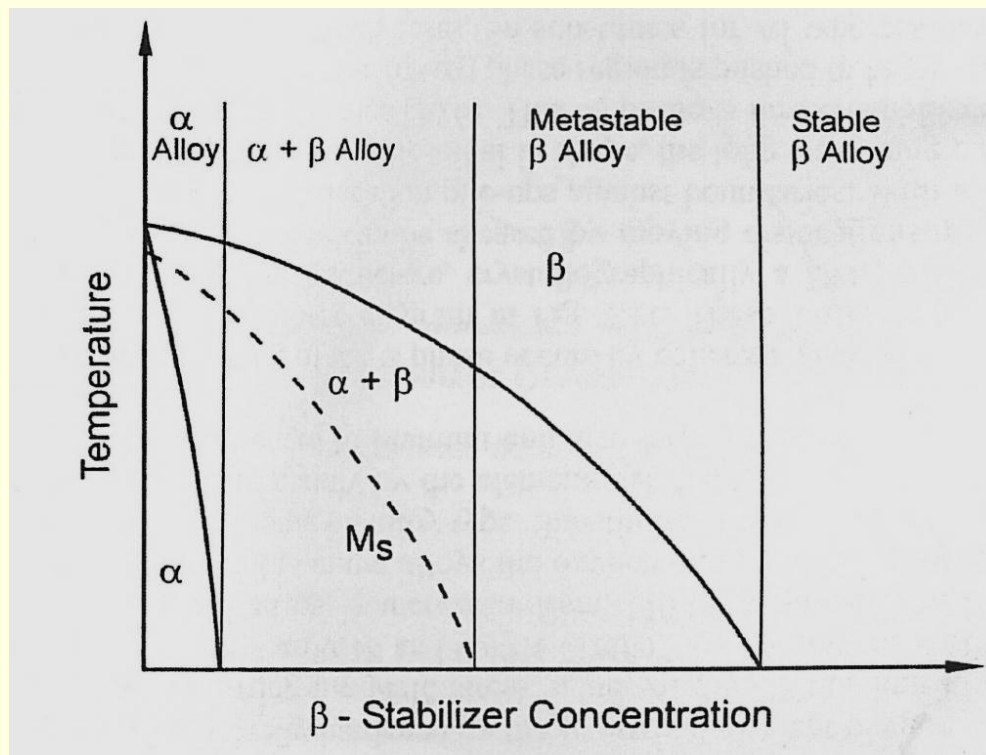
-Prisustvom  $\alpha$  –stabilizatora (i/ili mali sadržaj  $\beta$ -stabilizatora) → samo je  $\alpha$  – **faza** stabilna na sobnoj T → tzv.  $\alpha$  – **legure**

-Povećanjem sadržaja  $\beta$ -stabilizatora,  $\beta$  - faza postaje stabilna na sobnoj T i prvo se pojavljuje  $\alpha + \beta$  **područje**

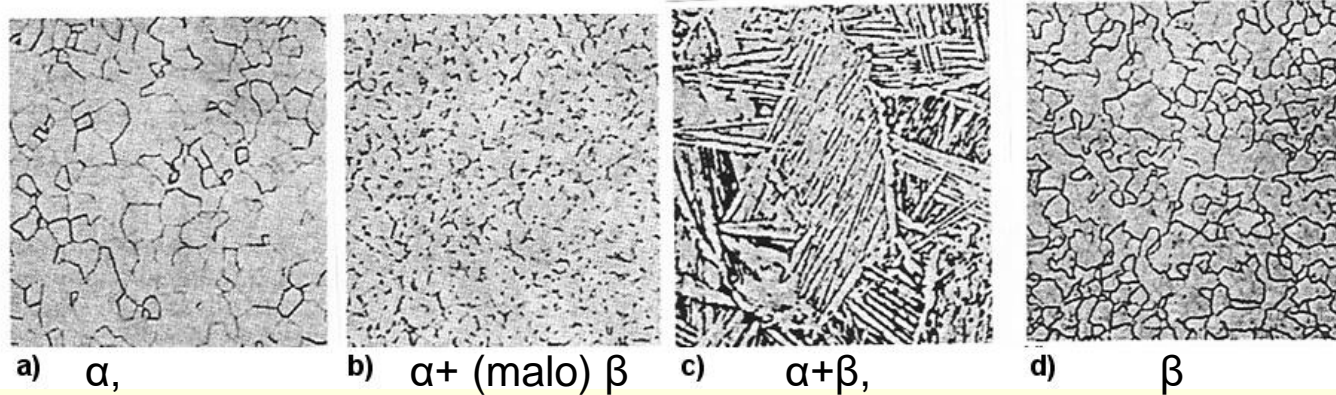
-Daljim povećanjem sadržaja  $\beta$ -stabilizatora,  $\alpha$  faza se *formira pod određenim uslovima* (npr. tokom žarenja ispod temperature transformacije) -

**metastabilne  $\beta$ -legure**

-Sa daljim porastom sadržaja  $\beta$ -stabilizatora temperatura početka fazne transformacije se spušta ispod sobne temperature - na sobnoj temperaturi stabilna je  $\beta$  faza -**stabilne  $\beta$ -legure**



# Podela legura Ti



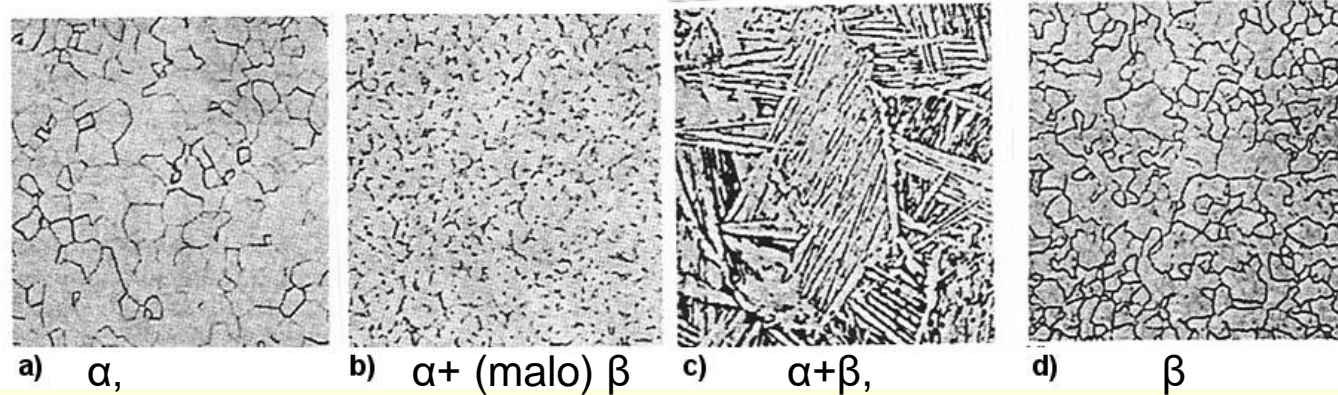
## $\alpha$ legure,

- legiraju se prvenstveno sa oko 3-8%Al, sadrže još i Sn i Zr,
- nisu za termičku obradu
- deformaciono ojačavaju
- imaju visoku čvrstoću i žilavost (700-900MPa)
- lako se zavaruju,
- otporne su na koroziju i puzanje.

## $\alpha + \beta$ legure,

- legirane su **Al + V, Mo, Cr**
- **povećanje čvrstoće može da se postigne TO**
- **Rm = 1000-1300 MPa, A=16%,**
- Ograničena zavarljivost
- Najpoznatija legura iz ove grupe Ti-6Al-4V.

# Podela legura Ti



## metastabilne $\beta$ legure,

- legirane **V, Nb, Cr**
- dobro se oblikuju u hladnom stanju i
- povećanje čvrstoće može da se postigne TO

## stabilne $\beta$ legure.

- najjači  $\beta$  stabilizatori su **Fe, Mo i V**
- ne mogu da ojačavaju TO,
- dobro se oblikuju u hladnom stanju je imaju KZC rešetku.

# Podela legura Ti

Tip legure	Oznaka	% leg. elem.	Rm [N/mm <sup>2</sup> ]	Re [N/mm <sup>2</sup> ]	A [%]	Primena
čist Ti	nelegiran	-	484	414	25	kućišta mlaznih motora, koroziono otp. delovi proc. i nautičke opreme
$\alpha$	Ti-5Al-2.5Sn	5% Al, 2,5% Ti	826	784	16	lopatice gasnih turbina, oprema za procesnu industriju
$\alpha + \beta$	Ti-6Al-4V	6% Al, 4% V	947	877	14	implanti visoke čvrstoće, strukturne komponente letelica
$\alpha + \beta$	Ti-6Al-6V-2Sn	6% Al, 2% Sn, 6% V, 0,75% Cu	1050	985	14	strukturne komponente mlaznih motora i lopatice visoke čvrstoće
$\beta$	Ti-10V-2Fe-3Al	10% V, 2% Fe, 3% Al	1223	1150	10	najbolji odnos čvrstoće i žilavosti od svih Ti legura, najodgovorniji delovi aero-kosm. letelica

# Ojačavanje kod legura Ti

Glavni mehanizmi ojačavanja legura Ti su:

1. intersticijskim čvrstim rastvorom
  2. supstitucijskim čvrstim rastvorom
  3. čestično ojačavanje
  4. deformaciono ojačavanje
  5. ojačavanje faznom transformacijom
1. Primer **intersticijskog ojačavanja** je rastvaranje kiseonika (O)
    - Povećanjem sadržaja O u tehnički čistom Ti sa 0.18% na 0.4 %, čvrstoća raste sa 180 MPa na 480 MPa (!)
    - Uobičajen sadržaj kiseonika u komercijalnim legurama Ti je **0.08 – 0.20 %** jer viši sadržaj kiseonika izaziva krtost

# Ojačavanje kod legura Ti

## 2. Ojačavanje **supstitucijskim čvrstim rastvorom**

- $\alpha$ -stabilizatori koji formiraju supstitucijski čvrsti rastvor (Al) ojačavaju  $\alpha$ -fazu (legura Ti-5Al-2.5Sn  $\rightarrow$  800 MPa)
- Neki potpuno rastvorljivi  $\beta$ -stabilizatori ojačavaju  $\beta$ -fazu (Mo, Fe, Ta), dok drugi imaju zanemarljiv uticaj (Nb)

## 3. **Intermetalne čestice** (čestično ojačavanje)

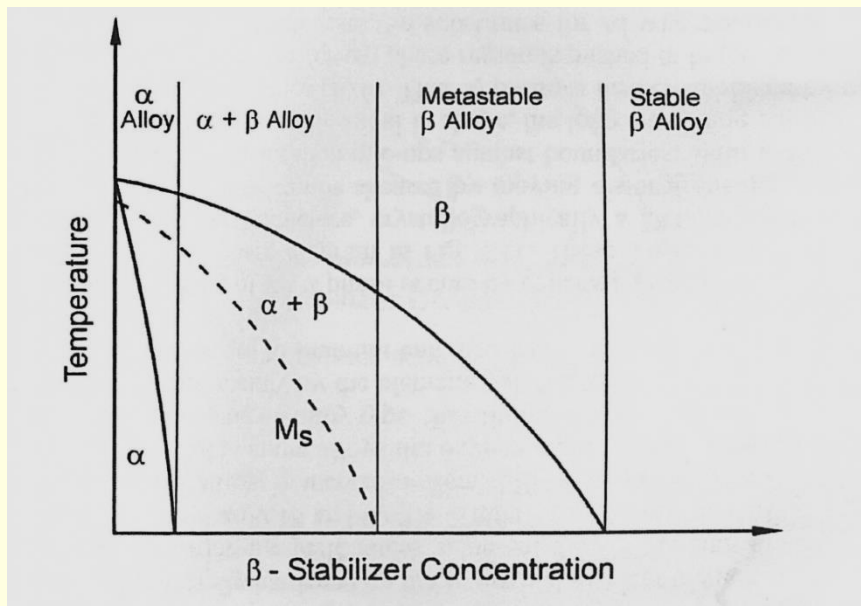
- Aluminidi, nitridi, carbidi, silicidi, ...

## 4. **Deformaciono ojačavanje i rafinacija zrna**

- Plastičnom deformacijom, tj. oblikovanjem (ekstruzijom, kovanjem, itd) raste gustina dislokacija i čvrstoća

## 5. Fazna transformacija $\beta \rightarrow \alpha$

- Titan ima martenzitnu transformaciju!
- Martenzitna transformacija je moguća kod: nekih  $\alpha$ -legura i  $\alpha + \beta$  legura
- Kod metastabilnih  $\beta$ -legura kao proizvod transformacije izdvajaju se  $\alpha$ -čestice
- $\beta$ -legure nemaju martenzitnu transformaciju

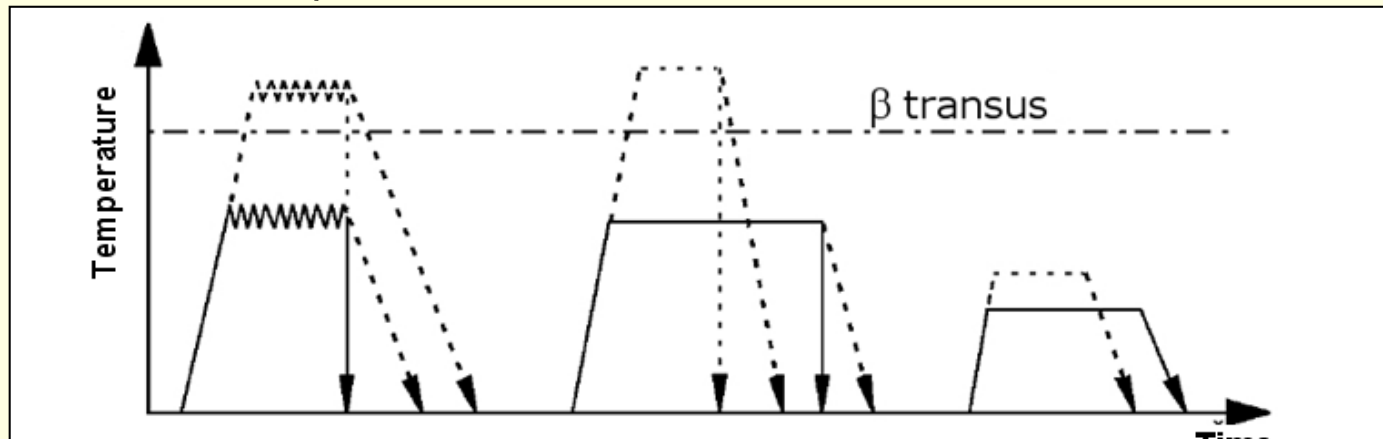


# Termička obrada (TO) legura Ti

- TO se izvodi zbog:
  1. TO1 - **smanjenja zaostalih napona** - iz proizvodnje
  2. TO2 - **žarenje** kojim se postiže duktilnost i dimenziona i strukturna stabilnost posebno kod  $\alpha+\beta$  legura
  3. TO3 - povećanje čvrstoće **rastvarajućim žarenjem i starenjem (sličan efekat kaljenju i otpuštanju)**
  4. TO4 - optimizacija specijalnih svojstava – puzanje, zamor, žilavost loma
  
- Za legure Ti **prema strukturi se koriste sledeće TO:**
  - $\alpha$  legure – ne menjaju se značajno sa TO tako da se izvodi TO1 i TO2.
  - $\alpha+\beta$  legure TO2 i TO3
  - $\beta$  legure (metastabilne) TO1, TO2 i TO3,

# TO3 – martenzitna transformacija

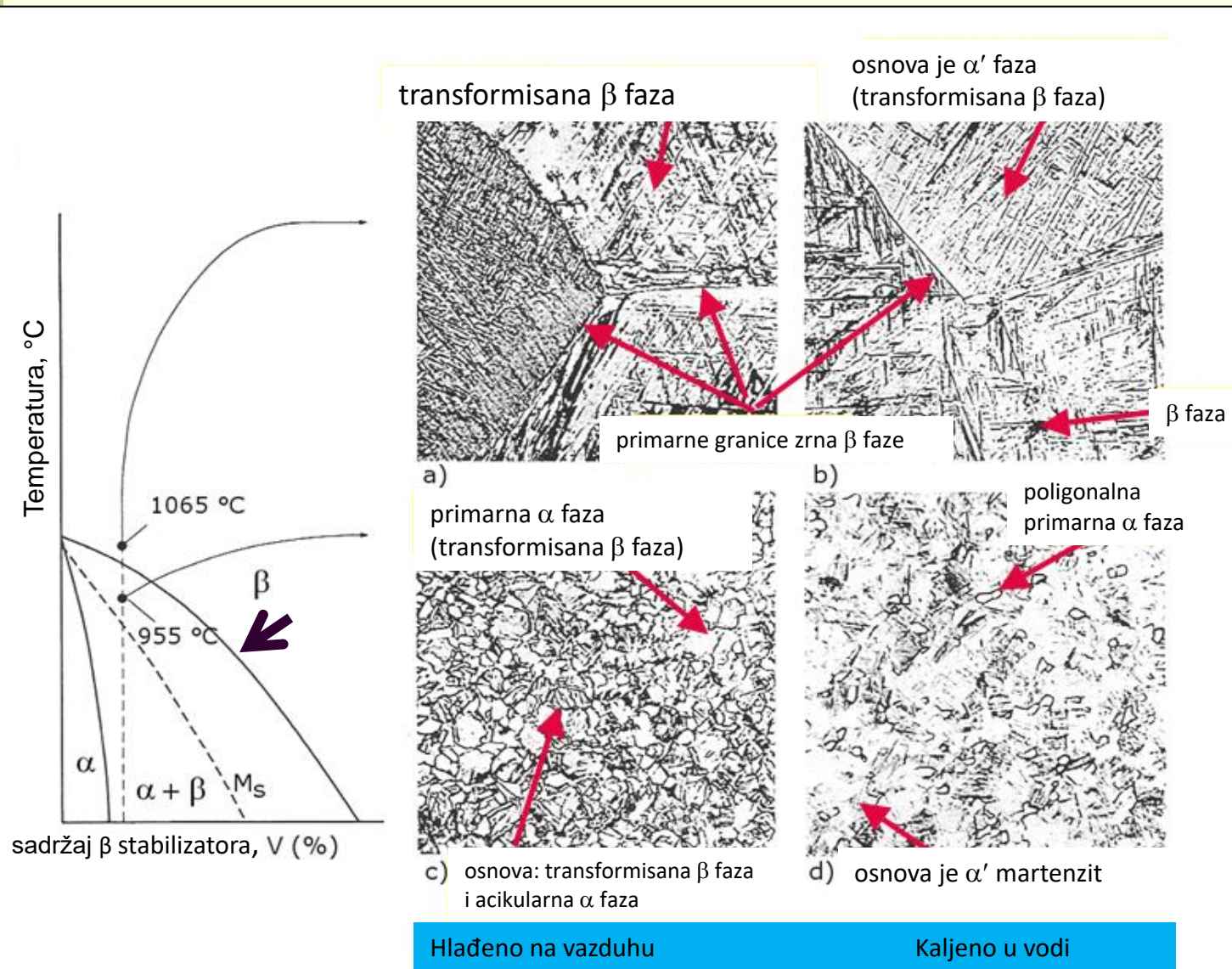
- Martenzitna transformacija se postiže zagrevanje do  $\beta$ -oblasti (850...950 °C) i brzim hlađenjem (kaljenje)
- Nakon toga sledi starenje (450-600 °C)
- Dodatno je moguće otvrdnuti površinu nitriranjem (750-900 HV)



deformacija    rastvarajuće žarenje    otpuštanje

**Povećanja sadržaja  $\beta$  stabilizatora utiče na sniženje temperature transformacije  $\alpha - \beta$ : niže temperature TO**

# Uticaj povećanja sadržaja V ( $\beta$ stabilizatora) na sniženje temperature transformacije $\alpha - \beta$



# Martenzit kod legura Ti

---

- Martenzit kod legura titana je rezultat brzog hlađenja
- Tokom starenja martenzit se razlaže na  $\alpha$  i  $\beta$  fazu

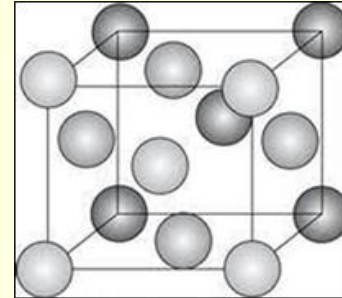
Postoje **3 vrste** martenzita kod Ti:

- **HGP** - martenzit  $\alpha'$
- **Ortorombični** - martenzit  $\alpha''$ , nestabilan
- **KPC** - martenzit  $\alpha''$  - samo u legurama sa Mo, V i Al.

# Nikl i njegove legure

# Tehnički čist Ni

- Otkriven 1751 u Švedskoj
- $\rho = 8.908 \text{ g/cm}^3$
- $T_t = 1455^\circ\text{C}$
- Ni ima KPC rešetku do temperature topljenja - nije polimorfan
- Ni je magnetičan (još i Fe i Co) do  $T_{\text{Kiri}} = 345^\circ\text{C}$ , a iznad Kiri temperature je nemagnetičan
- Osnova za mnoge legure (a posebno za superlegure)



# Tehnički čist Ni i niskolegirani Ni

---

- Dobra svojstva su mu:
  - dobre mehaničke i električne osobine
  - otpornost na koroziju,
  - vatrootpornost (otpornost na oksidaciju na visokim temperaturama),
  - čvrstoća na visokim temperaturama i
  - otpornost na puzanje.
- Primena:
  - u prehrambenoj, hemijskoj i naftnoj industriji,
  - parnim i gasnim turbinama, avio tehnici, termoelktranama
  - industrijskim pećima za električne otpornike,
  - u elektronici i drugim granama tehnike.

# Tehnički čist Ni

- Tehnički čist Ni:  $R_e=148$  MPa,  $R_m= 462$  MPa i  $A=47$  %
- Relativno niska čvrstoća raste:
  - legiranjem,
  - termičkom obradom (nije moguće usitniti zrno TO) i
  - hladnom plastičnom deformacijom (tako je moguće usitniti zrno).
- Zbog austenitne strukture poseduje dobru zavarljivost
- Zbog zavarivanja i rada na visokim T – ograničen je sadržaj ugljenika - max 0,02%C (pri većem sadržaju C se izdvaja grafit koji smanjuje duktilnost)

# Klasifikacija legura Ni

## Podela prema mehanizmima ojačavanja:

- Legure ojačane čvrstim rastvorom
- Taložno ojačane legure (starenjem) –  
(TO kao kod legura Al - rastvarjuće žarenje+hlađenje+starenje)
- Disperzno ojačane legure oksidima, karbidima,...

Tipični primeri legura koje grade **supstitucijske čvrste rastvore**

Tip	USA Grupa	Primjer sastava	Naziv
Ni 99-99.8	200	99.5 Ni	NIKL
Ni-Cu	400	66.5Ni 31.5Cu	MONEL 400
Ni-Cr	600	76Ni 16 Cr 8Fe	INCONEL 600
Ni-Cr-Fe	800	32.5 Ni 21 Cr 46Fe	INCOLOY 800
Ni-Mo		61 Ni 28 Mo 2.5Co	HASTELLOY B
Ni-Cr-Mo		54 NI 15.5 Cr 16 Mo	HASTELLOY C
Ni-Si		82 NI 9Si 3Cu	HASTELLOY D

# Klasifikacija legura Ni

---

Prema ISO TR 15608 nikel i njegove legure se dele na:

- Grupa 41: Čist nikel
- Grupa 42: Ni-Cu- legure MONEL
- Grupa 43: Ni-Cr – legure INCONEL
- Grupa 44: Ni-Mo-legure HASTALLOY (dodatak Cr)
- Grupa 45: Ni-Fe-Cr –legure INCOLOY
- Grupa 46: Ni-Cr-Co-legure
- Grupa 47: Ni-Fe-Cr-Cu
- Grupa 48: Ni-Fe-Co –legure

Dobru zavarljivost imaju legure: Ni-Cu, Ni-Fe-Cr i Ni-Mo

# Uticaj legirajućih elemenata na Ni

Ni - može da rastvori supstitucijski veliku količini legirajućih elemenata Cr, Mo i W.

- **Cu** – podiže otpornost prema kiselinama
- **Cr** - povećava otpornost prema **oksidaciji na visokim T** (formira pasivni sloj na površini)
  - moguće do 50% Cr, uobičajeno **15-30 %Cr**;
- **Fe** – primarno smanjuje cenu Ni legura
  - Prihvatljivo je više od 50%Fe, čime se podiže otpornost na  $H_2SO_4$  (i dalje se ubrajaju u legure Ni)
  - **povećava rastvorljivost C↑** i otpornost prema obogaćivanju površinskih slojeva ugljenikom na visokim T (glavni problem kod legura Ni)

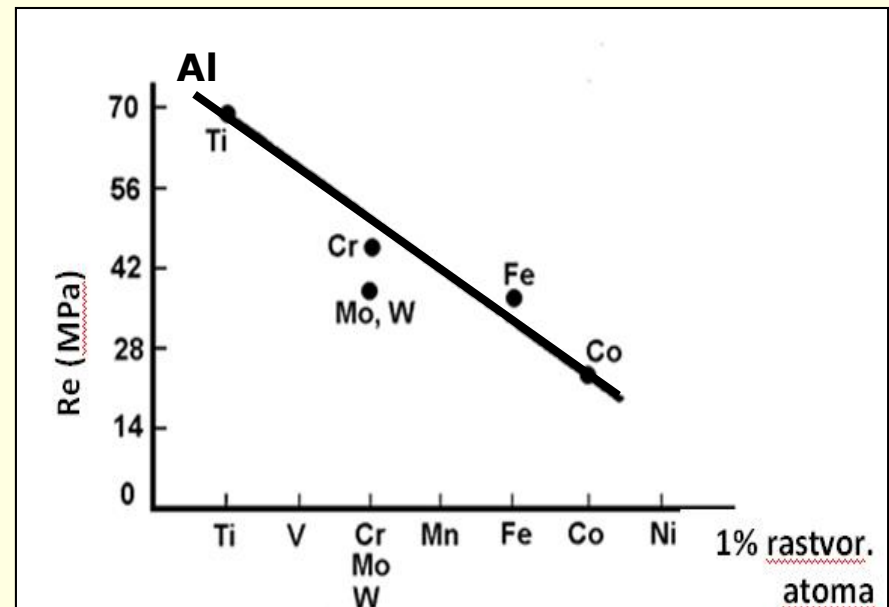
# Uticaj legirajućih elemenata na Ni

- **Co – podiže otpornost na S**
  - povećava rastvorljivost C u Ni;
- **Mo, W – podižu otpornost na kiseline i visoke T.**
  - Sa 28 % Mo (Hastelloy B) legura je otporna i na 60% koncentracije kiselina.
- **Si – potiče iz procesa dezoksidacije stabilizuje karbide i nepoželjna intermetalna jedinjenja – ali u slučaju kada se traži otpornost na toplu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Si je glavni legirajući element koji obezbeđuje ovu otpornost;**
  - 9-11%Si sadrže legure za livenje i ne obrađuje se mehanički.

## Legure Ni ojačane supstitucijskim čvrstim rastvorom (neke su superlegure)

- legirajući elementi grade supstitucijske čvrste rastvore sa Ni

- MONEL Ni-Cu
- INCONEL Ni-Cr
- HASTALLOY Ni-Mo-Cr
- INCOLOY Ni-Cr-Fe



Uticaj dodatka 1% legirajućeg elementa u superlegurama na porast napona tečenja

- Koroziono postojane
- Toplotno postojane
- Lako zavarljive
- Srednje čvrstoće

# Ni-Cu legure (MONEL)

- U upotrebi od početka 20 veka (1901) International Nickel Company (INCO)
- **Sadrže do oko 65% Ni, a najpoznatija Monel legura je sa ~30%Cu,**
- Moneli se koriste kao antikorozijske legure u prehrambenoj i hemijskoj industriji u kojim nisu dovoljno otporni nerđajući čelici
- Takođe: cevi, pumpe, limovi, ventili, razmenjivači, brodogradnja

Mehaničke osobine	90Ni-10Cu	70Ni-30Cu
Re (MPa)	140	170
Rm (MPa)	320	420
A (%)	40	42

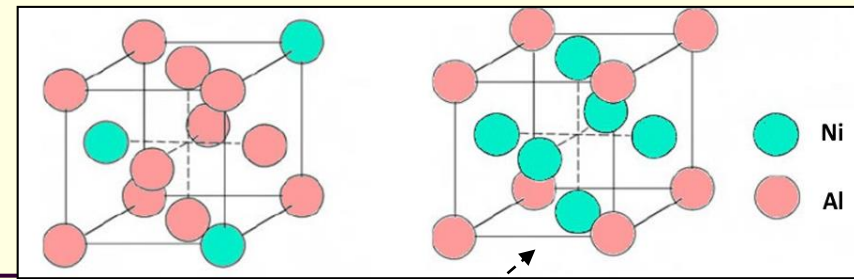
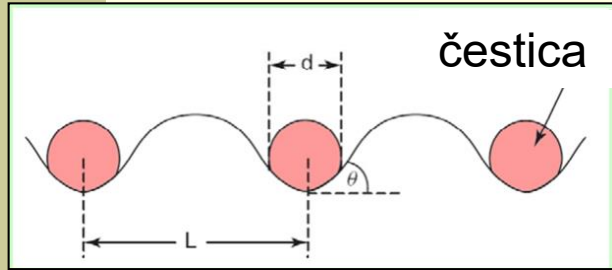
# Najpoznatije legure Ni

## ■ Ni-Mo legure (HASTALLOY)

- visoka otpornost na koroziju i vatrootpornost,
- najpoznatija legura iz ove grupe je **Hasteloi** - legura Ni sa **Mo i Cr** (~ 16% Cr, ~ 15% Mo),
- koristi se za delove mlaznih motora.

## ■ Ni-Cr- ( + Si, Mo, Fe) legure (INCONEL)

- Za jaku oksidacionu sredinu.
- Najpoznatije iz ove grupe su legure pod nazivom **Inkonel** (~ 15% Cr, ~ 10% Fe), uz dodatak Nb (**Inkonel 610**) ili Si (**Inkonel 705**)...
- **Inkoneli** se koriste kao vatrootporne legure za delove gasnih motora i turbina, opremu u prehrambenoj, hemijskoj i petrohemijskoj industriji.



## Taložno ojačane legure Ni

- Legure sa Al, Ti i/ili Nb

- Taložno ojačane česticama  $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti}, \text{Nb})$  koje su najpovoljnije kao koherentni talog
- TO rastvarajuće žarenje+brzo hlađenje+starenje
- Izrazito otporne na puzanje do  $1000^\circ\text{C}$
- Ograničena zavarljivost

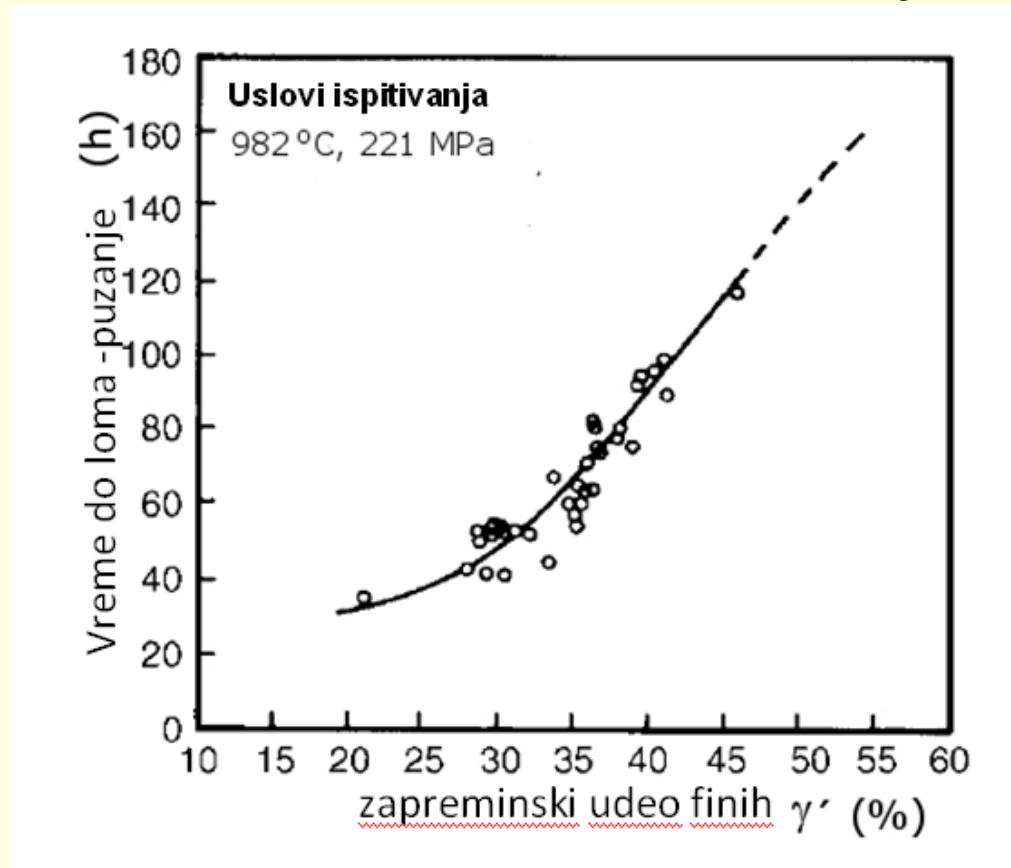
KPC rešetka  $\gamma$  osnove (čvrsti rastvor levo) i  $\gamma'$  čestica (desno) kojima taložno ojačava legura

## Disperzno ojačane legure Ni

- Dodaju se čestice tipa oksida, karbida, itd. – takođe čestično ojačane.
- Otporne na puzanje do  $\sim 1200^\circ\text{C}$
- Nisu zavarljive

## Puzanje - taložno ojačane legure Ni

- Taložno ojačane legure česticama  $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti}, \text{Nb})$



Otpornost na puzanje raste sa povećanjem udela finih  $\gamma'$  čestica

# Superlegure

# Superlegure generalno

- legure na bazi Fe-Ni ( $\rho=7.9-8.3 \cdot \text{g/cm}^3$ )
- legure na bazi Co ( $\rho= 8.3-9.4 \cdot \text{g/cm}^3$ )
- legure na bazi Ni ( $\rho= 7.8-8.9 \cdot \text{g/cm}^3$ )
- Ni + Al+ Ir + Rh (gustina  $8.5-12.4 \cdot \text{g/cm}^3$ ) 4. generacija

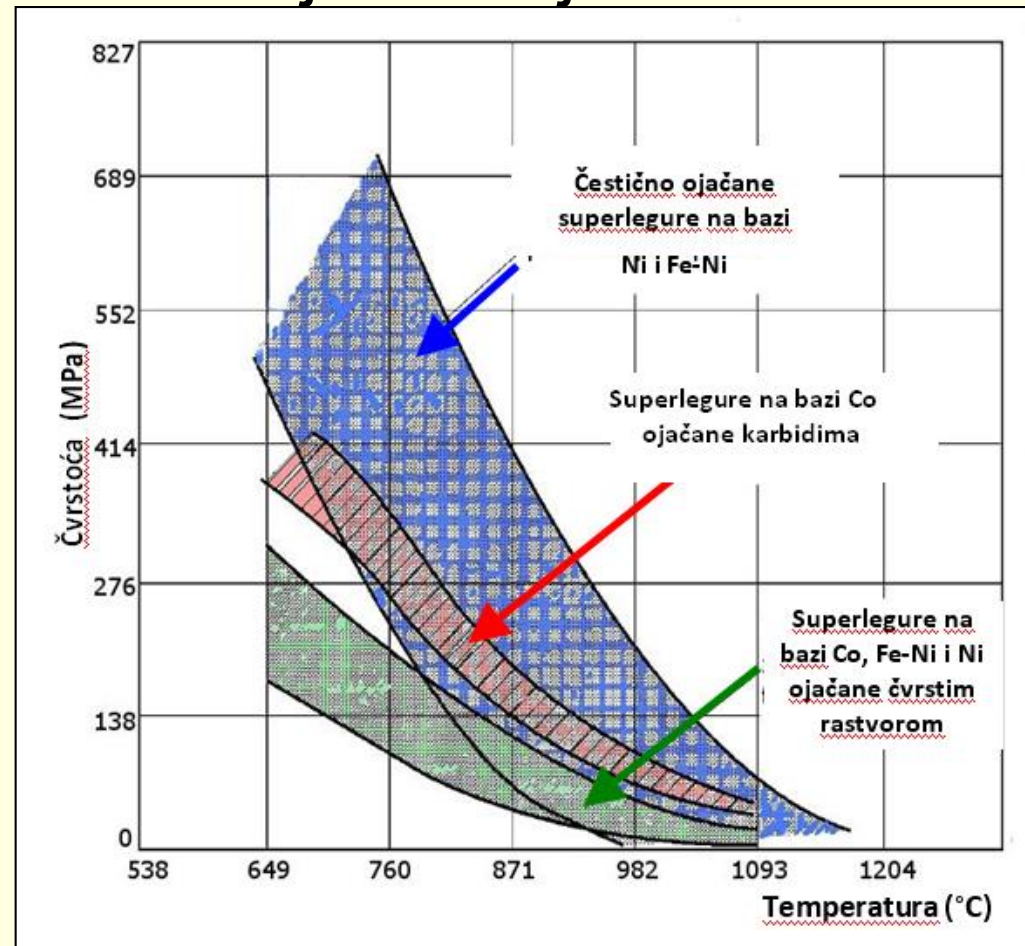
**Iridijum** (lat. iris - duga)  
najotporniji metal na koroziju  
KPC rešetka  
 $\rho=22.56 \text{ g/cm}^3$   
HV=1760 MPa  
E=528 GPa

**Rodijum** (gr. rodon – ruža)  
plemeniti metal  
KPC rešetka  
 $\rho=12.45 \text{ g/cm}^3$   
HV=246 MPa  
E=275 GPa

# Superlegure generalno

## Podela prema mehanizmima ojačavanja:

- Legure ojačane čvrstim rastvorom
- Taložno ojačane legure (starenjem)
- Disperzno ojačane legure oksidima, karbidima,...



# Glavni legirajući elementi superlegura

## Fe-Ni

Element	Ni	Fe	Ti	Al	Mo	Co	Cr	Nb	W	C
%	9-44	29-67	0-3	0.3-1	0-3	0-20	0-25	0-5	0-2.5	<0.35

## Co

Element	Co	Ni	Ti	Al	Mo	Fe	Cr	Nb	W	C
%	do 62	0-35	0-3	0-0.2	0-10	0-21	19-30	0-4	0-15	0-1

## Ni

Element	Ni	Ti	Al	Mo	Co	Cr	Nb	W	C
%	37-79.5	0-5	0-6	0-28	0-20	5-22	0-5.1	0-15	<0.30

+ Zr, La, Mn, Si, Cu, B, Ce, Mg, V, Ta, Hf

# Glavni legirajući elementi superlegura

Uloga legirajućih elemenata kod superlegura			
Efekat	na bazi Fe-Ni	Na bazi Co	Na bazi Ni
Ojačavaju č.r.	Cr, Mo	Nb, Cr, Mo, Ni, W, Ta	Co, Cr, Fe, Mo, W, Ta, Re
$\gamma$ stabilizatori	<u>C, W, Ni</u>	Ni	...
Karbidoobrazujući			
MC	Ti	Ti	W, Ta, Ti, Mo, Nb, Hf
$M_7C_3$	...	Cr	Cr
$M_{23}C_6$	Cr	Cr	Cr, Mo, W
$M_6C$	Mo	Mo, W	Mo, W, <u>Nb</u>
Karbinitridi M(C, N)	C, N	C, N	C, N
Pomažu izdvajanje karbida	P	...	...
obrazuju $\gamma'$ $Ni_3(Al, Ti)$	Al, Ni, Ti	...	Al, Ti
Odlažu formiranje $h-Ni_3Ti$	Al, <u>Zr</u>		
Podižu solvus T za $\gamma'$	...	...	Co
čestično i intermetalno ojačavanje	Al, Ti, <u>Nb</u>	<u>Al, Mo</u> , Ti, W, Ta	Al, Ti, <u>Nb</u>
otpornost na oksidaciju	Cr	Al, Cr	Al, Cr, Y, La, <u>Ce</u>
Otpornost na koroziju na visokim T	La, Y	La, Y, <u>Th</u>	La, <u>Th</u>
Otpornost prema sulfidizaciji	Cr	Cr	Cr, Co, Si
Podižu otpornost na puzanje	B	...	B, Ta
Podižu čvrstoću	B	B, <u>Zr</u>	B
Rafinišu vel.zrna	...		B, C, <u>Zr</u> , <u>Hf</u>

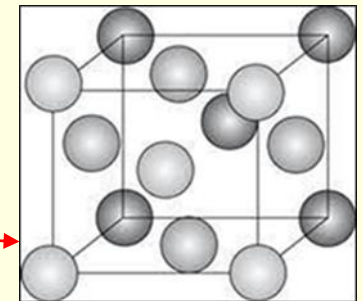
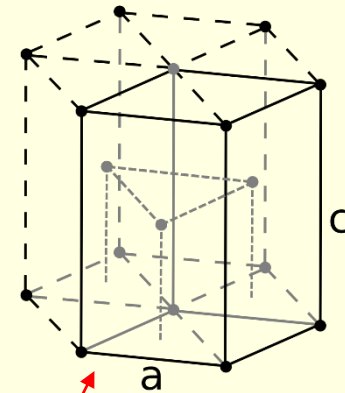
# Superlegure na bazi Ni mehanizmi ojačavanja

- Najvažnije **osobine superlegura**:
  - otpornost na visok temperaturno puzanje,
  - otpornost na oksidaciju i koroziju,
  - otpornost na zamor i
  - stabilnost faza.
- Otpornost na visoke T se postiže:
  - ojačavanjem čvrstog rastvora  $\gamma$  (austenitna faza) i
  - ojačavanje taloženjem faze  $\gamma'$ -Ni<sub>3</sub> (Al, Ti, Nb),
  - ojačavanje dispergovanim karbidnim i oksidnim česticama.
- Otpornost na oksidaciju i koroziju u Ni superlegurama zasniva se na legiranju Al i Cr, koji formiraju zaštitni sloj oksida Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- Drugi legirajući elementi: Co, Fe, V, V, Nb, Ta, B, Zr, Mg, Ti, Mo daju ostale osobine.
- Fazna stabilnost Ni superlegura je povezana elektronskom konfiguracijom atoma Ni.

# Kobalt i njegove legure

# Generalne osobine Co i legura na bazi Co

- $T_f = 1495^\circ\text{C}$
- $\rho = 8.83 \text{ g/cm}^3$
- Magnetičan  $T_{\text{kiri}} = 1115^\circ\text{C}$
- Polimorfan:
  - HGP na  $T < 421^\circ\text{C}$  nedeformabilna
  - KPC na  $T > 421^\circ\text{C}$



- Legiranjem se stabilizuje KPC ili HGP rešetka

# Generalne osobine Co i legura na bazi Co

- Uglavnom su legure Co superlegure
- Prve legure Co- Cr i Co-Cr-W patentirane 1900-ih
- Trgovački nazivi **Stellite** i Haynes (Haynes Corp.).
- Ojačavanje čvrstog rastvora sa Ta, W, Nb, Mo
- Upotreba: alati i kao zaštita od habanja
- Najvažnije legirajući element **Cr - dodaje se 20 – 30%** u cilju podizanja otpornost na oksidaciju i koroziju na visokim T.
- Cr može da ojačava čvrstim rastvorima i čestično
- **Legure Co ojačavaju hladnom deformacijom**

# Sastav i primena legura na bazi Co

	Co	Ni	Cr	Al	Ti	Mo	W	Ta	B	Zr	C	Other
<b>FSX-414</b>	Bal.	10.5	29.5	–	–	–	7	–	0.012	–	0.25	2 Fe
<b>Stellite 21</b>	Bal.	2	28	–	–	5.5	–	–	–	–	0.3	–
<b>Stellite 31</b>	Bal.	10	20	–	–	–	15	–	–	–	0.1	–
<b>MarM302</b>	Bal.	–	21.5	–	–	–	10	9	0.005	0.015	0.85	–
<b>MarM509</b>	Bal.	10	23.4	–	0.25	–	7	3.5	–	0.35	0.6	–
<b>Haynes-188</b>	Bal.	22	22	–	–	–	14.5	–	–	–	0.1	3 Fe* 0.90La

	Primena
<b>FSX-414</b>	Gasne turbine
<b>Stellite 21</b>	Otpornost na habanje
<b>Stellite 31</b>	Otpornost na habanje
<b>MarM302</b>	Lopatice mlaznih motora
<b>MarM509</b>	Lopatice mlaznih motora
<b>Haynes-188</b>	Bolja otpornost na oksidaciju od Hastelloy X

\*max

Sastav: Co, Ni, Cr, W

# Poređenje sa legurama Ni

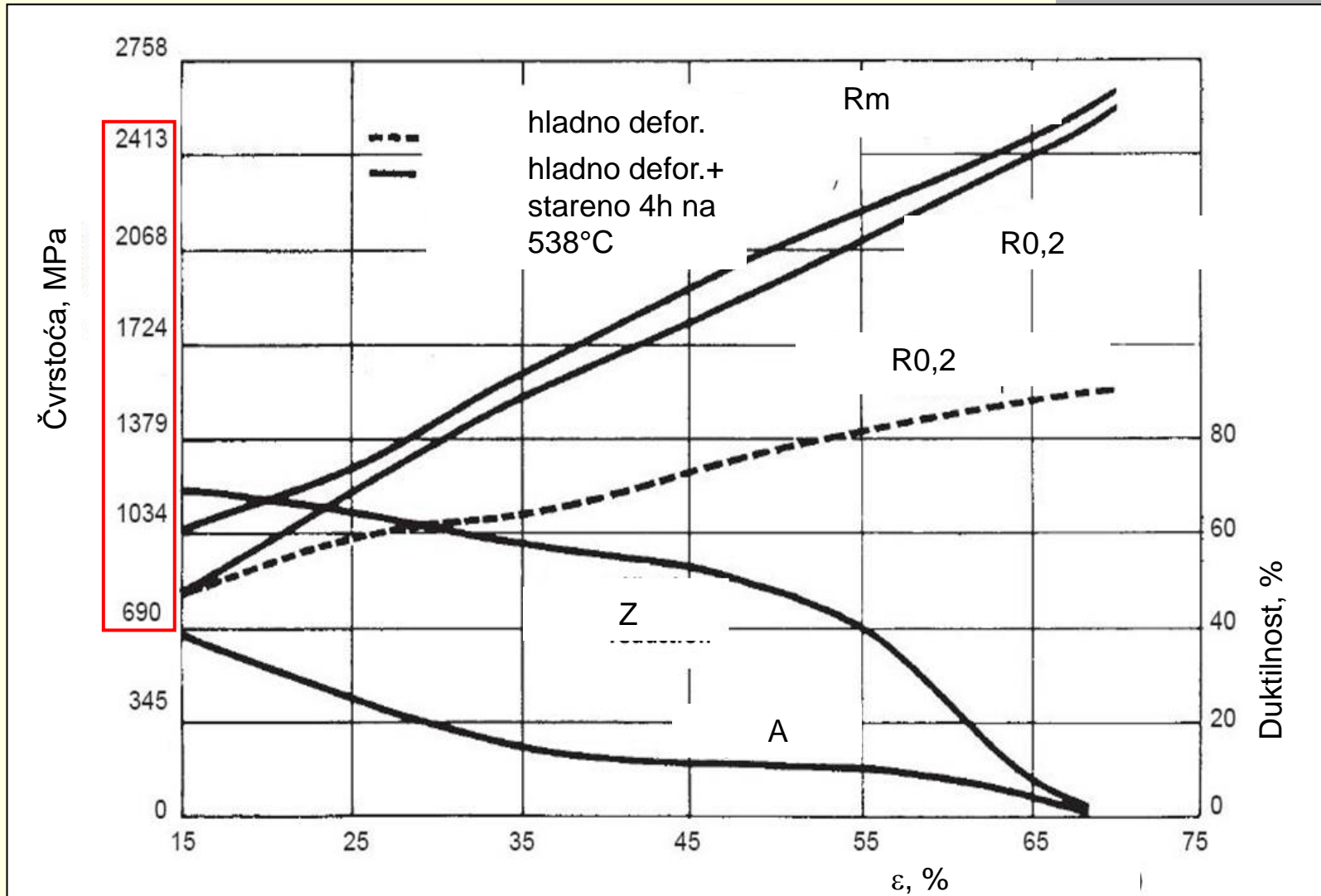
## ■ Prednosti legura Co

- Imaju višu  $T_t$ :  $T_t^{Co} > T_t^{Ni}$  – viša  $T$  primene od legura Ni i Fe
- Bolja otpornost na koroziju u gasovitoj sredini
- Bolja otpornost na termički zamor
- Bolja zavarljivost

## ■ Nedostaci

- Niža čvrstoća  $R_{mCo} < R_{mNi}$
- Niža duktilnost i žilavost loma na sobnoj  $T$
- Ograničena mogućnost razvoja postojećih legura

# Hladna deformacija Co superlegura



---

■ Hvala na pažnji😊