

# Mašinski materijali 3

---

- *razni izvori*

# Čelici

- Hemijski sastav gvožđa za preradu u **čelik** je:  
**2-4% C**, 0,9-1,4% Si, 0,5-1,5% Mn, do 0,25% P i do 0,12% S
- Dobijanje čelika se svodi na rafinaciju gvožđa dobijenog u visokoj peći.
- Rastopljeno gvožđe prerađuje se u čelike u:
  - Simens-Martеноvoj pećima (plameni postupak),
  - Elektro pećima (pretapanjem), ili
  - Besemerovom ili Tomasovom konvertoru
- Čelik se lije u odgovarajuće kalupe
- **Čelični odlivak može da bude finalni proizvod** - na taj način se izrađuju proizvodi složene geometrije

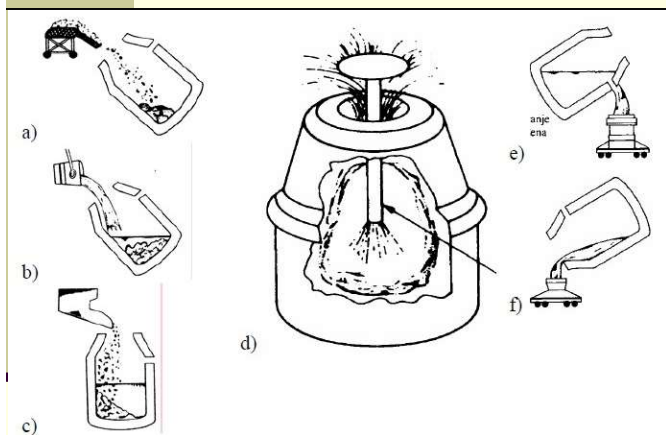
# Konvertorski postupak dobijanja čelika

U konvertorima se rafiniše gvožđe iz visokih peći i u njih se dodaju:

- metalni otpad
- rastopljeni metal
- topitelj
- uduvava se kiseonik ( $O_2$ ) da redukuje sadržaj ugljenika

Uduvavanjem  $O_2$  ostvaruje se reakcija sa Fe:  $2Fe + O_2 = 2FeO$

Oksid FeO reaguje sa C - reguliše se sadržaj C:  $FeO + C = Fe + CO$



Konvertorski postupak:

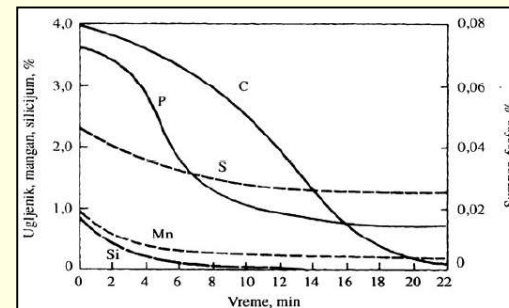
- metalni otpad
- rastopljeni metal
- kreč (topitelj)
- uduvavanje  $O_2$
- izbacivanje šljake

Dezoksidacija – pred izlivanje dodaju se **Mn, Si i Al**.

Oksid FeO reaguje sa Si, Mn, Al, ali i sa P čime se reguliše sadržaj primesa u čeliku:

- $2FeO + Si = SiO_2 + 2Fe$
- $FeO + Mn = MnO + Fe$
- $3FeO + 2Al = Al_2O_3 + 3Fe$
- $5FeO + 2P = P_2O_5 + Fe$

- Ca iz topitelja smanjuje sadržaj S gradeći CaS



Produkti svih reakcija čine trosku i gas.

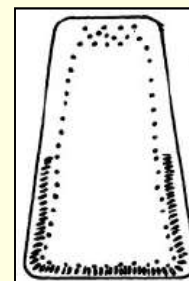
Toplota oslobođena iz svih ovih reakcija je dovoljna da čelik ostane u tečnom stanju.

## Zaostali gasovi

- Tokom livenja tečni metal lako rastvara gasove ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$ ,  $CO_2$  i  $CO$ )
- Prema količini zaostalih gasova u toku očvršćavanja čelici se dele na **neumirene, poluumirene i umirene.**

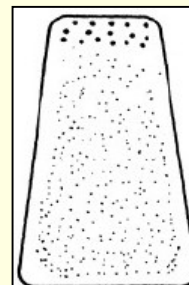
### •Neumireni,

- nepotpuna dezoksidacija Mn i Al
- pore uz površinu ingota – lakša obrada na hladno
- limovi i šipke
- smanjena KV, Rd i zavarljivost



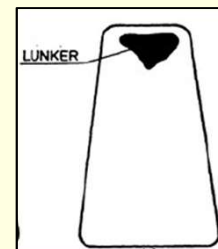
### •Polumireni

- nepotpuna dezoksidacija Mn, Al i Si
- pore u gornjem delu odlivka
- profili i limovi
- ekonomični



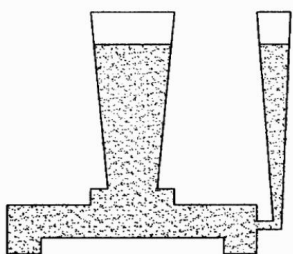
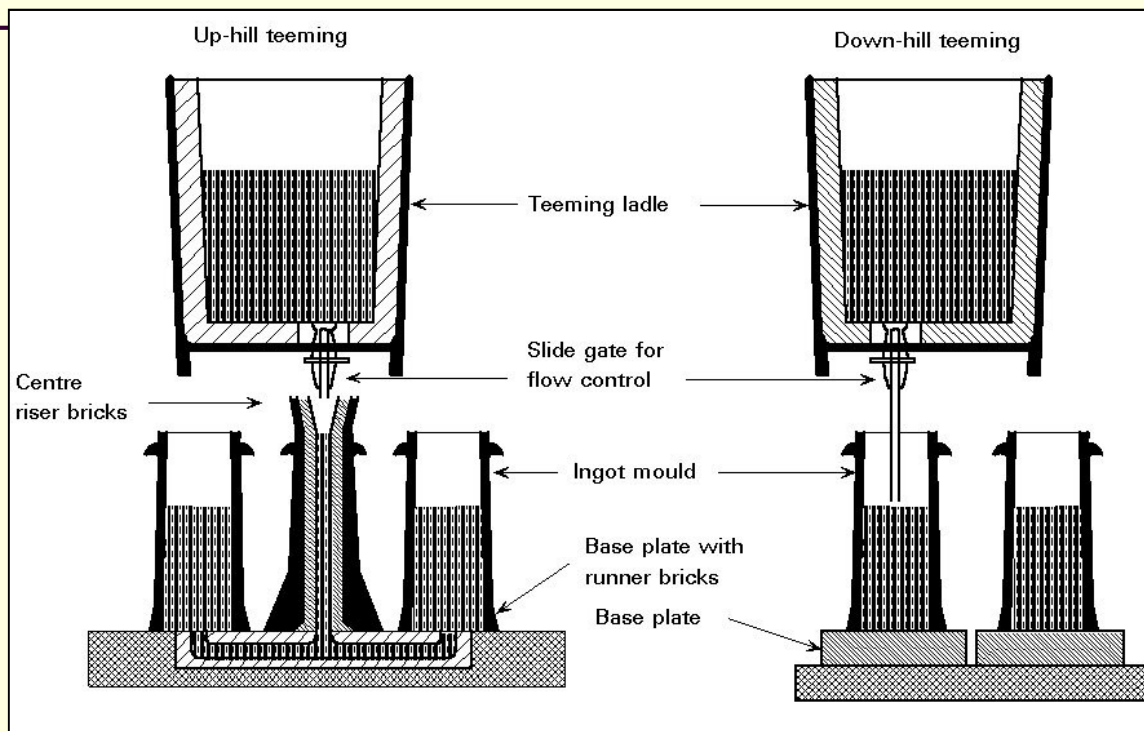
### •Umireni

- potpuna dezoksidacija Mn, Al i Si
- oksidi nakon dezoksidacije ostaju u čeliku lunkeri (lunker je greška skupljanja)
- pogodni za rad u bilo kojim uslovima jer imaju dobre mehaničke osobine

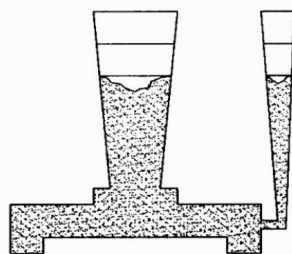


# Livenje ingota

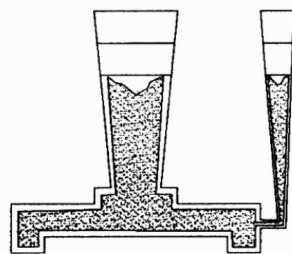
Naredna faza u dobijanju čelika je livenje u metalne kalupe (*kokile*) - gde tečni metal očvršćava u ingote



течна фаза



полутечна фаза

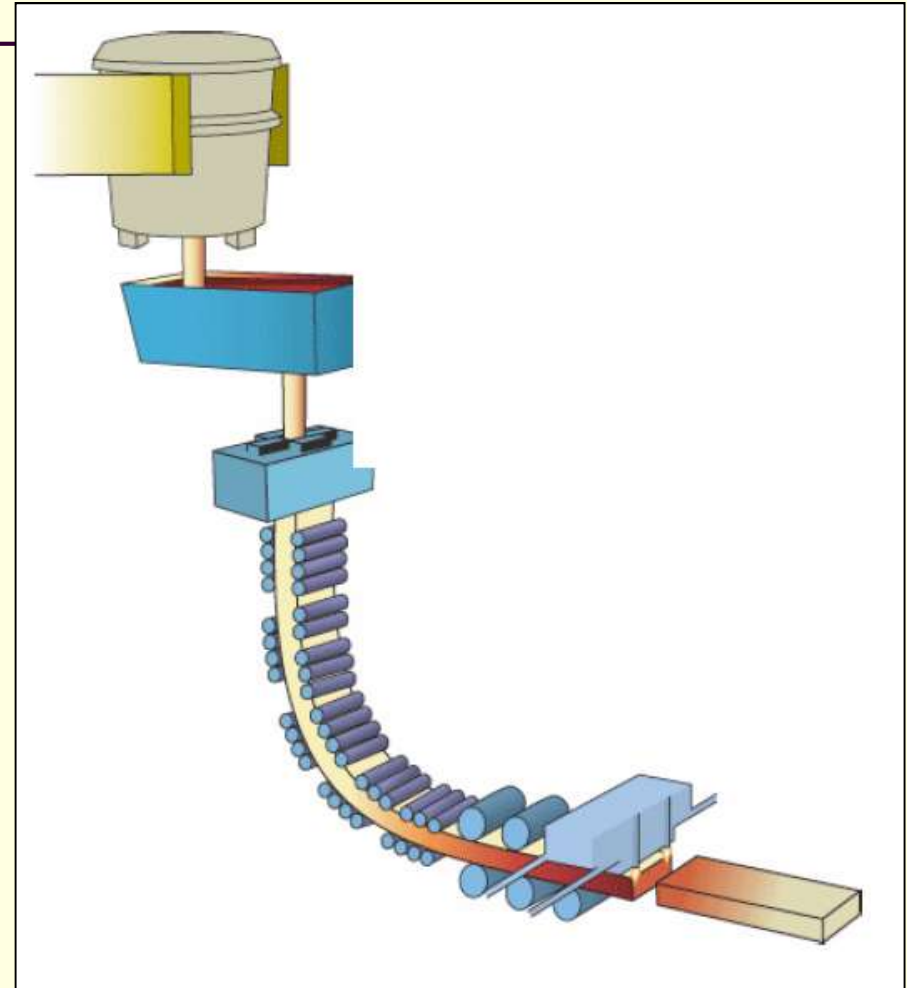


тврда фаза

Livenje ingota i proces skupljanja materijala tokom očvršćavanja

## Kontinualno livenje

- Tradicionalni način livenja ingota se sve više zamenjuje kontinualnim livenjem.
- Kod kontinualnog livenja se smanjuje verovatnoća dobijanja lunkera, a povećava se mogućnosti pojave uključaka.

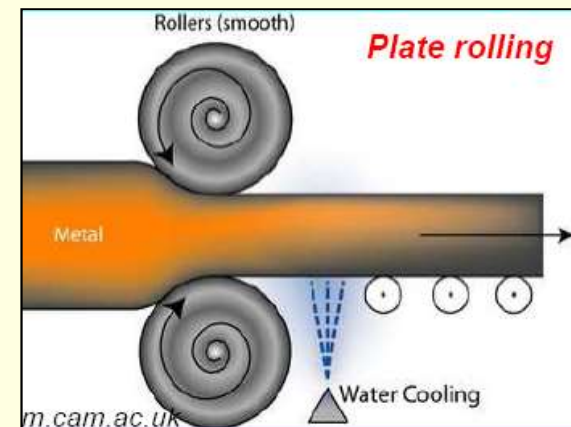


*Kontinualno livenje*

## Nakon livenja odlivak ide na hladno/toplo valjanje itd.

- Proizvodi od valjanog čelika proizvoljne dužine mogu da budu proizvedeni u obliku:
  - šipke - izvlačenjem, kovanjem ili valjanjem;
  - žice - izvlačenjem ili valjanjem;
  - čelični profili – valjanjem ili izvlačenjem.

Primer: lopatice turbina, cevi, šine, limovi različiti profili tipa T, I, U, itd.



# Podela čelika

---

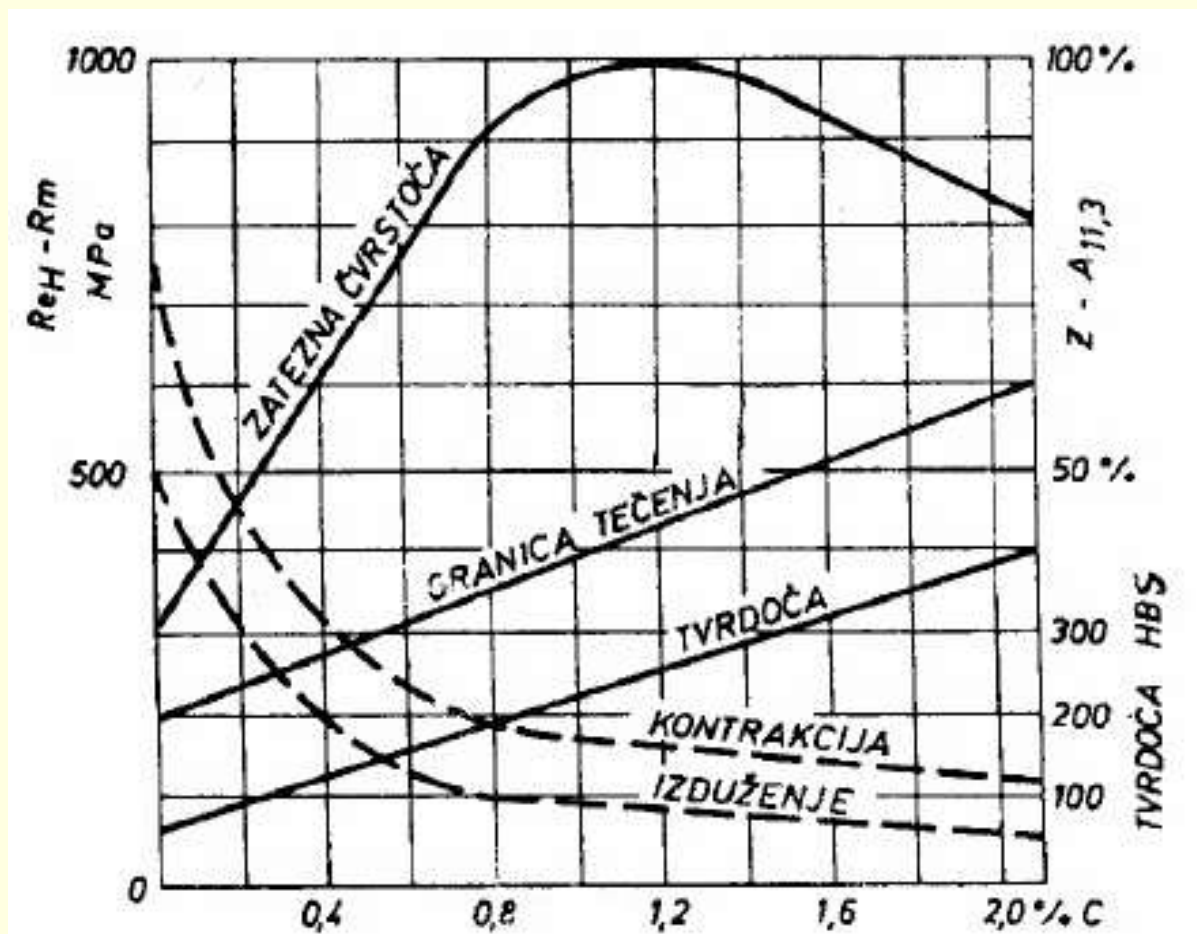
- Čelici mogu da se **podele** prema:
  - hemijskom sastavu,
  - nameni,
  - mikrostrukturi,
  - načinu dobijanja,
  - kvalitetu,
  - obliku i stanju poluproizvoda.
  
- **Prema hemijskom sastavu** čelici se dele na:
  - ugljenične čelike,
  - legirane čelike.

## Ugljenični čelici

---

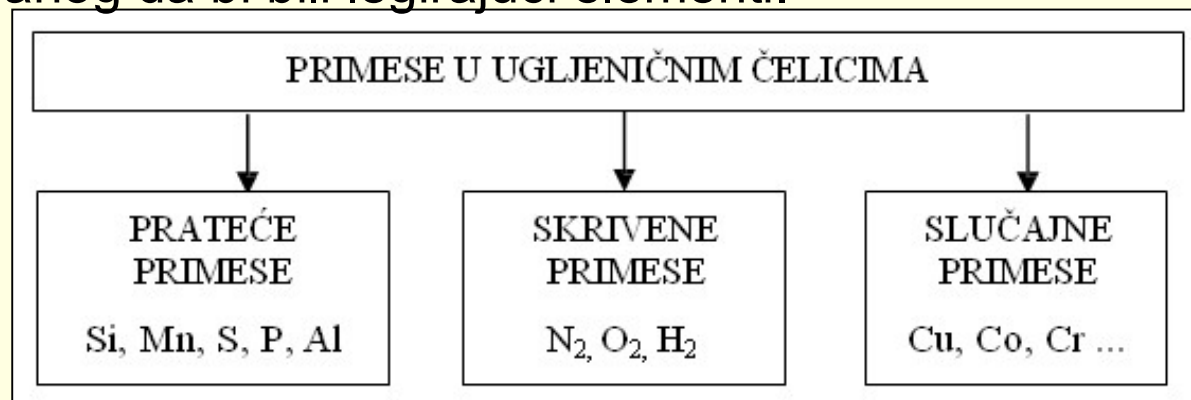
- Ugljenični čelici su legure železa i ugljenika (sa sadržajem C do 2,0%), u kojima su prisutne primese.
- Na ugljenične čelike otpada 90% svetske proizvodnje čelika, pa oni predstavljaju osnovni materijal u mašinskoj industriji.
- Prema sadržaju ugljenika, ovi čelici se dele na:
  - niskougljenične do **0,25% C**,
  - srednjeugljenične od **0,25% do 0,6% C**,
  - viskokougljenične preko **0,6% C**.
- Prema nameni, ugljenični čelici se dele na:
  - konstrukcione, do **0,6% C** i
  - alatne, preko **0,6% C**.

## Uticaj %C na mehanička svojstva ugljeničnih čelika



# Primeze u ugljeničnim čelicima

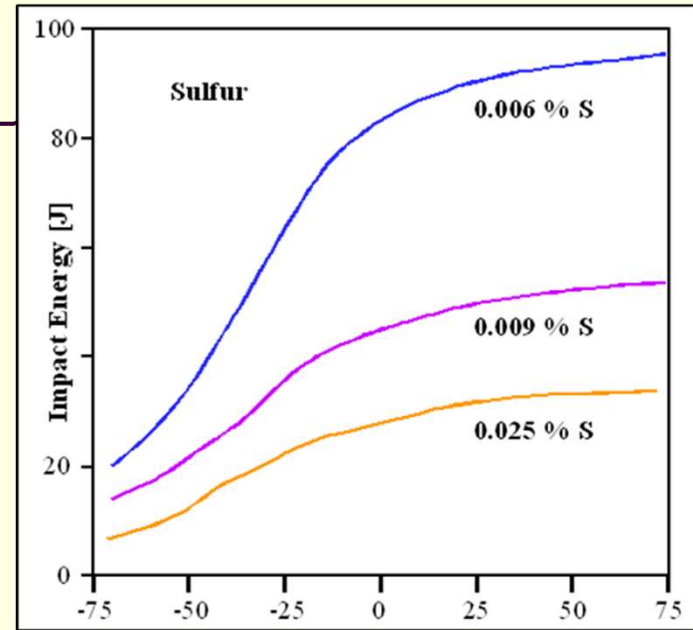
- **Primeze u čelicima mogu da budu:**
- **Prateće primeze** - iz rude železa (Mn, Si, P), iz goriva (S) i od sredstava za dezoksidaciju (Mn, Al i Si).
- **Skrivene primeze** u čeliku ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2$ ) rastvaraju se iz atmosfere.
- **Slučajne primeze** u čeliku (Cu, Pb, Sn, Sb i As) koje potiču iz polazne sirovine - rude, a njihova pojava i sadržaj vezani su za vrstu rude. Ima ih u čeliku u sadržaju manjem od minimalno propisanog da bi bili legirajući elementi.



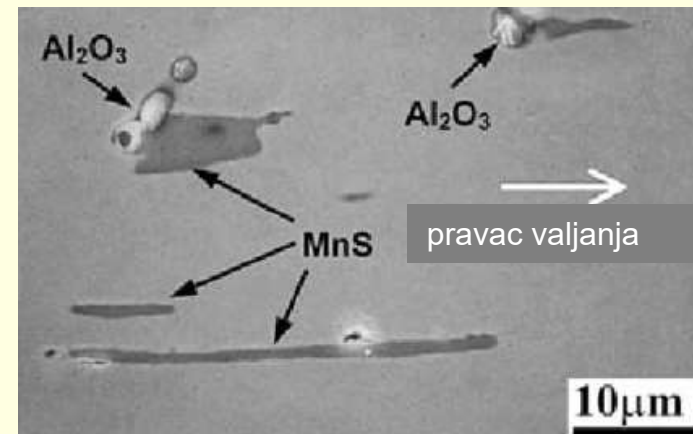
# Sumpor S

- Sumpor ima malu rastvorljivost u čelicima i može da se smatra nerastvorljivim.
- Kod konstrukcionih čelika max dozvoljena granica se stalno smanjuje (bila je 0.04%, ali već je ispod 0.02%).
- Kod kvalitetnijih čelika max sadržaj S ide ispod 0.01%, a sada je kod nekih čelika u standardima iz 2019-2020.god. max S sadržaj 0.005%
- Kod neumirenih čelika izdvaja se u sredini odlivka.
- Otežava/onemogućava zavarivanje.

S se vezuje sa Mn u MnS koji je deformabilan i izdužuje se kod valjanja.

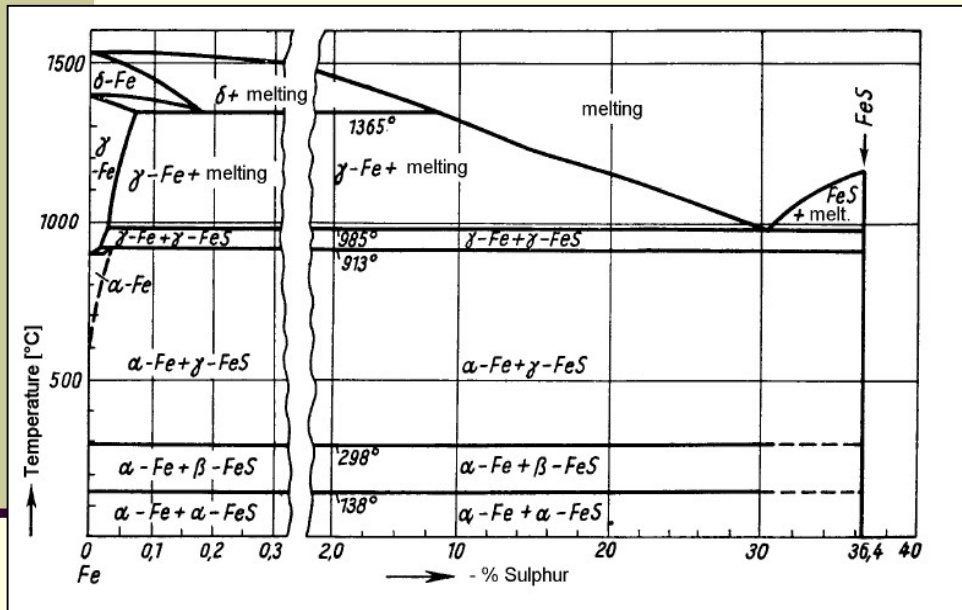


Smanjuje žilavosti čelika na sa porastom sadržaja S

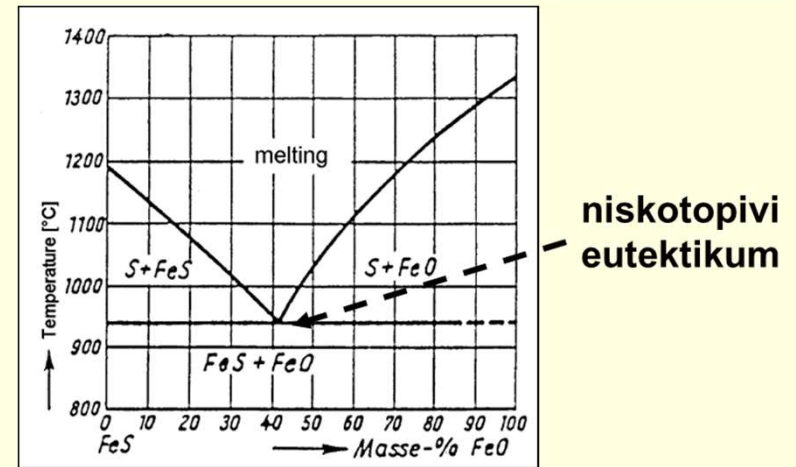


# Niskotopivi eutektikumi S

- Sa Fe i O stvara niskotopive eutektikume koji su odgovorni za stvaranje toplih prslina (preko 950°C)
- Na T od oko 800°C izaziva tzv crveni lom.



Dijagram stanja Fe-S



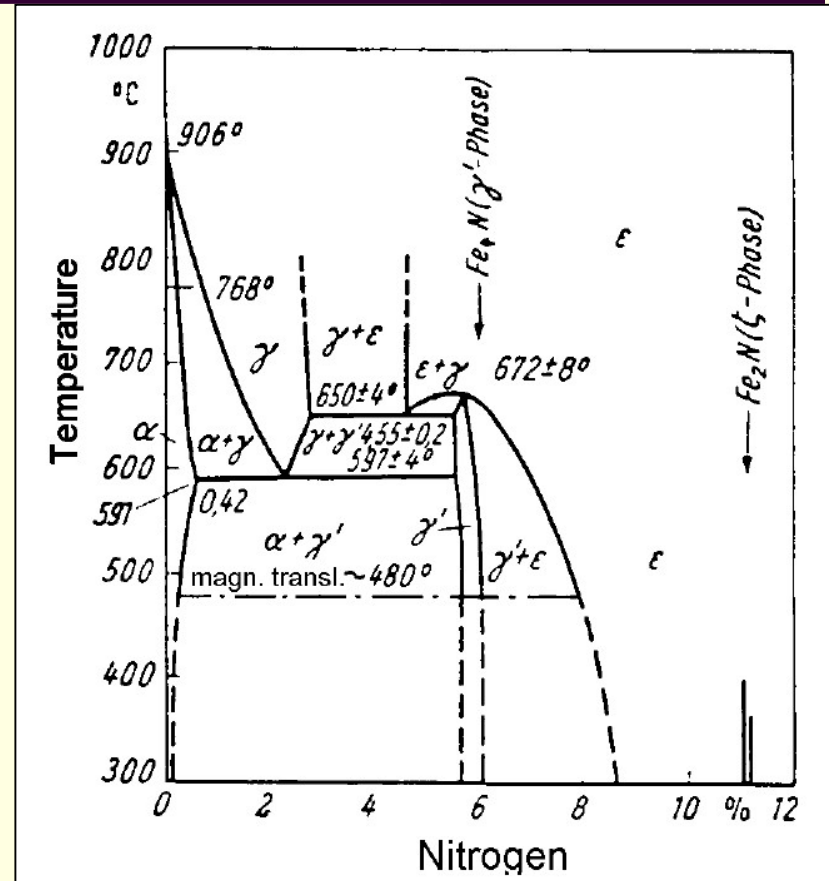
Dijagram stanja FeS-FeO

niskotopivi eutektikum



# Azot N

- Rastvara se u čelicima
- **Dovodi do starenja čelika** ali i do stvaranja nitrida koji su stabilniji od karbida
- Ograničen sadržaj na manje od 0.01 % ili uz legiranje Al, Nb i V može i nešto viši sadržaj



Dijagram stanja Fe-N

## Ostali elementi

Si

- sadržaj Si u čeliku daje informaciju o njegovoj dezoksidaciji
- čelici sa manje 0.1%Si su neumireni - segregacije
- čelici koji sadrže preko 0.6%Si su kruti i nisu pogodni za zavarivanje

Mn

- Mn ima veliki uticaj na **čvrstoću, žilavost i dinamičku čvrstoću**
- potrebno je min 0.2%Mn da bi vezao S u MnS i obezbedila žilavost
- uobičajeni sadržaj Mn je 0.4 - 0.6 %.
- dezoksidator – čelici sa preko 0.6 %Mn se mogu smatrati umirenim.
- kod finoizranih čelika sadržaj Mn 1.0-1.6 %.
- Mn utiče na zavarljivost
- čelici sa većim sadržajem Mn se ne koriste zbog loše žilavosti izuzev ako nisu austenitni čelici sa Mn

## Ostali elementi

---

O

- Kiseonik se rastvara u čelicima do sadržaja od 0.003 %, i izaziva krtost
- U sadržaju većem od 0.007 % je prisutan u uključcima.
- Dezoksidacija sa Si, Al ili Mn

H

- Vodonik dovodi do pojave krtosti
- Rastvorljiv je u čelicima do 0.0004 ml/100g na sobnoj T
- Ima veću rastvorljivost u martenzitu

## Podela legiranih čelika

- Legirani čelici osim ugljenika (i primesa) sadrže i druge legirajuće elemente, koji se dodaju radi poboljšanja zahtevanih svojstva.
- Legirani čelici se dele prema broju, sadržaju i vrsti legirajućih elemenata i nameni.
- **Prema broju** legirajućih elemenata, čelici se dele na jednostruko i višestruko legirane.
- **Prema ukupnom sadržaju** legirajućih elemenata, čelici se dele na:
  - nisko legirane – do 5% legirajućih elemenata i
  - visoko legirane – više od 5% legirajućih elemenata.

Min sadržaj legirajućih elemenata u čelicima, %

| element          | Si   | Mn   | Cr   | Ni   | W    | Mo   | V    | Co   | Ti   | Cu  | Al   |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| min. sadržaj (%) | 0,60 | 0,80 | 0,30 | 0,30 | 0,10 | 0,08 | 0,01 | 0,10 | 0,05 | 0,4 | 0,10 |

- **Prema nameni** čelici se dele na:
  - konstrukcione čelike,
  - alatne čelike,
  - čelike sa posebnim svojstvima.

## Legirajući elementi u čeliku

Legirajući elementi u čeliku mogu da:

- grade **čvrste rastvore** odnosno - rastvaraju u  $\alpha$  i  $\gamma$ -železu,
- grade sopstvene **karbide** ili se **rastvaraju u cementitu**,
- grade **intermetalna jedinjenja** ili **jedinjenja sa nemetalima** i
- budu u elementarnom obliku.

| Element    | Čvrst rastvor | Legirani cementit       | Karbid   | Jedinjenje                                     | Element. stanje |
|------------|---------------|-------------------------|--|--|-----------------|
| Nikl       | Ni            |                         |  | Ni <sub>3</sub> Al                             |                 |
| Silicijum  | Si            |                         |  | SiO <sub>2</sub> M <sub>x</sub> O <sub>y</sub> |                 |
| Mangan     | Mn            | (Fe, Mn) <sub>3</sub> C |  | MnS; MnOSiO <sub>2</sub>                       |                 |
| Hrom       | Cr            | (Fe, Cr) <sub>3</sub> C | Cr <sub>7</sub> C <sub>3</sub> ; Cr <sub>23</sub> C <sub>6</sub> |  |                 |
| Molibden   | Mo            |                         | Mo <sub>2</sub> C  |  |                 |
| Volfram    | W             |                         | W <sub>2</sub> C   |  |                 |
| Vanadijum  | V             |                         | VC   |  |                 |
| Titan      | Ti            |                         | TiC  |  |                 |
| Niobijum   | Nb            |                         | NbC  |  |                 |
| Aluminijum | Al            |                         |  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; AlN           |                 |
| Olovo      |               |                         |  |  | Pb              |

Jedan legirajući element može da učestvuje u više reakcija u čeliku npr. da gradi čvrste rastvore i karbide, itd.

## Legirajući elementi u čeliku

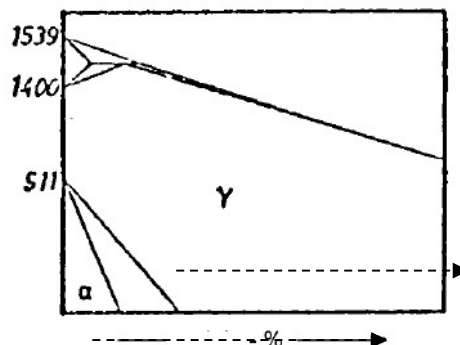
---

- Posebno značajna osobina legirajućeg elementa je doprinos obrazovanju ili stabilizaciji neke faze.
- Legirajući elementi su grupisani u one koji promovišu obrazovanje:
  - **austenita  $\gamma$** : **Ni, Co Mn, C, N, Cu** (proširuju  $\gamma$  oblast)
  - **ferita  $\alpha$** : **Cr, Al, Ti, Si, V, Mo, P, W, O, S, B, Zn, Nb, Ta** (sužavaju  $\gamma$  oblast)
  - **karbida ili nitrida** – **Cr, Mo, V, Ti, Nb, Ta, W, Mn,...**

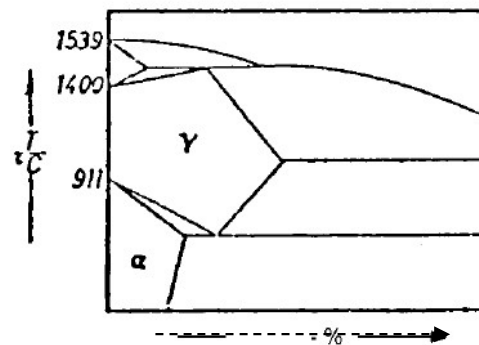
## Legirajući elementi – menjaju dijagram stanja

**austenito-**  
**obrazujući  $\gamma$ :** *Ni,*  
*Co, Mn* otvaraju  
 $\gamma$  oblast, dok je  
*C, N i Cu* je  
proširuju

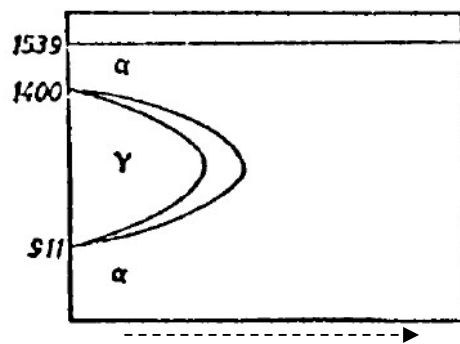
**ferito-**  
**obrazujući  $\alpha$ :**  
*Cr, Al, Ti, Si, V,*  
*Mo, P, W*  
zatvaraju  $\gamma$   
oblast, dok je *O,*  
*S, B, Zn, Nb, Ta*  
dodatno  
sužavaju



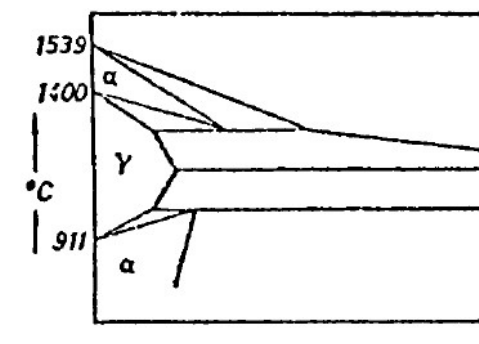
Ni, Co i Mn **otvaraju**  $\gamma$  oblast i  
ona nije ograničena



C, N i Cu **proširuju**  $\gamma$  oblast ali je  
ona ograničena



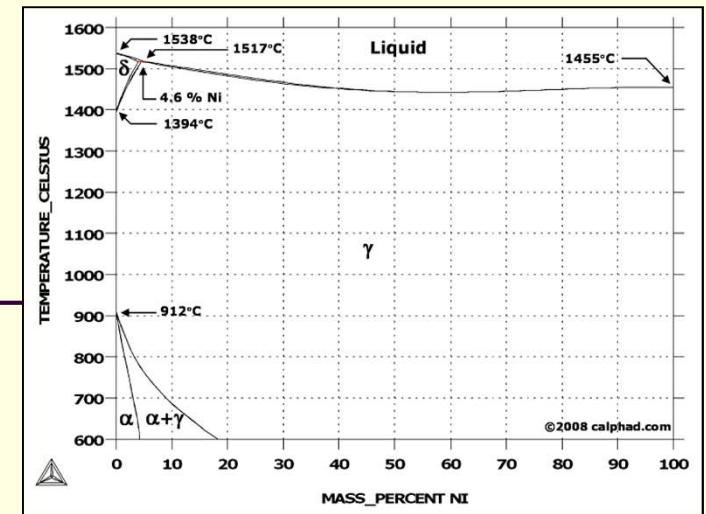
Cr, Al, Ti, Si, V, Mo, P, W  
**zatvaraju**  $\gamma$  oblast a  $\alpha$  oblast  
nije ograničena



O, S, B, Zn, Nb, Ta, **sužavaju**  $\gamma$  oblast,  
a  $\alpha$  oblast je ograničena

## Primer: Austenito-obrazujući elementi

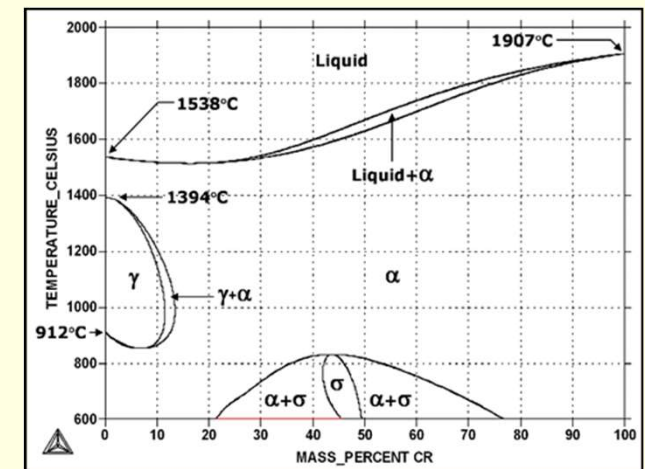
- 18%Cr i 8%Ni - austenitni čelik
- **Hadfieldov** čelik sa 13%Mn, 1,2%Cr i 1%C. U ovom čeliku u Mn i C stabilizuju austenit.



## Primer: Ferito-obrazujući elementi

- Legure Fe-Cr koje sadrže **više od 13%Cr** su feritne na svim temperaturama do početka topljenja.
- Niskouglenični čelici sa oko 3%Si su feritni i koriste se za transformatorske limove.

Dijagram Fe-Ni



Dijagram stanja Fe-Cr

## Odstupanja - Cr

- Uobičajeno je da se suprotni efekti legirajućih elemenata poništavaju, međutim postoje i odstupanja...
- Najbolji primer je hrom (Cr) – ako se u čelik koji sadrži Ni doda Cr u količini od oko **18%** onda **Cr pomaže da se stabilizuje  $\gamma$  faza (austenit) iako je Cr ferito-obrazujući element.**

## Karbido-obrazujući elementi

- Većina elemenata koji obrazuju karbide obrazuju i **ferit**.
- Svi karbidoobrazujući elementi su iz grupe prelaznih metala i **imaju veći afinitet prema ugljeniku od Fe**
- Afinitet elemenata prema ugljeniku raste u sledećem nizu:  
→ Cr, W, Mo, V, Ti, Nb, Ta, Zr.
- Uvek je u nekoj modifikaciji prisutna **KZC rešetka**

## Karbido-obrazujući elementi – legirani karbidi

- Neki karbidi ne sadrže železo, kao što su  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ,  $\text{W}_2\text{C}$ ,  $\text{VC}$ ,  $\text{Mo}_2\text{C}$ .
- Kompleksni karbidi mogu da sadrže i železo - na pr.  $\text{Fe}_4\text{W}_2\text{C}$ .
- Karbidi su obično označena kao  $\text{M}_6\text{C}$ ,  $\text{M}_{23}\text{C}_6$  i  $\text{MC}$ .  
*Slovo M predstavlja sve atome metala.*
- Tako  $\text{M}_6\text{C}$  može da predstavlja  $\text{Fe}_4\text{W}_2\text{C}$  ili  $\text{Fe}_4\text{Mo}_2\text{C}$ ;  
 $\text{M}_{23}\text{C}_6$  može da predstavlja  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ , a  $\text{MC}$  može da predstavlja  $\text{VC}$ .

## Stabilizatori karbida

- Stabilnost karbida zavisi od prisustva drugih elemenata u čeliku.
- Npr. **Mn**, koji je slab karbidoobrazujući element, relativno je jak stabilizator karbida.
- U praksi se **Cr najčešće koristi kao stabilizator karbida**
- Uticaj elemenata na stabilizaciju karbida:

|    |    |   |    |     |     |   |    |      |    |   |         |    |    |
|----|----|---|----|-----|-----|---|----|------|----|---|---------|----|----|
| Al | Cu | P | Si | Co  | Ni  | W | Mo | Mn   | Cr | V | Ti      | Nb | Ta |
| 0  | 0  | 0 | 0  | 0.2 | 0.3 | 2 | 8  | 11.4 | 28 |   | Rastuće |    |    |

## Grafito obrazujući elementi

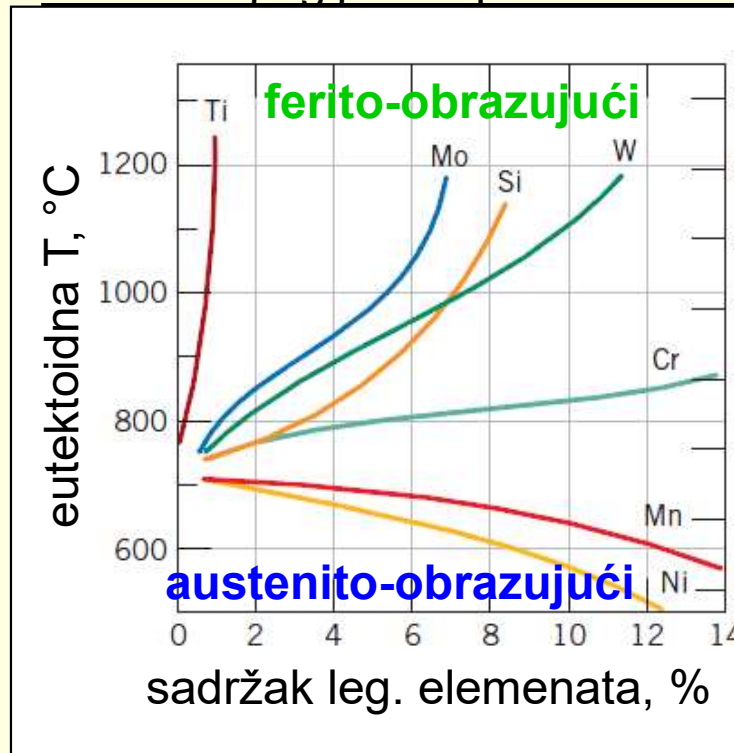
- Imaju KPC rešetku - Ni, Si, Al, Cu
- Stvaraju takve uslove da **ugljenik teži da se izdvoji u vidu grafita**
- Obično su  **$\gamma$  obrazujući elementi**

## Uticaj legiranja na rast zrna

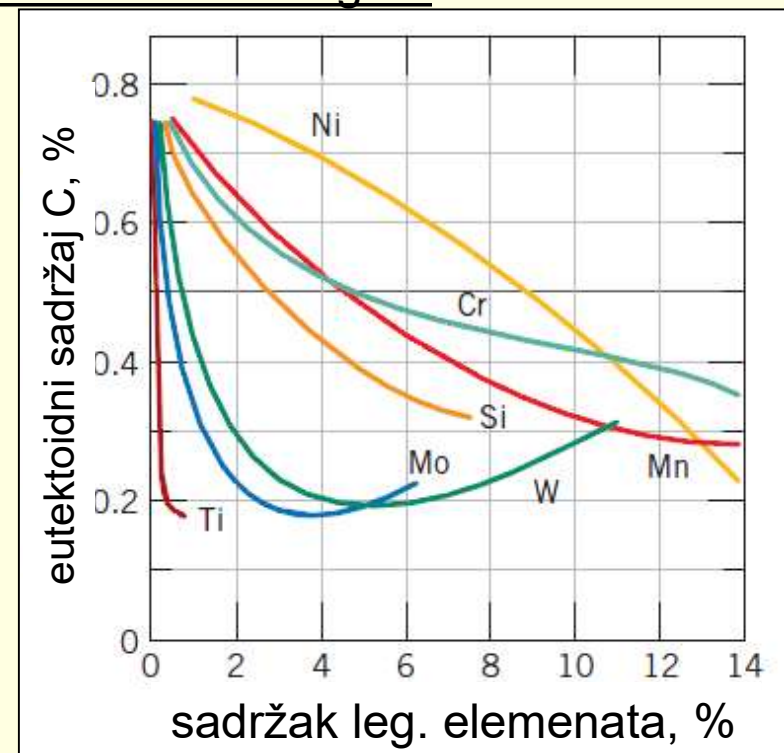
- Rafinirajući efekat imaju Ti, V, Nb, Al, Zr jer formiraju **fine karbide, nitride i karbonitrde na granicama zrna** koji sprečavaju migraciju granica (npr. V, koji dodat u malim količinama, oko 0,1%, sprečava rast zrna formiranjem karbida i nitrida; finozrni čelici - poznati su kao "mikrolegirani" čelici). Kompleksni karbidi W i Mo takođe sprečavaju rast zrna.
- Al-N čestica, ograničava rast zrna na temperaturama koje se obično koriste u termičkoj obradi.

## Uticaj legirajućih elemenata na eutektoidnu tačku

- Temperaturu A1 **snižavaju** elementi koji obrazuju **austenit**, a **povećavaju** oni koji obrazuju **ferit**.
- Takođe, sa porastom ukupnog sadržaja većine legirajućih elemenata snižava se sadržaj ugljenika pri kome se formira eutektoidna legura



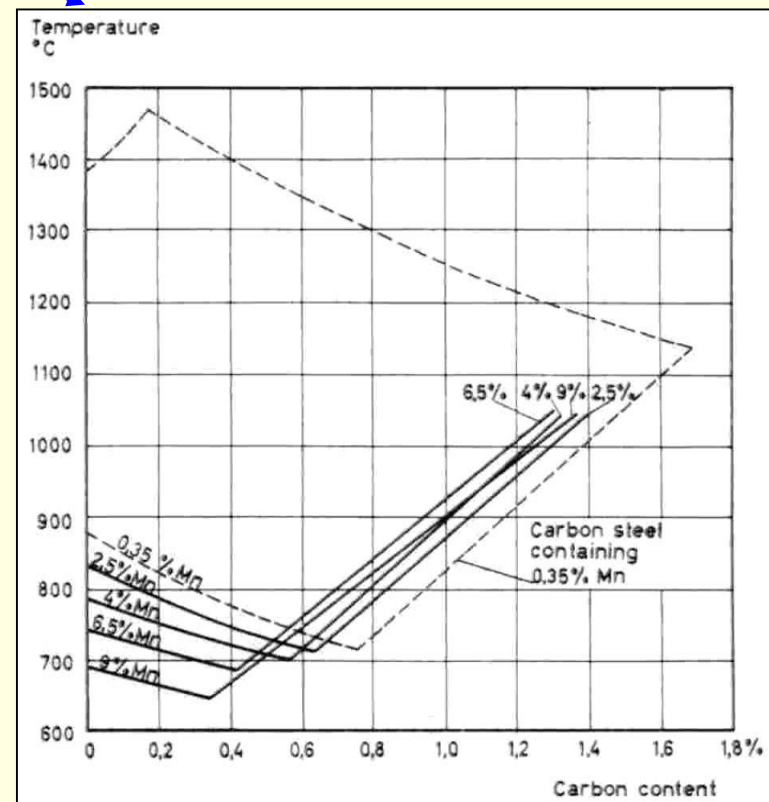
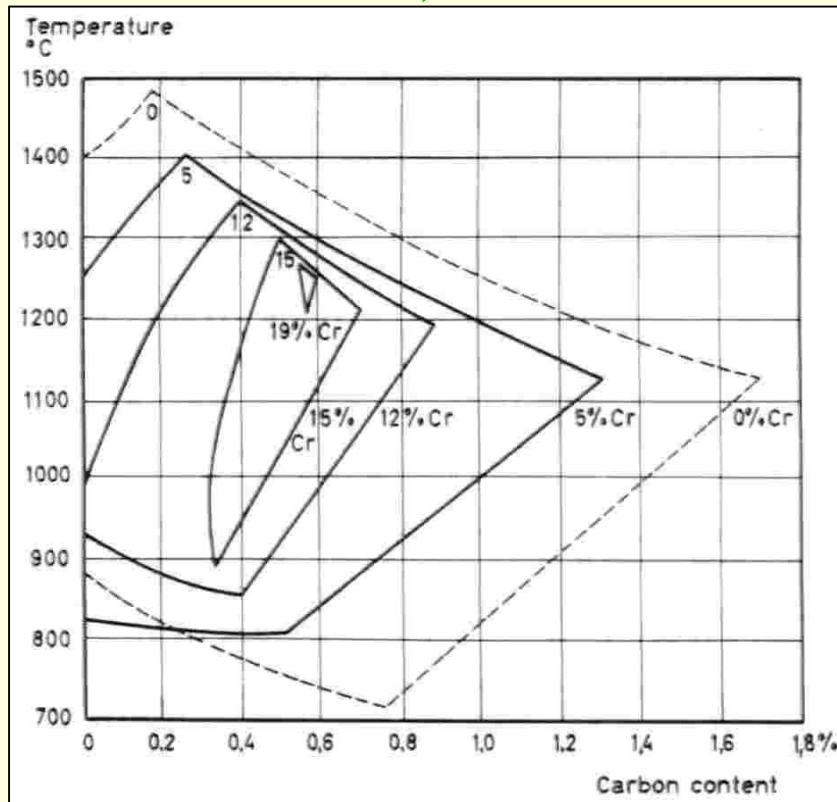
Uticaj sadržaja legirajućih elemenata na A1 temperaturu



Uticaj sadržaja legirajućih elemenata na eutektoidni sadržaj C<sup>25</sup>

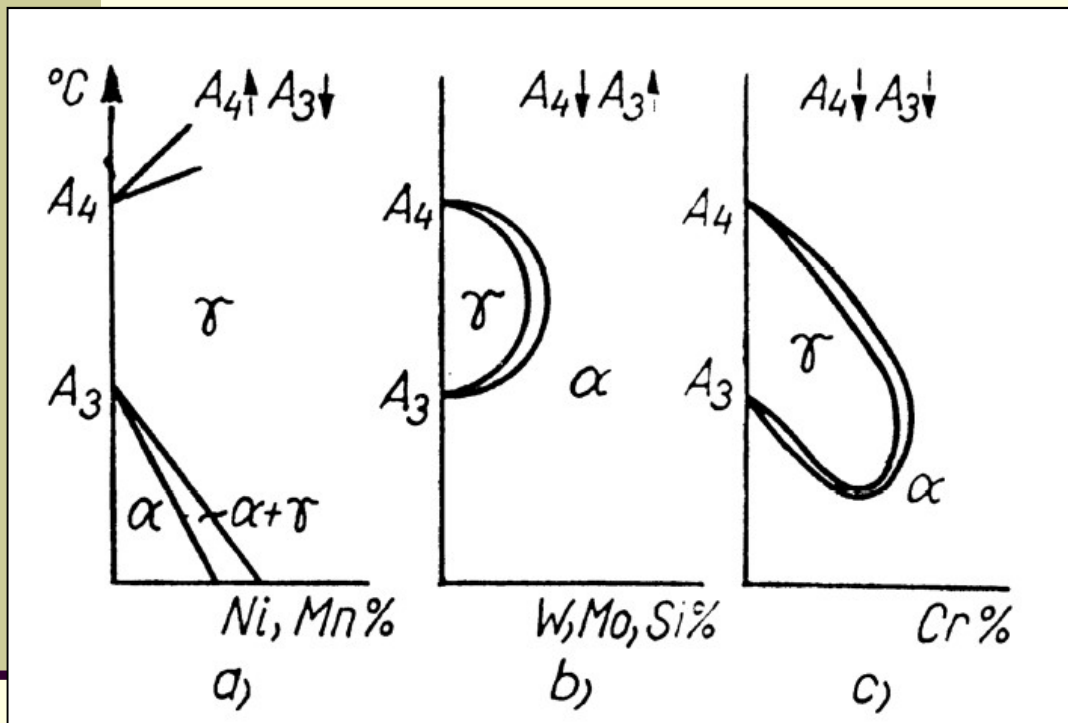
Primer: Uticaj sadržaja legirajućih elemenata na eutektoidni sadržaj C

Uticaj sadržaja **Cr** i **Mn** na položaj eutektoidne tačke



Sa porastom sadržaja legirajućih elemenata, eutektoidna legura se formira na nižem sadržaju %C.

## Pomeranje temperature A3 i A4 sa legiranjem



Podsećanje na karakteristične temperature (Fe):

1536°C -  $\delta \rightarrow L$

1392°C **A4** -  $\gamma \rightarrow \delta$

911°C **A3** -  $\alpha \rightarrow \gamma$

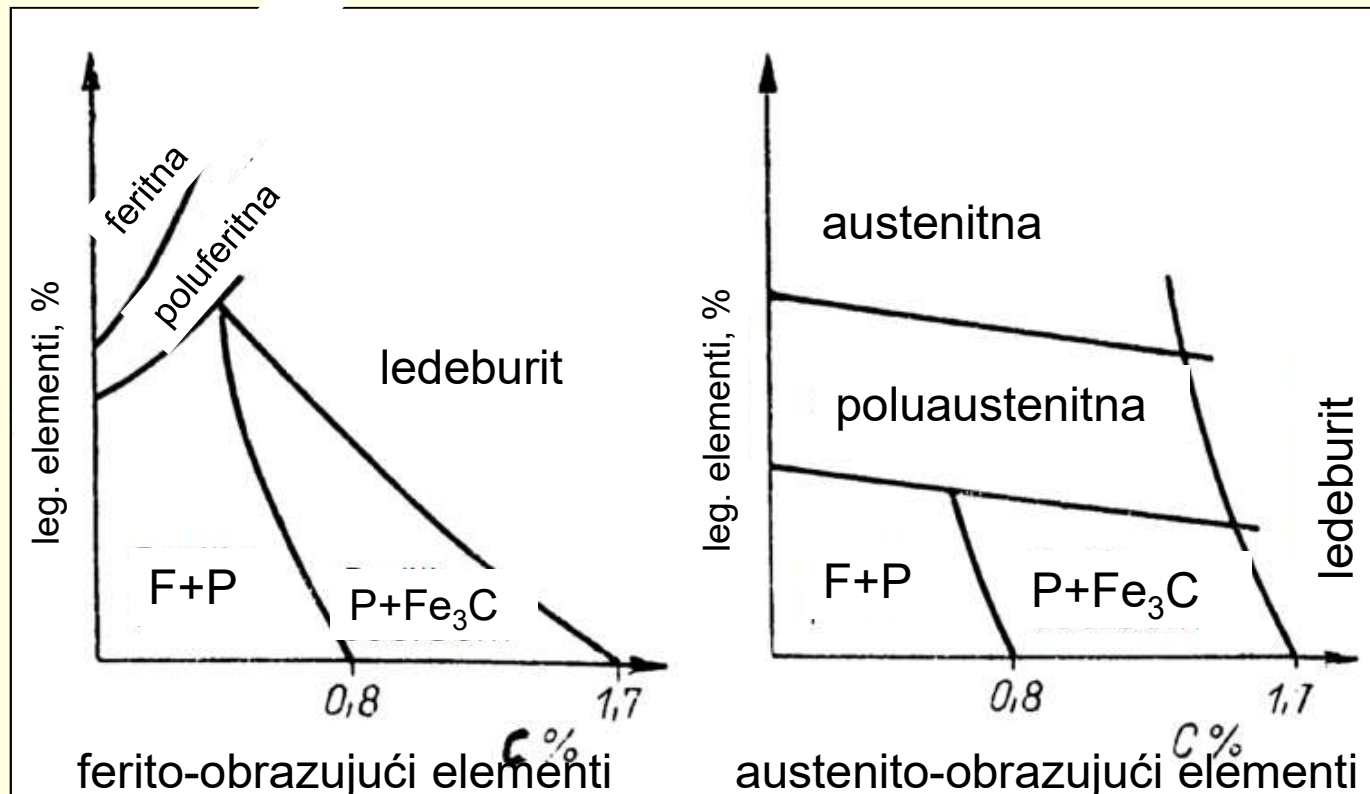
769°C **A2** -  $\alpha$  magnetično  $\rightarrow$   $\alpha$  nemagnetično ( $\beta$ ) – Kiri T

723°C – **A1** eutektoidna transformacija

Uticaj legirajućih elemenata na A4 i A3 temperature

# Uticaj legirajućih elemenata na mikrostrukturu čelika

Ferito i austenito-obrazujući elementi utiču na finalnu mikrostrukturu (npr. struktura **ledeburita** se javlja u alatnim čelicima)



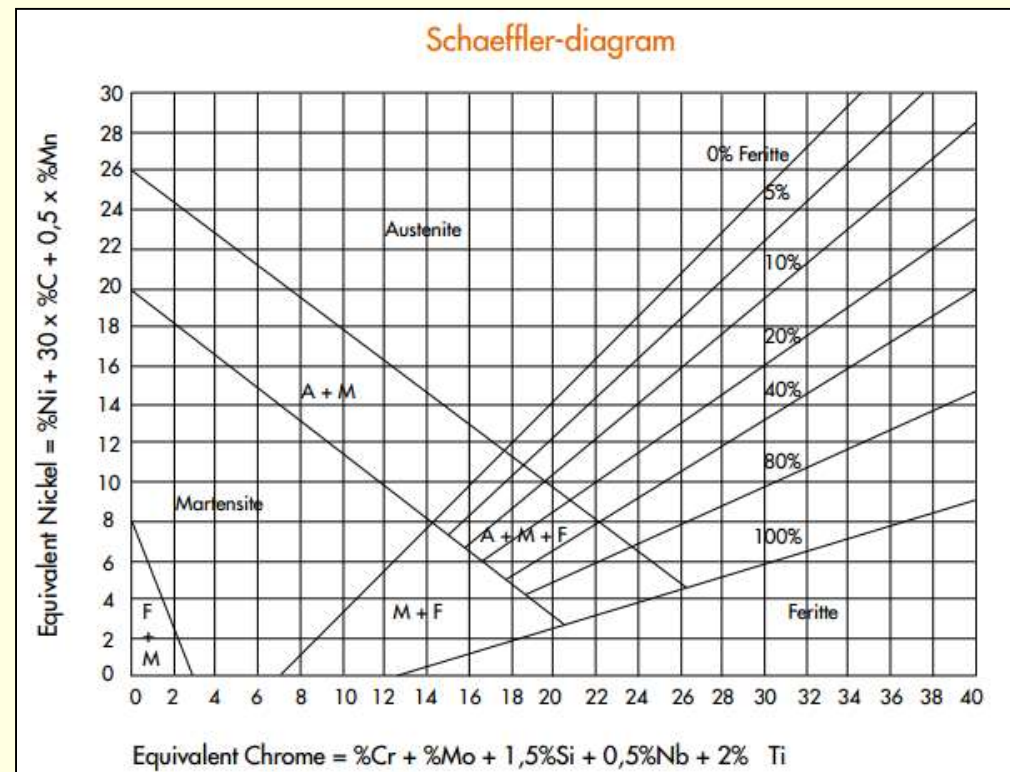
**Primer:** Hadfield čelik sa 13% Mn je austenitni zbog visokog sadržaja ugljenika. Ako se ugljenik smanji na oko 0,20% čelik postaje martenzitni.

## Primer: Šeflerov dijagram (Schäffler - De Long)

- Šeflerov dijagram je pogodan za prikaz uticaja hemijskog sastava dve grupe elementa (izražne preko ekvivalenata Cr i Ni) na dobijanje strukture pri brzom hlađenju sa 1050°C do sobne T.

- Vrlo važan za zavarivanje CrNi čelika sa do 0.12%C,** ali

- ne može da prikaže udeo karbidne faze!**

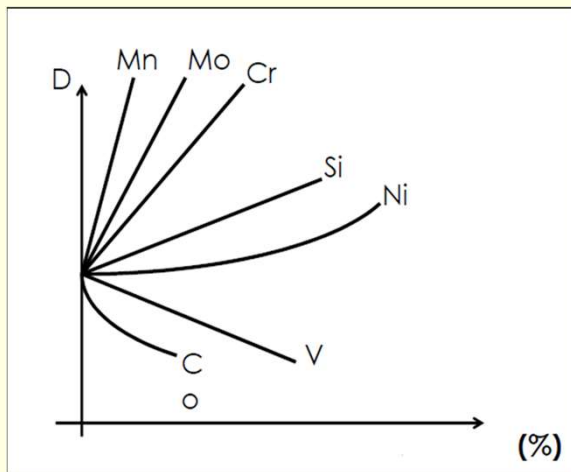


$$Cr_{eq} = (Cr) + 2(Si) + 1.5(Mo) + 5(V) + 5.5(Al) + 1.75(Nb) + 1.5(Ti) + 0.75(W)$$

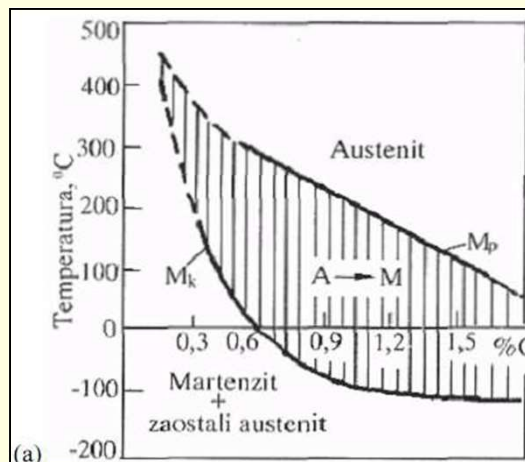
$$Ni_{eq} = (Ni) + (Co) + 0.5(Mn) + 0.3(Cu) + 25(N) + 30(C)$$

# Uticaj legirajućih elemenata na temperaturu martenzitne transformacije

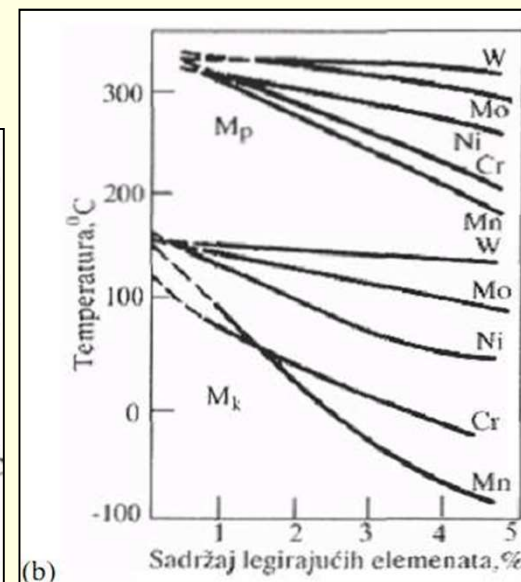
- Svi legirajući elementi, **snižavaju**  $M_s$  i  $M_f$  temperaturu izuzev **Co** i **Al**.
- **C** ima veći uticaj na  $M_s$  temperaturu od svih legirajućih elemenata.
- Sa porastom sadržaja leg. elemenata takođe:
  - **raste** sadržaj zaostalog austenita
  - **opada** kritična brzina hlađenja.
  - **uglavnom raste** prokaljivost



Mn, Mo, Cr, Si i Ni povećavaju prokaljivost po **Dzomini metodi** (dubinu sloja na kojoj se dostiže martenzit), dok npr V i Co snižavaju prokaljivost



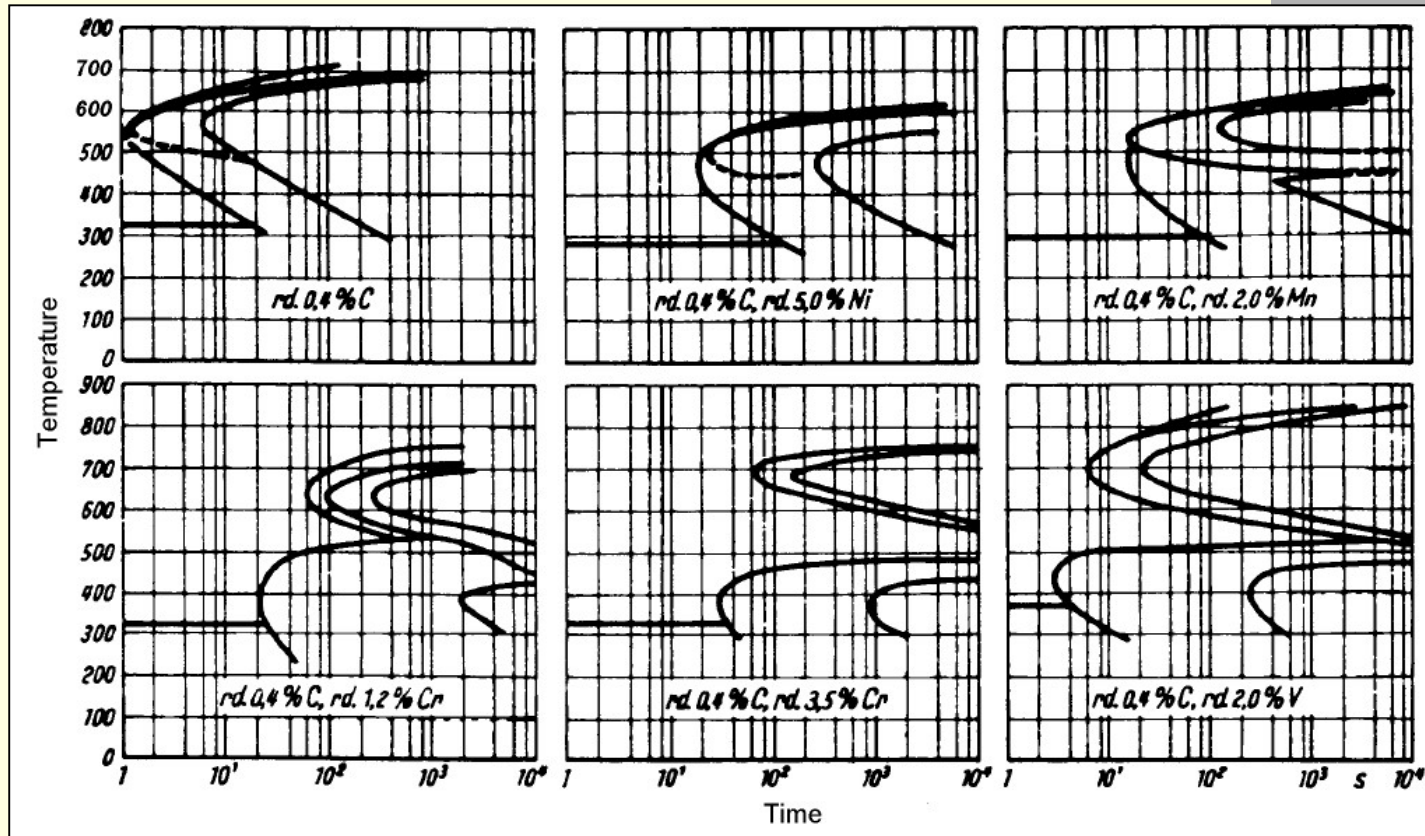
a) Uticaj sadržaja C na  $M_p$  ( $M_s$ ) i  $M_k$  ( $M_f$ );



b) Uticaj legirajućih elemenata na  $M_p$  ( $M_s$ ) i  $M_k$  ( $M_f$ )

# Uticaj leg. elemenata na izgled TTT dijagrama

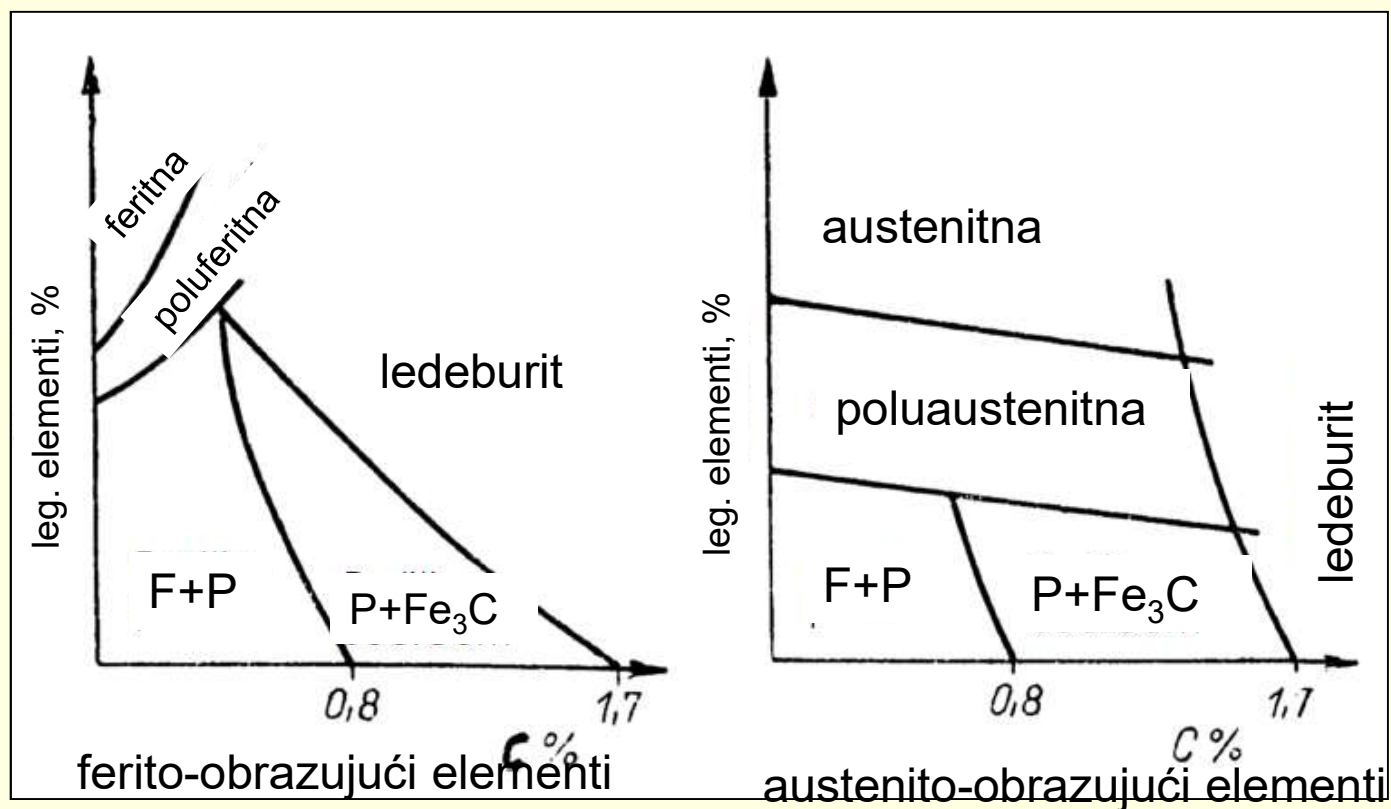
Pri istom sadržaju C od 0,4% legirajući elementi menjaju izgled krivih



Svi legirajući elementi (osim Co) pomeraju krive transformacije u TTT dijagramu u desno

## Uticaj legirajućih elemenata na mikrostrukturu čelika

Prema strukturi čelici se dele na: feritne, podeutektoidne, eutektoidne, nadeutektoidne, ledeburitne, austenitne i martenzitne.



Ferito i austenito-obrazujući elementi utiču na finalnu mikrostrukturu (tako se javlja i struktura **ledeburita** u alatnim čelicima)

# ALATNI ČELICI

---

- Alatnim čelicima nazivaju se **ugljenični i legirani čelici**, koji imaju **visoku tvrdoću i otpornost prema habanju**, a upotrebljavaju se za izradu različitog alata
- Pored dobrih mehaničkih svojstava čelici za alate moraju da imaju i druga važna svojstva, kao što su:
  - dobra **toplotna postojanost**,
  - **otpornost prema razugljeničenju površinskog sloja i oksidaciji**, (jer smanjuju čvrstoću, tvrdoću i otpornost prema habanju);
  - odgovarajuća **toplotna provodljivost**, da bi se sprečilo pregrevanje, a time i smanjenje tvrdoće;
  - mali koeficijent linearnog širenja na temperaturama kojima je alat izložen u toku rada, tj. **dimenziona postojanost**;
  - dobra obrada brušenjem- za alate za merne instrumente.

# Alatni čelici

## Zahtevi:

- visoka tvrdoća i otpornost na habanje
- visoka čvrstoća i žilavost
- toplotna postojanost

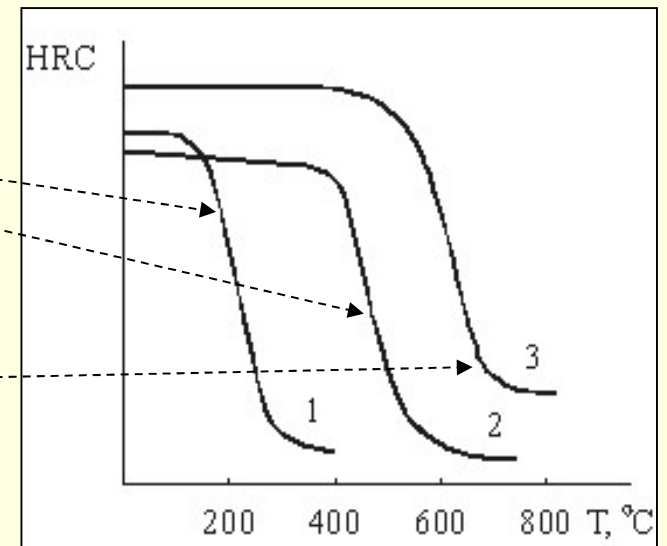
Alatni čelici se dele na:

- ugljenične alatne čelike (C = 0,6-1,4%)
- legirane alatne čelike (C = 0,4-1,6%)

**Legirani alatni** čelici mogu da budu:

- **1)** za obradu na hladno ( $\rightarrow 200-250^{\circ}\text{C}$ )
- **2)** polu toplotno postojani ( $\rightarrow 300\dots 500^{\circ}\text{C}$ )
  - za hladnu deformaciju
  - za toplu deformaciju
- **3)** toplotno postojani ( $\rightarrow 500\dots 750^{\circ}\text{C}$ )
  - visoka tvrdoća posle otpuštanja dobijena **karbidima**,
  - visoka tvrdoća posle otpuštanja dobijena **intermetalnim** jedinjenjima

Namena alatnih čelika zavisi od tvrdoće/čvrstoće na povišenim temperaturama



## Ugljenični alatni čelici

---

- Ugljenični alatni čelici sadrže **0,6 – 1,4% C**.
- Karakteristična su im sledeća svojstva:
  - **visoka tvrdoća** (60 – 64 HRC),
  - **dobra otpornost na habanje do 150°C** - zbog toga se od ugljeničnih alatnih čelika ne izrađuje rezni alat za veće brzine rezanja zbog većeg zagrevanja
  - **imaju relativno dobru žilavost** - za izradu alata izloženog jačim udarnim opterećenjima.
  - **od ugljeničnih alatnih čelika mogu da se izrađuju alati jednostavnog oblika i manjih dimenzija.**

## Legirani alatni čelici

---

- **Legirani alatni čelici za rad u hladnom stanju:**
  - Namenjени za oblikovanje i mehaničku obradu **do 200°C**.
  - Osnovni legirajući elementi - **Cr**, a po potrebi se dodaju Mo, W i V.
  - Ovi čelici se primenjuju za alate za procesanje i probijanje, udarne alate, alate za presovanje i vučenje, delove drobilica, mlinova i bagera, alate za poljoprivredu i merne alate.
- **Legirani alatni čelici za rad u toplom stanju:**
  - namenjeni za izradu alata za:
    - kovanje i presovanje šipki i cevi,
    - za livenje pod pritiskom,
    - za izradu valjaka, matica, zakovica i čepova.
  - Osnovni legirajući elementi kod ove vrste čelika su **Cr, Mo i V**, a često se dodaje i **W**.

## Brzorezni alatni čelici

---

- Brzorezni alatni čelici su - zadržavaju visoku tvrdoću i otpornost prema habanju na povišenim temperaturama (**500...750°C**) koje se pojavljuju na površinama alata pri rezanju velikim brzinama.
- Dozvoljavaju **2–4 puta veće brzine rezanja**, a **postojanost je 10–30 puta veća** od ugljeničnih čelika.
- Brzorezni čelici se dele na:
  - **Mo i Co** brzorezni čelici - visoka otpornost na habanje i relativno dobra žilavost. Koriste se za izradu alata izloženih udarima u toku rada (noževi i glodači za grubu obradu, spiralne burgije).
  - **W** brzorezni čelici - za visoko opterećene alate pri velikim brzinama rezanja i za grubu obradu pod najtežim uslovima.

## Brzorezni alatni čelici TO

Tokom termičke obrade brzorezni čelici mogu da **ojačavaju** izdvajanjem karbida ili intermetalne faze:

1) stvaraju **karbide** tokom TO

- ako su legirani **W (18 or 9%) + Mo, V, Co**
- TO: Austenitizacija (1200...1300°C)+3x otpuštanje (570...650°C) → 64...65 HRC

2) stvaraju **intermetalike** tokom TO

- ako su sadrže **20-25% Co, 11-20% W, 7% Mo** (0,1-0,3% C)
- Legirajući elementi Co, W, Mo obrazuju ojačavajuće intermetalne faze →  $\text{Co}_7\text{W}_6$ ;  $(\text{Co,Fe})_7\text{W}_6$  itd.
- TO: Austenitizacija (1200...1300°C) → 68 HRC Otpuštanje (700...720°C) → 60 HRC

## Visokolegirani nerđajući čelici

---

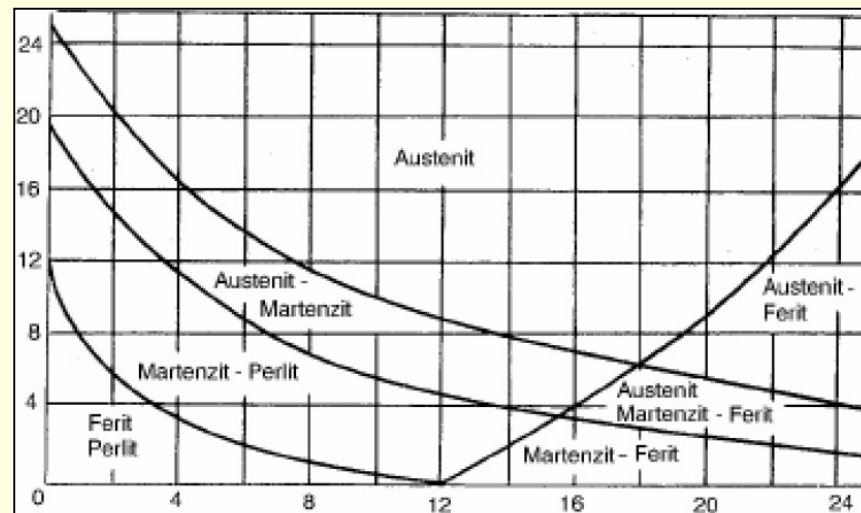
- Prvi put je uočeno 1892 god da su čelici legirani Cr otporni na kiseline.
- 1912 Krupp je prvi istraživao Cr-Ni čelike i u to vreme je započela njihova proizvodnja.
- Prvi dupleks čelici – 1930.
- Masovna proizvodnja – posle II svetskog rata.
- Visok kvalitet posle otkrica procesa uklanjanja ugljenika pri dobijanju čelika (O2 Ar - AOD).
- Najveće dostignuće novijeg datuma je uvođenje N kao legirajućeg elementa.

# Osobine nerđajućih čelika

---

- **Električna otpornost**
  - Veća od ugljeničnih čelika
- **Termička provodnost**
  - 40-50% manja od ugljeničnih čelika
- **T topljenja nešto niža**
  - Ugljenični: 1480-1540 °C
  - Martenzitni: 1400-1530 °C
  - Feritni: 1400-1530 °C
  - Austenitni: 1370-1450 °C
- **Koeficijent linearnog širenja**
  - Veći od običnih ugljeničnih čelika
- **Čvrstoća**
  - Visoka na sobnoj i povišenim T
- **Stanje površine**
  - formira filmove
- **Gustina**
  - austenitni čelici imaju najveću gustinu - 7.9-8.1g/cm<sup>3</sup>

## Podela nerđajućih čelika prema mikrostrukturi



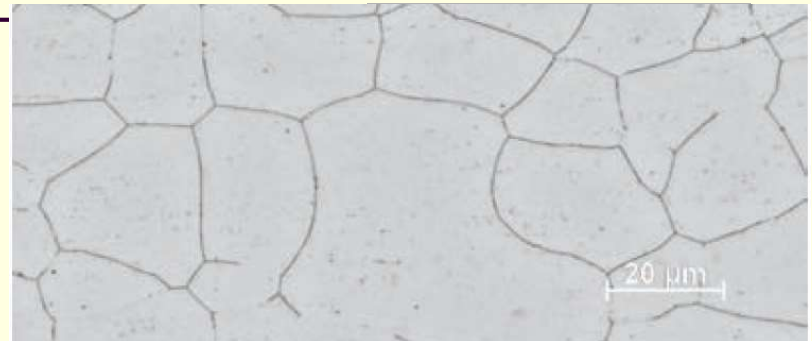
**Maurerov dijagram za CrNi čelike**

Postoji vrlo veliki broj tipova nerđajućih čelika za različite namene, tako da je nađeno kompromisno rešenje da se izvrši podela prema mikrostrukturi na sobnoj T na:

- Feritne čelike
- Martenzitne i čestično ojačane čelike
- Dupleks (feritno austenitne) čelike
- Austenitne čelike

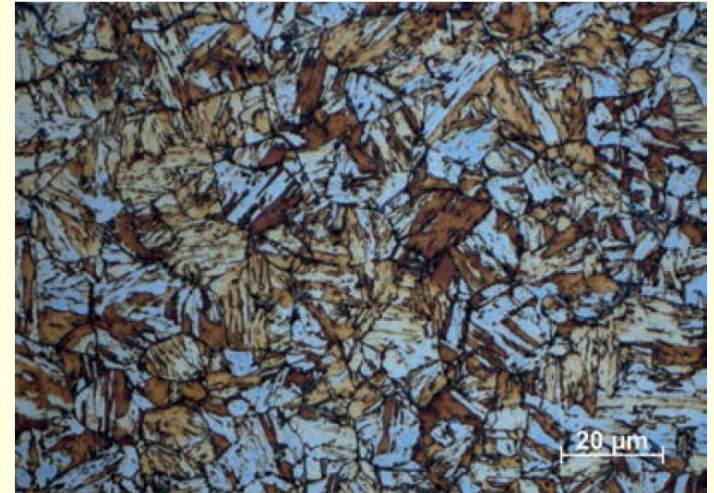
## Feritni nerđajući čelici

- Sadrže **Cr 12-30% i 0,02-0,12%C**
- Vrlo mali sadržaj Ni
- Ne ojačavaju termičkom obradom
- Mo se dodaje da se podigne otpornost na koroziju
- Feritni čelici ili Cr čelici su magnetični
- Feritni čelici za povišene temperature (800-1150°C) sadrže nešto više C, a dodaju im se i Al i Si da bi im porasla otpornost na oksidaciju
- Feritni čelici za povišene temperature koriste se za atmosfere koje sadrže S (koji reaguje sa Ni) i kada su u pitanju niski radni naponi jer im je niža čvrstoća.



## Martenzitni nerđajući čelici

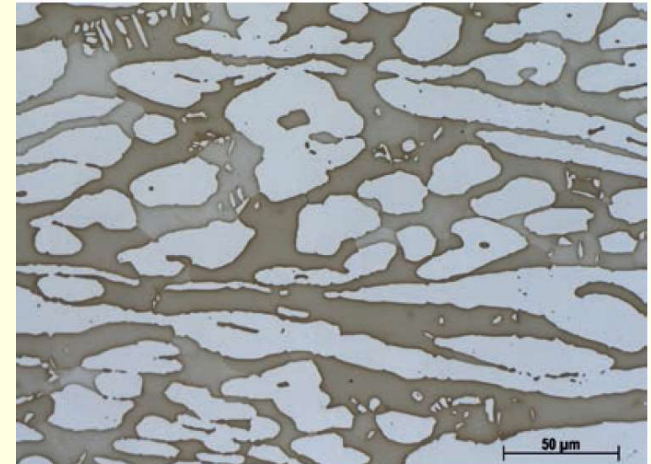
- Najmanja grupa nerđajućih čelika
- Visok sadržaj C – 0,2-1,2%
- Visok sadržaj Cr – 12-18%
- Dodaje se i N za dodatno ojačavanje
- Vrlo mali sadržaj Ni (ako se doda može da se smanji sadržaj C i popravi zavarljivost) i Mo
- Martenzit se dobija termičkom obradom
- Čestično ojačavanje i **visoka čvrstoća**
- **Svi su magnetični**



# Dupleks nerđajući čelici

tamno – ferit  
svetlo - austenit

- Feritno austenitna struktura (50% : 50%)
- Imaju osobine i austenitnih i feritnih čelika
- Visoka čvrstoća
- Visoka otpornost na rast prslina
- Nizak sadržaj **C (0,03-0,05%)**, **sadržaj Cr (21-28%)**
- Nizak sadržaj **Ni 3,5-7%**
- Dodaje se i **N** i za dodatno ojačavanje
- Dodaje se Mo (0.3-4%) za povećanje otpornosti na koroziju
- Nekim klasama čelika se dodaje Mn umesto Ni (povećava rastvorljivost N)
- **Magnetični su zbog ferita**



## Austenitni nerđajući čelici

---

- Najveća grupa nerđajućih čelika koja uobičajeno sadrži **0,01-0,12%C, 17-36%Cr i 5-32%Ni**
- Dele se na:
  - Cr-Mn
  - Cr-Ni
  - Cr-Ni-Mo
  - sa visokim performansama
  - za visoke T
- Dobra čvrstoća
- Dobra zavarljivost
- Dobra žilavost (za niske T)
- **Nemagnetični** su posle rastvarajućeg žarenja

# Austenitni nerđajući čelici

## ■ Cr-Ni čelici

- Za opštu upotrebu (kao npr. CrNi 18-8)
- Nekim se klasama dodaje N za ojačavanje ili S za bolju obradivost
- Postoje i **stabilizovane klase** kojima se dodaju **Ti i Nb** da bi formirali ojačavajuće čestice (i sprečila senzitivizaciju)

## ■ Cr-Mn čelici

- Manji sadržaj Ni (oko 4%) **jer ga menja Mn**, a kao  $\gamma$  stabilizator se dodaje i **N**, sadržaj **Cr oko 17%**
- imaju višu čvrstoću

## ■ Cr-Ni-Mo čelici

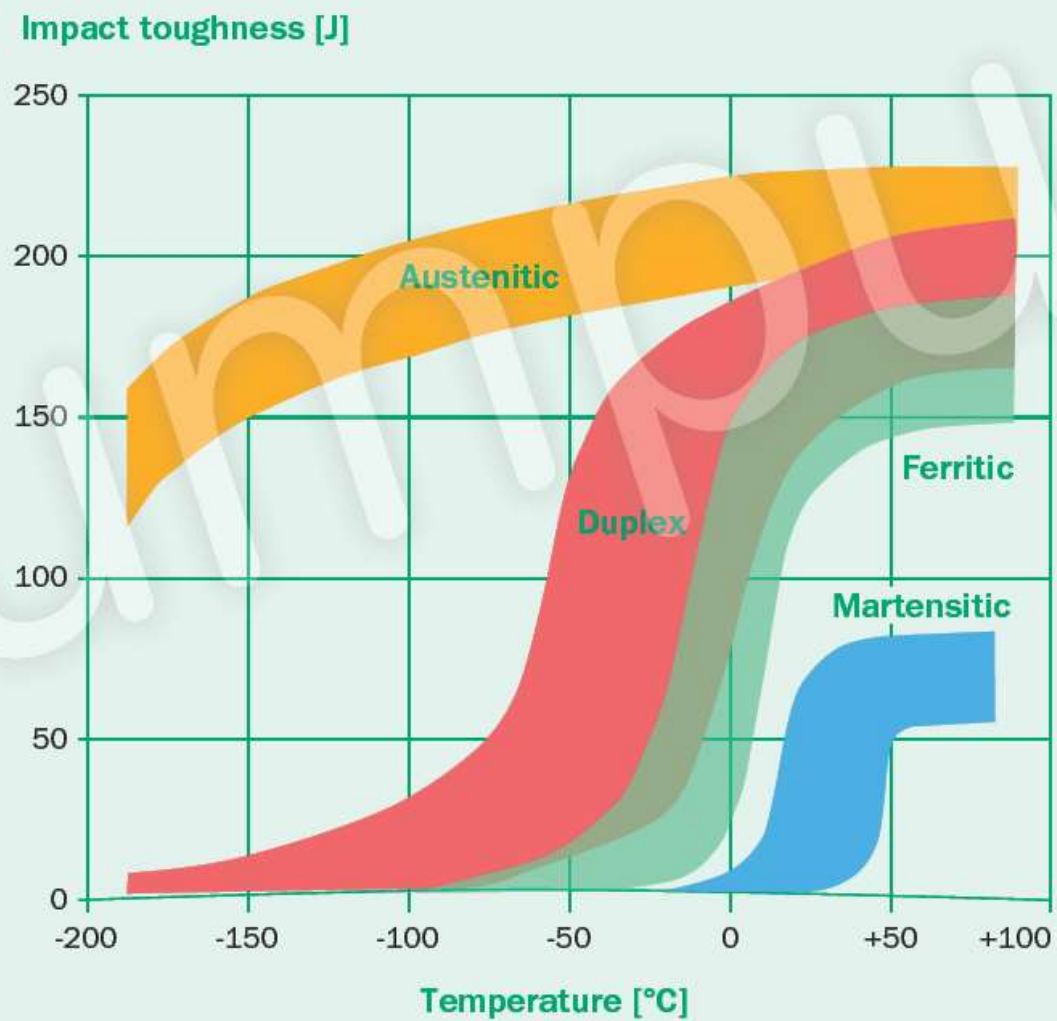
- Sadržaj **Cr oko 17%**, **Ni 10-13%**, **Mo 2-3%**
- **otporni na kiseline**
- Nekim se klasama dodaje N za ojačavanje ili S za bolju obradivost
- Postoje i stabilizovane klase kojima se dodaju Ti i Nb da bi formirali ojačavajuće čestice (i sprečili senzitivizaciju)

## Austenitni nerđajući čelici

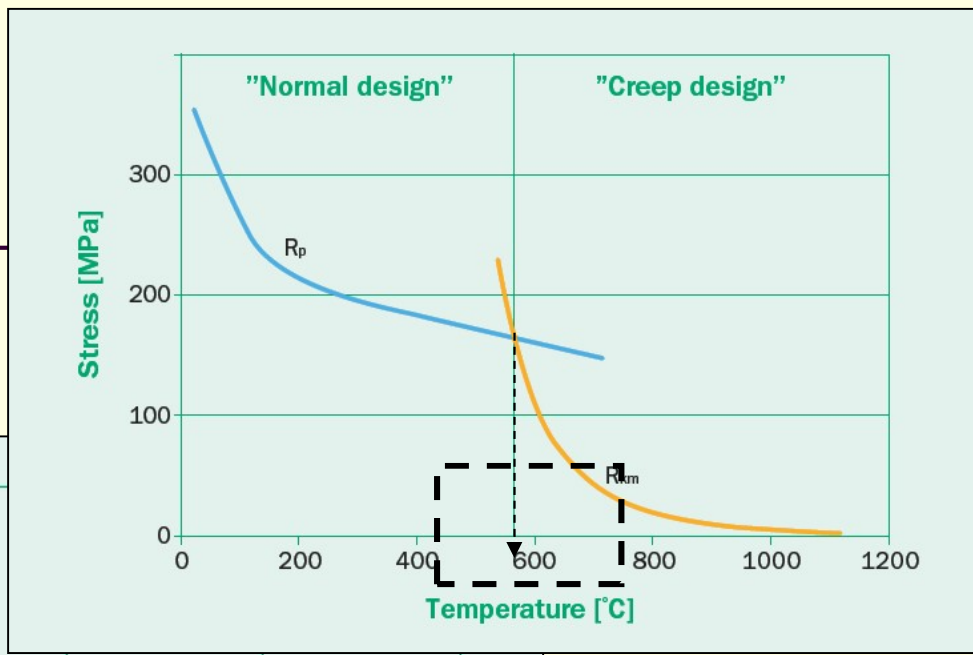
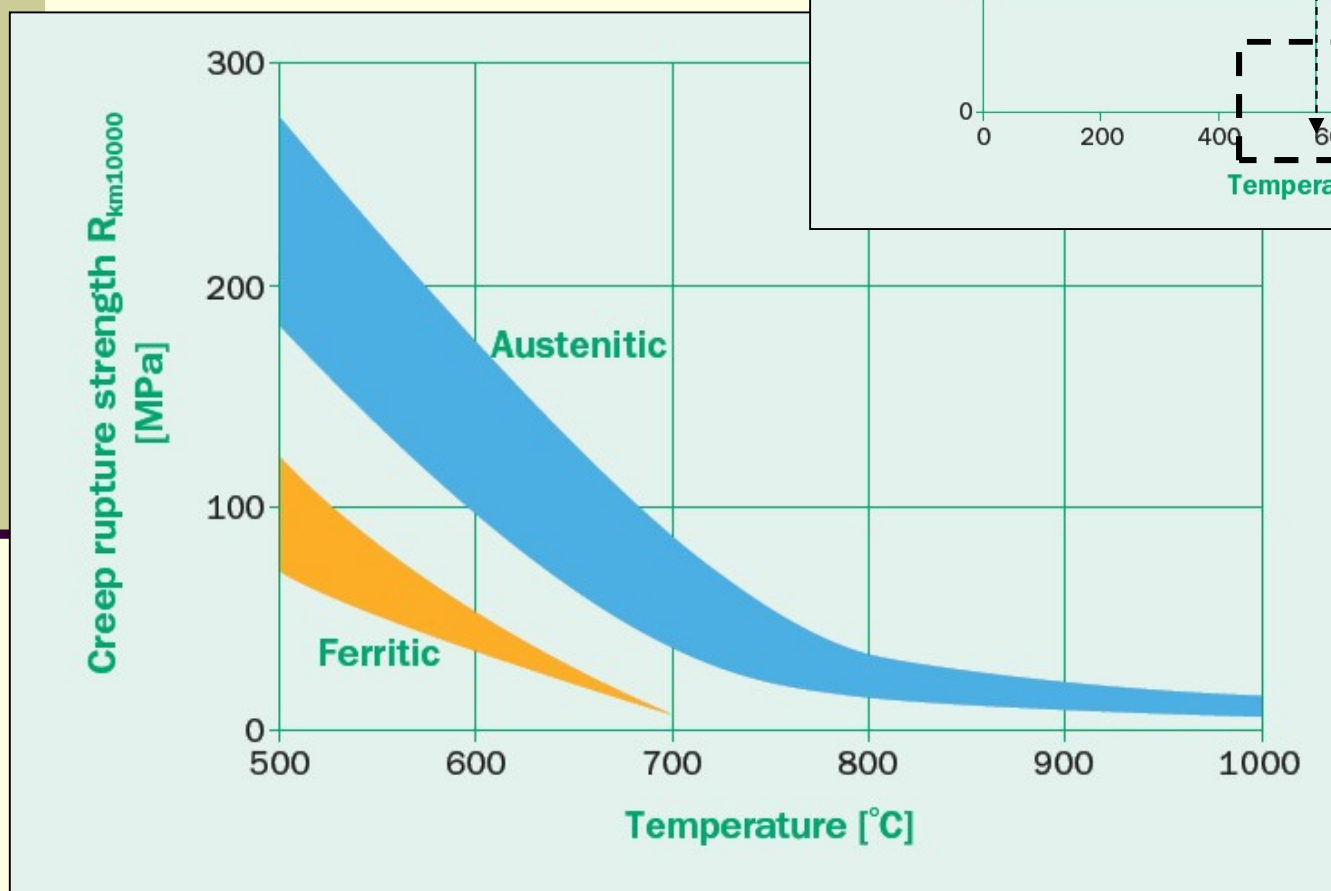
---

- sa visokim performansama (super austenitni)
- Sadržaj Cr 17-25%, Ni 14-25%, Mo 3-7%
- Legiraju se N i Cu (za otpornost na neke kiseline)
  
- za povišene T
- Sadržaj Cr oko **17-25%**
- Sadržaj Ni oko **8-20%**
- ne sadrže Mo
- Dodaje se **Si** da bi podigao otpornost na oksidaciju
- Legiraju se N da se dobije bolja otpornost na puzanje
- Koriste se za temperature  $>550^{\circ}\text{C}$
- Otporni su na oksidaciju ( $800-1150^{\circ}\text{C}$ ) u gasovitoj sredini
- Nisu specijalno otporni na koroziju u vodenoj sredini

# Žilavost nerđajućih čelika



# Otpornos na puzanje nerđajućih čelika



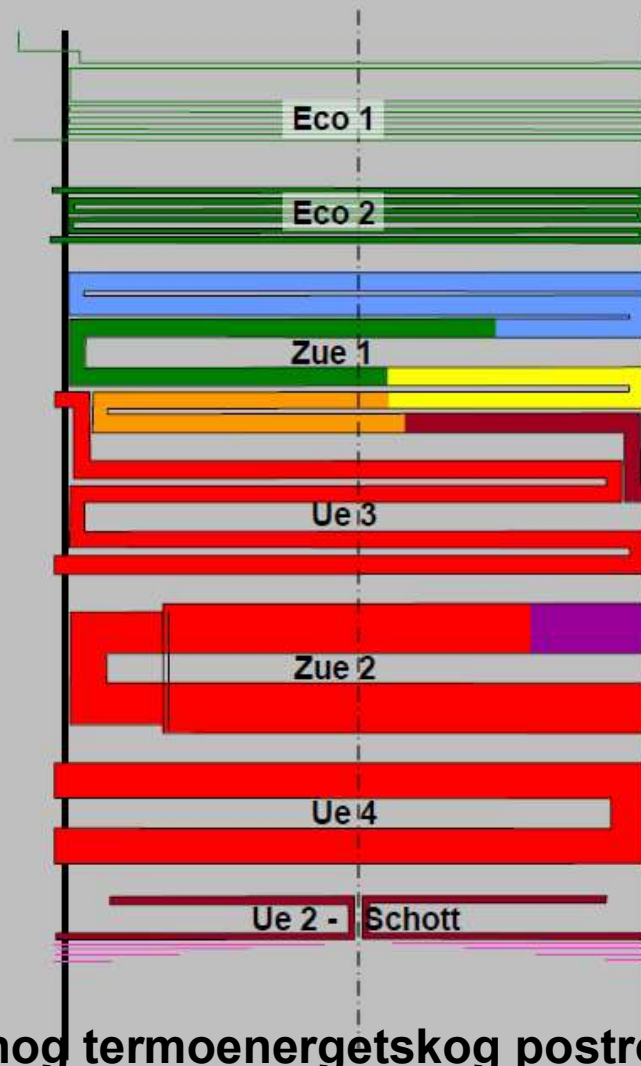
početak puzanja  
na  $T <$  od oko  $600^{\circ}\text{C}$

## Toplotno postojani čelici – svi čestično ojačani čelici

| Precipitate                    | Structure     | Parameter (Å)   | Composition   |
|--------------------------------|---------------|-----------------|---|
| NbC                            | fcc           | a=4.47          | NbC   |
| NbN                            | fcc           | a=4.40          | NbN   |
| TiC                            | fcc           | a=4.33          | TiC   |
| TiN                            | fcc           | a=4.24          | TiN   |
| Z-phase                        | tetragonal    | a=3.037 c=7.391 | CrNbN   |
| M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> | fcc           | a=10.57-10.68   | Cr <sub>16</sub> Fe <sub>5</sub> Mo <sub>2</sub> C(e.g.)  |
| M <sub>6</sub> C               | diamond cubic | a=10.62-11.28   | (FeCr) <sub>21</sub> Mo <sub>3</sub> C; Fe <sub>3</sub> Nb <sub>3</sub> C; M <sub>5</sub> SiC       |
| Sigma                          | tetragonal    | a=8.80 c=4.54   | Fe,Ni,Cr,Mo   |
| Laves phase                    | hexagonal     | a=4.73 c=7.72   | Fe <sub>2</sub> Mo, Fe <sub>2</sub> Nb  |
| χ-phase                        | bcc           | a=8.807-8.878   | Fe <sub>36</sub> Cr <sub>12</sub> Mo <sub>10</sub>  |
| G-phase                        | fcc           | a=11.2          | Ni <sub>16</sub> Nb <sub>6</sub> Si <sub>7</sub> , Ni <sub>16</sub> Ti <sub>6</sub> Si <sub>7</sub> |

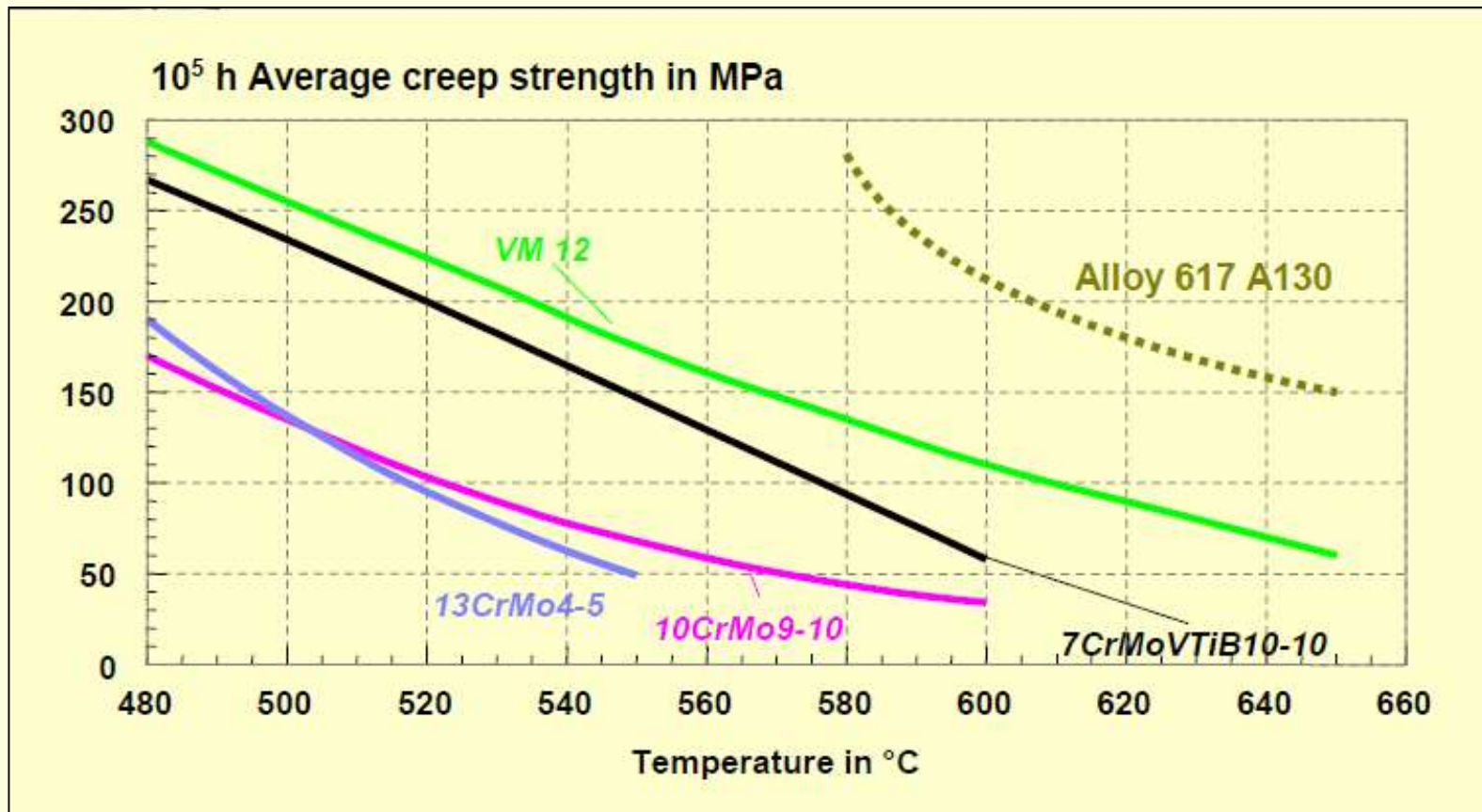
## Uloga toplotno postojanih čelika – cilj 700°C

|   |              |
|---|--------------|
|    | 16Mo3        |
|    | P265GH       |
|    | 13CrMo4-5    |
|    | 10CrMo9-10   |
|    | X20CrMoV11-1 |
|   | Super 304H   |
|  | HR3C         |
|  | VM12         |

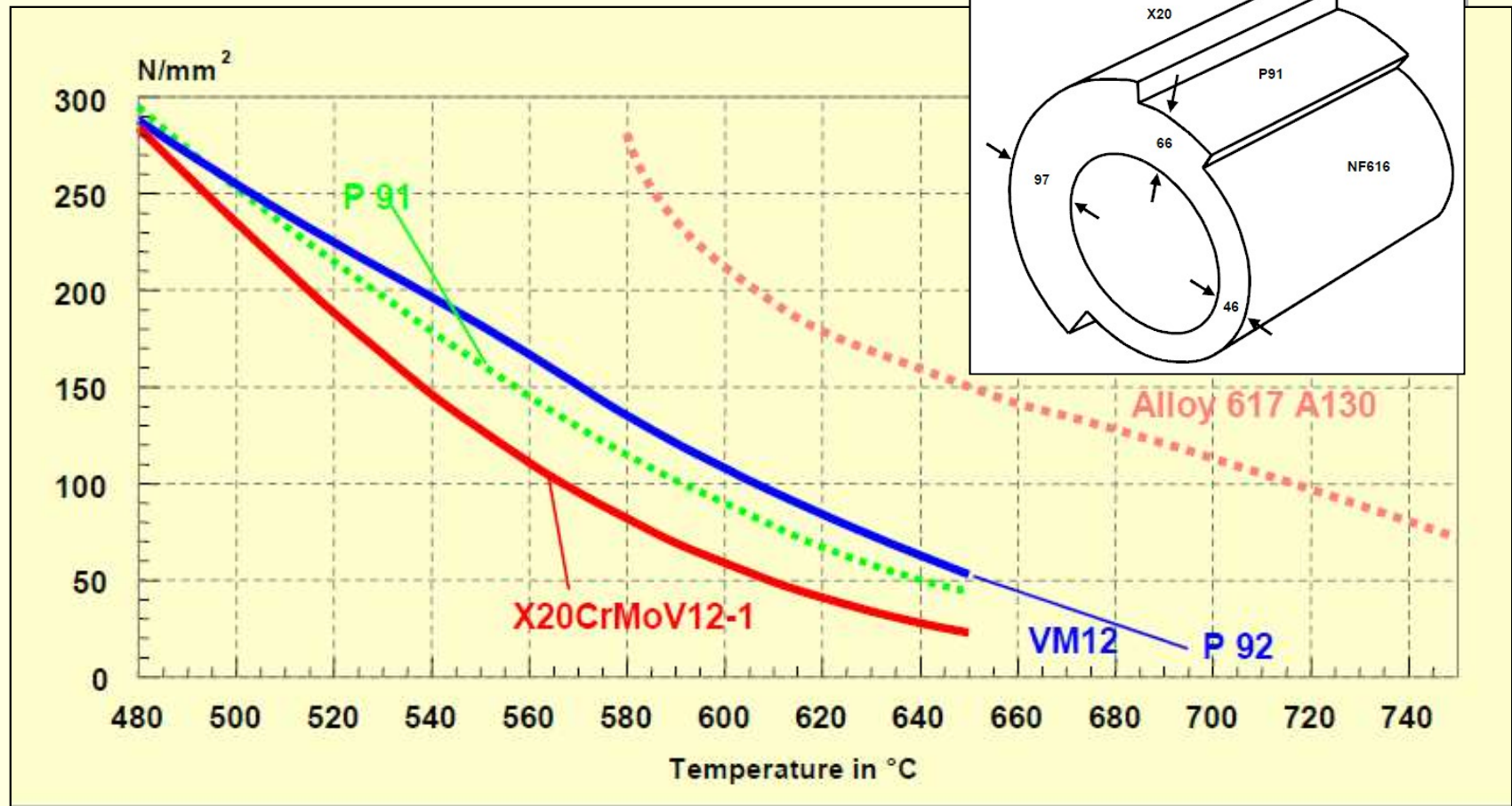


grejne površine kotla modernog termoenergetskog postrojenja

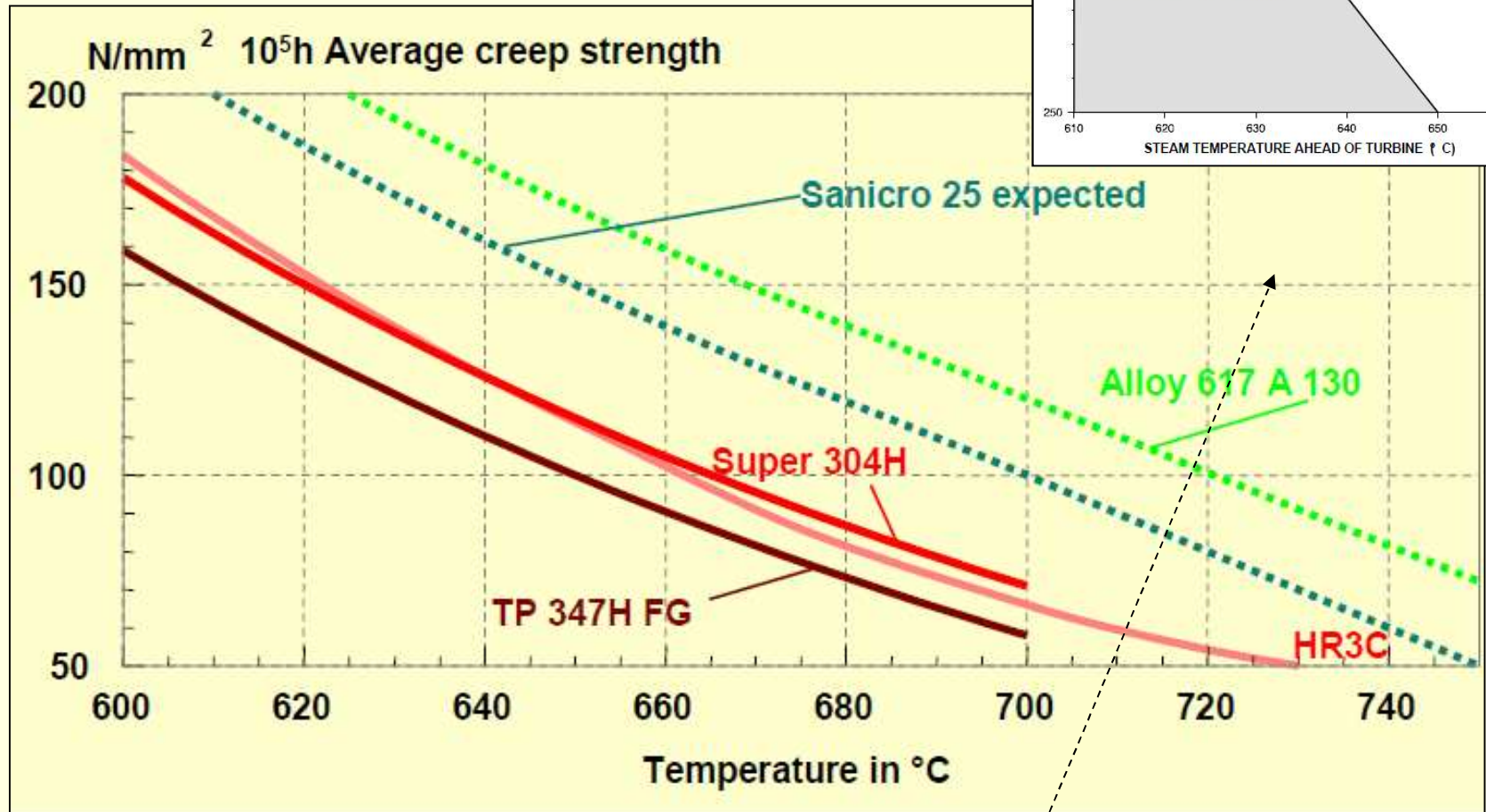
## Feritni toplotno postojani ( $\alpha$ ferit+P/S/B)



## Martenzitni toplotno postojani čelici (često feritni)



# Austenitni toplotno postojani čelici i legure na bazi Ni



parametri primene austenitnog toplotno postojanog čelika – do 650°C

# Feritni toplotno postojani čelici – grupe za zavarivanje

## Grupe materijala za povišene temperature prema SRPS EN 12952

| Materijal                | Termička obrada | SRPS EN CEN ISO/TR 15608 | Materijal             | Termička obrada           | Grupa TR ISO 15608 |
|--------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------|
| ploča i traka EN 10028-2 |                 |                          | cev, šavna EN 10217-2 |                           |                    |
| P235GH                   | N               | 1.1                      | PH195                 | N                         | 1.1                |
| P265GH                   | N               | 1.1                      | PH235                 | N                         | 1.1                |
| P295GH                   | N               | 1.2                      | PH265                 | N                         | 1.1                |
| P355GH                   | N               | 1.2                      | 16Mo3                 | N                         | 1.1                |
| 16Mo3                    | N               | 1.1                      | otkovak EN 10222-2    |                           |                    |
| 13CrMo4-5                | NT              | 5.1                      | X16CrMo5 1            | A                         | 5.3                |
| 13CrMo4-5                | NT Q            | 5.1                      | X16CrMo5 1            | NT QT                     | 5.3                |
| 13CrMo4-5                | Q               | 5.1                      | X20CrMoV11-1          | QT                        | 6                  |
| 10CrMo 9-10              | NT              | 5.2                      | X10CrMoVNb9-1         | NT                        | 6                  |
| 10CrMo 9-10              | NT Q            | 5.2                      | 14MoV6-3              | NT QT                     | 4.1                |
| 10CrMo 9-10              | Q               | 5.2                      | 11CrMo9-10            | N                         | 5.2                |
| 11CrMo 9-10              | NT Q            | 5.2                      | 11CrMo9-10            | NT QT                     | 5.2                |
| 11CrMo 9-10              | Q               | 5.2                      | 16Mo3                 | N                         | 1.1                |
| cev, bešavna EN 10216-2  |                 |                          | 16Mo3                 | QT                        | 1.2                |
| P195GH                   | N               | 1.1                      | 16Mo3                 | QT                        | 1.1                |
| P235GH                   | N               | 1.1                      | 13CrMo4-5             | N NT QT                   | 5.1                |
| P265GH                   | N               | 1.1                      | 13CrMo4-5             | N NT QT                   | 5.1                |
| 8MoB5-4                  | N               | 5.1                      |                       |                           |                    |
| 16Mo3                    | N               | 1.2                      |                       |                           |                    |
| X11CrMo9-1+l             | I               | 5.4                      |                       |                           |                    |
| X11CrMo9-1               | NT              | 5.4                      |                       |                           |                    |
| X11CrMo5                 | I               | 5.3                      |                       |                           |                    |
| X11CrMo5                 | NT              | 5.3                      |                       |                           |                    |
| X11CrMo5+NT2             | NT              | 5.3                      | NT                    | normalizovano i otpušteno |                    |
| 13CrMo4-5                | NT              | 5.1                      | I                     | izotermno žareno          |                    |
| 10CrMo 9-10              | NT              | 5.2                      | QT                    | kaljeno i otpušteno       |                    |
| 11CrMo 9-10              | QT              | 5.2                      | N                     | normalizovano             |                    |
| X10CrMoVNb9-1            | NT              | 6.4                      | Q                     | kaljeno                   |                    |
| 15NiCuMoNb5-6-4          | NT              | <b>4.2</b>               |                       |                           |                    |
| X20CrMoV11-1             | NT              | 6.4                      |                       |                           |                    |
| 10CrMo5-5                | NT              | 5.1                      |                       |                           |                    |

# Toplotno postojani čelici

{PRIVATE }Table 3.1.1. Chemical Compositions of Boiler Tube Materials

| {PRIVATE }MATERIAL                   | C            | Si           | Mn           | P            | S            | Al             | Cr             | Ni             | Mo            | V            | Nb           | W            | N            | Cu<br>(Ce)   | Ti           | B                |
|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|----------------|----------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|
| 15Mo3<br>(1.5415)                    | 0.12<br>0.20 | 0.10<br>0.35 | 0.40<br>0.90 | max<br>0.035 | max<br>0.03  | -              | -              | -              | 0.25<br>0.35  | -            | -            | -            | -            | -            | -            | -                |
| 13CrMo44<br>(1.7335)                 | max<br>0.15  | max<br>0.50  | 0.30<br>0.61 | -            | -            | -              | 0.80<br>1.25   | -              | 0.44<br>0.65  | -            | -            | -            | -            | -            | -            | -                |
| T22 (10CrMo910)<br>(1.7380)          | 0.08<br>0.15 | max<br>0.50  | 0.30<br>0.60 | -            | -            | -              | 1.90<br>2.60   | -              | 0.087<br>1.13 | -            | -            | -            | -            | -            | -            | -                |
| T23 (HCM2S)                          | 0.04<br>0.10 | max<br>0.50  | 0.30<br>0.60 | max<br>0.03  | max<br>0.01  | <0.03<br>(sol) | 1.90<br>2.60   | -              | max<br>0.30   | 0.20<br>0.30 | 0.02<br>0.08 | 1.45<br>1.75 | max<br>0.03  | -            | -            | max<br>0.006     |
| T24 (7CrMoVTiB10-10)                 | 0.05<br>0.10 | 0.15<br>0.45 | 0.30<br>0.70 | Max<br>0.02  | Max<br>0.01  | Max<br>0.02    | 2.20<br>2.60   | -              | 0.90<br>1.10  | 0.20<br>0.30 | -            | -            | Max<br>0.012 | -            | 0.05<br>0.10 | 0.0015<br>0.0070 |
| P 91/T 91<br>(X10CrMoVNb91) (1.4903) | 0.08<br>0.12 | 0.20<br>0.50 | 0.30<br>0.60 | max<br>0.02  | max<br>0.01  | max<br>0.040   | 8.50<br>9.50   | max<br>0.40    | 0.85<br>1.05  | 0.18<br>0.25 | 0.06<br>0.10 | -            | 0.05<br>0.08 | -            | -            | -                |
| E 911                                | 0.09<br>0.13 | 0.10<br>0.30 | 0.30<br>0.60 | max<br>0.02  | max<br>0.01  | max<br>0.025   | 8.50<br>9.50   | 0.10<br>0.35   | 0.90<br>1.10  | 0.15<br>0.25 | 0.06<br>0.10 | 0.90<br>1.10 | 0.05<br>0.08 | -            | -            | -                |
| P92 (NF 616)                         | max<br>0.15  | max<br>0.50  | max<br>1.00  | max<br>0.02  | max<br>0.01  | -              | 8.00<br>13.00  | -              | max<br>1.00   | 0.10<br>0.30 | max<br>0.10  | 1.50<br>2.50 | 0.02<br>0.15 | -            | -            | max<br>0.01      |
| HCM 12                               | max<br>0.12  | max<br>0.50  | 0.30<br>0.70 | max<br>0.03  | max<br>0.03  | -              | 11.0<br>13.0   | -              | 0.80<br>1.20  | 0.20<br>0.30 | max<br>0.20  | 0.80<br>1.20 | -            | -            | -            | max<br>0.01      |
| P122 (HCM12A)                        | 0.06<br>0.14 | max<br>0.70  | max<br>0.70  | max<br>0.03  | max<br>0.02  | -              | 10.00<br>12.60 | max<br>0.70    | 0.20<br>0.60  | 0.15<br>0.30 | 0.02<br>0.10 | 1.50<br>2.50 | 0.02<br>0.10 | 0.30<br>1.70 | -            | max<br>0.005     |
| X20CrMoV121<br>(1.4922)              | 0.17<br>0.23 | max<br>0.50  | max<br>1.00  | max<br>0.03  | max<br>0.03  | -              | 10.00<br>12.50 | 0.30<br>0.80   | 0.80<br>1.20  | 0.25<br>0.35 | -            | -            | -            | -            | -            | -                |
| E1250                                | 0.05<br>0.15 | 0.30<br>0.75 | 5.50<br>7.00 | max<br>0.03  | max<br>0.03  | -              | 14.00<br>16.00 | 9.00<br>12.00  | 0.80<br>1.20  | 0.15<br>0.40 | 0.75<br>1.20 | -            | -            | -            | max<br>0.05  | 0.003<br>0.009   |
| 12R72<br>X10CrNiMoTiB1515            | 0.08<br>0.12 | 0.30<br>0.80 | 1.50<br>2.00 | max<br>0.03  | max<br>0.02  | -              | 14.00<br>16.00 | 14.00<br>16.00 | 1.00<br>1.40  | -            | -            | -            | -            | -            | 0.30<br>0.60 | 0.004<br>0.008   |
| 17-14CuMo                            | 0.11         | -            | -            | -            | -            | -              | 15.9           | 14.5           | 2.5           | -            | 0.43         | -            | 0.01         | 3.10         | 0.24         | -                |
| X8CrNiMoVNb1613<br>(1.4988)          | 0.04<br>0.10 | 0.30<br>0.60 | max<br>1.50  | max<br>0.035 | max<br>0.015 | -              | 15.50<br>17.50 | 12.50<br>14.50 | 1.10<br>1.50  | 0.60<br>0.85 | max<br>10xC  | -            | -            | -            | -            | -                |

# Toplotno postojani čelici

Table 3.1.1. (Continued) Chemical Compositions of Boiler Tube Materials

| {PRIVATE}MATERIAL          | C            | Si           | Mn           | P            | S            | Al           | Cr             | Ni             | Mo           | V | Nb           | W            | N            | Cu<br>(Ce)       | Ti           | B              |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|----------------|--------------|---|--------------|--------------|--------------|------------------|--------------|----------------|
| X8CrNiMoNb1616<br>(1.4981) | 0.04<br>0.08 | 0.30<br>0.60 | max<br>1.50  | max<br>0.035 | max<br>0.015 | -            | 15.50<br>17.50 | 15.50<br>17.50 | 1.60<br>2.00 | - | max<br>10xC  | -            | -            | -                | -            | 0.08           |
| X3CrNiMoN1713<br>(1.4910)  | max<br>0.04  | max<br>0.75  | max<br>2.00  | max<br>0.035 | max<br>0.015 | -            | 16.00<br>18.00 | 12.00<br>14.00 | 2.00<br>2.80 | - | -            | -            | 0.10<br>0.18 | -                | -            | -              |
| AISI T316                  | max<br>0.08  | max<br>1.00  | max<br>2.00  | max<br>0.03  | max<br>0.045 | -            | 16.00<br>18.00 | 10.00<br>14.00 | 2.00<br>3.00 | - | -            | -            | -            | -                | -            | -              |
| AISI T321                  | max<br>0.08  | max<br>1.00  | max<br>2.00  | max<br>0.03  | max<br>0.045 | -            | 17.00<br>19.00 | 9.00<br>12.00  | -            | - | -            | -            | -            | -                | 5 x C        | -              |
| AISI T347                  | max<br>0.08  | max<br>1.00  | max<br>2.00  | max<br>0.03  | max<br>0.045 | -            | 17.00<br>19.00 | 9.00<br>13.00  | -            | - | 10 x C       | -            | -            | -                | -            | -              |
| AISI T304                  | max<br>0.08  | max<br>1.00  | max<br>2.00  | max<br>0.03  | max<br>0.045 | -            | 18.00<br>20.00 | 8.00<br>12.00  | -            | - | -            | -            | -            | -                | -            | -              |
| Super 304                  | 0.07<br>0.13 | max<br>0.30  | max<br>1.00  | max<br>0.04  | max<br>0.010 | -            | 17.00<br>19.00 | 7.50<br>10.50  | -            | - | 0.30<br>0.60 | -            | 0.05<br>0.12 | 2.50<br>3.50     | -            | -              |
| NF709                      | max<br>0.20  | max<br>1.00  | max<br>1.50  | max<br>0.03  | max<br>0.010 | -            | 18.00<br>22.00 | 22.00<br>28.00 | 1.0<br>2.0   | - | 0.10<br>0.40 | -            | 0.05<br>0.20 | -                | 0.02<br>0.20 | 0.002<br>0.010 |
| Alloy 800                  | max<br>0.10  | max<br>1.00  | max<br>1.50  | max<br>0.015 | -            | 0.15<br>0.60 | 19.00<br>23.00 | 30.00<br>35.00 | -            | - | -            | -            | -            | max<br>0.75      | 0.15<br>0.60 | -              |
| AISI T310                  | max<br>0.25  | max<br>1.50  | max<br>2.00  | max<br>0.03  | max<br>0.045 | -            | 24.00<br>26.00 | 19.00<br>22.00 | -            | - | -            | -            | -            | -                | -            | -              |
| Valinox T310N              | 0.05<br>0.07 | 0.30<br>0.50 | 1.00<br>1.40 | max<br>0.01  | max<br>0.025 | -            | 24.40<br>25.00 | 20.60<br>21.50 | max<br>0.20  | - | 0.40<br>0.50 | -            | 0.18<br>0.24 | max<br>0.20      | -            | -              |
| HR3C<br>(1.6974)           | 0.04<br>0.10 | max<br>0.75  | max<br>2.00  | max<br>0.03  | max<br>0.030 | -            | 24.00<br>26.00 | 17.00<br>23.00 | -            | - | 0.2<br>0.6   | -            | 0.15<br>0.35 | -                | -            | 0.005          |
| HR6W                       | max<br>0.10  | max<br>1.00  | max<br>2.00  | max<br>0.030 | max<br>0.030 | -            | 21.00<br>25.00 | 35.00<br>45.00 | -            | - | max<br>0.40  | 4.00<br>8.00 | -            | -                | max<br>0.20  | -              |
| AC66 (1.4877)              | 0.04<br>0.08 | max<br>0.30  | max<br>1.00  | -            | -            | max<br>0.025 | 26.00<br>28.00 | 31.00<br>33.00 | -            | - | 0.6<br>1.0   | -            | -            | (0.05)<br>(0.10) | -            | -              |

# Čelici sa specijalnom namenom

---

## Magnetični čelici

- Magnetno meki materijali (lako se magnetišu/razmagnetišu):
  - čisto Fe (C < 0,05%)
  - elektrotehničke legure (1...4% Si)
- Magnetno tvrdi materijali (teško se magnetišu/razmagnetišu):
  - visoko ugljenični alatni čelici (1,1...1,3% C)
  - Cr-čelici (*oko* 1% C; 1,5...3% Cr)
  - Co-čelici (*oko* 1% C; 1,5...3% Cr; 5...15% Co)
  - Fe-Ni-Al-legure (*alniko*) (11...14% Al; 22...34% Ni)

## Specijalni čelici

---

Za niske temperature (kriogene) - zahtev: niska prelazna T

*Klase za niske T*

- do  $-60^{\circ}\text{C}$  (nelegirani i niskolegirani čelici)
- do  $-100^{\circ}\text{C}$  – Ni čelici sa niskim sadržajem – 2...5% Ni + Cr, V, Ti
- do  $-190^{\circ}\text{C}$  (tečni  $\text{N}_2$ ) – austenitni nerđajući čelici
- ispod  $-190^{\circ}\text{C}$  (tečni  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ) – visokolegirani koroziono otporni čelici – Cr > 10%; Ni > 20%

---

■ Hvala na pažnji😊