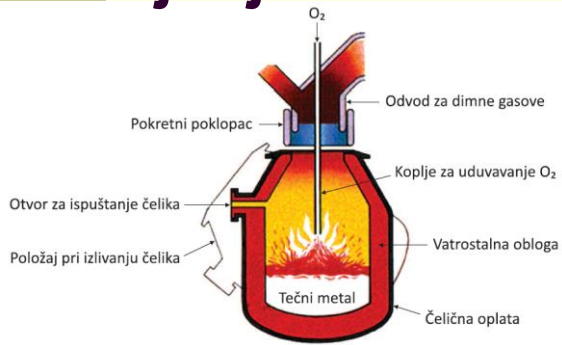


Mašinski materijali 3

- *razni izvori*

Dobijanja čelika

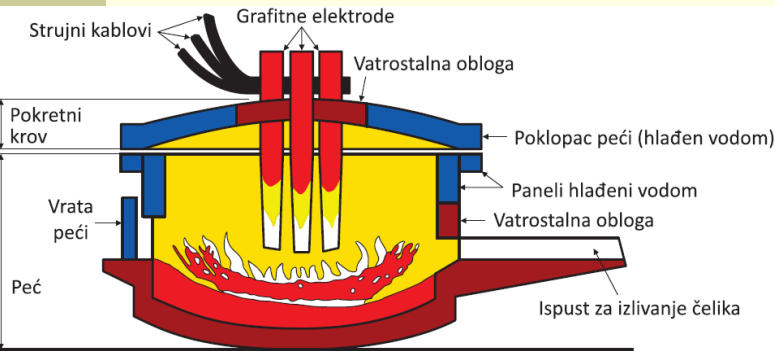
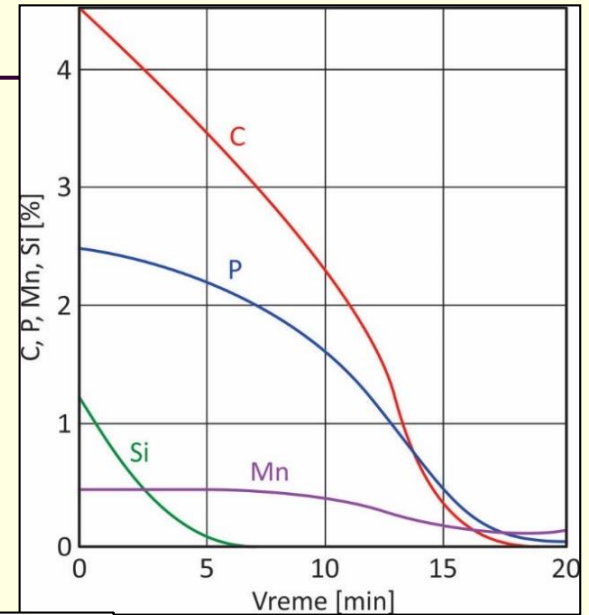


Konvertorski postupak:

- metalni otpad
- rastopljeni metal
- topitelj
- uduvavanje O₂

Uduvavanjem O₂ ostvaruje se reakcija sa Fe: $2\text{Fe} + \text{O}_2 = 2\text{FeO}$
 FeO reaguje sa C - reguliše se sadržaj C: $\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$
 Dezoksidacija – pred izlivanje dodaju se **Mn, Si i Al**.

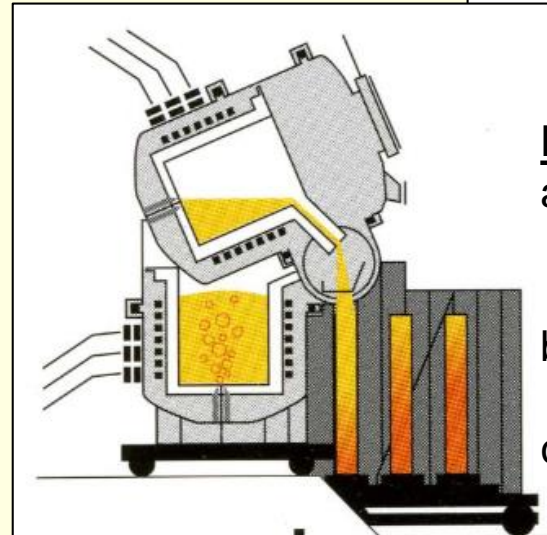
Oksid FeO reaguje sa Si, Mn, Al, ali i sa P čime se reguliše sadržaj primesa u čeliku



Slika 2.6. Šematski prikaz elektrolučne peći

Elektrolučni postupak:

- metalni otpad
- dezoksidatori
- uduvavanje O₂
- izbacivanje šljake

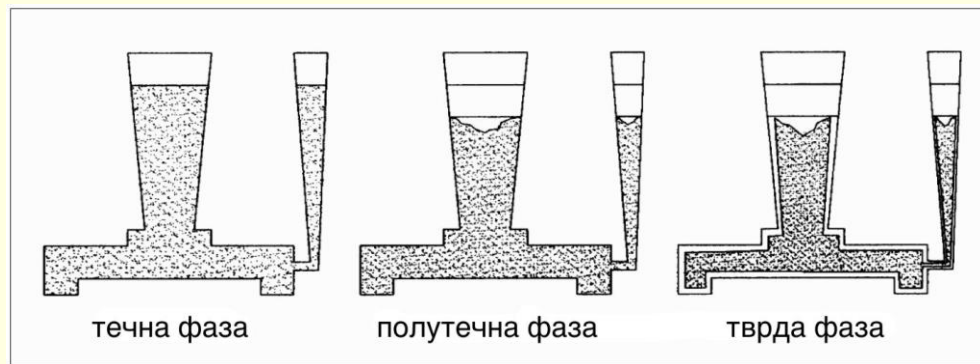
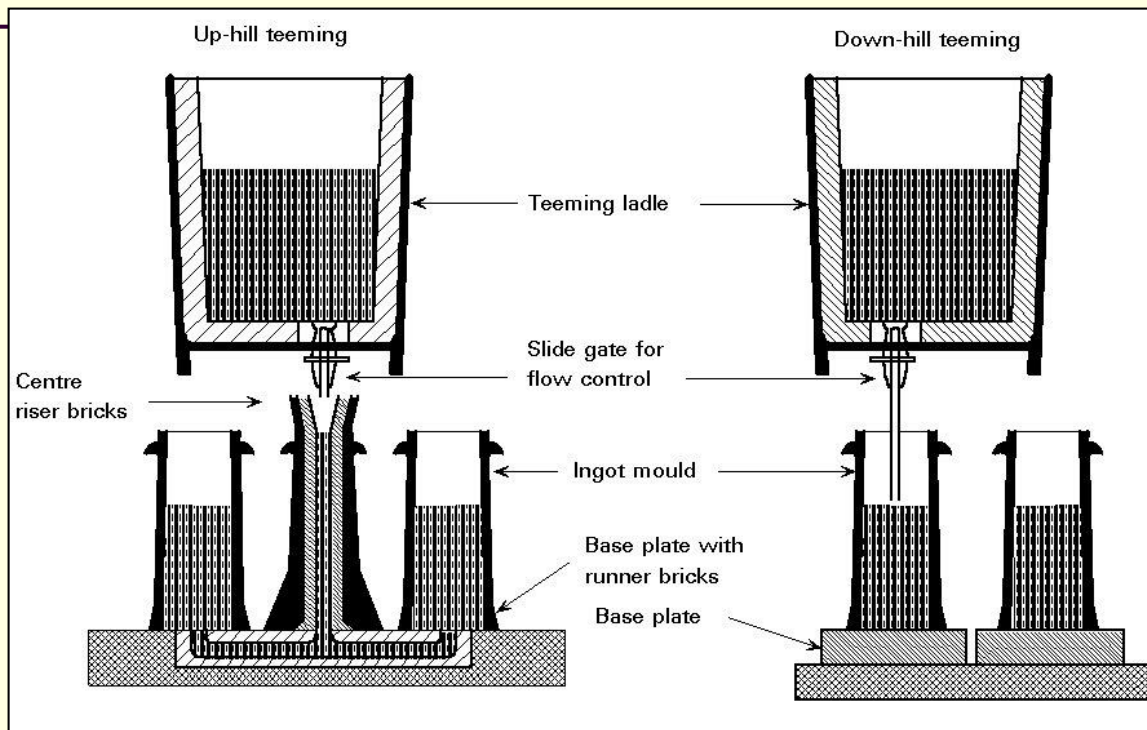


Pretapanje u vakuumu:

- U ovom procesu iz rastopljenog metala uklanjaju se svi gasovi
- Čelik ima veoma visok kvalitet.
- Koristi se i za legiranje

Livenje ingota

- Naredna faza je livenje
- Livenje u metalne kalupe (*kokile*), statičko livenje - metal očvršćava u ingote



- Livenje ingota i proces skupljanja materijala tokom očvršćavanja

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** (oznaka FU prema SRPS EN 10025),

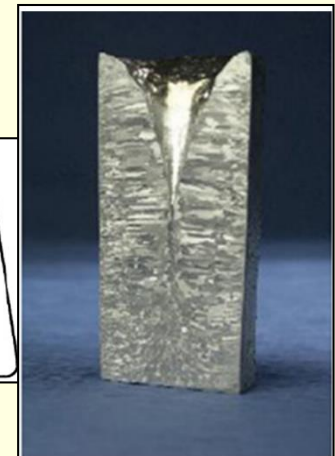
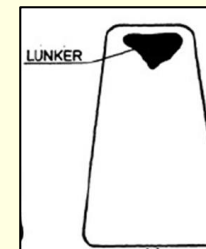
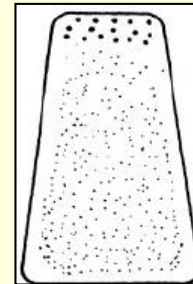
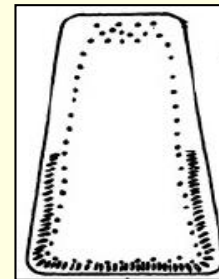
- nepotpuna dezoksidacija Mn i Al
- pore uz površinu ingota – lakša obrada na hladno
- limovi i šipke
- smanjena KV, Rd i zavarljivost

- **Polumireni**

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

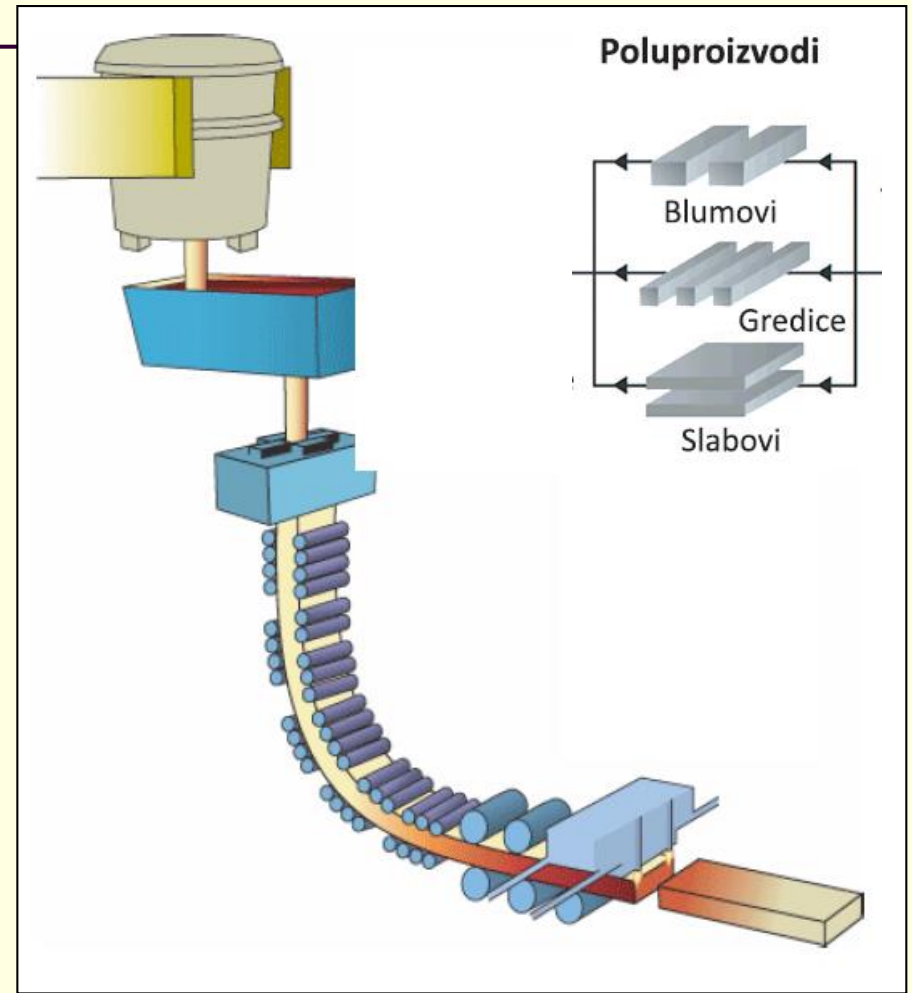
- **Umireni** (oznaka FN i FF prema SRPS EN 10025)

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



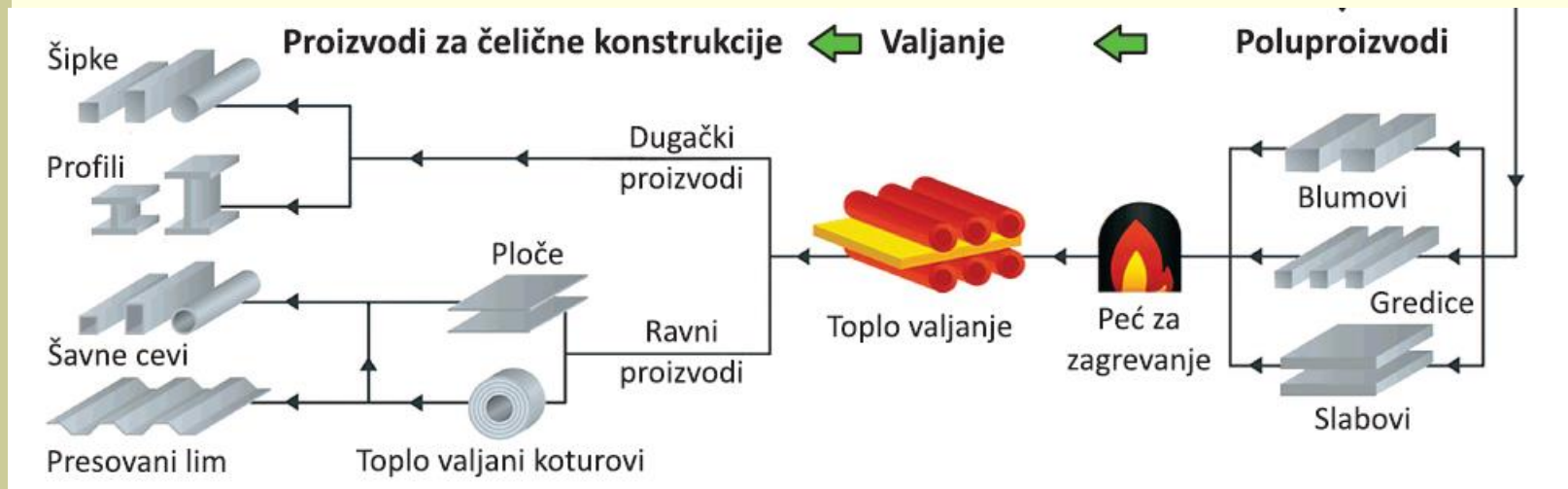
Kontinualno livenje

- 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

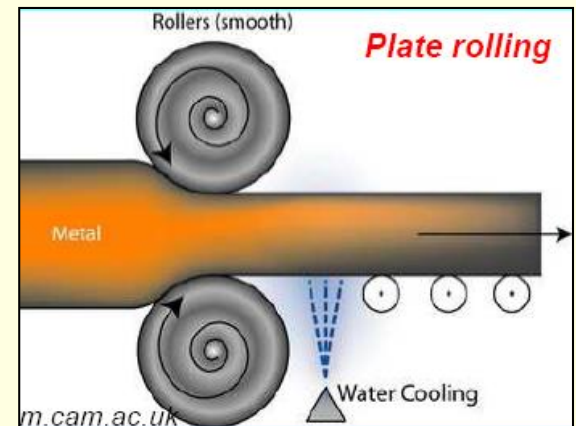
Nakon livenja odlivak ide na hladno/toplo valjanje itd.



- 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.



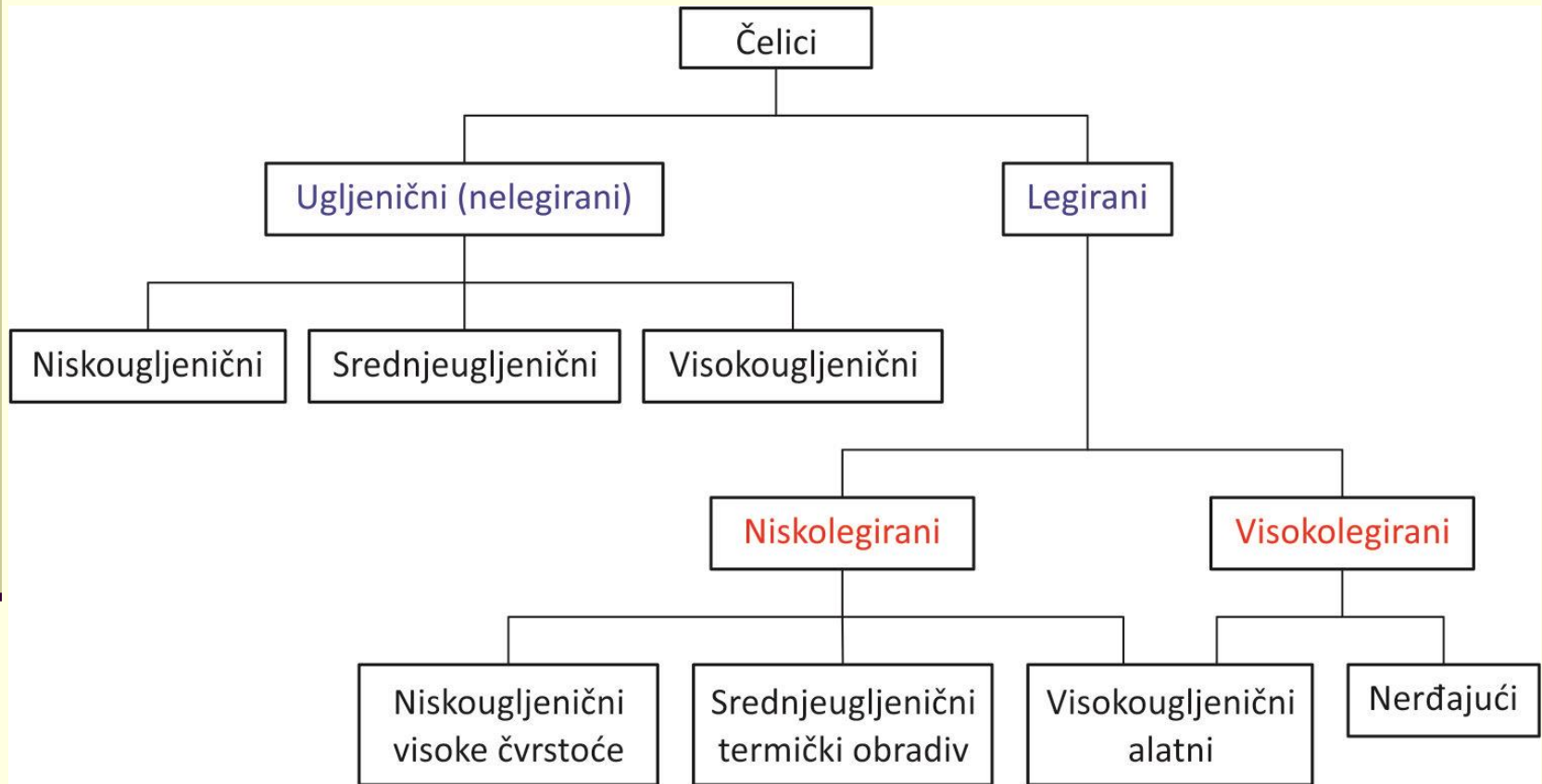
Podela čelika

- 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, nelegirane, čelike,
 - legirane čelike.

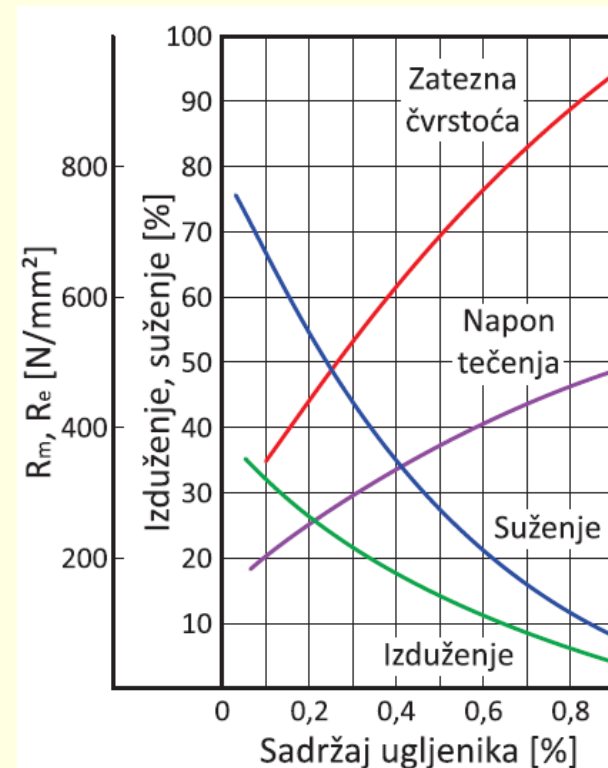
- **Prema nameni** čelici se dele na:
 - konstrukcione čelike,
 - alatne čelike,
 - čelike sa posebnim svojstvima.

Podela čelika prema sadržaju C i legirajućih elemenata

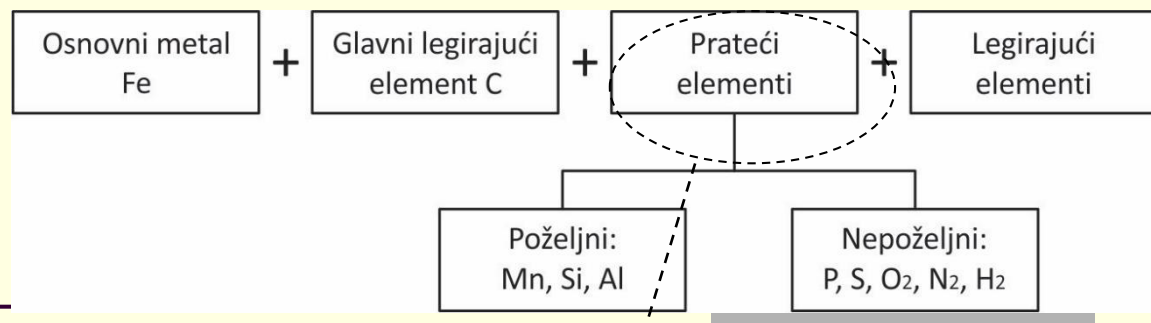


Ugljenični čelici

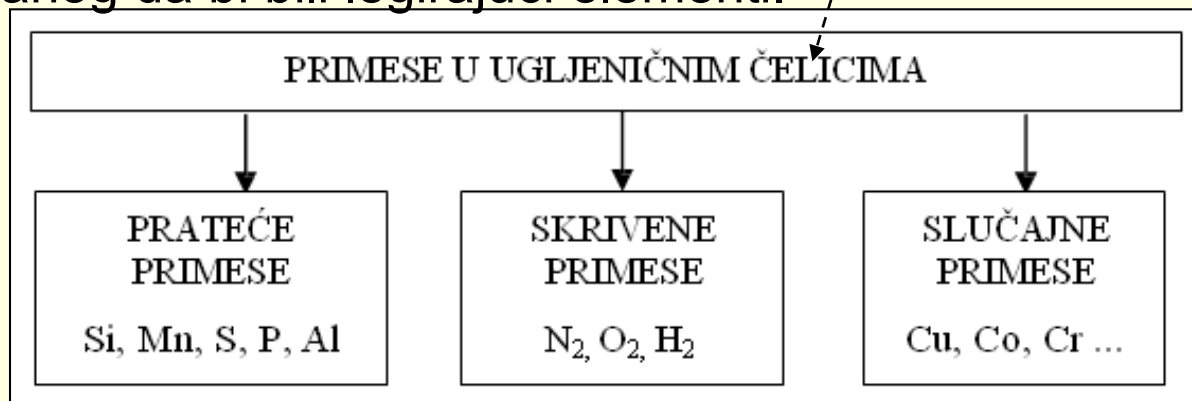
- Ugljenični čelici su legure železa i ugljenika (sa sadržajem C do 2,0%), u kojima su prisutne primese.
- Na ugljenične čelike otpada 90% svetske proizvodnje čelika, pa oni predstavljaju osnovni materijal u mašinskoj industriji.
- Prema sadržaju ugljenika, ovi čelici se dele na:
 - niskougljenične do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



Primeze u ugljeničnim čelicima



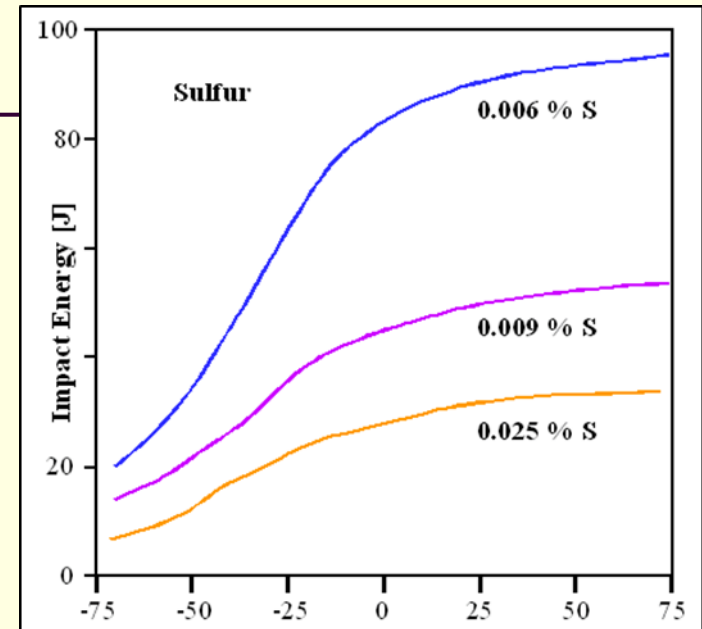
- Primeze u čelicima mogu da budu:
- **Prateće primeze** - iz rude železa (Mn, Si, P), iz goriva (S) i od sredstava za dezoksidaciju (Mn, Al i Si).
- **Skrivene primeze** u čeliku (N_2 , O_2 , H_2) rastvaraju se iz atmosfere.
- **Slučajne primeze** u čeliku (Cu, Pb, Sn, Sb i As) koje potiču iz polazne 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.



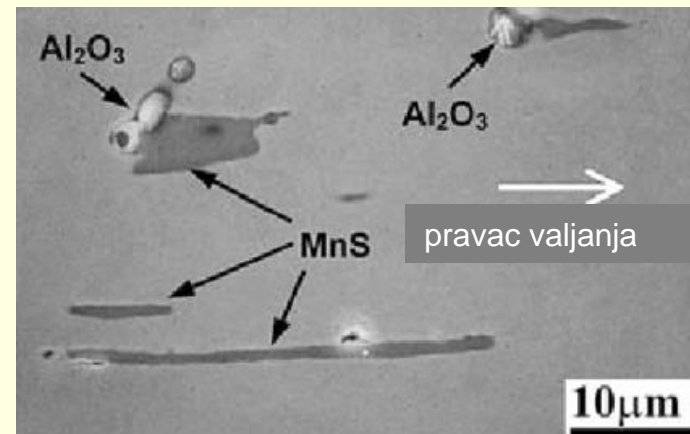
Sumpor S

- 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% za neke čelike).
- Kod kvalitetnijih čelika max sadržaj S ide ispod 0.01%, a sada je kod nekih 10%Cr čelika max S sadržaj 0.005% (standardi iz 2019-2020.god.)
- 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.
Tt= 1610°C

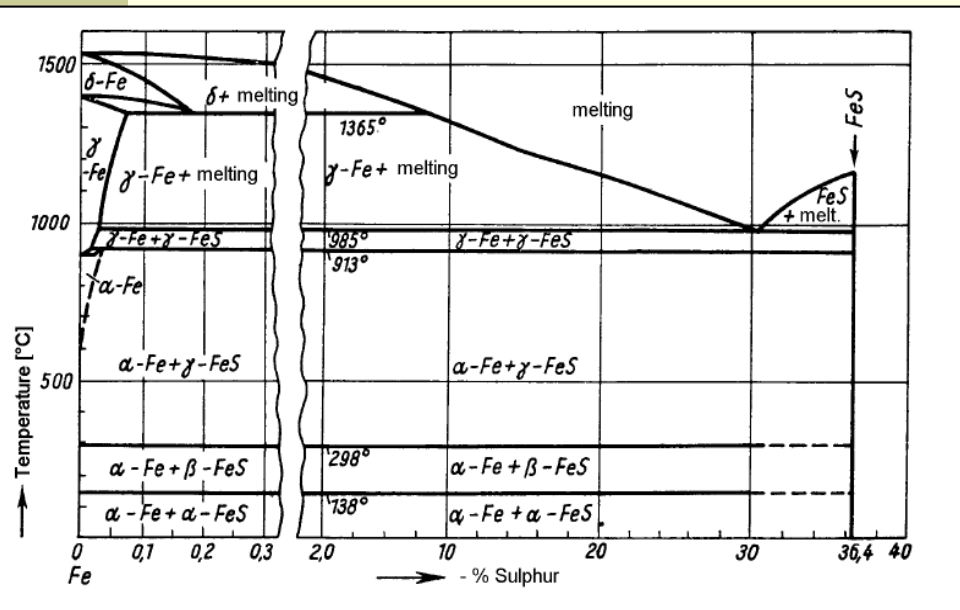


Smanjuje žilavosti čelika na sa porastom sadržaja S

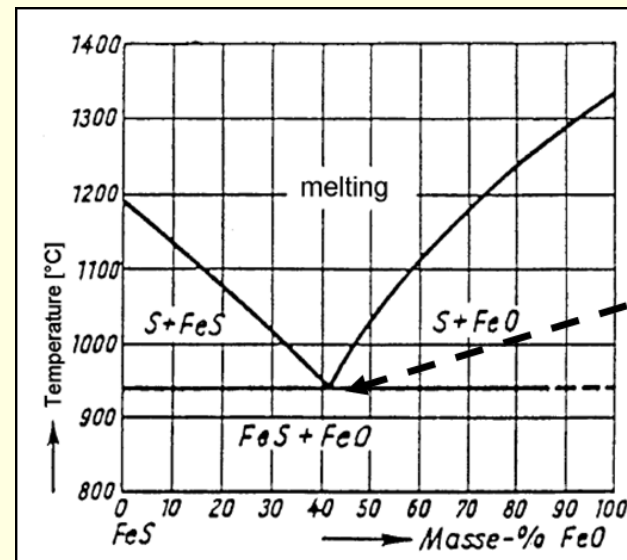


Niskotopivi eutektikumi S

- Sa Fe i O stvara niskotopive eutektikume koji su odgovorni za stvaranje toplih prslina (preko 985°C)
- Na T od oko 800°C izaziva tzv. crveni lom.



Dijagram stanja Fe-S

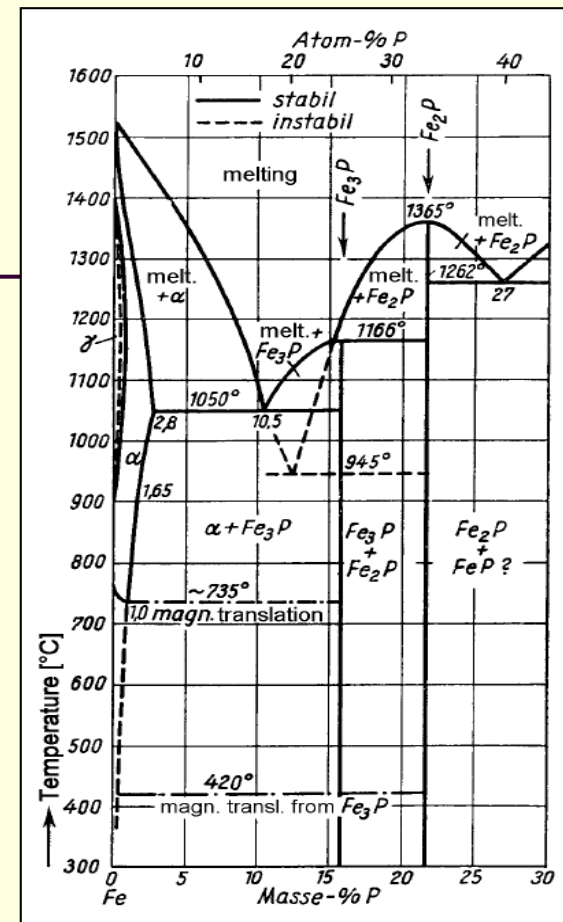
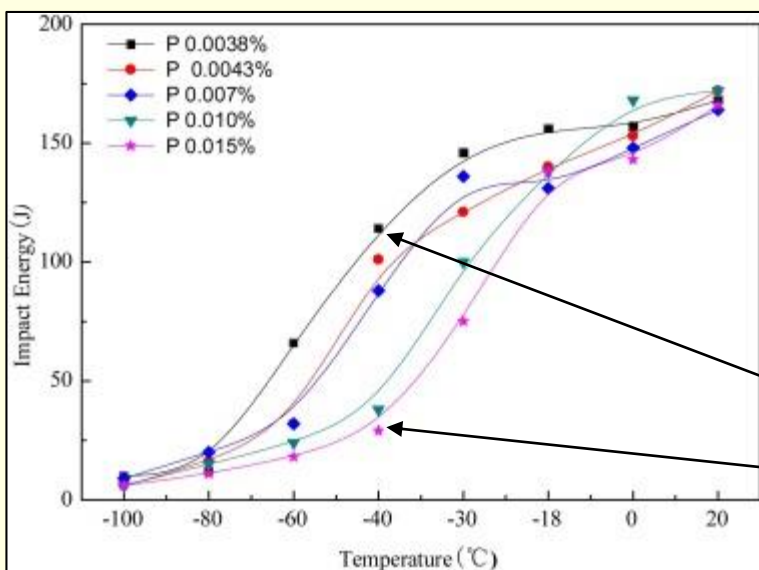


Dijagram stanja FeS-FeO

niskotopivi eutektikum

Fosfor P

- P se rastvara u čelicima u malim količinama
- U većoj količini se izdvaja kao Fe_3P – plavi lom
- Smanjuje žilavost, zavarljivost, prelaznu temperaturu
- Čelici sa preko 0.6% P nisu zavarljivi
- Granice za konstrukcione čelike 0.005-0.035 %P i sve su niže!

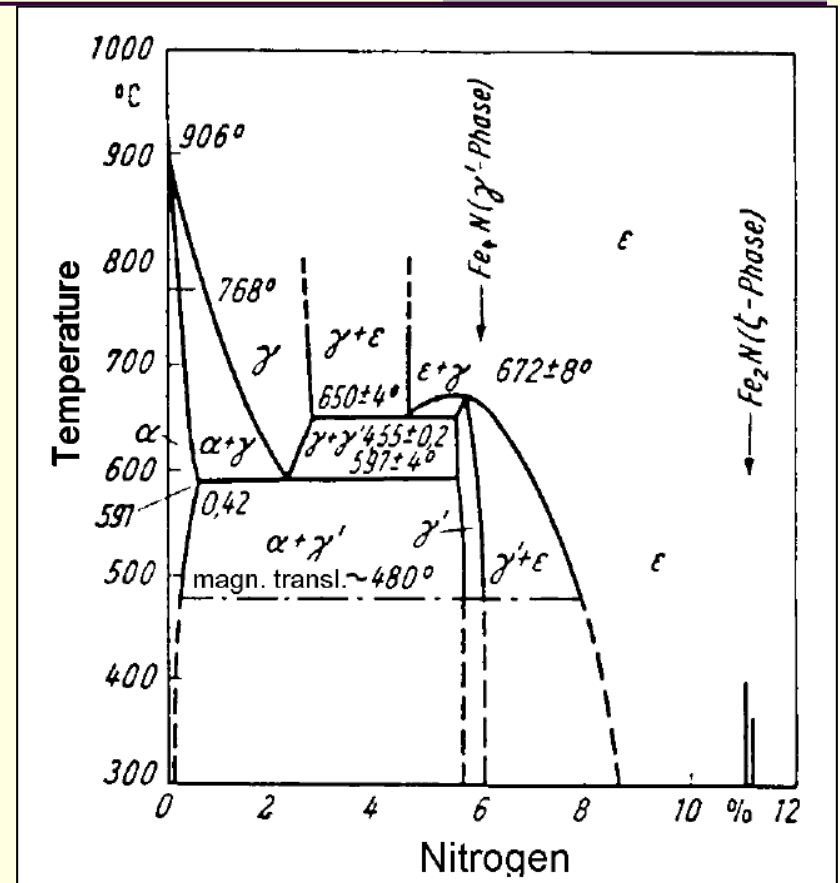


Dijagram stanja Fe-P

Smanjenje žilavosti čelika na -40°C , sa porastom sadržaja P 0.0038% 0.015%

Azot N

- Rastvara se u čelicima
- Izdvaja se i u vidu nitrida
- **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 čelika
- uobičajeni sadržaj Mn je 0.4 - 0.6 %.
- dezoksidator – čelici sa preko 0.6 %Mn se mogu smatrati umirenim.
- kod finoizrnih 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

- 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

- 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

Legirajući elementi u čeliku

Legirajući elementi u čeliku mogu da:

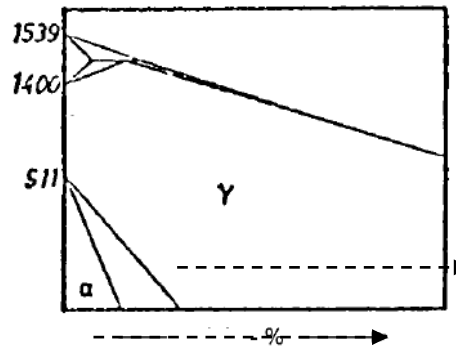
- grade **čvrste rastvore** odnosno - rastvaraju u α i γ -železu,
- grade sopstvene **karbide** ili se **rastvaraju u cementitu**,
- grade **intermetalna jedinjenja** ili **jedinjenja sa nemetalima** i
- budu u elementarnom obliku.

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

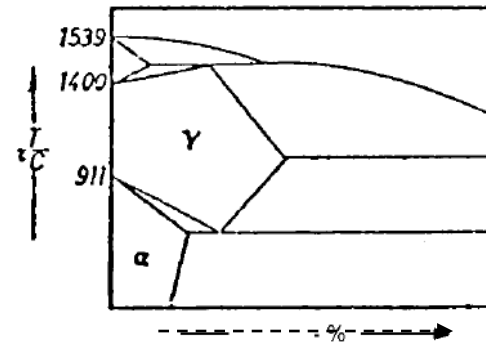
Jedan legirajući element može da učestvuje u više reakcija u čeliku npr. da gradi čvrste rastvore i karbide, itd.

Legirajući elementi – menjaju dijagram stanja

austenito-
obrazujući γ :

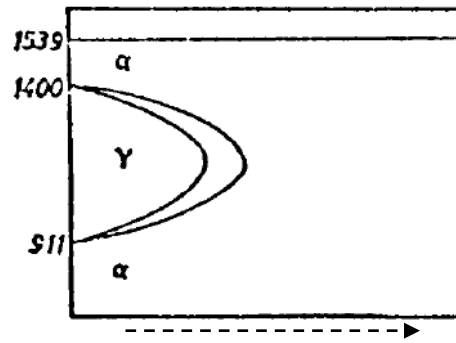


Ni, Co i Mn **otvaraju** γ oblast i ona nije ograničena

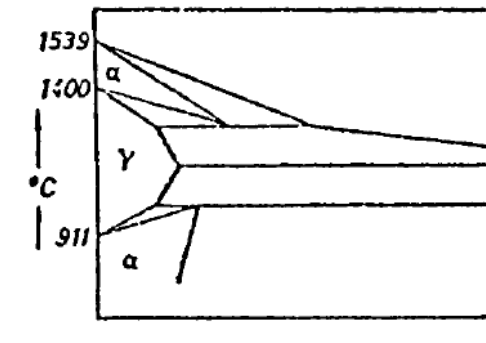


C, N i Cu **proširuju** γ oblast ali je ona ograničena

ferito-
obrazujući α :



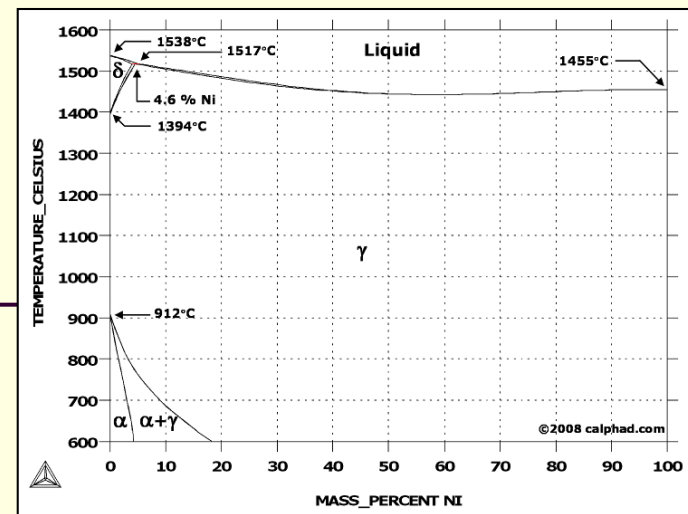
Cr, Al, Ti, Si, V, Mo, P, W **zatvaraju** γ oblast a α oblast nije ograničena



O, S, B, Zn, Nb, Ta, **sužavaju** γ oblast, a α oblast je ograničena

Primer: Austenito-obrazujući elementi

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



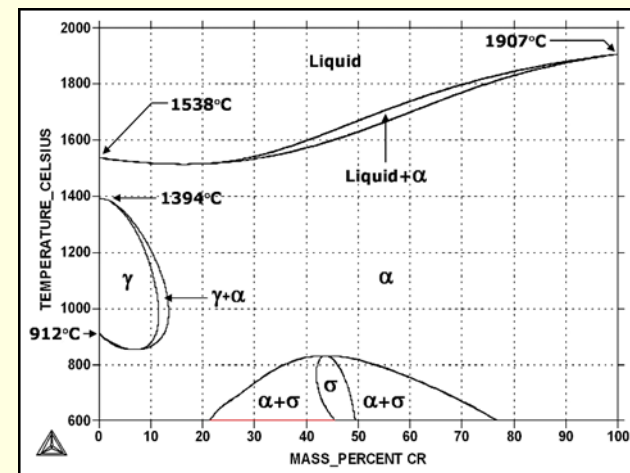
Primer: Ferito-obrazujući elementi

- 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.

Odstupanja - Cr

- ako se u čelik koji sadrži Ni doda Cr u količini od oko **18%** onda **Cr pomaže da se stabilizuje γ faza (austenit) iako je Cr ferito-obrazujući element.**

Dijagram Fe-Ni



Dijagram stanja Fe-Cr

Karbido-obrazujući elementi

- Većina elemenata koji obrazuju karbide stabilizuju **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**

Legirani karbidi

- Neki karbidi ne sadrže železo, kao što su Cr_7C_3 , W_2C , VC , Mo_2C .
- Kompleksni karbidi mogu da sadrže i železo - na pr. $\text{Fe}_4\text{W}_2\text{C}$.
- Karbidi su obično označena kao M_6C , M_{23}C_6 i MC .
Slovo M predstavlja sve atome metala.
- Tako M_6C može da predstavlja $\text{Fe}_4\text{W}_2\text{C}$ ili $\text{Fe}_4\text{Mo}_2\text{C}$;
 M_{23}C_6 može da predstavlja Cr_{23}C_6 , a MC može da predstavlja VC .
- Stabilnost karbida zavisi od prisustva drugih elemenata u čeliku.
- Npr. Mn, koji je slab karbidoobrazujući element, je jak stabilizator karbida.

Grafito obrazujući elementi

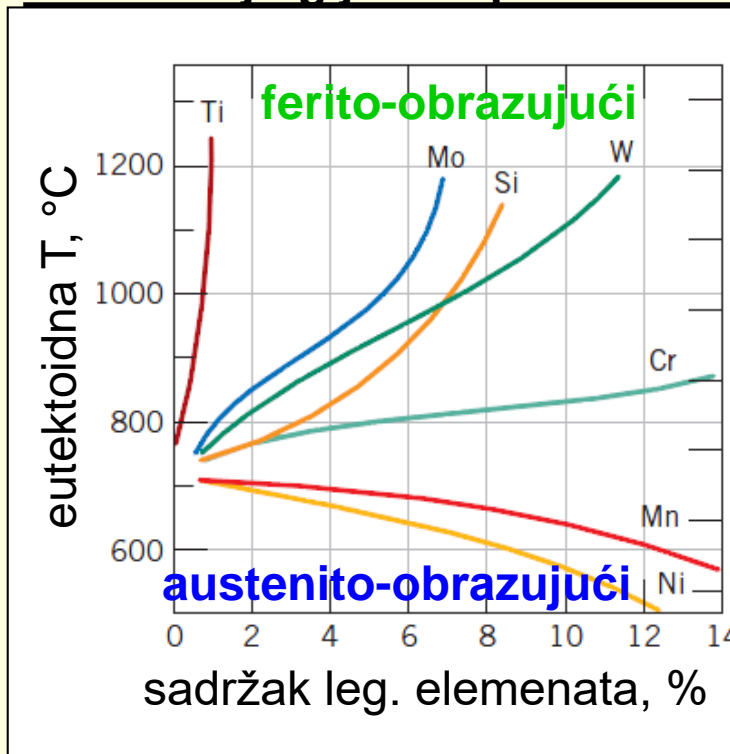
- Imaju KPC rešetku - Ni, Si, Al, Cu
- Stvaraju takve uslove da **ugljenik teži da se izdvoji u vidu grafita**
- Obično su **γ obrazujući elementi**

Uticaj legiranja na rast zrna

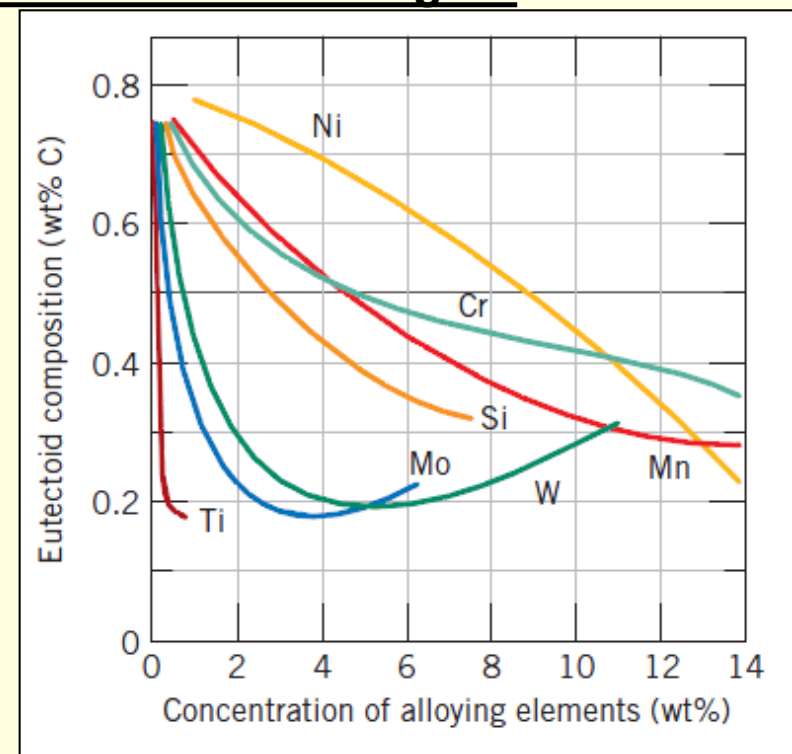
- Rafinirajući efekat imaju Ti, V, Nb, Al, Zr jer formiraju **fine karbide, nitride i karbonitride na granicama zrna** koji sprečavaju migraciju granica (npr. V, koji dodat u malim količinama, oko 0,1%, sprečava rast zrna formiranjem karbida i nitrida; finoizrni čelici - poznati su kao "mikrolegirani" 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.

Utica legirajućih elemenata na eutektoidnu tačku

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



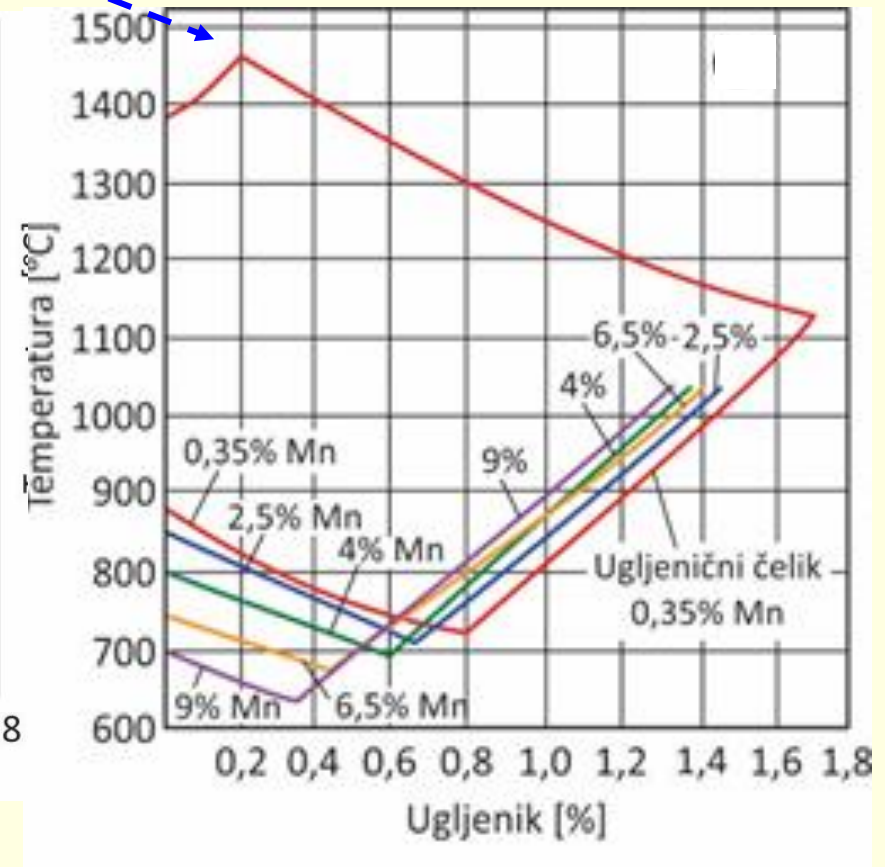
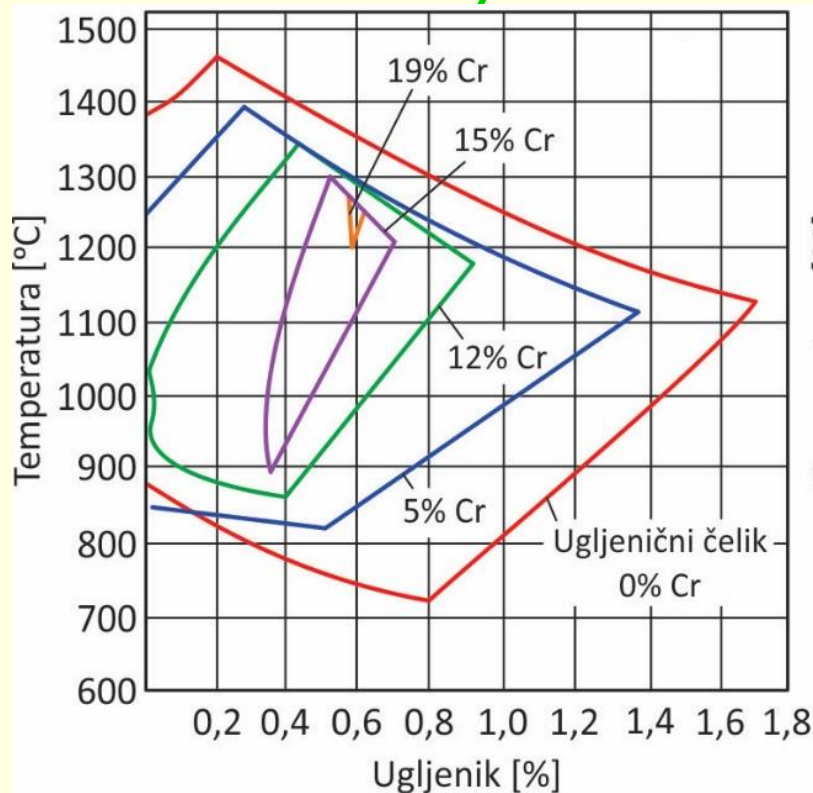
Utica sadržaja legirajućih elemenata na **A1 temperaturu**



Utica sadržaja legirajućih elemenata na **eutektoidni sadržaj C**

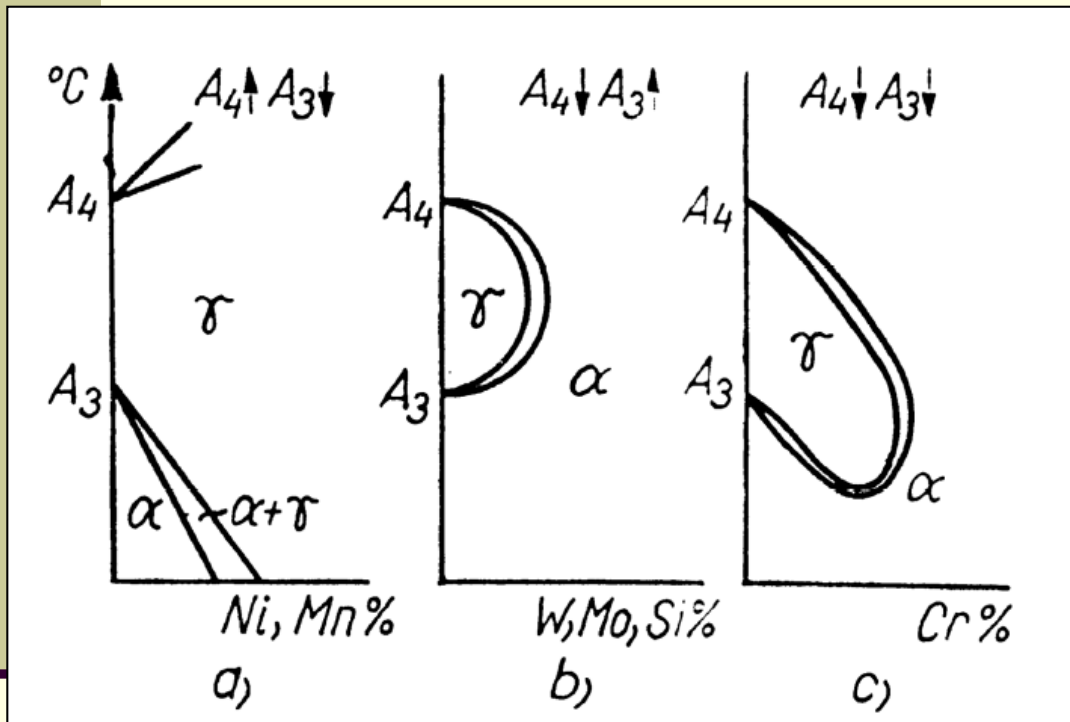
Primer: Uticaj sadržaja legirajućih elemenata na eutektoidni sadržaj C

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



Sa porastom sadržaja legirajućih elemenata, eutektoidna tačka se pomera ka 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** - $\alpha \rightarrow \gamma$

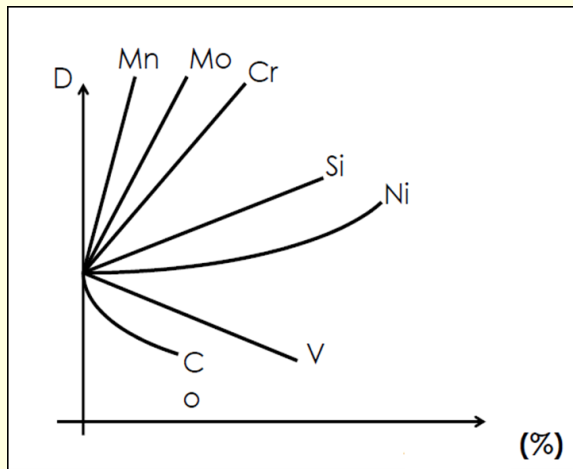
769°C **A2** - α magnetično \rightarrow α nemagnetično (β) – Kiri T

723°C – **A1** eutektoidna transformacija

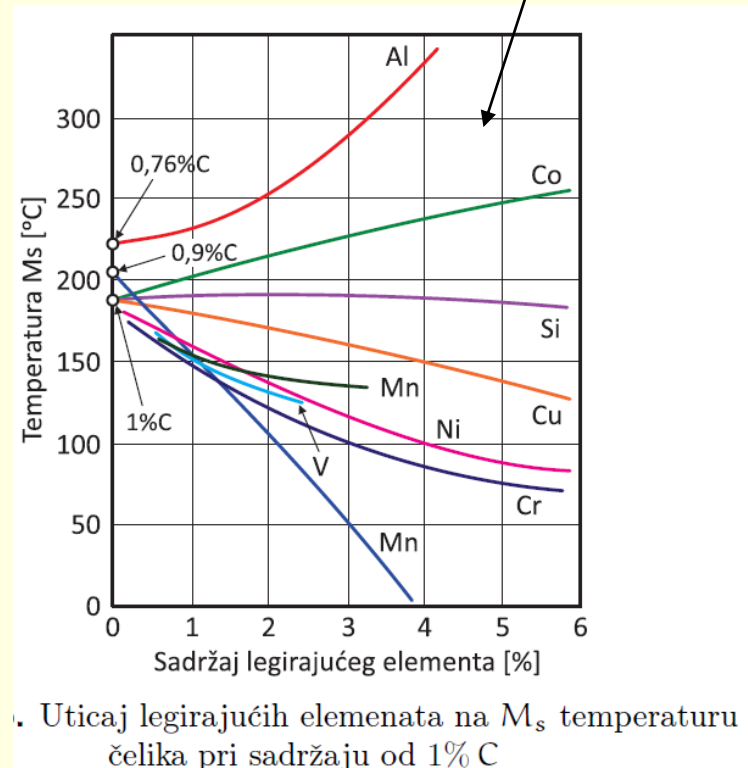
Uticaj legirajućih elemenata na A4 i A3 temperature

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**



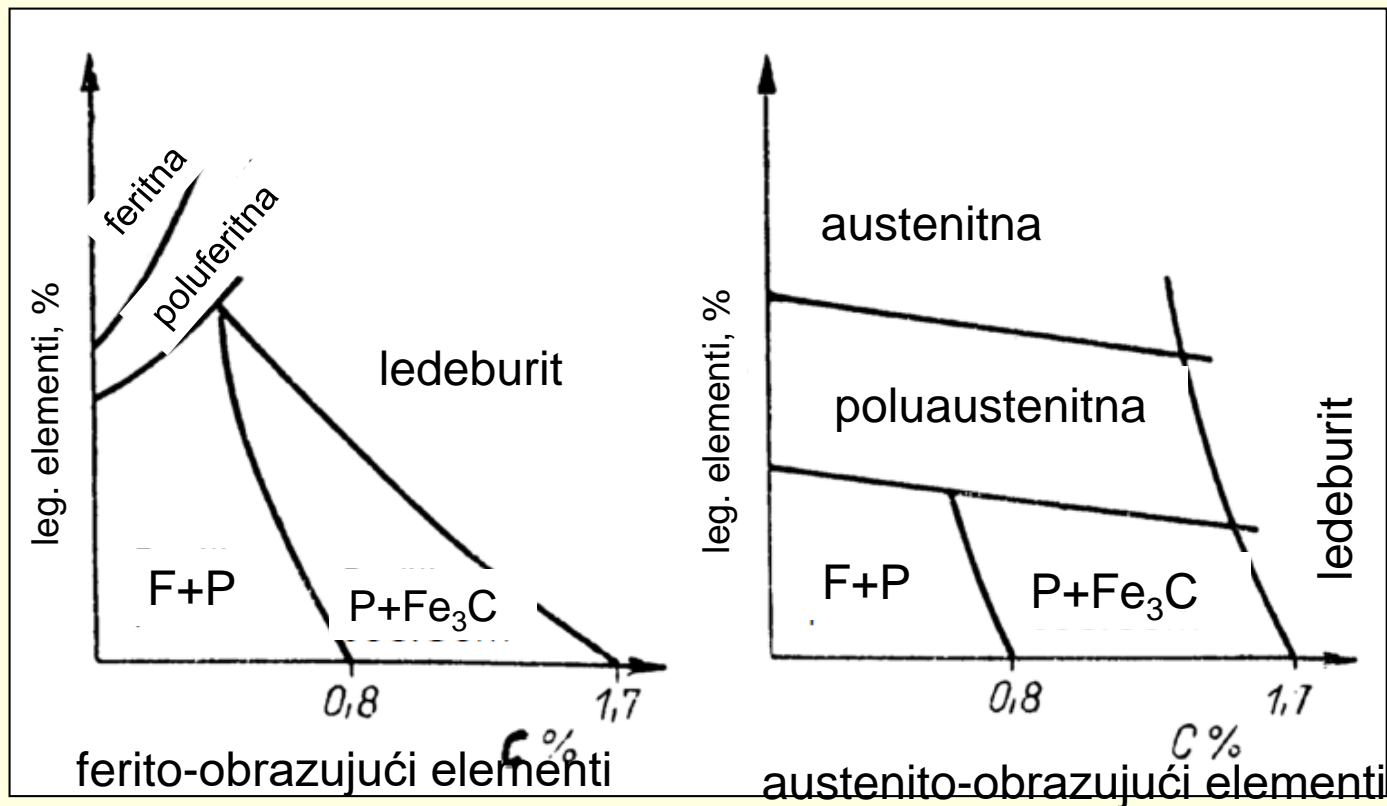
Mn, Mo, Cr, Si i Ni povećavaju prokaljivost po **Dzomini metodi** (dubinu sloja na kojoj se dostiže martenzit), dok npr **V i Co** **smanjuju prokaljivost**



a) Uticaj legirajućih elemenata na M_s 26

Uticaj legirajućih elemenata na mikrostrukturu čelika

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



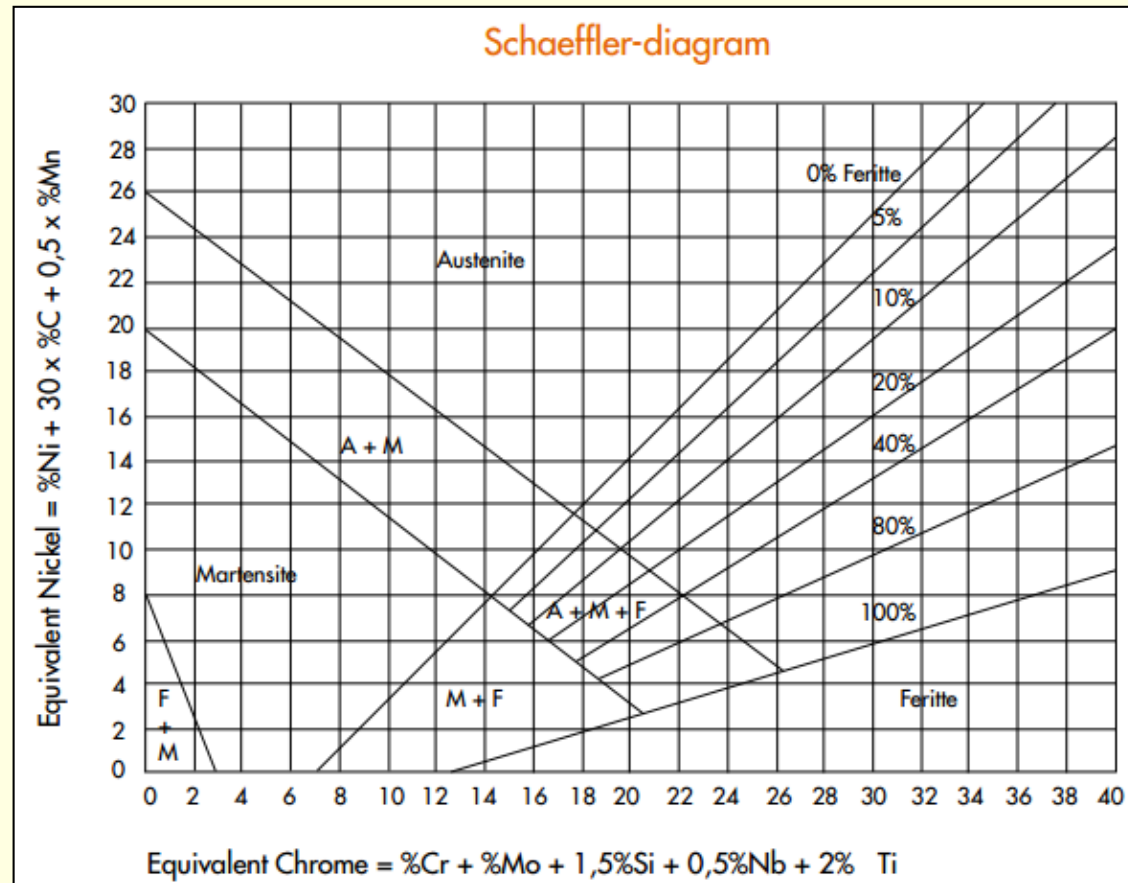
Ferito i austenito-obrazujući elementi utiču na finalnu mikrostrukturu (tako se javlja i struktura **ledeburita** npr. u alatnim čelicima)

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!



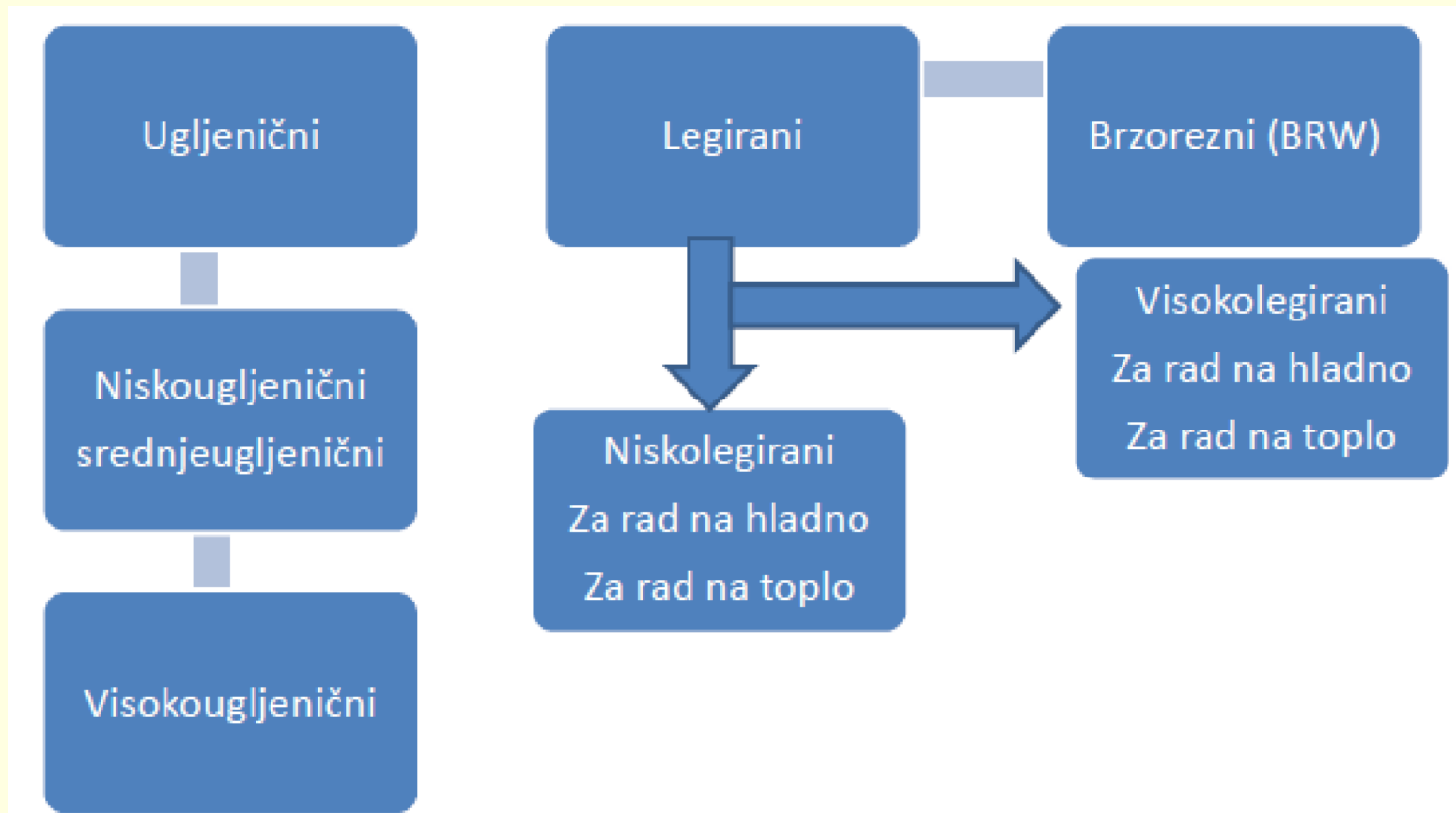
$$Cr_{eq} = (Cr) + 2(Si) + 1.5(Mo) + 5(V) + 5.5(Al) + 1.75(Nb) + 1.5(Ti) + 0.75(W)$$

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

ALATNI ČELICI

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

ALATNI ČELICI



Ugljenični alatni čelici

- **Prema hemijskom sastavu alatni čelici se dele na:**
 - nelegirane (ugljenične),
 - niskolegirane i
 - visokolegirane.
- **Prema radnoj temperaturi se dele na:**
 - za rad na hladno (< 200 °C),
 - za rad na toplo (>200 °C) i
 - brzorezne čelike.
- **Brzorezni čelici se prema hemijskom sastavu dele na:**
 - čelici sa 18 % W,
 - čelici sa 12 % W,
 - čelici sa 10 % W
 - W-Mo čelici i
 - Mo-čelici.

Ugljenični alatni čelici

- **Sa niskim sadržajem ugljenika (do 0,25%C)**
 - za merne alate, metalne lenjire, šablone i sl.
- **Sa srednjim sadržajem C (0,25-0,6%C)**
 - za izradu ručnih alata i pribora, reznih alata za obradu drveta, livačkih kalupa i sl.(za sekire, čekiče, srpove)
- **Sa visokim sadržajem C (više od 0,6%C); 0,6-1,4% C**
 - Primena za izradu alata za prosecanje, za preradu hladnim deformisanjem, za obradu drveta, stezni alati, mali kalupi za izradu plastike i gume i sl

Ugljenični alatni čelici

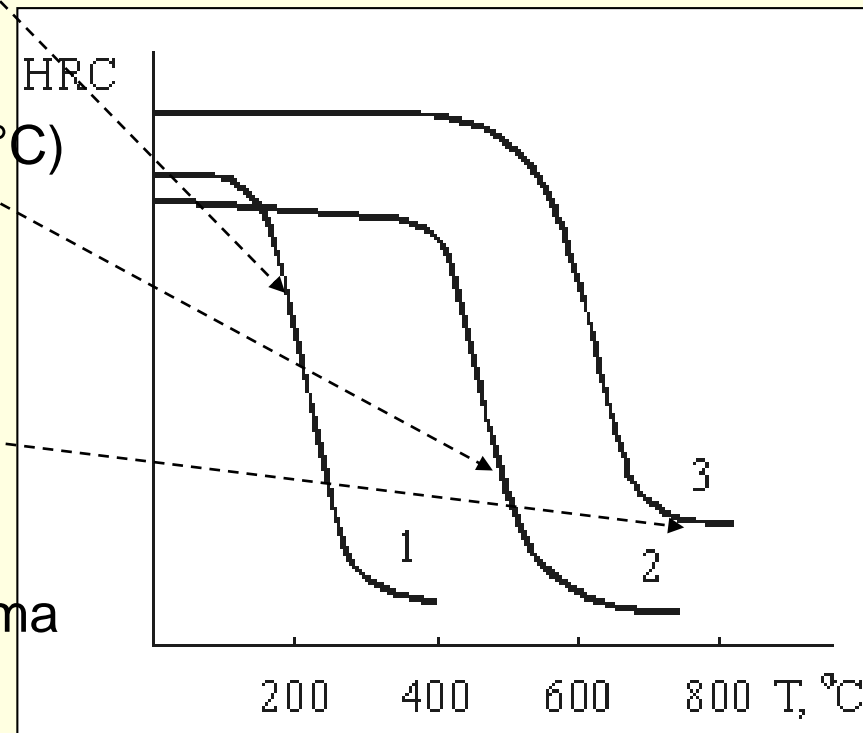
- Karakteristična su im sledeća svojstva:
 - visoka tvrdoća (60 – 64 HRC),
 - dobra otpornost na habanje do 150°C - zbog toga se od ugljeničnih alatnih čelika ne izrađuje rezni alat za veće brzine rezanja zbog većeg zagrevanja
 - imaju relativno dobru žilavost - za izradu alata izloženog jačim udarnim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

Legirani alatni čelici

Legirani alatni čelici 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



Legirani alatni čelici

- **Legirani alatni čelici za rad u hladnom stanju:**
 - Namenjeni za oblikovanje i mehaničku obradu **do 200°C**.
 - Osnovni legirajući elementi - **Cr**, a po potrebi i Mo, W i V.
 - Ovi čelici se primenjuju za alate za prosecanje 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:**
 - **Otpornost na otpuštanje – najvažnije svojstvo**
 - Osnovni legirajući elementi su **W, Co, Cr, Ni, V, itd.**
 - Namenjeni za izradu alata za:
 - kovanje i presovanje šipki i cevi,
 - za livenje pod pritiskom, itd.

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.
- Glavni legirajući elementi su **W i C** (0,8-1,4%C)
- Dozvoljavaju 2–4 puta veće brzine rezanja, a postojanost je 10–30 puta veća od ugljeničnih čelika.
 - W brzorezni čelici – koriste se za visoko opterećene alate pri **velikim brzinama rezanja** i za grubu obradu pod najtežim uslovima.
 - 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).

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 (9-18%) + Mo, V, Co**

- TO: Austenitizacija (1200...1300°C) + 3x otpuštanje (570...650°C) → 64...65 HRC

2) stvaraju **intermetalne faze** tokom TO i sadrže **20-25% Co, 11-20% W, 7% Mo** (0,1-0,3% C)

- Legirajući elementi Co, W, Mo obrazuju ojačavajuće intermetalne faze → Co_7W_6 ; $(\text{Co,Fe})_7\text{W}_6$ itd.
- TO: Austenitizacija (1200...1300°C) → 68 HRC
Otpuštanje (700...720°C) → 60 HRC

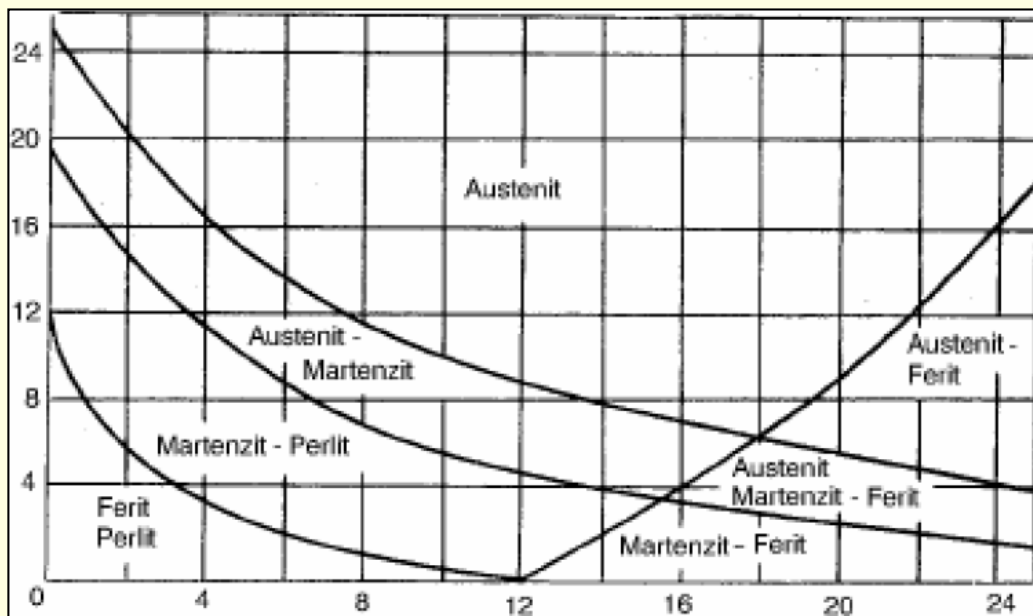
VISOKOLEGIRANI NERĐAJUĆI ČELICI

- 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 otkrića procesa uklanjanja ugljenika argonom i kiseonikom (Argon oxygen decarburization - 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**
 - 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**
 - Formiraju zaštitne slojeve
- **Gustina**
 - austenitni čelici imaju najveću gustinu - 7.9-8.1g/cm³

Podela nerđajućih čelika prema mikrostrukturi

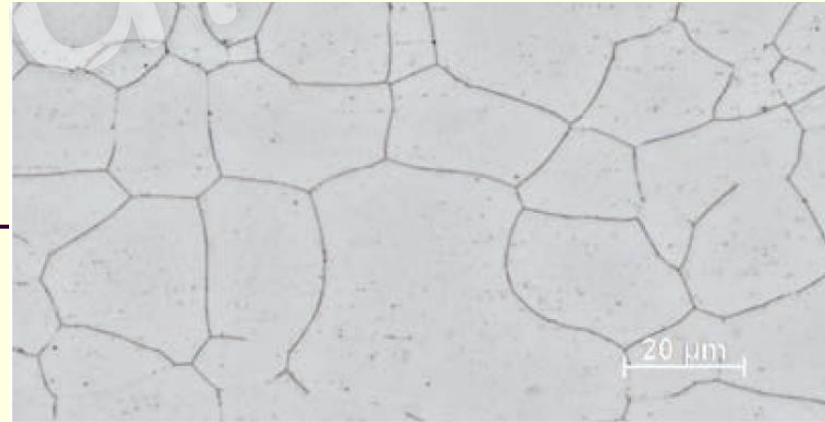


**Maurerov dijagram
za CrNi čelike**

Postoji 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

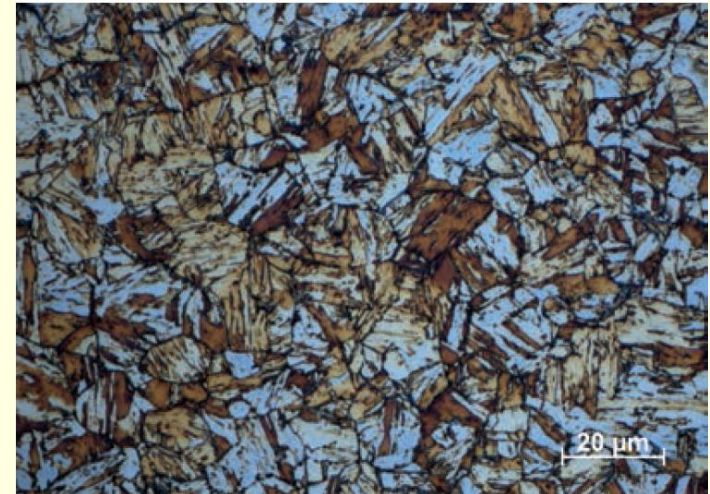
Feritni nerđajući čelici



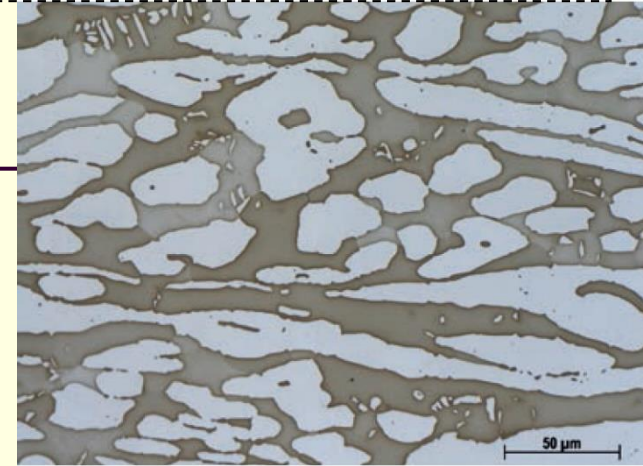
- Sadrže **Cr 12-30% i 0,02-0,12%C**
- Vrlo mali sadržaj Ni
- Ne ojačavaju termičkom obradom
- Mo se dodaje da se podigne otpornost na koroziju
- Feritni čelici (ili Cr čelici) su magnetični
- Feritni čelici za povišene temperature (800-1150°C) sadrže nešto više C, a dodaju im se i Al i Si da bi im porasla 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.
- Ojačavaju hladnom deformacijom

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 i Mo
- **Martenzit se dobija termičkom obradom**
- Čestično ojačavanje i **visoka čvrstoća**
- **Svi su magnetični**



tamno – ferit
svetlo - austenit



Dupleks nerđajući čelici

- 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%)**,
- **Visok sadržaj Cr (21-28%)**,
- Nizak sadržaj **Ni 3,5-7%**
- Dodaje se i **N** i za dodatno ojačavanje
- Mo se dodaje (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 temperature
- 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 γ stabilizator se dodaje i **N**, sadržaj **Cr oko 17%**
- imaju višu čvrstoću

■ Cr-Ni-Mo čelici

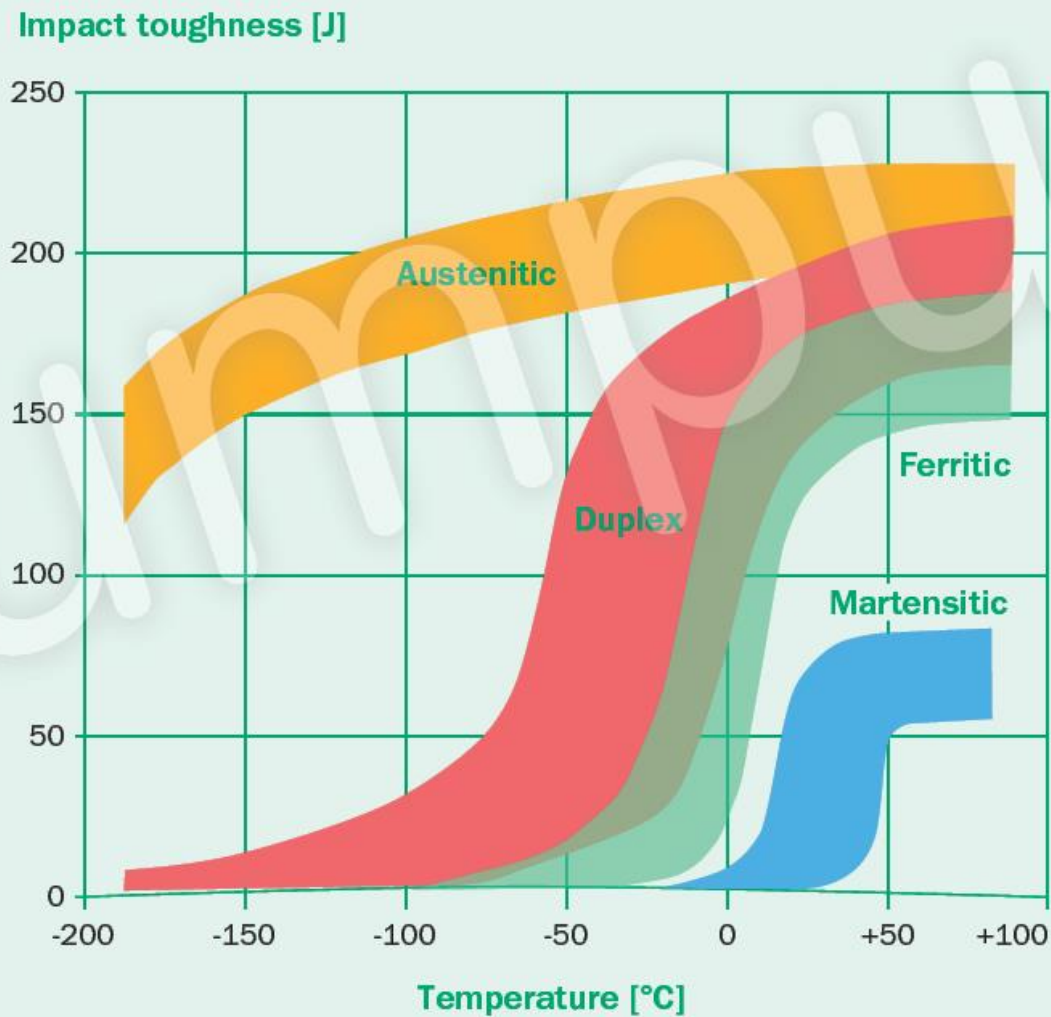
- Sadržaj **Cr oko 17%**, **Ni 10-13%**, **Mo 2-3%**
- **otporni na kiseline**
- Nekim se klasama dodaje N za ojačavanje ili S za bolju obradivost
- Postoje i stabilizovane klase kojima se dodaju Ti i Nb da bi formirali ojačavajuće čestice (i sprečili senzitivizaciju)

Austenitni nerđajući čelici

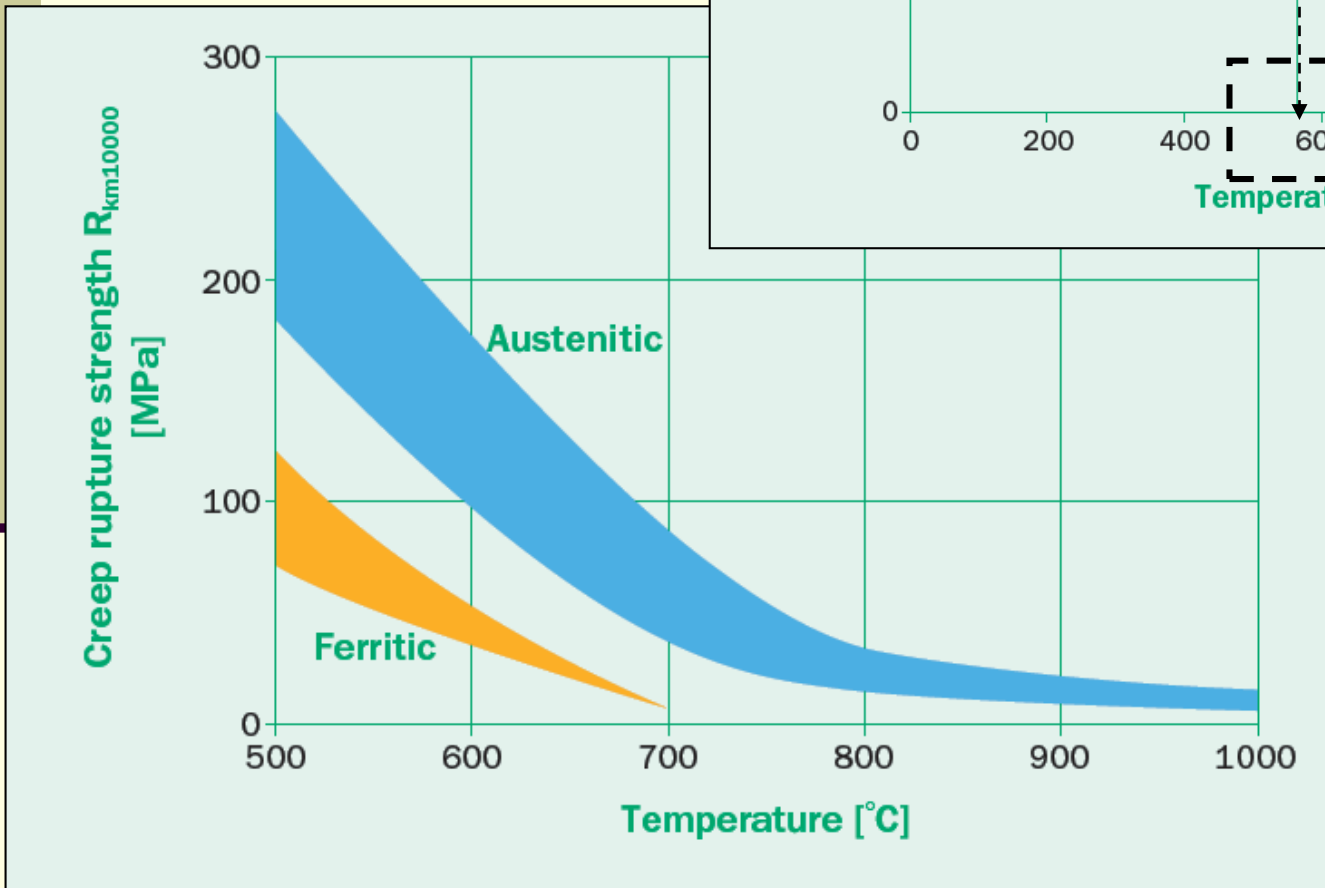
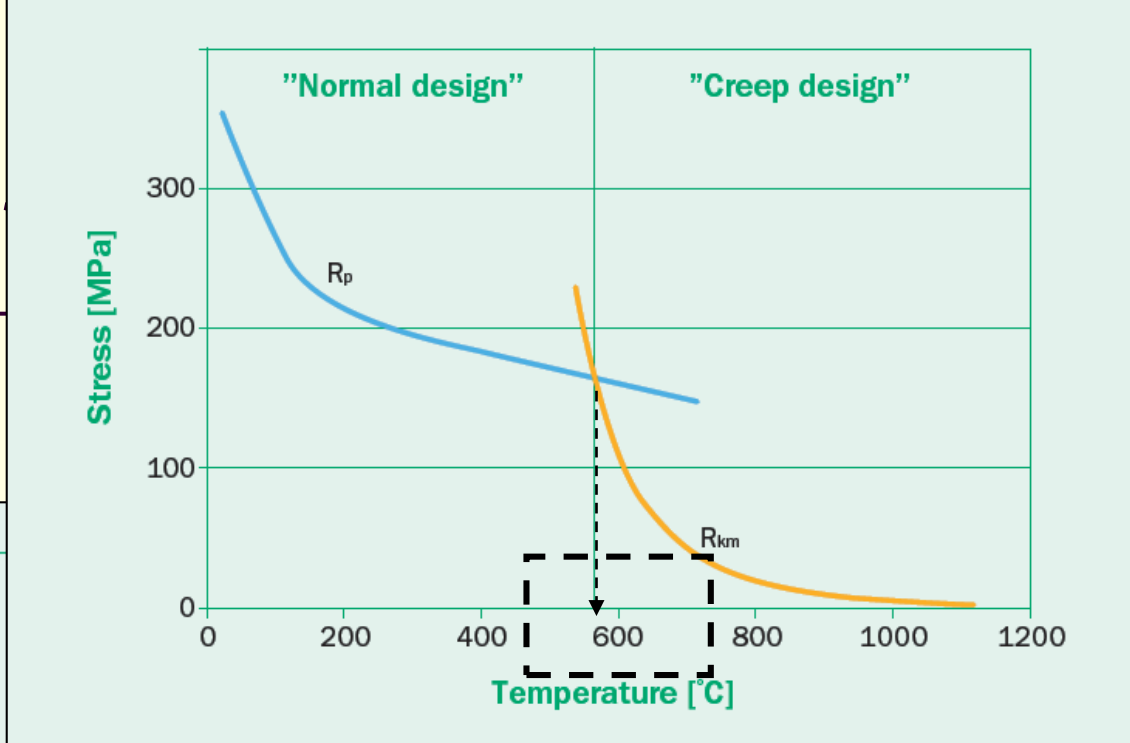
- sa visokim performansama (super austenitni)
- Sadržaj Cr 17-25%, Ni 14-25%, Mo 3-7%
- Legiraju se N i Cu (za otpornost na neke kiseline)

- 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 puzan nerđajućih čelika



početak puzanja
na $T <$ od oko 600°C

Toplotno postojani čelici otporni na puzanje

Mikrostruktura

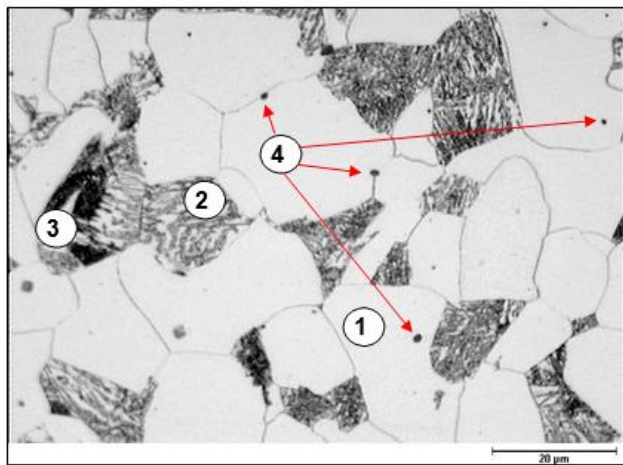
(niskouglijenični)

F+P

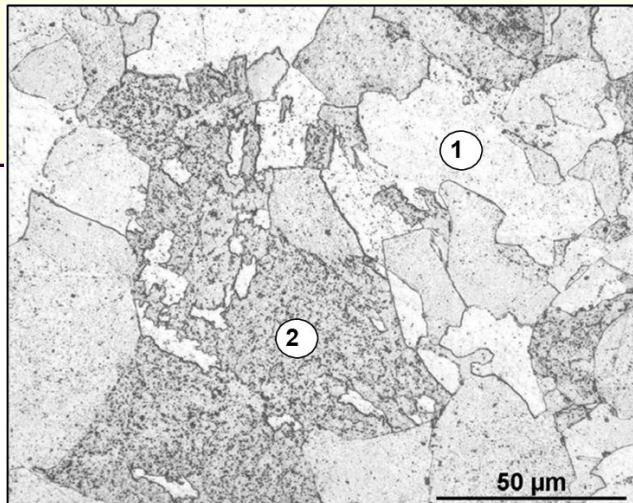
Oznake najčešće korišćenih čelika

	Materijal	Werkstoff -Nr./ Oznaka Materijala	Druge oznake	Standard/interna norma
Niskolegirani niskouglijenični – otpušteni F+P/B	16Mo3	1.5415		DIN EN 10 216-2
	13CrMo4-4	1.7335		DIN EN 10 216-2
	10CrMo9-10	1.7380	P 22	DIN EN 10 216-2
	14MoV6-3	1.7715		DIN EN 10 216-2
	15CrMoV5-10	(1.7745)		VdTÜV WB 506
Otpušteni martenzit	X10CrMoVNb9-1	(1.4903)	P 91	DIN EN 10 216-2
	X11CrMoWVNb9-1-1	(1.4905)	E 911	VdTÜV-Wbl. 522
	X10CrWMoVNb9-2		P92	EN 10216-2
	X20CrMoV12-1	1.4922		DIN EN 10 216-2
Austenitna	X8CrNiNb16-13	1.4961 (1.4981)		DIN EN 10 028-7
	X3CrNiMoN17-13	(1.4910)		DIN EN 10 269
Ni legura	NiCr23Co12Mo	(2.4663)	Inconel 617	VdTÜV-Wbl. 485

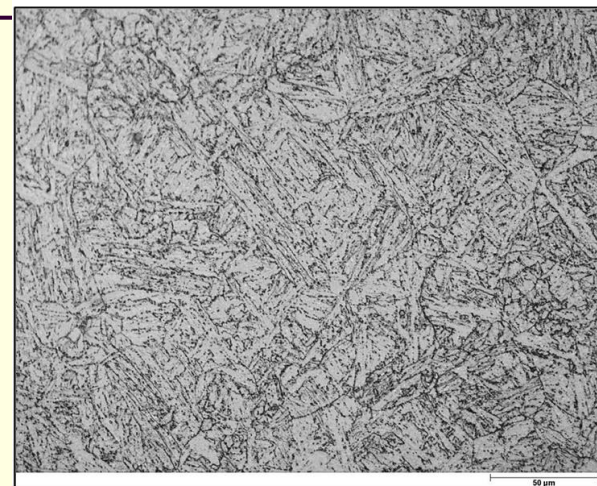
Toplotno postojani čelici otporni na puzanje Mikrostruktura



16Mo3 – F(1)+P(3)+B(2)+NU(4)



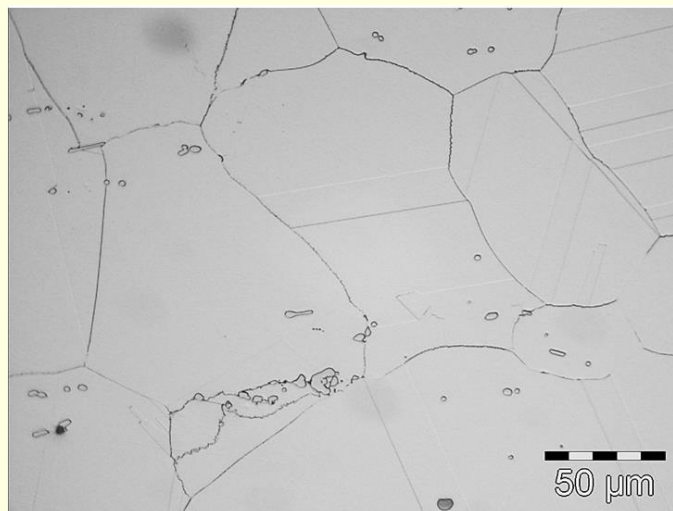
15CrMoV510 –F+K (1)+50%B(2)



X10CrMoVNb91 Otpušteni M



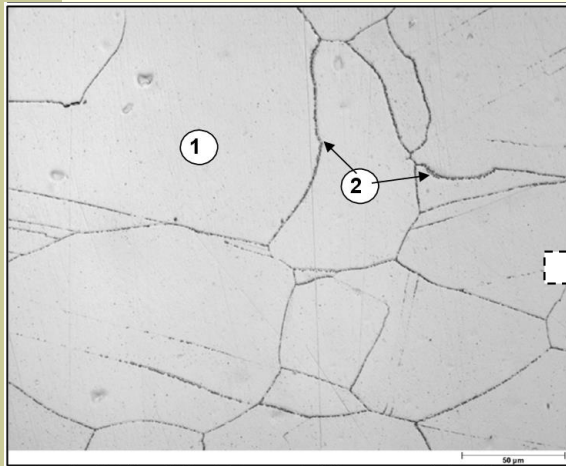
X8CrNiNb16-13 - Austenit



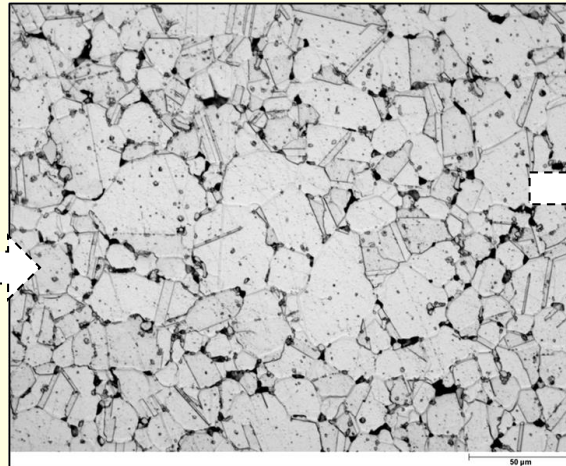
NiCr23Co12Mo – austenit + čestice

Toplotno postojani čelici otporni na puzanje starenje

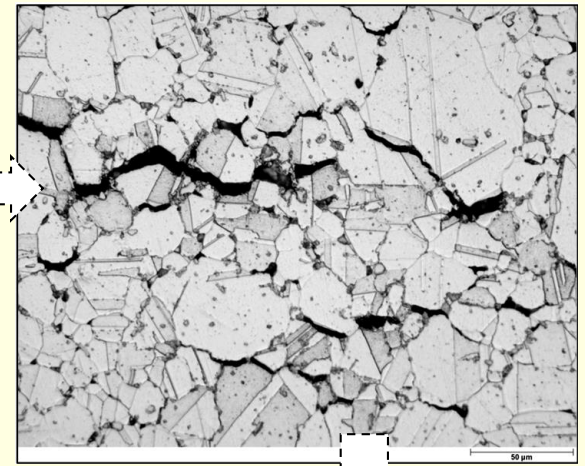
Primer:



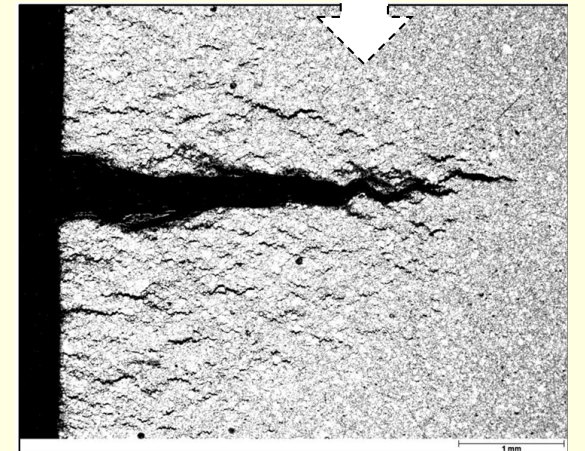
X8CrNiNb16-13 - Austenit



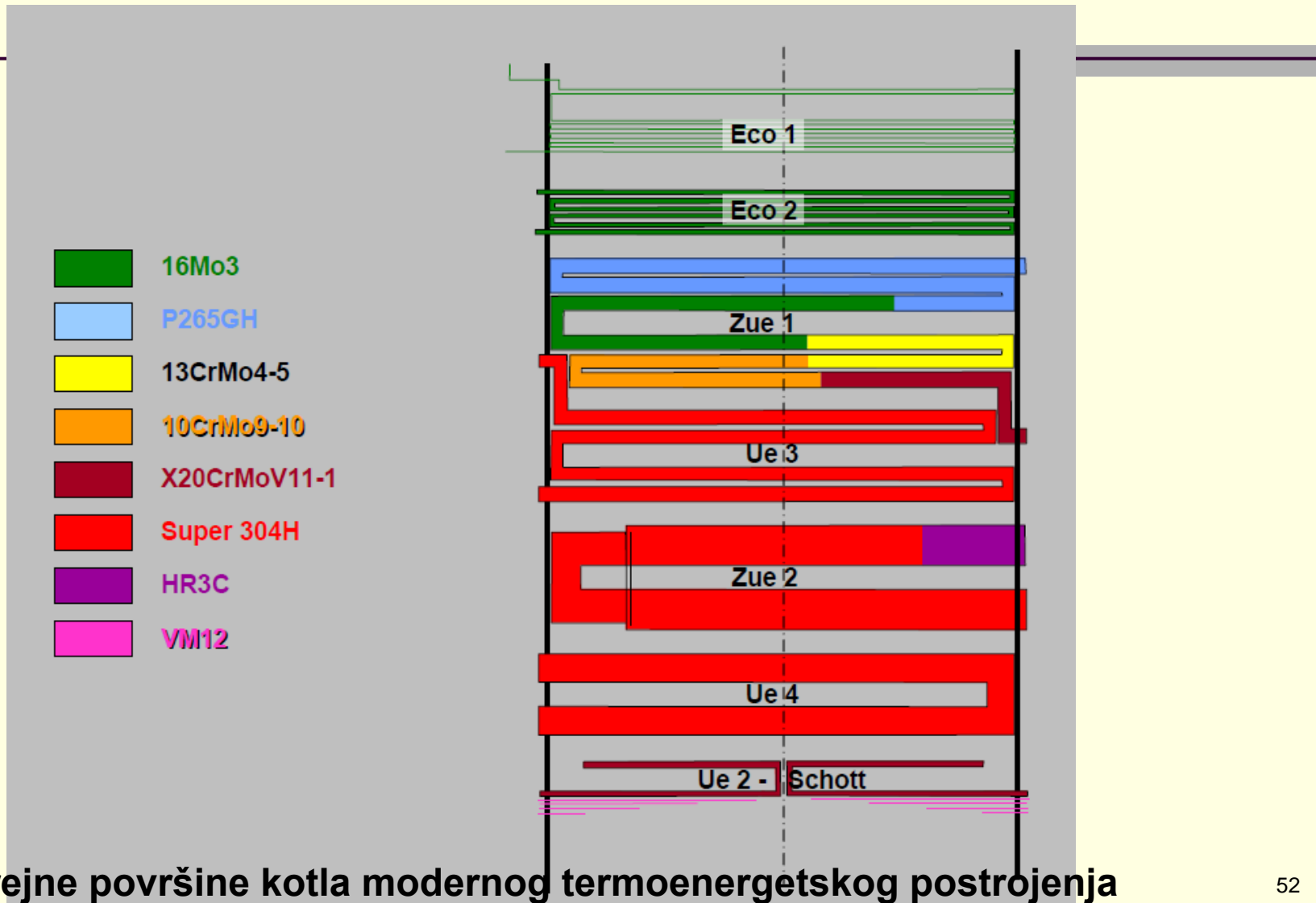
pore



prslina

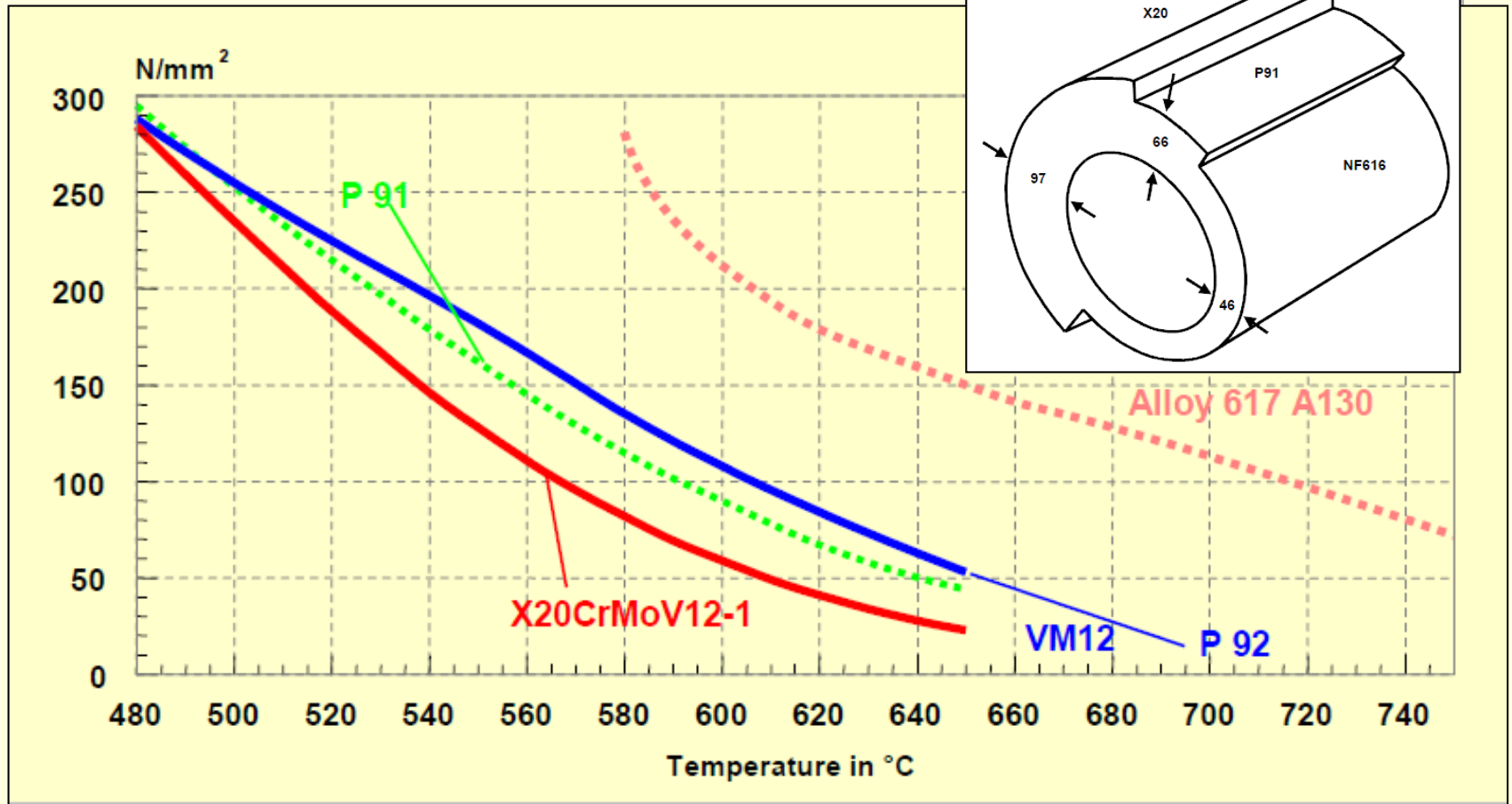


Uloga toplotno postojanih čelika – cilj 700°C



grejne površine kotla modernog termoenergetskog postrojenja

Martenzitni toplotno postojani čelici (često feritni)



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°C (nelegirani i niskolegirani čelici)
- do -100°C – Ni čelici sa niskim sadržajem – 2...5% Ni + Cr, V, Ti
- do -190°C (tečni N_2) – austenitni nerđajući čelici
- ispod -190°C (tečni H_2 , O_2) – visokolegirani koroziono otporni čelici – Cr > 10%; Ni > 20%

■ Hvala na pažnji 😊