

# 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
- Čvrstoća oko 210 MPa (**legiranjem čvrstoća raste do nivoa poboljšanih čelika, ali je skoro dvostruko lakši**)
- Dobra plastičnost
- $E = 112.5\text{ GPa}$
- Nemagnetičan
- Skup – oko 6 x skuplji od Al

# Titan - Ti

## ■ Osobine:

- netoksičan
- biokompatibilan,
- iako vrlo reaktivan ima odličnu otpornost na koroziju – formira stabilan oksid na površini ( $\text{TiO}_2$ ) koji ga štiti od korozije
- ima dobru otpornost na eroziju,
- lako se boji,...
- trenutno najpovoljniji odnos **čvrstoća/gustina**

Legure Ti se koriste za izradu

1. koroziono otporne opreme
2. konstrukcija visoke čvrstoće

# Poređenje Ti sa drugim metalima

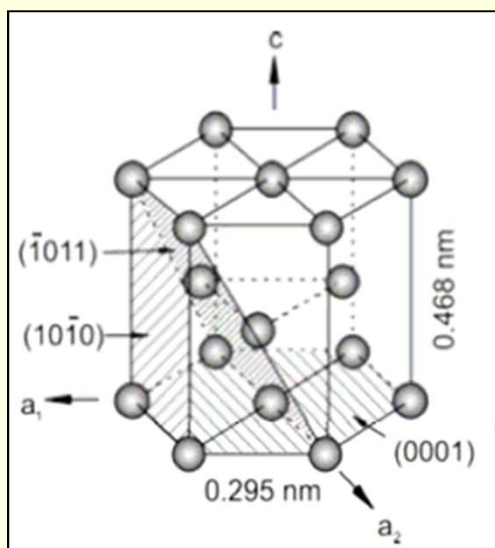
## Poređenje Ti sa drugim metalima

Osobine	Ti	Mg	Al	Fe	Cu
Tt. °C	1665	650	660	1535	1083
gustina, g/cm <sup>3</sup>	4.51	1.74	2.7	7.86	8.94
toplotna provodljivost	0.0407	0.35	0.57	0.17	0.92
električna otpornost, $\mu\Omega\text{cm}$	55.4	4.40	2.68	10.0	1.72
toplotni kapacitet	0.126	0.245	0.211	0.109	0.093
koeficijent linearnog širenja $\times 10^6 / ^\circ\text{C}$	8.9	25.7	24.0	11.9	16.4
Modul elastičnosti, GPa	112	45	72.5	200	122.5

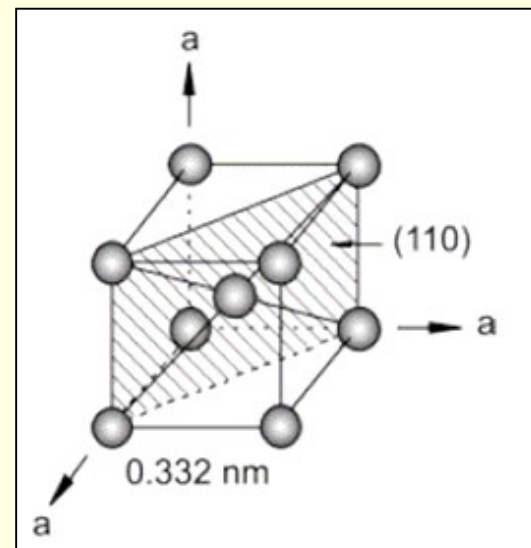
# Titan - polimorfija

Titan je polimorfan – ima dve rešetke:

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



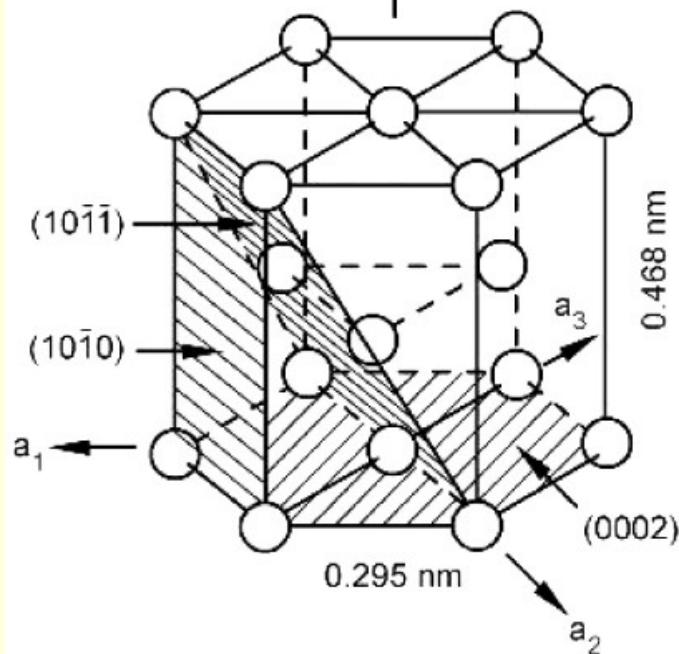
- $\beta$  rešetka – stabilna iznad  $882^{\circ}\text{C}$  kubna zapreminski centrirana KZC



# Stabilnost faza

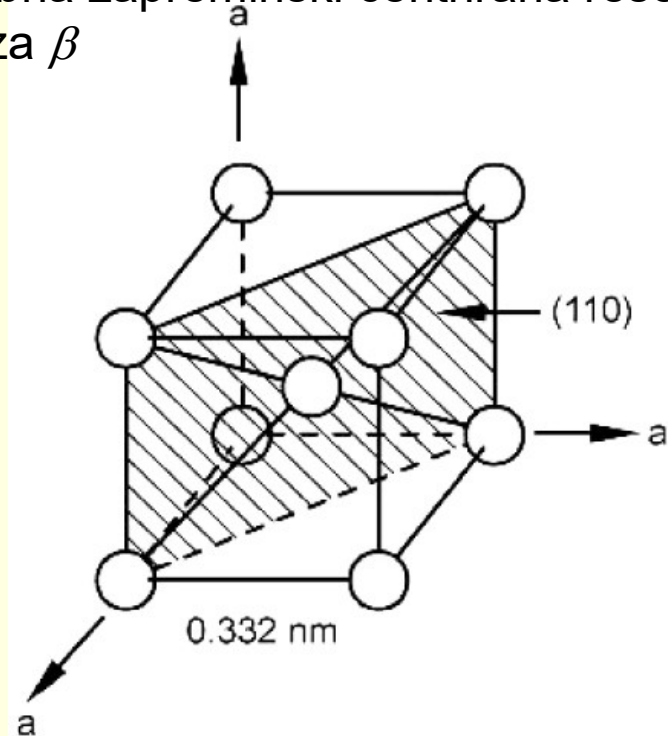
- $\beta$  – faza – stabilna iznad  $882^{\circ}\text{C}$  ( $T$  fazne transformacije)
- ispod je stabilna  $\alpha$  – faza

Heksagonalna gusto pakovana rešetka  
faza  $\alpha$



sadrži 6 atoma

kubna zapreminski centrirana rešetka  
faza  $\beta$



sadrži 2 atoma

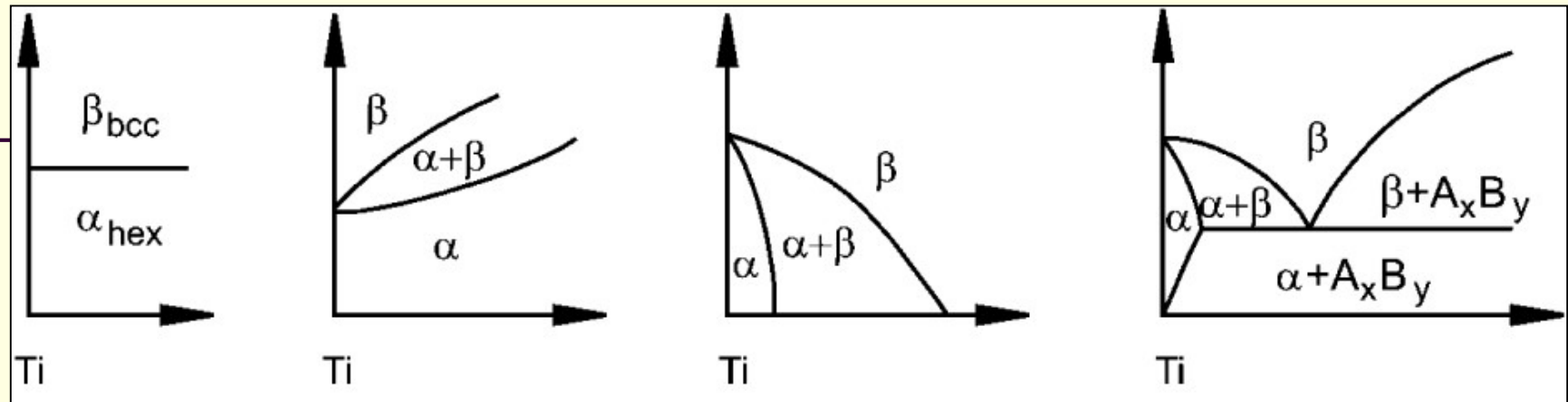
# Legura Ti

- 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**
- **$\beta$  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 ( $O, C, N \rightarrow 2x HB\uparrow$ )

# Uticaj legirajućih elemenata na legure Ti



Neutralni

$\alpha$  - stabilizatori

$\beta$  - stabilizatori  
čvrsti rastvor

$\beta$  - stabilizatori  
(eutektoid)

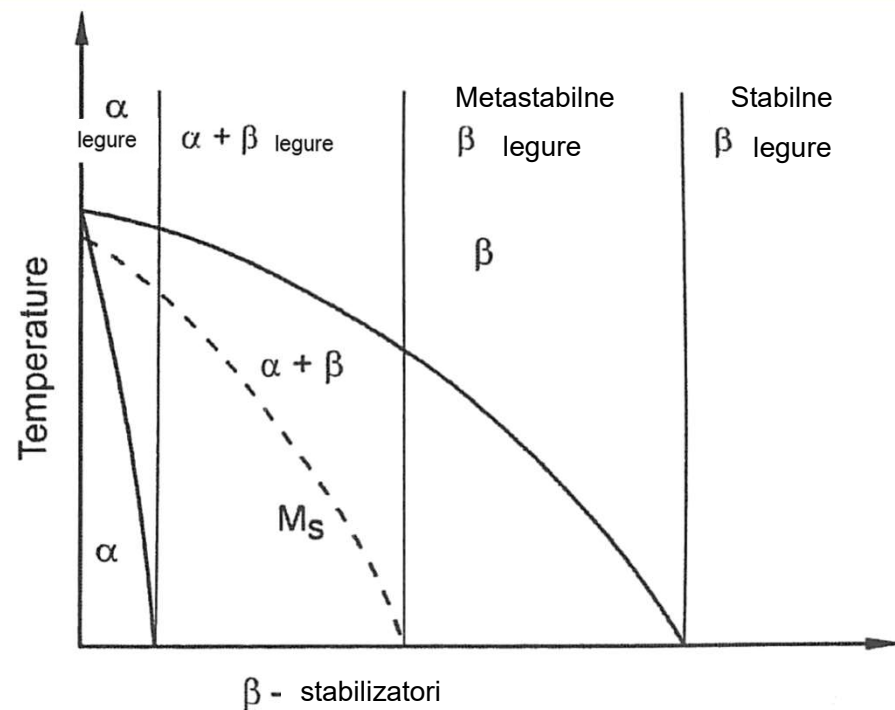
Legirajući elementi utiču na T fazne transformacije:

- Neutralni elementi – **Zr, Sn**
- $\alpha$  – stabilizatori podižu T fazne transformacije  
 $\alpha$  – stabilizatori – **Al, O, N, C**
- $\beta$  – stabilizatori snižavaju T fazne transformacije  
 $\beta$  – stabilizatori čvrstog rastvora – **Mo, V, Cr, Ta, Nb**
- određeni  $\beta$  – stabilizatori utiču na pojavu eutektoidne reakcije tj stvaranje intermetalnih čestica  
 $\beta$  – stabilizatori eutektoid. reakcije – **Fe, Mn, Cr, Co, Ni, Cu, H<sup>8</sup>**



# Podela legura Ti

- Čist Ti na sobnoj  $T \rightarrow$  samo  $\alpha$  – faza
- prisustvom  $\alpha$  –stabilizatora (i/ili mali sadržaj  $\beta$ -stabilizatora)  $\rightarrow$  samo je  $\alpha$  – **faza** stabilna na sobnoj  $T \rightarrow$  tzv.  $\alpha$  – **legure**
- povećanjem sadržaja  $\beta$ -stabilizatora  $\beta$  - faza postaje stabilna na sobnoj  $T$  i prvo se pojavljuje  $\alpha + \beta$  **područje**



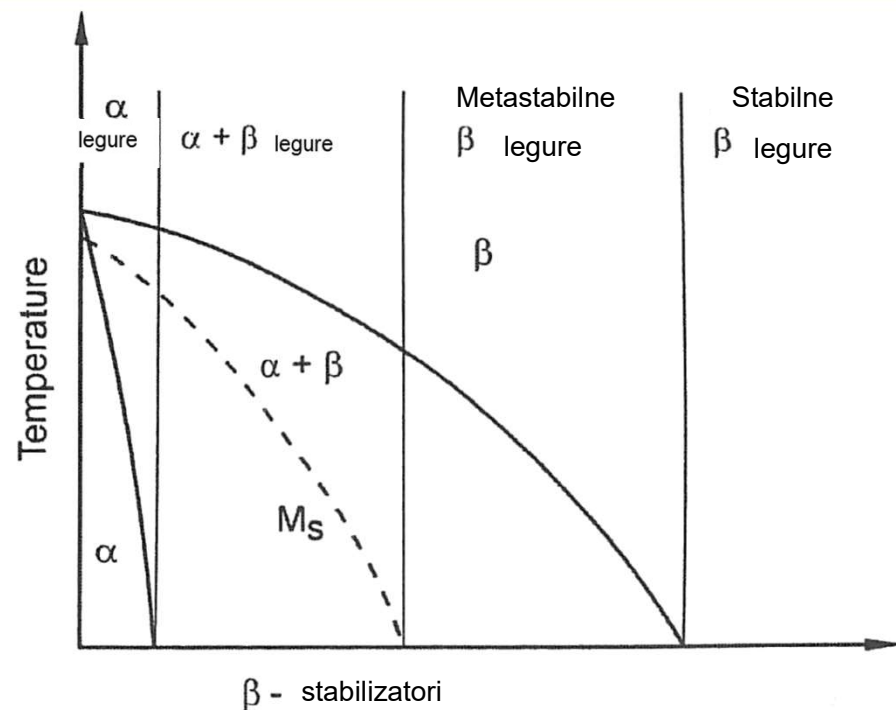
# Podela legura Ti

## ■ Daljim povećanjem sadržaja $\beta$ -stabilizatora:

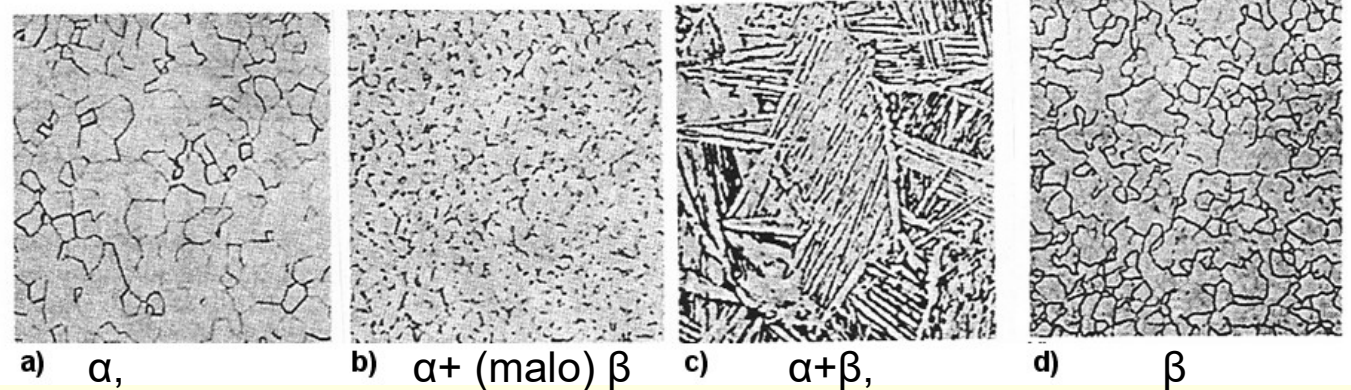
- $\alpha$  faza ne bi trebalo da se formira tokom brzog hlađenja, međutim, tokom žarenja ispod temperature transformacije formira se i  $\alpha$  faza sve dok se ne dostigne ravnoteža u sastavu - **metastabilne  $\beta$ -legure**

## ■ Sa još višim sadržajem $\beta$ -stabilizujućih elemenata:

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



# Podela legura Ti



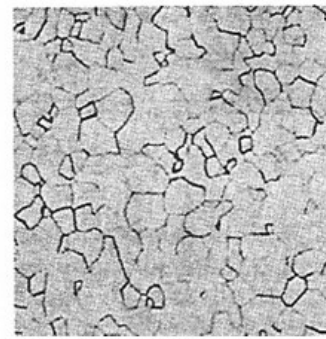
## $\alpha$ legure,

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

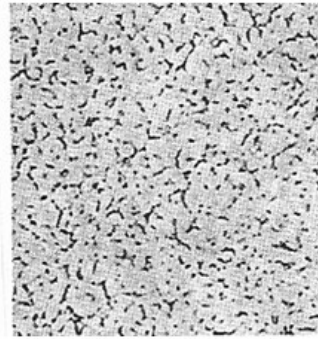
## $\alpha + \beta$ legure,

- legirane su **Al, V, Mo, Cr,...** sadrže  $\alpha$  i  $\beta$  stabilizatore
- povećanje čvrstoće može da se postigne TO
- **$R_m = 1000-1300 \text{ MPa}$ ,  $A=16\%$**
- Od svih legura iz ove grupe najviše se koristi Ti-6Al-4V.

# Podela legura Ti



a)  $\alpha$ ,



b)  $\alpha + (\text{malo}) \beta$



c)  $\alpha + \beta$ ,



d)  $\beta$

## 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.

# 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 kiseonika 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)

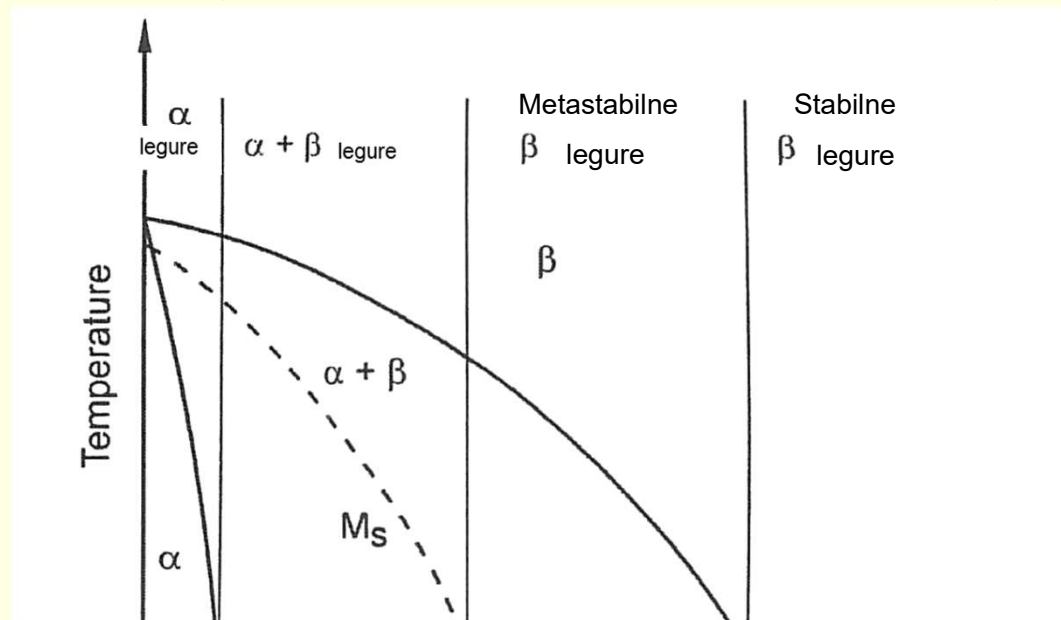
- Aluminidi, nitridi, carbidi, silicidi, ...

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

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

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

- Titan ima martenzitnu transformaciju!
- Martenzitna transformacija je moguća kod:  
**čistog Ti,  $\alpha$ -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

- Vrste TO koje se izvode 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** (u ovom slučaju efekat je sličan kaljenju i otpuštanju)
4. TO4 - optimizacija specijalnih svojstava – puzanje, zamor, žilavost loma

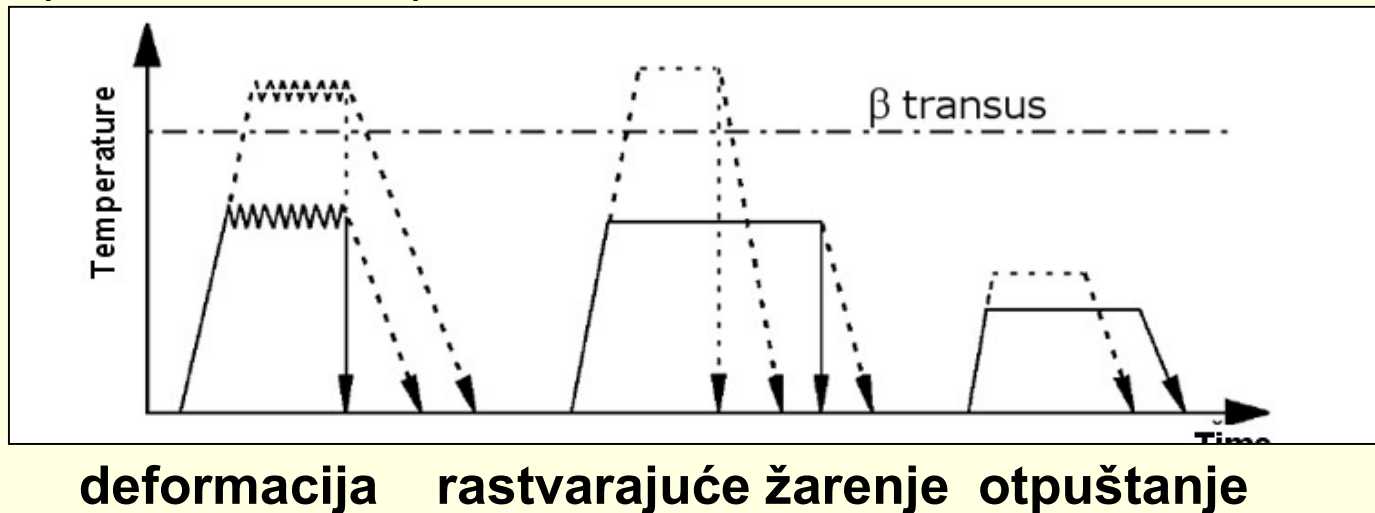
- Za legure Ti **prema strukturi se koriste sledeće TO:**

- $\alpha$  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,



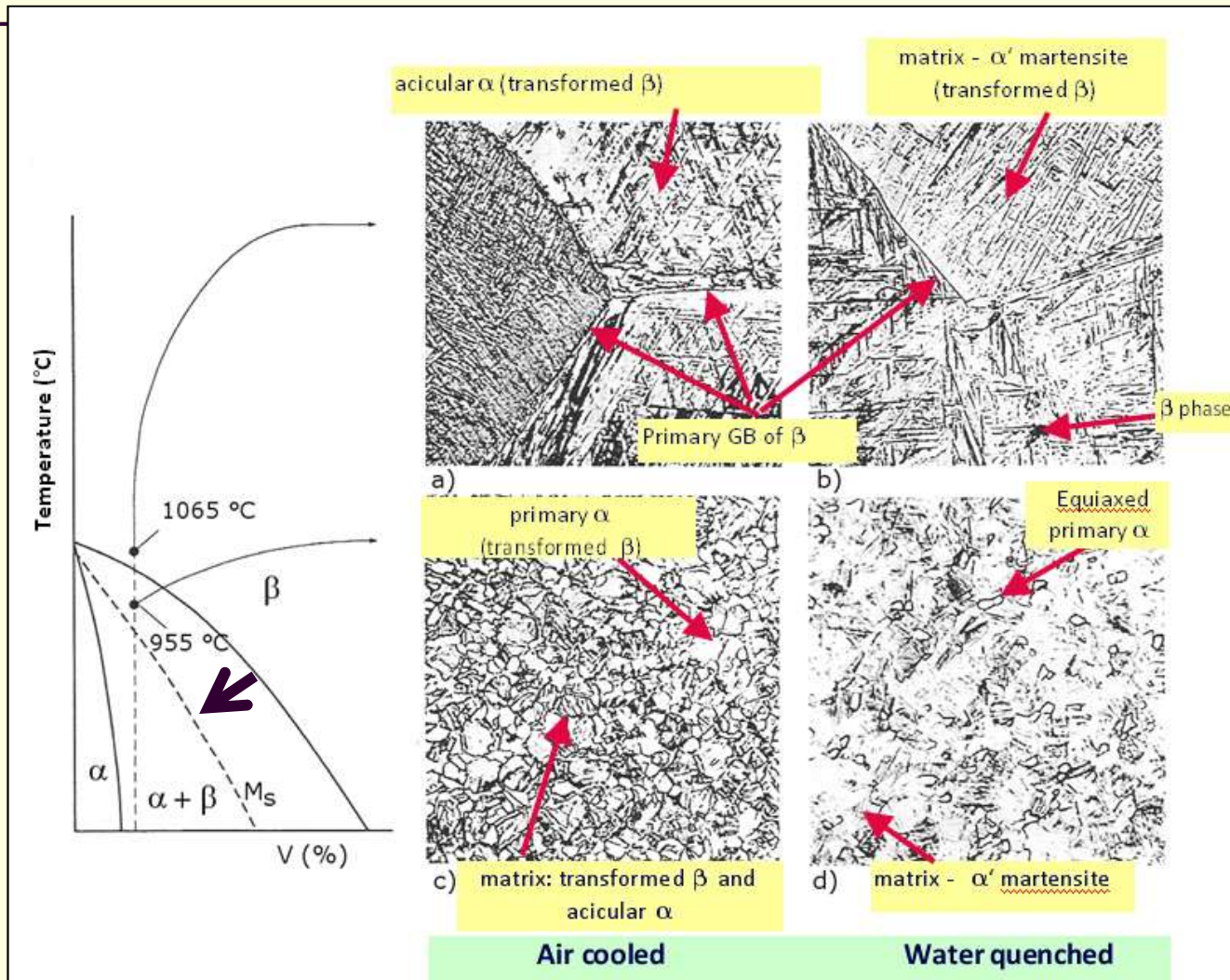
# TO3 – martenzitna transformacija

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



**Povećanje sadržaja  $\beta$  stabilizatora utiče na sniženje temperature transformacije  $\alpha - \beta$**

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



V (%) – sadržaj  $\beta$  stabilizatora

# Martenzit kod legura Ti

---

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

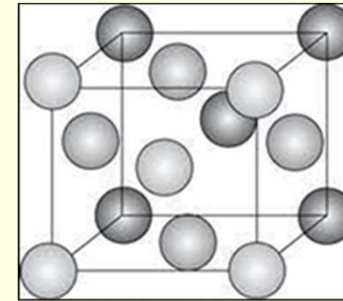
Postoje **3 vrste** martenzita kod Ti:

- **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
- **Pored Fe i Co još je samo Ni magnetičan**
- magnetičan do  $T_{Kiri} = 345^\circ\text{C}$  – a iznad 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 se povećava:
  - 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 - 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 Cu, 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 su 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

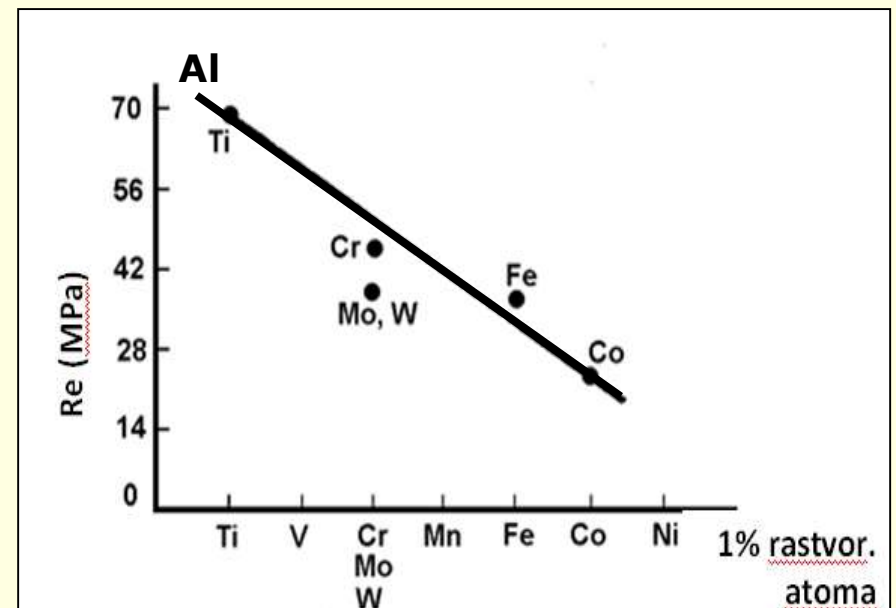
- **Co – podiže otpornost na S**
  - povećava rastvorljivost C u Ni;
- **Mo, W – podižu otpornost na kiseline i visoke T.**
  - Sa 28 % Mo (Hastelloy B) legura je otporna i na 60% koncentracije kiselina.
- **Si – potiče iz procesa dezoksidacije stabilizuje karbide i nepoželjna intermetalna jedinjenja – ali u slučaju kada se traži otpornost na toplu  $H_2SO_4$ , 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

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



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

## 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

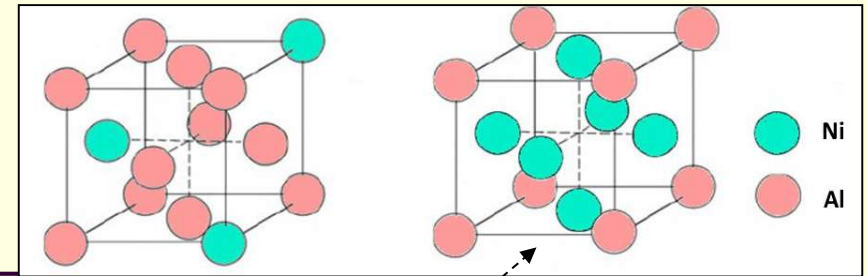
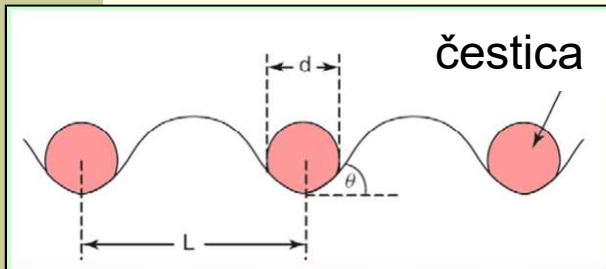
---

## ■ Ni-Mo legure (HASTALLOY)

- visoka otpornost na koroziju i vatrootpornost,
- najpoznatija legura iz ove grupe je **Hasteloj** - 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
- Izrazito otporne na puzanje do  $1000^\circ\text{C}$
- Ograničena zavarljivost

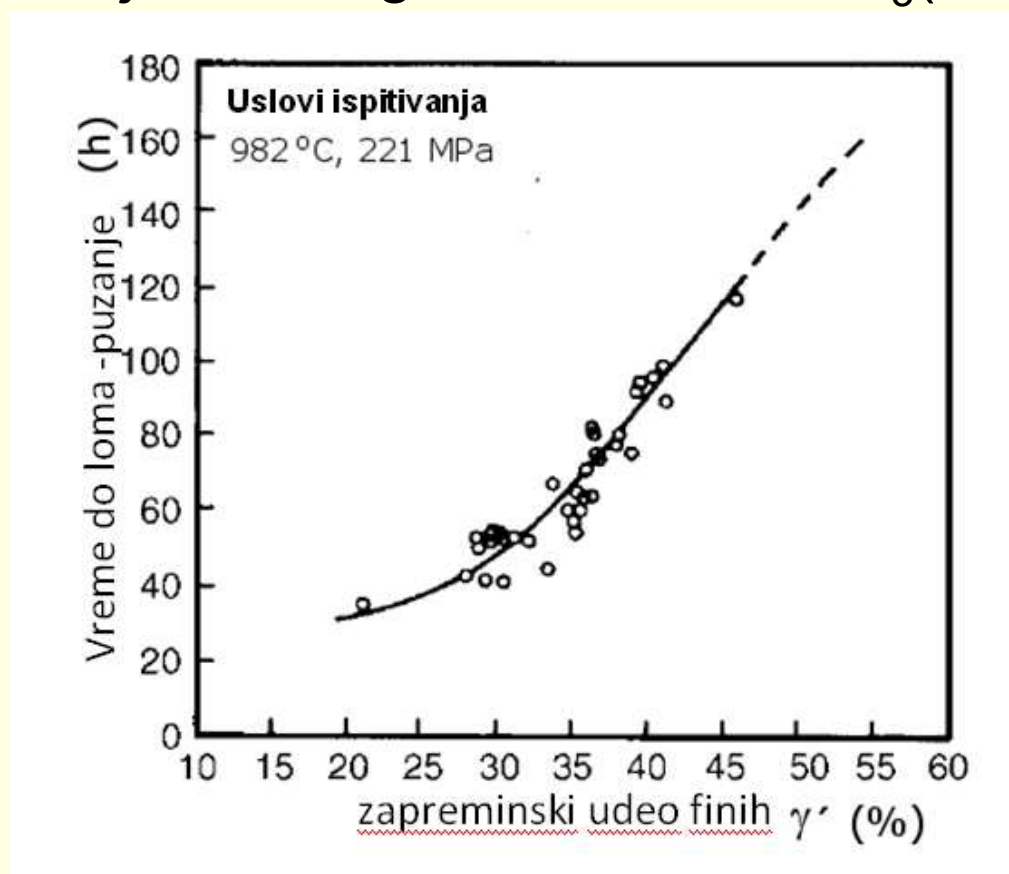
KPC rešetka  $\gamma$  osnove (čvrsti rastvor levo) i  $\gamma'$  čestica (desno) kojima taložno ojačava legura

## 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

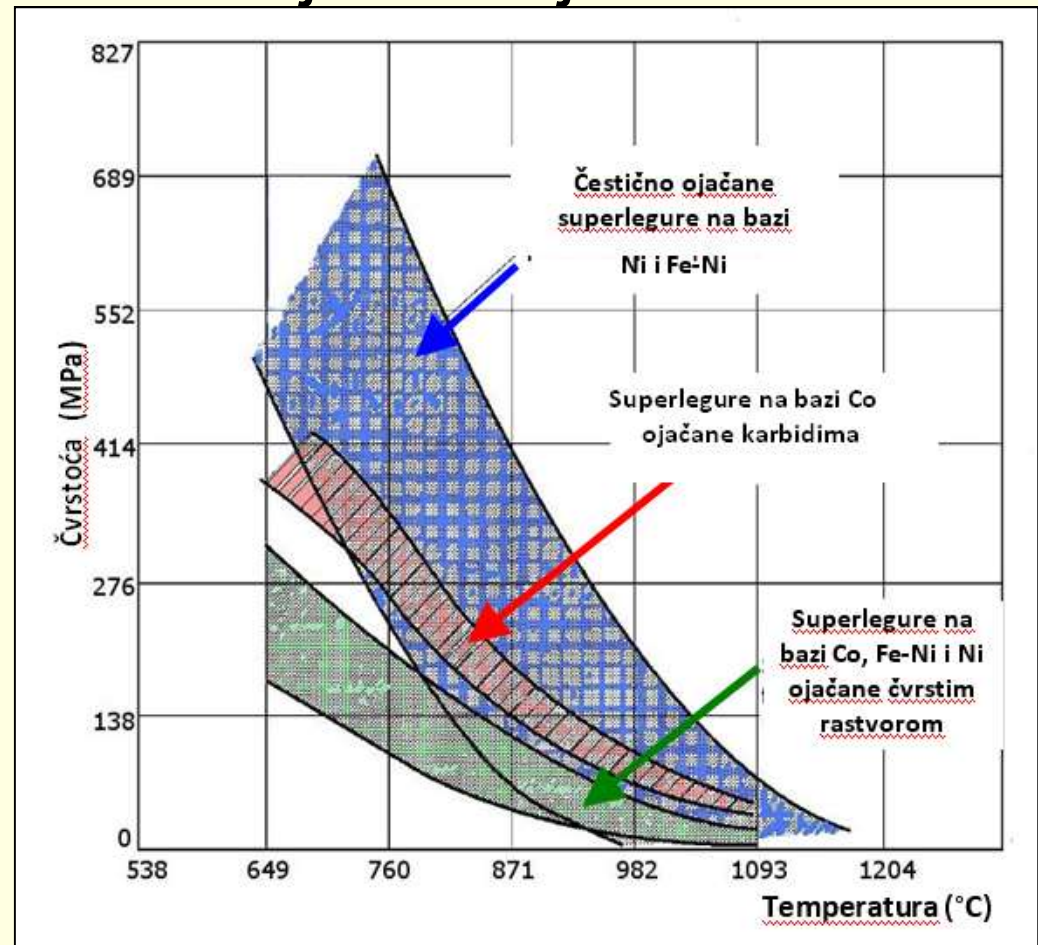
**Iridijum** (lat. iris - duga)  
najotporniji metal na koroziju  
KPC rešetka  
 $\rho=22.56 \text{ g/cm}^3$   
HV=1760 MPa  
E=528 GPa

**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 $\delta$ - $Ni_3Ti$	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 visokotemperaturno 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>.

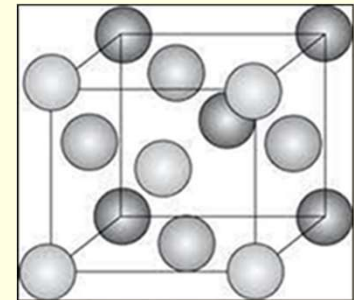
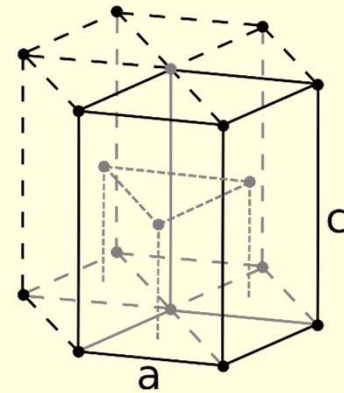
### ■ Drugi legirajući elementi: Co, Fe, V, V, Nb, Ta, B, Zr, Mg, Ti, Mo, itd. daju ostale osobine.

### ■ Fazna stabilnost Ni superlegura je povezana elektronskom konfiguracijom atoma Ni.

# Kobalt i njegove legure

# Generalne osobine Co i legura na bazi Co

- $T_t = 1495^\circ\text{C}$
- $\rho = 8.83 \text{ g/cm}^3$
- 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 (nedeformabilna)





# 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 za habanje
- Najvažnije legirajući element Cr - **dodaje se 20 – 30% Cr** da bi se podigla otpornost na oksidaciju i koroziju na visokim T.
- Cr ojačava rastvaranjem i čestično
- **Najznačajnije ojačavanje legura 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

---

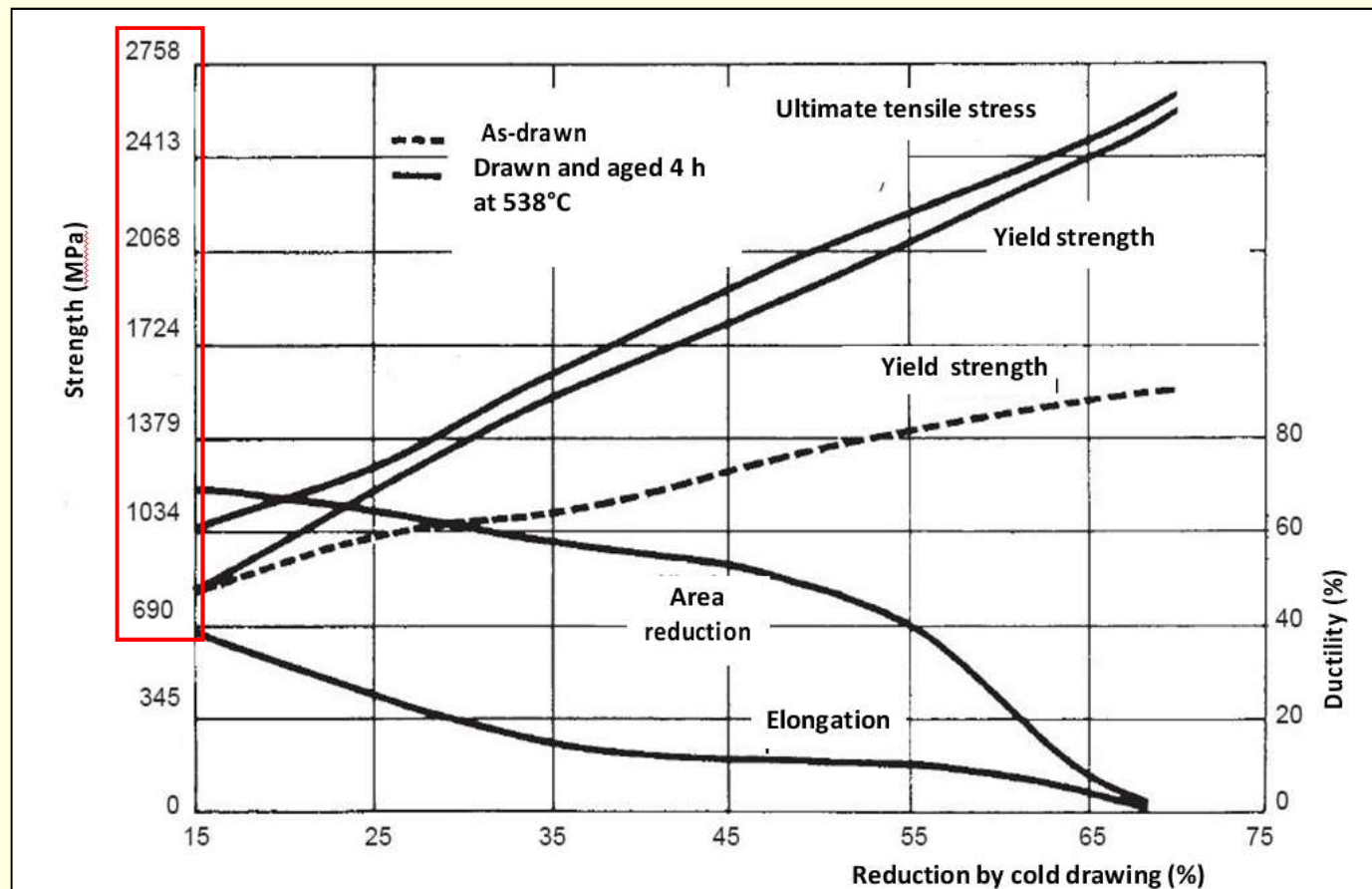
## ■ Prednosti

- 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  $Rm^{Co} < Rm^{Ni}$
- Niža duktilnost i žilavost loma na sobnoj  $T$
- Ograničena mogućnost razvoja postojećih legura

# Hladna deformacija Co superlegura



Čvrstoća dodatno raste starenjem posle hladne deformacije



---



■ Hvala na pažnji😊