

## Mašinski materijali 3

### Titan i legure titana



1

### 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

2

## Titan - Ti

### Osobine:

- netoksičan
- biokompatibilan,
- iako vrlo reaktivan ima odličnu otpornost na koroziju kada se formira stabilan oksid na površini ( $\text{TiO}_2$ ) 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

3

## 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

dobre osobine

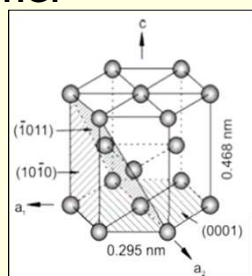
loše osobine

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

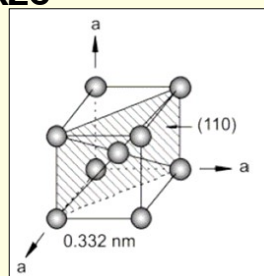
## Titan - polimorfija

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

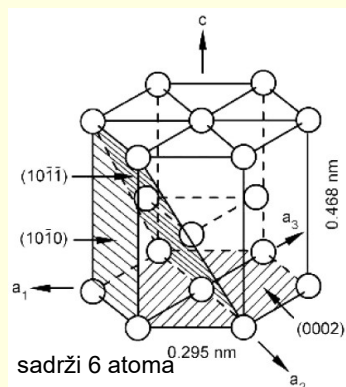


5

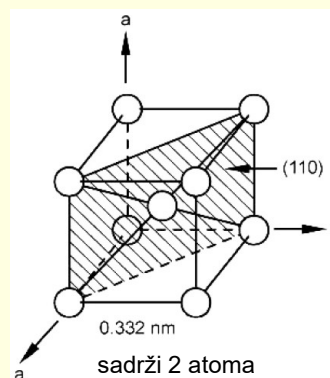
## Stabilnost faza

- $\alpha$  – 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:

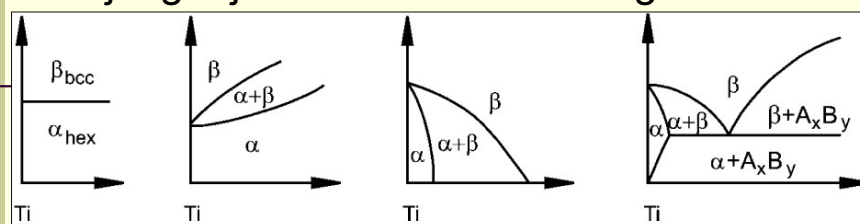
$\alpha$  stabilizatori podižu temperaturu fazne transformacije iznad 882°C

$\beta$  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**

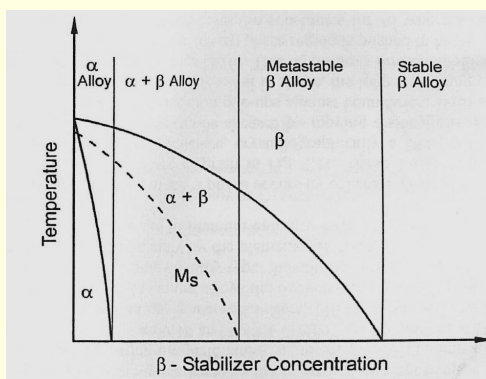
$\alpha$  – stabilizatori **Al, O, N, C** - podižu T fazne transformacije

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

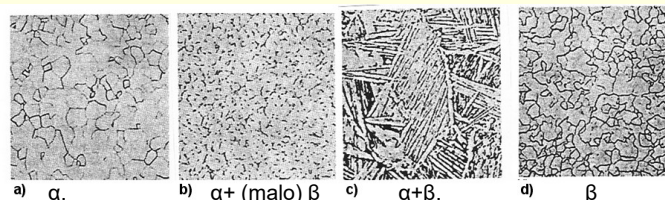
$\beta$  – stabilizatori eutektoidne reakcije – **Fe, Mn, Cr, Co, Ni, Cu, H**  
utiču i na pojavu eutektoidne reakcije - stvaranje intermetalnih čestica  $A_xB_y$

## 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



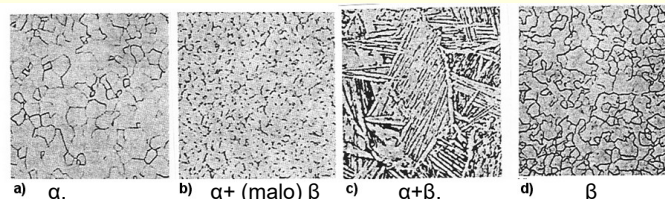
### $\alpha$ legure,

- 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 β legure

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

### ■ stabilne β legure

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

11

## 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
α	Ti-5Al-2.5Sn	5% Al, 2,5% Ti	826	784	16	lopaticе gasnih turbina, oprema za procesnu industriju
α + β	Ti-6Al-4V	6% Al, 4% V	947	877	14	implanti visoke čvrstoće, strukturne komponente letelica
α + β	Ti-6Al-6V-2Sn	6% Al, 2% Sn, 6% V, 0,75% Cu	1050	985	14	strukturne komponente mlaznih motora i lopaticе visoke čvrstoće
β	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 krtoš

## 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)

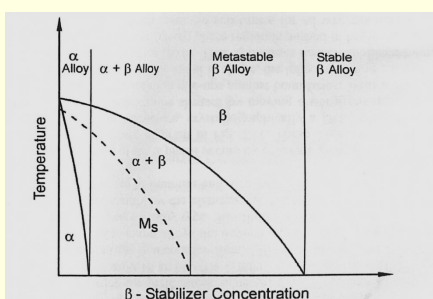
- Aluminidi, nitridi, karbidi, silicidi, ...

### 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



14

## Termička obrada (TO) legura Ti

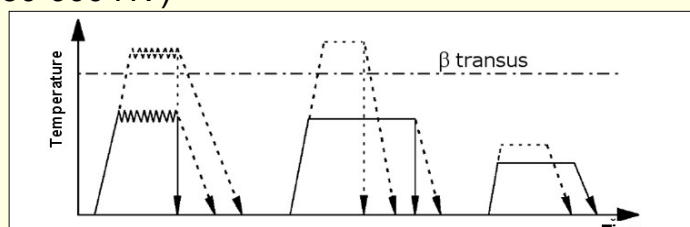
- TO se izvodi zbog:
  1. TO1 - **smanjenja zaostalih napona** - iz proizvodnje
  2. TO2 - **žarenje** kojim se postiže duktilnost i dimenziona i strukturna stabilnost posebno kod  $\alpha + \beta$  legura
  3. TO3 - povećanje čvrstoće **rastvarajućim žarenjem i starenjem (sličan efekat kaljenju i otpuštanju)**
  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,

16



## 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)

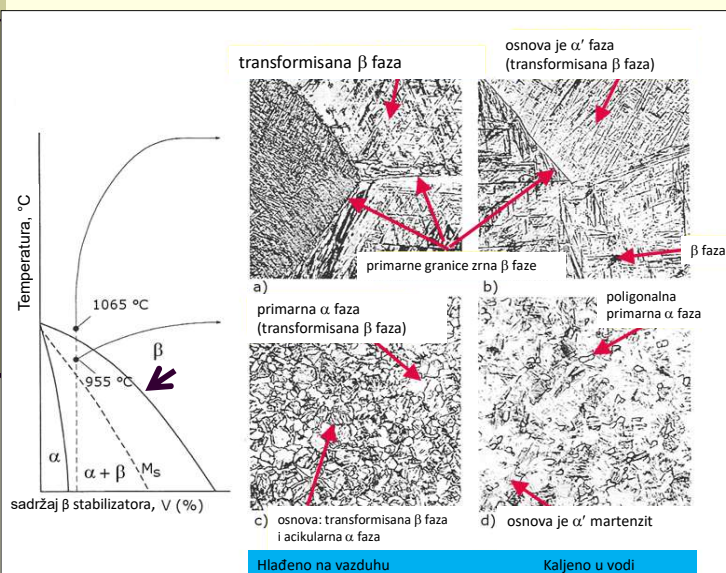


deformacija rastvarajuće žarenje otpuštanje

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

17

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



18

## 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.

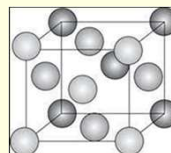
19

## Nikl i njegove legure

20

## 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**)



21

## 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, termoelektranama
  - industrijskim pećima za električne otpornike,
  - u elektronici i drugim granama tehnike.

22

## Tehnički čist Ni

- Tehnički čist Ni:  $R_e=148 \text{ MPa}$ ,  $R_m= 462 \text{ MPa}$  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)

23

## 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

24

## Klasifikacija legura Ni

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

- Grupa 41: Čist niki
- 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

25

## Uticaj legirajućih elemenata na Ni

Ni - može da rastvori supstitucijski veliku količinu 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)

26

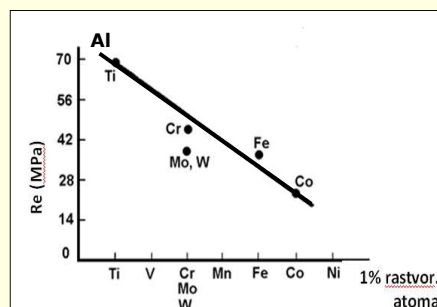
## Uticaj legirajućih elemenata na Ni

- **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.

27

## 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

28

## 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

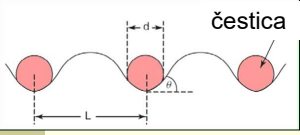
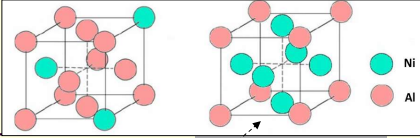
Mehaničke osobine	90Ni-10Cu	70Ni-30Cu
Re (MPa)	140	170
Rm (MPa)	320	420
A (%)	40	42

29

## 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.

30

**Taložno ojačane legure Ni**

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

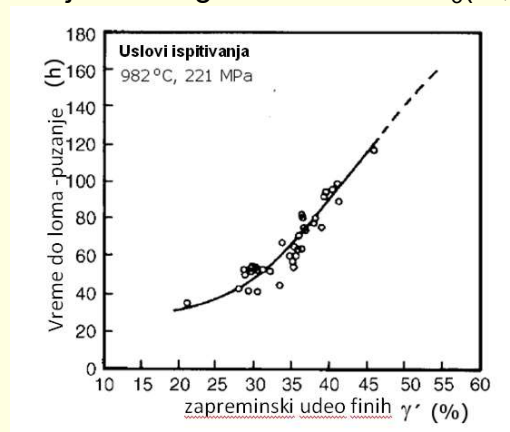
**Disperzno ojačane legure Ni**

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

31

### Puzanje - taložno ojačane legure Ni

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



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

32



# Superlegure

33

## 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

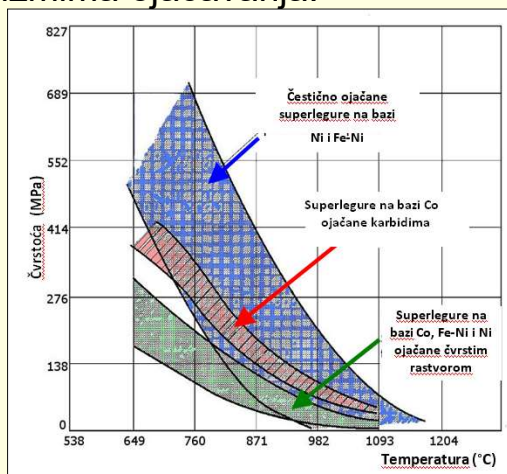
**Rodijum** (gr. rodon – ruža)  
 plemeniti metal  
 KPC rešetka  
 $\rho=12.45 \text{ g/cm}^3$   
 HV=246 MPa  
 E=275 GPa

34

## Superlegure generalno

### Podela prema mehanizmima ojačavanja:

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



## Glavni legirajući elementi superlegura

<i>Fe-Ni</i>										
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
<i>Co</i>										
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
<i>Ni</i>										
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	C, W, Ni	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, Nb
Karbitridi M(C, N)	C, N	C, N	C, N
Pomažu izdvajanje karbida	P	...	...
obrazuju $\gamma'$ $Ni_3(Al, Ti)$	Al, Ni, Ti	...	Al, Ti
Odlazu formiranje $\delta$ - $Ni_3Ti$	Al, Zr		
Podižu solvus T za $\gamma'$	...	...	Co
čestično i intermetalno ojačavanje	Al, Ti, Nb	Al, Mo, Ti, W, Ta	Al, Ti, Nb
otpornost na oksidaciju	Cr	Al, Cr	Al, Cr, Y, La, Ce
Otpornost na koroziju na visokim T	La, Y	La, Y, Th	La, Th
Otpornost prema sulfidizaciji	Cr	Cr	Cr, Co, Si
Podižu otpornost na puzanje	B	...	B, Ta
Podižu čvrstoću	B	B, Zr	B
Rafinišu vel.zrna	...		B, C, Zr, Hf

## 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  $\gamma'$ - $Ni_3(Al, Ti, Nb)$ ,
  - 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  $Cr_2O_3$  i  $Al_2O_3$ .
- Drugi legirajući elementi: Co, Fe, V, Nb, Ta, B, Zr, Mg, Ti, Mo daju ostale osobine.
- Fazna stabilnost Ni superlegura je povezana elektronskom konfiguracijom atoma Ni.

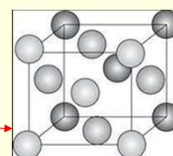
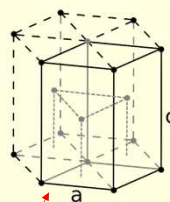
38

## Kobalt i njegove legure

39

### 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



40

## 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**

41

## 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

42

## Poređenje sa legurama Ni

### ■ Prednosti legura Co

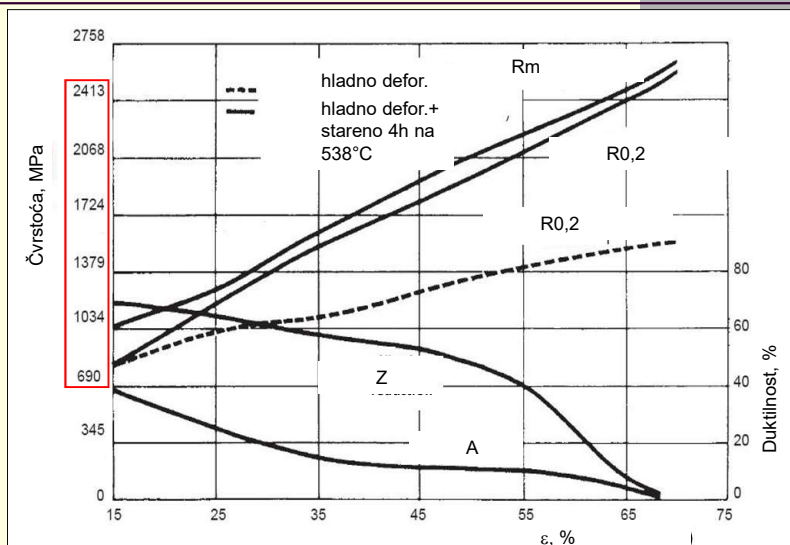
- Imaju višu  $T_t$ :  $T_t^{Co} > T_t^{Ni}$  – viša  $T$  primene od legura Ni i Fe
- Bolja otpornost na koroziju u gasovitoj sredini
- Bolja otpornost na termički zamor
- Bolja zavarljivost

### ■ Nedostaci

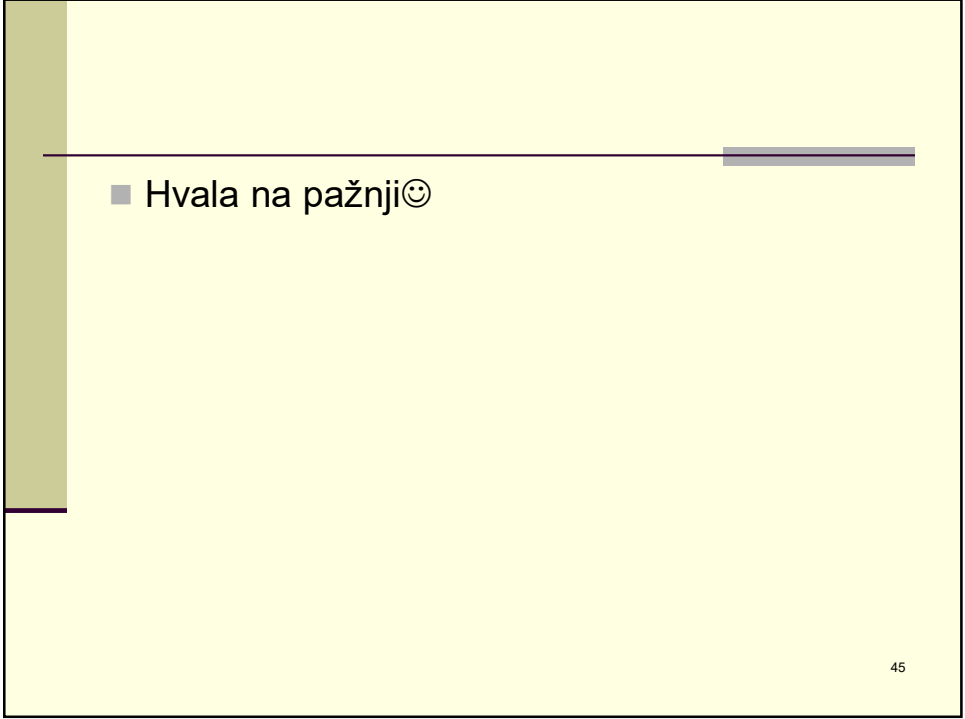
- Niža čvrstoća  $R_{mCo} < R_{mNi}$
- Niža duktilnost i žilavost loma na sobnoj  $T$
- Ograničena mogućnost razvoja postojećih legura

43

## Hladna deformacija Co superlegura



44



■ Hvala na pažnji😊