

MAŠINSKI MATERIJALI

Gvožđe i njegove legure



Najveću primenu od svih tehničkih legura imaju legure na bazi gvožđa (čelici).

Široka primena ovih legura (90% ukupne svetske proizvodnje metalnih materijala), se zasniva uglavnom na sledećim činjenicama:

- rude gvožđa se u velikim količinama nalaze u zemljinoj kori,
- legure gvožđa se proizvode relativno jeftinim postupcima,
- postiže se dobra kombinacija različitih svojstava.

Osnovni elementi u svim vrstama čelika su **gvožđe** (osnovna komponenta) i **ugljenik** (legirajuća komponenta).

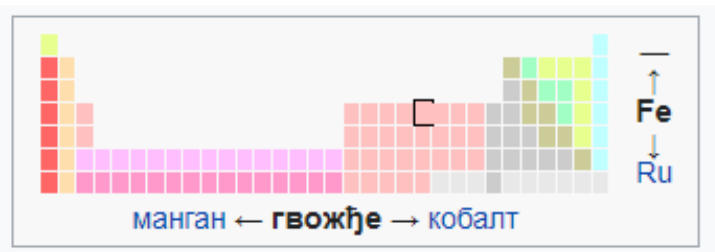


Gvožđe



Gvožđe

- hemijski element oznake – Fe
- u periodičnom sistemu elemenata pripada VIII grupi prelaznih metala
- atomski broj: 26
- atomska masa: 56
- potpuno čisto gvožđe je mekan metal srebrnkastog sjaja.
- temperatura topljenja: 1539 °C
- gustina: 7.874 (kg/m³)



манган ← гвожђе → кобалт

Fe
Ru



Gvožđe

Prema čistoći sastava razlikuju se sledeće vrste gvožđa:

- **hemijski čisto gvožđe - železo** (99,999% Fe), koje se dobija samo u laboratorijskim uslovima, nema praktičnu primenu,
- **tehnički čisto gvožđe** (99,8 - 99,9% Fe) koje pored gvožđa kao osnovne komponente sadrži i određene primese:
 - **ugljenik,**
 - **mangan,**
 - **silicijum i**
 - **fosfor.**



Rude gvožđa

Gvožđe se u prirodi nalazi u obliku ruda (u kojima je u jedinjenjima):

- sulfida (pirit (FeS_2))
- oksida (hematit (Fe_2O_3) i magnetit (Fe_3O_4)) i
- karbonata (siderit (FeCO_3))

Prerada sulfidne rude za dobijanje gvožđa je ređa, pa se obično ono dobija iz oksidnih ruda koje su najčešće sastavljene iz više vrsta oksida ili hidroksida gvožđa uz dodatak silikata ili karbonata gvožđa (Fe_3O_4 , FeCO_3 , i dr.).



Alotropske modifikacije gvožđa

Gvožđe ima svojstvo **polimorfije (alotropije)**.

U čvrstom stanju se javlja u **4 alotropske modifikacije: α , β , γ i δ gvožđe**. Njegova kristalna struktura se menja s promenom temperature.

- **α gvožđe (α -Fe)** poseduje **prostorno (zapreminski) centriranu kubnu kristalnu rešetku**, a stabilno je u temperaturskom intervalu između 723 °C - 770 °C. Ova alotropska modifikacija gvožđa odlikuje se feromagnetnim osobinama.
- U temperaturskom intervalu od 770 - 906 °C gvožđe i dalje ima **prostorno (zapreminski) centriranu kubnu kristalnu rešetku**, međutim iznad 770 °C odlikuje se paramagnetnim svojstvima. Zbog razlike u fizičkim karakteristikama, koristi se druga oznaka - **β gvožđe (β -Fe)**.
- Iznad temperature od 906 °C - 1401 °C gvožđe karakteriše **površinski centrirana kubna kristalna rešetka**. Ova alotropska modifikacija označava se kao **γ gvožđe (γ -Fe)**.
- Između 1401 °C i- 1539 °C gvožđe se ponovo odlikuje **prostorno (zapreminski) centriranom kubnom kristalnom rešetkom** i naziva se **δ gvožđe (δ -Fe)**.



Alotropske modifikacije gvožđa

(α -Fe) i (β -Fe) imaju **istu kristalnu rešetku** i to prostorno centriranu kubnu, ali oni nisu označeni istim simbolima zato: što se **razlikuju parametri** njihovih rešetki, a postoji razlika u **postojanosti na različitim temperaturama**.

Magnetni preobražaji (α -Fe u β -Fe) i **strukturni preobražaji** (α -Fe u γ -Fe i γ -Fe u β -Fe) koji se odvijaju na konstantnoj temperaturi, prikazani su na **krivama hlađenja** odnosno **zagrevanja** čistog gvožđa odgovarajućim temperaturnim zastojima.

Inernacionalno obeležavanje:

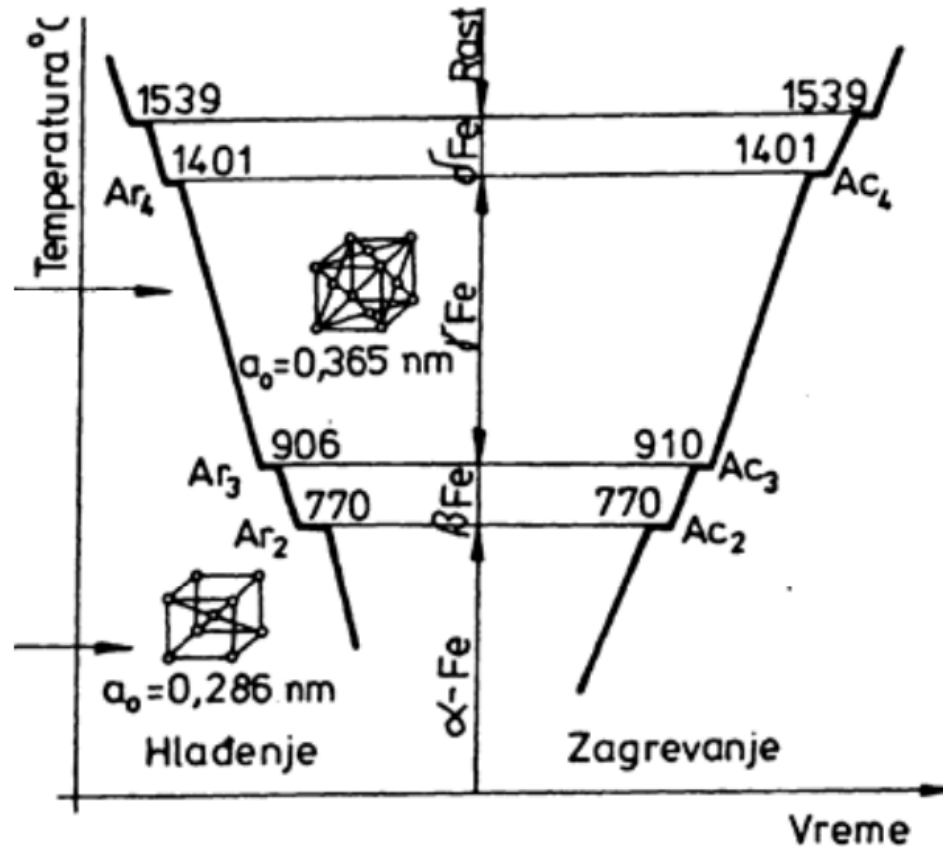
Ar - oznaka za hlađenje

Ac - oznaka za zagrevanje

S obzirom, da postoji više kritičnih tačaka na dijagramu u označavanju za svaki preobražaj se stavlja i brojna oznaka (npr. preobražaj δ -Fe u γ -Fe se označava oznakom Ar₄).



Krive hlađenja



Legure gvožđa



Legure gvožđa

Kako čisto gvožđe, ima skromna mehanička, hemijska i druga svojstva, potrebno je njegova svojstva bitno poboljšati, a to se postiže dodavanjem različitih hemijskih elemenata.

Proces dodavanja različitih hemijskih elemenata gvožđu se naziva **legiranje**.

Ovim postupkom dobijaju se legure gvožđa koje zadovoljavaju neophodna svojstva.

Legure gvožđa se obično dele na:

1. **čelike** (0,005 – 2) %C
2. **livena gvožđa** (2 – 6,67) %C
3. **ferolegure** - ferometale (gvožđe, kobalt, nikl i mangan) (preko 6,67 %C)



Legure gvožđa

Hemijski elementi koji učestvuju u procesu legiranja mogu biti:

- prateći i
- dodatni (legirajući)

Prateći elementi su zavisno od količine prisutni u manjoj ili većoj količini, a potiču iz sirovina koje služe za dobijanje legura gvožđa ili iz procesa proizvodnje:

- ugljenik
- silicijum
- mangan
- fosfor
- sumpor
- kiseonik
- azot i
- vodonik



Legure gvožđa

Dodatni elementi (legirajući elementi) dodaju se gvožđu sa ciljem dobijanja određenih svojstava koja se zahtevaju za određenu vrstu legure. Ovim dodavanjem gvožđe se **legira**:

- ugljenik
- hrom
- nikl
- aluminijum
- bakar
- silicijum
- mangan
- molibden
- wolfram
- vanadijum
- titan



Legure gvožđa

Legirajući elementi u dobijanju gvožđa sa određenim karakteristikama mogu da se dodaju pojedinačno ili istovremeno u cilju postizanja boljih mehaničkih, antikorozionih, vatrootpornih i drugih svojstava.

Osnovni legirajući element gvožđa je ugljenik (C), jer njega sadrže sve legure gvožđa.

Legirajući elementi se ponašaju različito tako da:

- **mangan, hrom, silicijum i molibden** se ograničeno rastvaraju u rešetki gvožđa gradeći **čvrste rastvore**
- **sumpor i kiseonik** grade sa gvožđem **hemijska jedinjenja** (FeS i FeO)

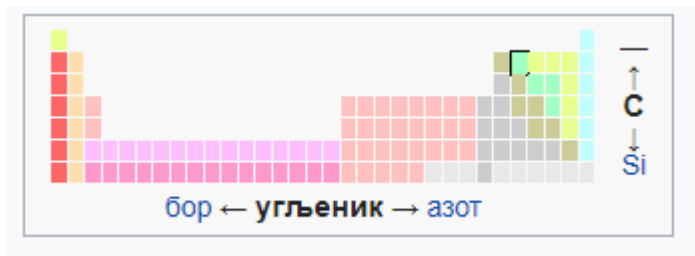


Ugljenik



Ugljenik

- hemijski element oznake – C
- nalazi se u IV grupi periodnog sistema elemenata.
- atomski broj: 6,
- atomska masa: 12,
- temperatura topljenja 3500 °C,
- gustina: 258 kg/m³



бор ← угљеник → азот



Ugljenik u gvožđu

Ugljenik u strukturi čelika i gvožđa može da bude:

- vezan sa gvožđem u vidu hemijskog jedinjenja – karbida gvožđa, Fe_3C , koji se naziva **cementit**;
- u slobodnom obliku kao **grafit**;
- intersticijski rastvoren u $\alpha\text{-Fe}$ i $\gamma\text{-Fe}$ obrazujući **čvrste rastvore**.



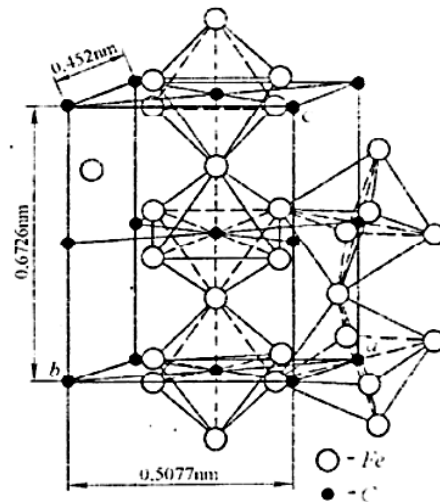
Uglenik u gvožđu

Cementit ima složenu rombičnu kristalnu rešetku, koja se obrazuje pri sadržaju ugljenika od 6,67% C (ostatak do 100% je gvožđe).

Veze između atoma gvožđa i ugljenika su prevashodno metalnog karaktera, zbog čega se cementit odlikuje i metalnim svojstvima, kao što su električna provodljivost i metalni sjaj.

Mehanička svojstva su mu posledica kristalne strukture i metalne veze, zbog čega je veoma tvrd (800 HV) i krt. Temperatura topljenja cementita nije definitivno utvrđena (smatra se da je $\sim 1250\text{ }^{\circ}\text{C}$) zato što se on razlaže pre nego što dođe do njegovog topljenja, na osnovne komponente, gvožđe i ugljenik.

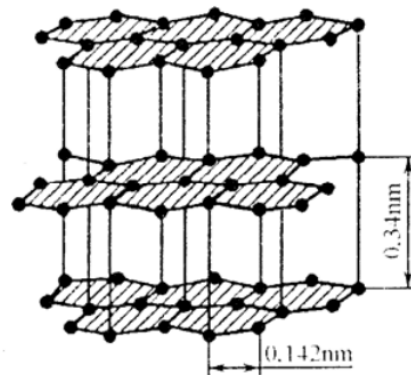
Pojedini atomi gvožđa u rešetki cementita mogu da budu zamenjeni atomima nekih drugih metala (Mn, Cr, Mo, W), pri čemu nastaje legirani cementit, koji ima veću tvrdoću od običnog cementita (do 1000 HV).



Ugljenik u gvožđu

Grafit je jedna od alotropskih modifikacija ugljenika i ima prostu heksagonalnu rešetku, koja se odlikuje slojevitim rasporedom atoma.

Zbog različitih parametara rešetke (0,142 i 0,342 nm) i slojevitog rasporeda atoma ugljenika, grafit ima malu tvrdoću i malu žilavost.



Uglenik u gvožđu

Čvrsti rastvori – Pošto su atomi ugljenika dovoljno mali, oni mogu intersticijski da se smeste u međuprostore α -Fe i γ -Fe i na taj način obrazuju sledeće čvrste rastvore:

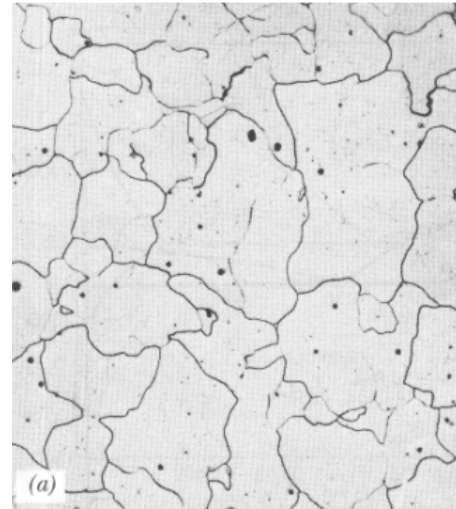
Ferit, koji predstavlja intersticijski čvrsti rastvor ugljenika u α -Fe i obeležava se sa α .

Rastvorljivost ugljenika u α -Fe zavisi od temperature: najmanja je na sobnoj temperaturi i iznosi 0,006 %C, a najveća na sobnoj na 727 °C i iznosi 0,025 %C.

Na osobine ferita presudno utiče sadržaj C. Ako su u feritu, pored C, rastvoreni i atomi drugih legirajućih elemenata, onda se takav ferit naziva *legirani ferit*.

Ferit je meki plastičan (tvrdoća 80 HB, zatezna čvrstoća $R_m=250$ MPa, izduženje $A=50\%$).

Dobar je provodnik toplote i električne struje. Magnetičan je do približno 770 °C.



Uglenik u gvožđu

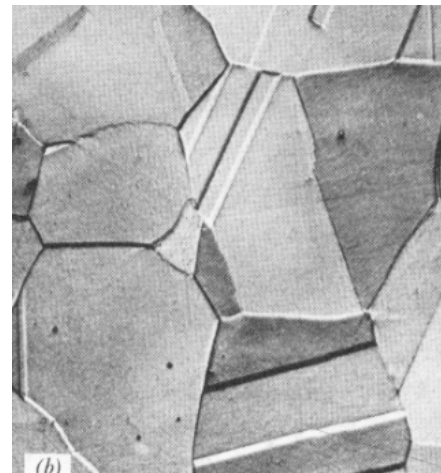
Austenit, koji predstavlja intersticijski čvrsti rastvor ugljenika u γ -Fe, obeležava se sa γ i postojan je na temperaturama iznad 727 °C.

Najmanja rastvorljivost ugljenika u površinski centriranoj kubnoj rešetki gvožđa iznosi 0,8% na 727 °C a najveća 2,0% C na 1148 °C.

Austenit je plastičan, ima veću zateznu čvrstoću i tvrdoću od ferita (170 – 200 HB, zavisno od sadržaja C).

Kada se na mestu atoma železa u površinski centriranoj kubnoj rešetki austenita nalaze atomi drugih legirajućih elemenata (npr. Cr, Ni) onda se takav austenit naziva *legirani austenit*.

Oblast stabilnosti legiranog austenita je različita od oblasti stabilnosti običnog austenita, pa on može da postoji i na temperaturama nižim od 727 °C.

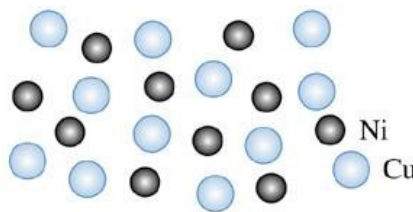


Dijagram stanja sistema

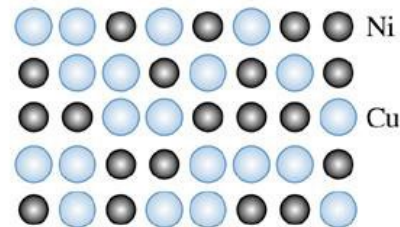


Rastvori i jedinjenja

- a) Hemijsko jedinjenje
- b) Čvrsti rastvor
- c) Složen sistem



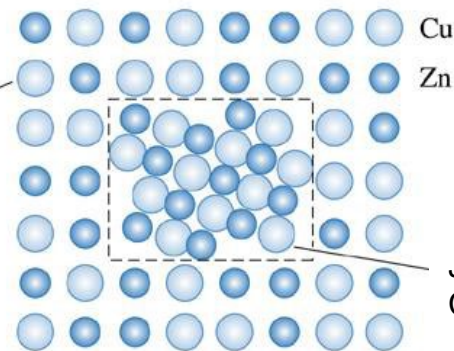
(a)



(b)

Čvrsti rastvor: faza u kojoj jedna komponenta (rastvarač) zadržava svoju kristalnu rešetku, a atomi druge komponente (rastvorka) raspoređuju se u toj rešetki.

Čvrst rastvor
Zn u Cu



Jedinjenje
Cu i Zn

(c)

Dijagrami stanja

Dijagram stanja predstavlja grafički prikaz faza u leguri pri različitim temperaturama i sastavu legure.

Ravnotežni dijagrami stanja koriste se za razumevanje i predskazivanje mnogih vidova ponašanja materijala. Neki od važnijih podataka koji se mogu dobiti korišćenjem dijagrama stanja su:

- Koje faze postoje u leguri?
- Kakav je njihov količinski sastav?
- Kakvi su međusobni količinski odnosi za različite temperature i različite sastave?
- Na kojoj temperaturi pri hlađenju legure pod ravnotežnim uslovima počinje očvršćavanje i u kom temperaturnom intervalu se ono dešava?
- Na kojoj temperaturi počinje topljenje različitih faza?
- Kakva je rastvorljivost jedne komponente u drugoj?



Dijagrami stanja

Ovi i drugi podaci koji se mogu dobiti na osnovu ravnotežnih dijagrama stanja potrebni su pri:

- Definisanju tehnologije termičke obrade,
- Obradi deformisanjem u čvrstom stanju,
- Zavarivanju,
- Livenju i
- Mnogim drugim važnim proizvodnim procesima u preradi metala.

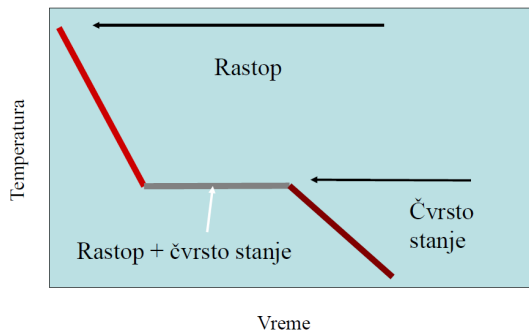


Krive hlađenja

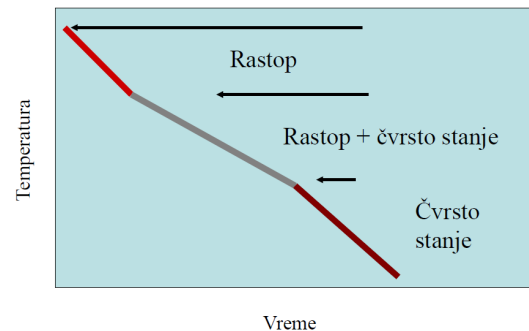
Dijagrami stanja se konstruišu na osnovu prethodno snimljenih krivih hlađenja.

Krive hlađenja: grafički prikaz promene temperature u funkciji vremena za čiste metale i legure.

Promena temperature se prati od tečnog stanja do sobne temperature.



Kriva hlađenja čistog metala

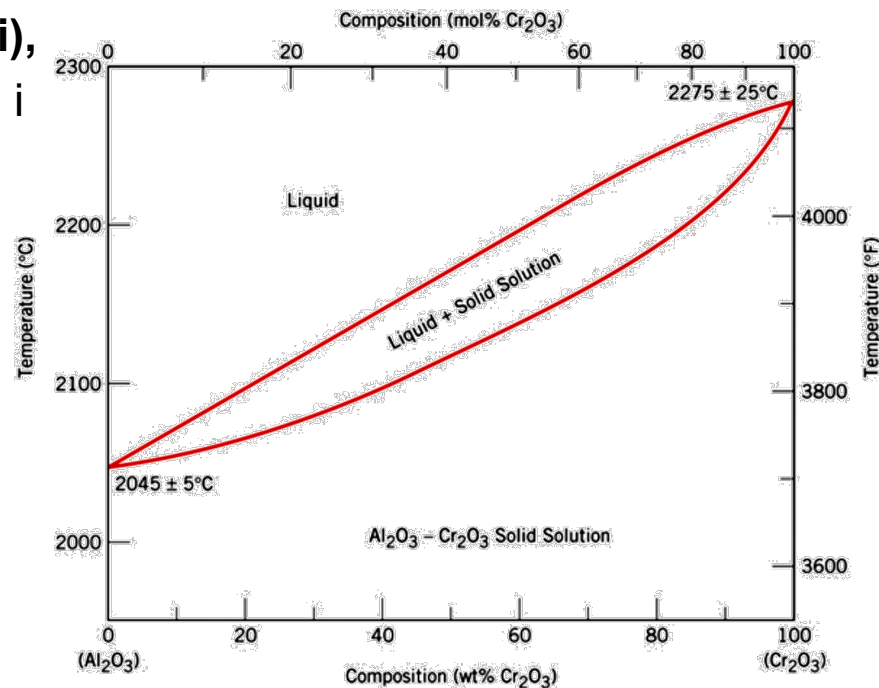


Kriva hlađenja legura

Dijagrami stanja

Ravnotežni dijagrami stanja u zavisnosti od broja komponenti u sistemu, mogu se podeliti na:

- Jednokomponentne,
- **Dvokomponentne (binarni),**
- Trokomponentne (ternarne) i
- Višekomponentne.



Binarni (dvokomponentni) ravnotežni dijagrami stanja

Prema uzajamnoj **rastvorljivosti u tečnom stanju** dva metala mogu biti:

- potpuno rastvorljivi,
- ograničeno rastvorljivi i
- potpuno nerastvorljivi.

Slično kao i u tečnom stanju postoje tri slučaja **rastvorljivosti u čvrstom stanju**:

- potpuno rastvorljivi,
- ograničeno rastvorljivi i
- nerastvorljivi.



Binarni (dvokomponentni) ravnotežni dijagrami stanja

Rastvorljivost odnosno nerastvorljivost dva metala u čvrstom stanju zavisi od njihovih osobina. Na primer, dva metala potpuno rastvorljiva u čvrstom stanju moraju imati pre svega:

- isti tip kristalne rešetke,
- neznatne razlike u veličini atoma, elektrohemijskim osobinama i valenci.

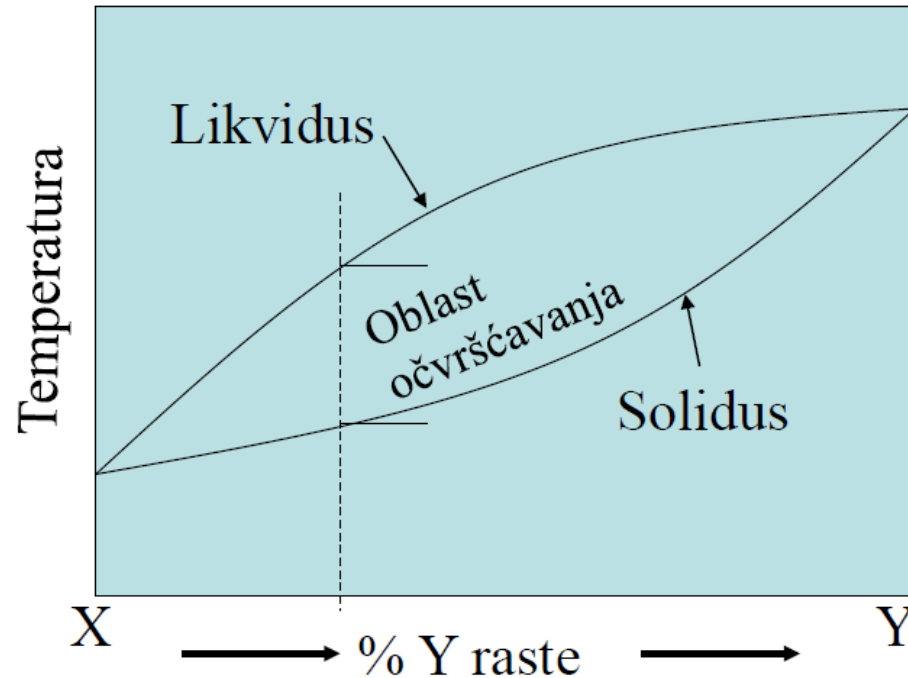
Potpuna rastvorljivost u čvrstom stanju: odnosi se na komponente koje grade čvrste rastvore pri bilo kojim koncentracijama; (Cu-Ni, Au-Ag, Au-Pt, Co-Ni, Ni-Pt, Bi-Sb).

Potpuna nerastvorljivost u čvrstom stanju: karakteriše se time što se iz rastopa (tečne faze potpuno rastvorenih komponenata) dobija smeša kristala čistih metala (Sn-Zn, Al-Sn, Bi-Cd).

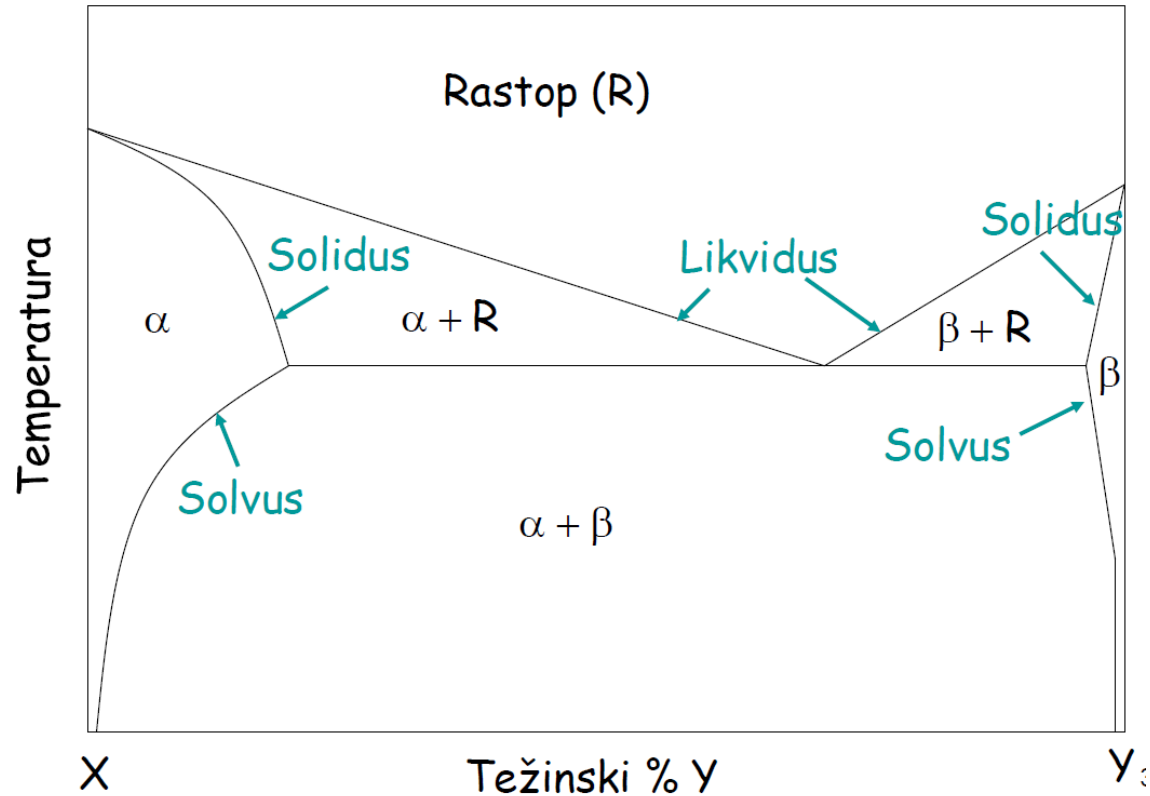


Likvidus linija: linija koja povezuje temperature početka očvršćivanja legura različitog sastava.

Solidus linija: linija koja povezuje temperature završetka kristalizacije (očvršćivanja) legura različitog sastava.



Dijagram stanja



Dijagrami stanja

Pošto ugljenik u vezanom obliku sa gvožđem, može da se nađe u dva oblika i to:

- kao cementit i
- u slobodnom obliku kao grafit;

iz ovih razloga postoje dva dijagrama stanja sistema:

- **metastabilni dijagram** sistema gvožđe - cementit i
- **stabilni dijagram** sistema gvožđe - grafit.

Metastabilni dijagram sistema (stanja) je značajan pri izučavanju čelika i livenih gvožđa, kod kojih je ugljenik izdvojen u obliku cementita.

Stabilni dijagram sistema (stanja) je značajan kod izučavanja livenih gvožđa kod kojih je ugljenik izdvojen u vidu grafita.



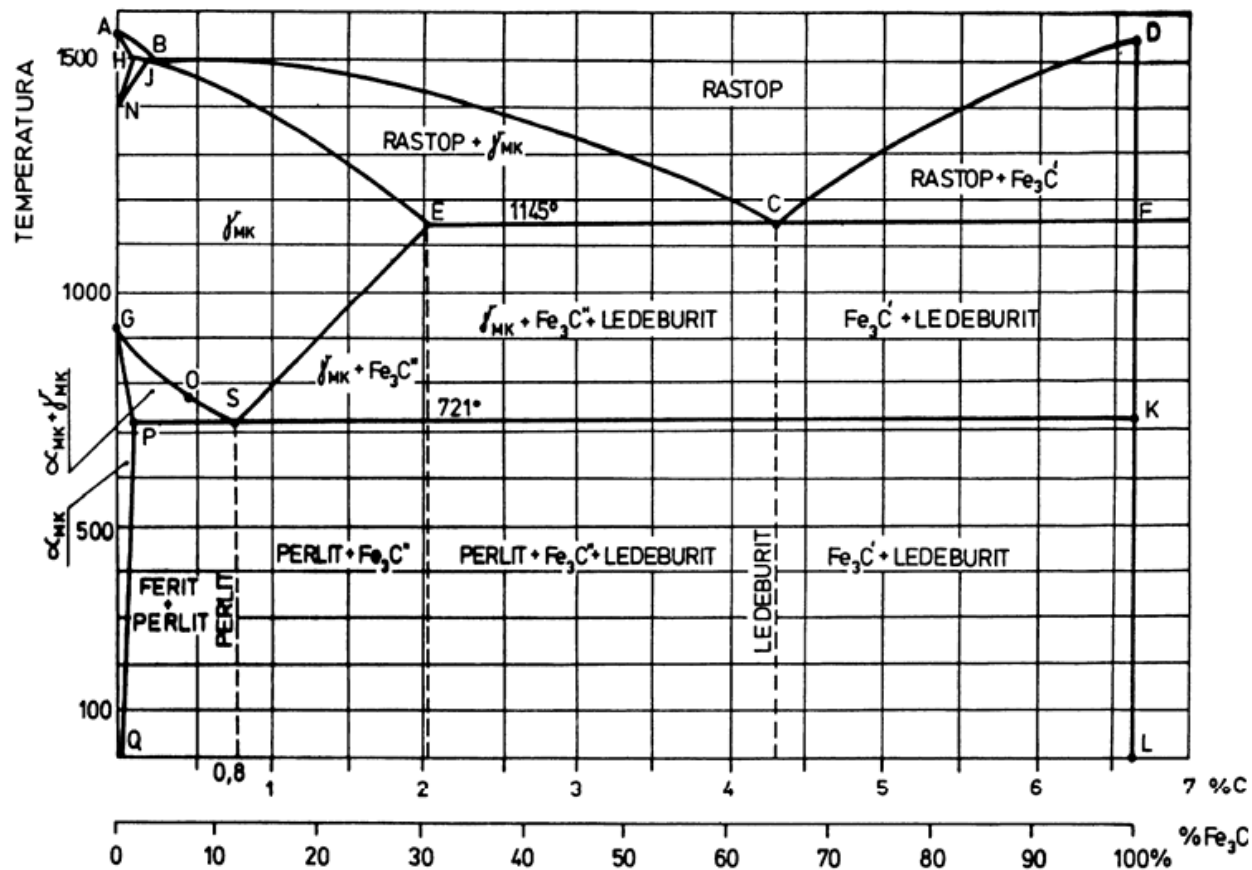
Metastabilni dijagram stanja

Metastabilni dijagram stanja sistema **gvožđe - cementit** je prikazan u pravouglom koordinatnom sistemu kod koga je na apcisi prikazan sadržaj ugljenika do 6,67% (odnosno 100% cementita), a na ordinati temperatura u °C.

Legure koje sadrže do 2% ugljenika nazivaju se **čelicima**, dok legure koje sadrže više od 2% ugljenika nazivaju se **livenim gvoždima**.



Metastabilni dijagram stanja



Karakteristične linije na dijagramu stanja

Eutektička reakcija: fazna transformacija koja se odvija pri konstantnoj (eutektičkoj) temperaturi a proizvod eutektičke promene jeste smeša finih kristala (komponenta A + komponenta B) nazvanih eutektikum.

Eutektička tačka: tačka u binarnom dijagramu koja odredjuje eutektički sastav i eutektičku temperaturu.

Podeutektička legura: legura koja je levo od eutektičke tačke.

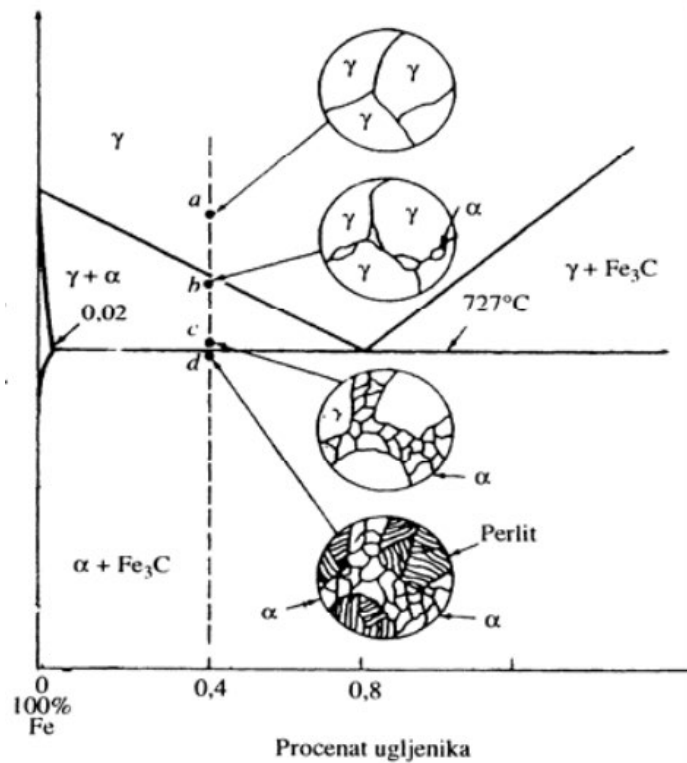
Nadeutektička legura: legura koja je desno od eutektičke tačke.



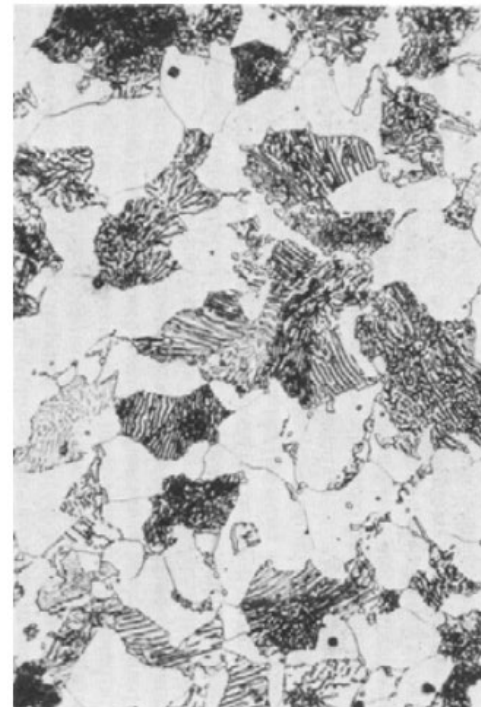
U odnosu na eutektoidnu tačku, čelici se dele na:

- **podeutektoidne čelike** sa sadržajem ugljenika 0,025-0,8%, čija se struktura sastoji od **ferita i perlita**,
- **eutektoidne čelike** sa sadržajem ugljenika od 0,8%, čija se struktura sastoji od **100% perlita** i
- **nadeutektoidne čelike** sa sadržajem ugljenika od 0,8-2,0%, čija se struktura sastoji od **perlita i sekundarnog cementita**.



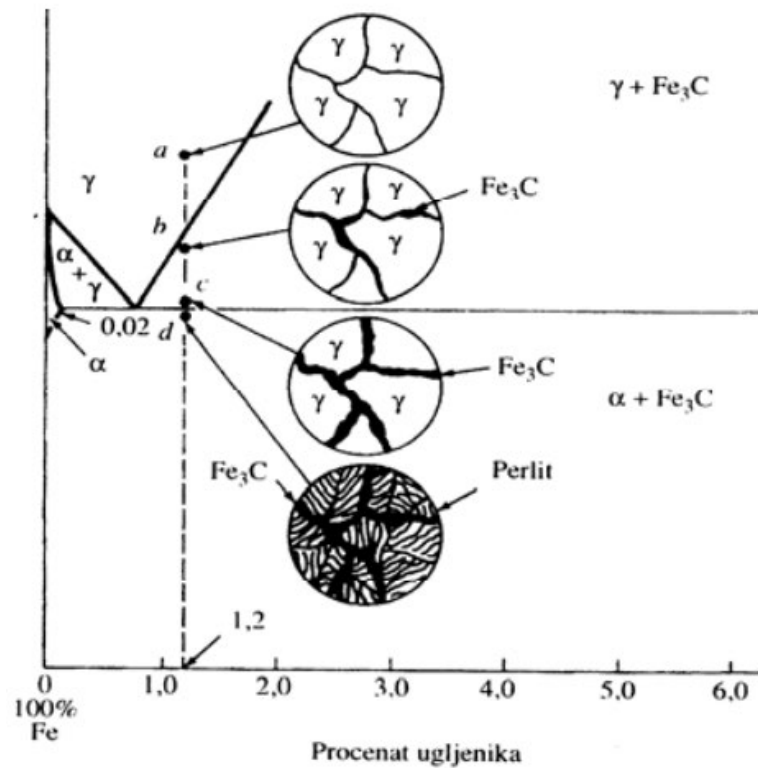


a)



b)

- a) Šematski prikaz obrazovanja strukture podeutektoidnog čelika;
 b) mikrostruktura: svetlo - ferit, tamno - perlit.



a)



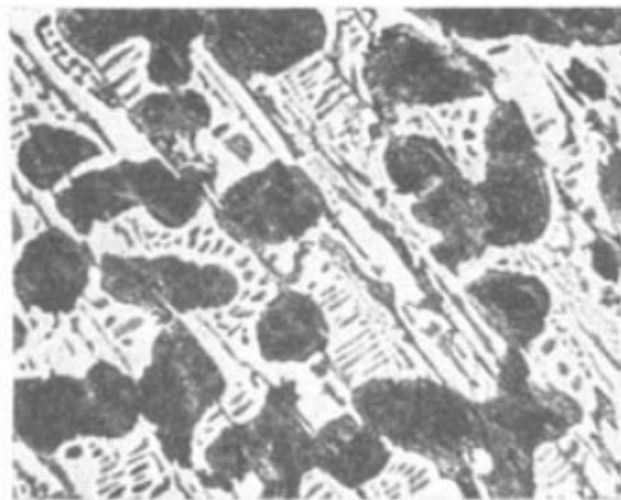
b)

- a) Šematski prikaz obrazovanja strukture nadeutektoidnog čelika;
 b) mikrostruktura: svetlo - cementit, tamno - lamelarni perlit

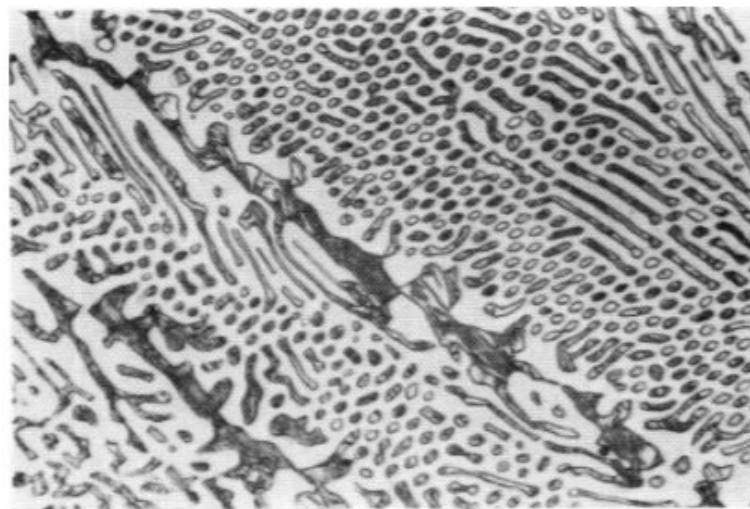
U odnosu na eutektičku tačku gvožđa se dele na:

- **podeutektička gvožđa** sa sadržajem ugljenika od 2,0 - 4,3% čija se struktura sastoji od **perlita, sekundarnog cementita i ledeburita II**;
- **eutektička gvožđa** sa sadržajem ugljenika od 4,3%, čija se struktura sastoji od **100% ledeburita II**;
- **nadeutektička gvožđa** sa sadržajem ugljenika od 4,3% - 6,67%, čija se struktura sastoji od **ledeburita II i primarnog cementita**.





a)



b)

Mikrostruktura gvožđa: a) podeutektičkog, b) nadeutektičkog.

MAŠINSKI MATERIJALI

Čelici



Čelici predstavljaju danas najbrojniju i najčešće korišćenu grupu metala. Razne vrste čelika najviše se upotrebljavaju u mašinskoj industriji, građevinarstvu, poljoprivrednoj mehanizaciji, rudarstvu, hemiji i energetici.

Danas je u svetu poznato nekoliko hiljada raznih vrsta čelika dobijenih odgovarajućom kombinacijom sadržaja ugljenika i legirajućih elemenata najrazličitijih osobina.



Svetska proizvodnja čelika

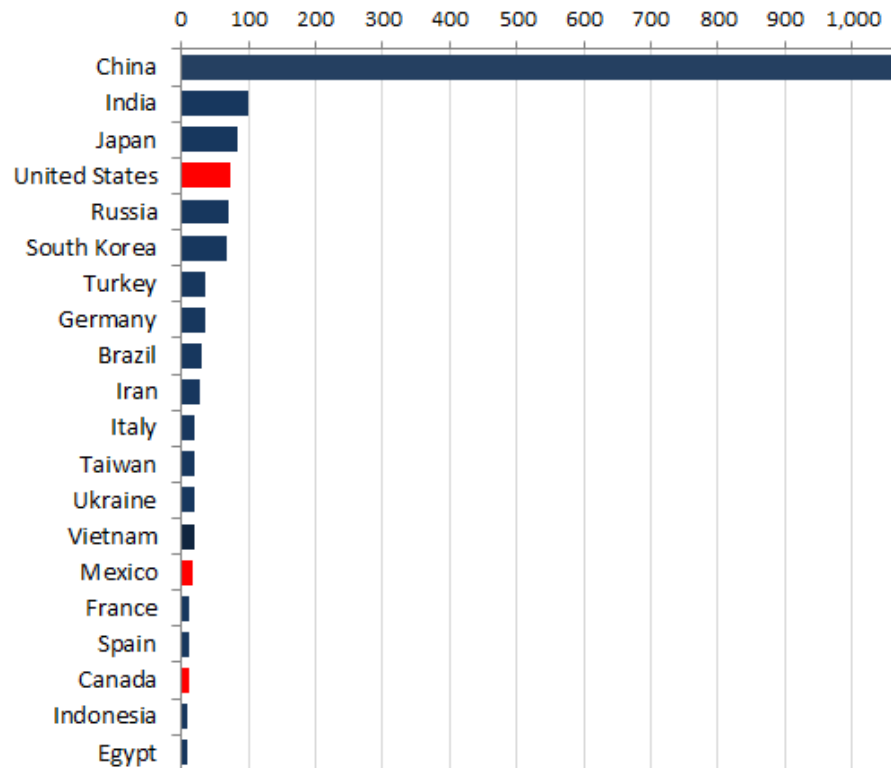
Metal	Milioni tona
Cink	7
Bakar	12
Aluminijum	21
Čelik	788



Najveći proizvođači čelika

Steel Production, Top 20 Countries, 2020

Million tonnes, **North America in red**



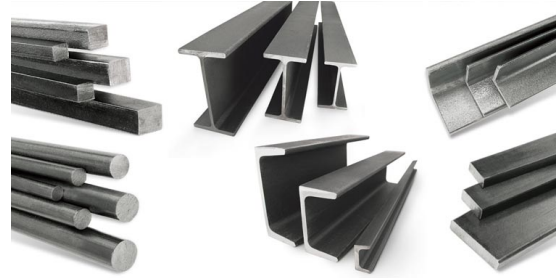
Upotreba čelika u konstrukcijama



Upotreba čelika u transportu



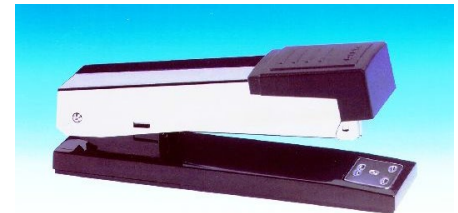
Upotreba čelika u tehnici



Upotreba čelika za ambalažu



Upotreba čelika za različite proizvode



Podela čelika



Podela prema sadržaju legirajućih elemenata

Osnovna podela čelika je **prema sadržaju legirajućih elemenata**:

Ugljenični čelici – u svom sastavu imaju pored ugljenika i prateće primese koje zaostaju u procesu proizvodnje čelika, kao što su Mn, Si, Al, P i S. Najznačajniji prisutni element je ugljenik i od njegovog sadržaja zavise mehanička i druga svojstva čelika.

Legirani čelici – u svom sastavu imaju pored ugljenika i pratećih elemenata namerno dodatih legirajućih elemenata u cilju poboljšanja željenih svojstava. Sadržaj legirajućih elemenata kod legiranih čelika mora preći standardom predviđene vrednosti određene narednom tabelom:

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



Podela prema sadržaju legirajućih elemenata

UGLJENIČNI (NELEGIRANI) ČELICI	
<i>opšta podela</i>	<i>posebne namene</i>
•običnog kvaliteta •kvalitetni čelici	•za gradjevinarstvo •za brodogradnju i železnice •za kotlove i sudove pod pritiskom •za karoserijske limove •za cevi, žice, zavrtnje, zakivke •za zavarene lance •čelici za automate •za elektrotehniku

LEGIRANI ČELICI	
<i>opšte namene</i>	<i>posebne namene</i>
• za poboljšanje • za površinsko kaljenje • za cementaciju • za nitriranje	• za opruge • za kotrljajuće ležajeve • za rad na niskim temperaturama • za ventile • čelici povišene jačine ($R_{eH} > 360 \text{ MPa}$)

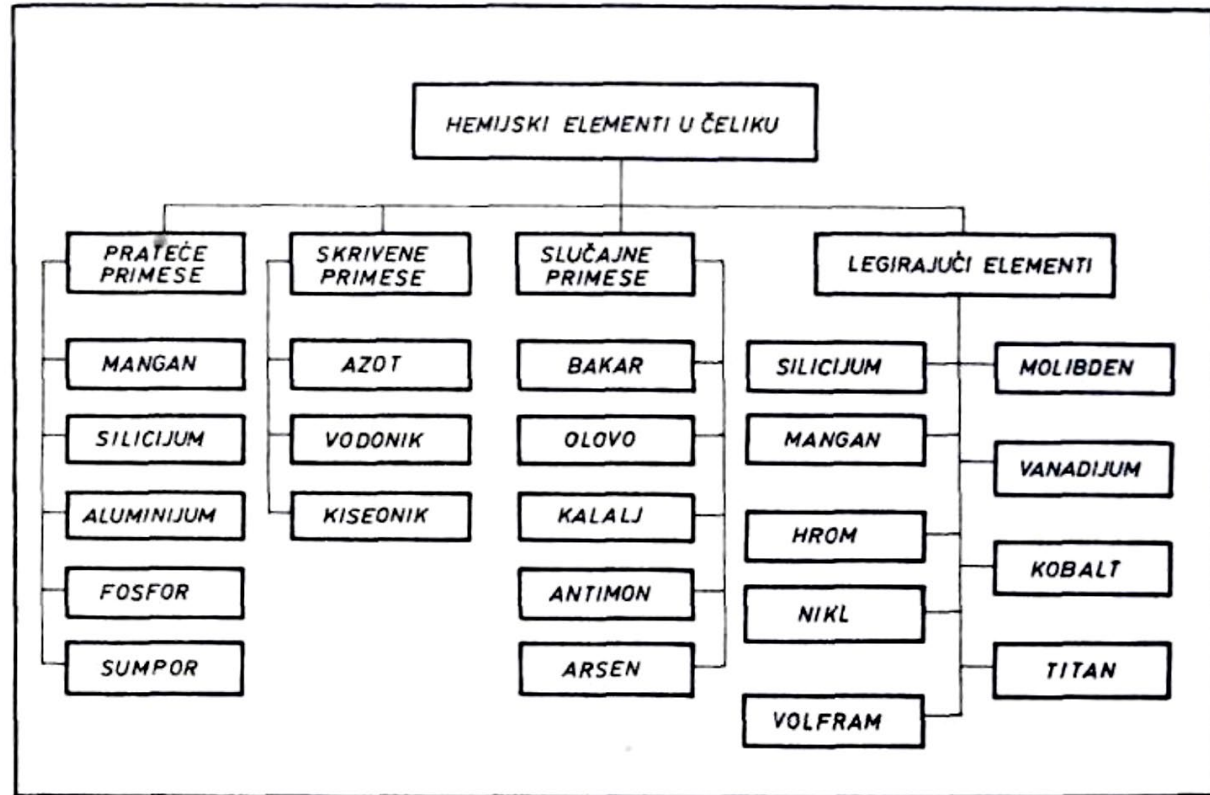
Podela prema sadržaju legirajućih elemenata

Hemijski elementi koji se javljaju u čeliku mogu se svrstati u:

- prateće,
- skrivene,
- slučajne i
- legirajuće elemente.



Podela prema sadržaju legirajućih elemenata



Podela prema sadržaju legirajućih elemenata

Prateće primese u čeliku vode poreklo iz rude gvožđa (Mn, Si, P) iz goriva (S) i od dezoksikatora (Mn i Si). Količina pratećih elemenata zavisi kako od polazne sirovine (rude, goriva, topitelja), kao i od samog postupka dobijanja čelika.

Skrivene primese u čeliku (O, N, H) dolaze iz atmosfere sa kojom rastopljeni čelik dolazi u kontakt u procesu dezoksidacije. Obzirom da je kontrola njihovih sadržaja u čeliku veoma složena, to se ona praktično i ne vrši.

Slučajne primese u čeliku (Cu, Pb, Sn, Sb, As) potiču iz polazne sirovine – rude gvožđa, a njihova pojava i sadržaj vezani su za vrstu rude.

Legirajući elementi u čeliku (Si, Mn, Cr, Ni, Mo, V, Co, Ti) namerno se dodaju čelicima sa ciljem da izmenom hemijskog sastava i strukture omogući dobijanje željenih svojstava.



Podela prema sadržaju legirajućih elemenata

Mangan kao prateći element u čeliku kreće se u sadržaju od 0,2-0,8 %. Mangan za sebe vezuje sumpor, stvarajući hemijsko jedinjenje MnS , koje se u najvećoj meri odstranjuje iz čelika u vidu šljake.

Silicijum se u čeliku kreće u granicama od 0,2-0,3%. Reakcijom oksida gvožđa i silicijuma dobija se jedinjenje silicijum oksida, i ono se najvećim delom odstranjuje iz čelika kroz šljaku, a zaostali udeo u strukturi čelika je u obliku silikata.

Fosfor je primesa koja je nepoželjna u čeliku, pa njegov sadržaj treba biti sveden na najmanju moguću meru tj. ispod 0,06%. Povećanje sadržaja fosfora u čeliku izaziva pojavu krtosti u hladnom stanju.

Sumpor kao prateći element u čeliku kreće se u sadržaju do 0,06%. Sumpor je nepoželjan u čeliku, jer sa gvožđem grade veoma štetno hemijsko jedinjenje sulfid gvožđa (FeS).



Podela prema sadržaju legirajućih elemenata

Aluminijum se kao prateći element u čeliku kreće u granicama 0,1 - 0,2%. S obzirom na povećanu krtost i smanjenja prokaljivosti čelika predstavlja nepoželjnu primesu.

Azot je element koji se javlja kod čelika i predstavlja nepoželjnog pratioca. Kreće se u granicama 0,01-0,03%, u zavisnosti od postupaka dobijanja čelika. Prisustvo N_2 u čeliku izaziva procese starenja.

Vodonik je veoma štetan pratilac. Greške koje izaziva vodonik u čeliku nazivaju se "belim pegama", a predstavljaju pukotine usled naprezanja.



Podela čelika

Pored navedene podele prema hemijskom sastavu, čelici se mogu podeliti i prema:

- nameni,
- načinu proizvodnje,
- čistoći,
- strukturi,
- stanju isporuke,
- obliku proizvoda.



Podela prema nameni

Najznačajnija podela čelika je prema **nameni**, na:

Podela čelika prema nameni				
Konstruktivni čelici		Čelici za posebne namene		Alatni čelici
Ugljenični obični čelici	Ugljenični čelici	Ugljenični legirani celici		Ugljenični čelici
- Opšti konstrukcioni čelici - Finozrni konstrukcioni čelici - Vučeni čelici - Čelici za limove i trake - Čelici za cevi - Čelici za žice - Čelici za izradu zavrtnjeva i navoja - Čelici za lance - Čelici za obradu na automatima	- Čelici namenjeni toploj preradi - Čelici namenjeni hladnoj preradi - Kotlovski čelici	- Čelici namenjeni toploj preradi - Čelici namenjeni hladnoj preradi - Kotlovski čelici - Čelici za cementaciju - Čelici za poboljšanja - Čelici za opruge - Čelici za površinsko kaljenje - Čelici za nitriranje - Čelici za smanjenje temperature - Čelici za povećane temperature - Vatrootporni čelici	- Čelici za kotrljajuće ležaje - Čelici za ventile motora - Čelici otporni na habanje	- Ugljenični čelici - Čelici za hladan rad - Čelici za topli rad - Čelici za hladan i topli rad - Brzorezni čelici - Alatni nerđajući čelici



Podela prema načinu proizvodnje

Prema **načinu proizvodnje** čelike delimo shodno postupku dobijanja, a to su:

- Simens-Martenov proces
- Besemerov proces
- Kiseonički postupak (LD Postupak, BOF postupak)
- Elektro proces.



Podela prema čistoći

Prema **čistoći** razlikujemo:

- obične,
- kvalitetne i
- plemenite čelike

Obični ugljenični-nelegirani čelici u svom sastavu imaju P i S pojedinačno najviše do 0,06%.

Kvalitetni ugljenični - nelegirani čelici u svom sastavu imaju sadržaj P i S pojedinačno najviše do 0,045%.

Plemeniti ugljenični, nisko i visoko legirani čelici imaju u svom sastavu P i S pojedinačno najviše do 0,015%.



Podela prema strukturi

Prema **strukturi** na sobnoj temperaturi čelici se dele na osnovu strukturnih faza koje se u čeliku javljaju pri hlađenju na mirnom vazduhu. Tako razlikujemo:

- feritne,
- perlitne,
- austenitne,
- martenzitne,
- ledeburitne i
- mešovite (npr. feritno-perlitne čelike).



Podela prema stanju isporuke

Pema **stanju isporuke** razlikujemo dve vrste čelika:

- ❖ termički obrađeno stanje i
- ❖ termički neobrađeno stanje isporuke.

Termički obrađeno stanje zavisi od vrste oblika polufabrikata i može biti:

- žareno,
- normalizovano,
- poboljšano,
- hladno vučeno,
- hladno vučeno i poboljšano,
- ljušteno i sl.



Podela prema obliku poluproizvoda

Prema **obliku poluproizvoda** čelici se dele na:

- ☐ vruće valjane,
- ☐ hladno vučene,
- ☐ hladno valjane i
- ☐ proizvode oblika odlivaka i otkivaka.



Ugljeniční čelici



Podela ugljeničnih čelika

Prema **nameni** ugljenični čelici se dele na:

- **konstrukcione**, sadržaj ugljenika kreće u granicama do 0,6%;
- **alatne**, sa sadržajem ugljenika preko 0,6%.

Prema **sadržaju ugljenika**, ugljenične čelike delimo na:

- **niskougljenične** čelike, sadržaj ugljenika kreće u granicama od 0,06 -0,25%;
- **srednjeugljenične** čelike, sadržaj ugljenika kreće u granicama od 0,25-0,60%;
- **visokougljenične** čelike, sadržaj ugljenika kreće u granicama od 0,6% -2,1%.



Niskougljenični čelici

Niskougljenični čelici se upotrebljavaju za **opštu namenu**, najčešće u građevinarstvu i kod manje odgovornih konstrukcija u mašingradnji. Od ovih čelika se izrađuju metalni delovi opšte namene: razne cevi, nosači, ekseri i sl.

Ogledaju se **malom čvrstoćom i tvrdoćom**.

Ne mogu se termički obrađivati kaljenjem, zbog malog sadržaja ugljenika, ali im se tvrdoća i otpornost na habanje povećava termohemijskim obradama (cementacijom ili nitriranjem).



Srednjeugljenični čelici

Srednjeugljenični čelici odlikuju se **većom čvrstoćom** ali **manjim plastičnim svojstvima** od niskougljeničnih čelika.

Mogu se **termički obrađivati**.

Najčešći vid termičke obrade je poboljšanje.

Koriste se za izradu: šina, osovina, nosača i sl.



Visokougljenični čelici

Visokougljenični čelici imaju zateznu čvrstocu $R_m > 700 \text{ MPa}$ i sadrže više od 0,6% ugljenika.

Ove vrste čelika koriste se kod izrade delova od kojih se **zahteva velika tvrdoća i čvrstoća**, ali na račun istezanja.

Koriste se za izradu osovina za lokomotive, raznih žica, garnitura za bušenje kamena, probijača i sl.

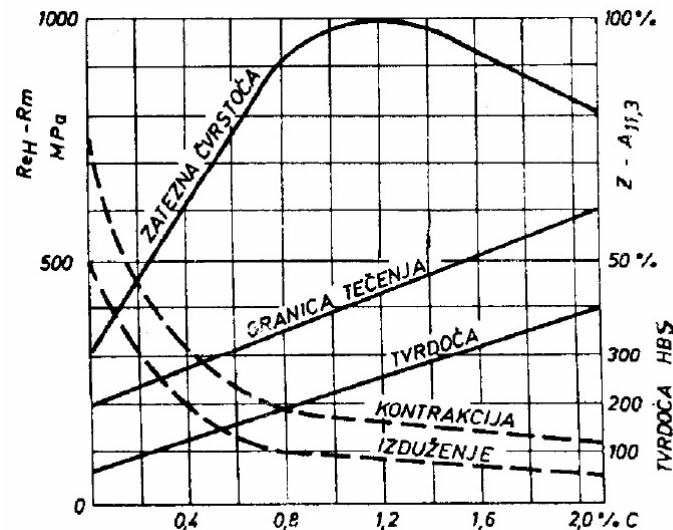


Uticaj ugljenika na strukturu i svojstva ugljeničnih čelika

Prema metastabilnom dijagramu stanja, sa porastom sadržaja ugljenika, struktura čelika se menja od feritne, feritno-perlitne, perlitne, do perlitno-cementitne. Prema tome, mehanička svojstva ugljeničnih čelika zavise od sadržaja ugljenika.

Sadržaj od 0,1% C povećava zateznu čvrstoću čelika za oko 90 MPa, a napon tečenja za oko 45 MPa. Poređenja radi, za sličan porast zatezne čvrstoće potrebno je 1% Mn, Si, ili Cr.

Znači, ugljenik utiče na osobine gvožđa oko deset puta više nego navedeni legirajući elementi.



Uticaj ugljenika na mehanička svojstva ugljeničnih čelika



Konstruktivni ugljeni čelici

Konstruktivni ugljeni čelici izrađuju se u sva tri stanja:

- neumereni,
- poluumereni i
- umereni.

U zavisnosti od **stepena pročišćenosti** konstruktivni čelici dele se na:

- **obične** ugljenične konstruktivne čelike i
- **kvalitetne** ugljenične konstruktivne čelike.



Legirani čelici



Podela legiranih čelika

Legirani čelici u svome sastavu osim ugljenika i primesa sadrže i druge legirajuće elemente, koji se dodaju radi poboljšanja zahtevanih svojstava.

Prema broju legirajućih elemenata, čelici se dele na:

- **jednostruko** legirane i
- **višestruko** legirane.

Prema sadržaju legirajućih elemenata legirane čelike delimo na:

- **niskolegirane**, sa ukupnim sadržajem svih legirajućih elemenata do 5% i
- **visokolegirane** sa sadržajem svih legirajućih elemenata iznad 5%.



Legirani čelici

Nisko legirani čelici imaju slične osobine i gotovo istu strukturu kao ugljenični (nelegirani) čelici.

Glavne prednosti ovih čelika u odnosu na nelegirane su **veća žilavost** pri istoj čvrstoći, **viši napon tečenja**, **veća čvrstoća** na povišenim temperaturama i manja sklonost ka stvaranju poroznosti.

Visoko legirani čelici odlikuju se specijalnim svojstvima u odnosu na ugljenične i nisko legirane čelike.

Specijalna svojstva ovih čelika: **vatrootpornost**, **otpornost prema habanju**, sposobnost **obrade rezanjem**, **koroziona postojanost**, **elektroprovodljivost**, **magnetna provodljivost** i mali koeficijent linearnog širenja.



Podela legiranih čelika

Prema vrsti legirajućih elemenata, imamo više vrsta čelika:

- Hrom-Nikl čelici,
- Hrom čelici,
- Nikl čelici,
- Molibden čelici,
- Hrom-Molibden-Volfram čelici,
- Mangan čelici,
- Volfram čelici,
- Silicijum čelici.



Uticaj legirajućih elemenata na svojstva čelika

Nikl rastvoren u feritu povećava jačinu i žilavost uz održavanje visoke plastičnosti. Nikl u čeliku deluje kao grafitizator (razlaže cementit), pa čelici bogati niklom treba da sadrže što manje ugljenika.

Mangan se supstitucijski rastvara u feritu doprinoseći porastu svojstava otpornosti čelika. U ugljeničnim i niskolegiranim čelicima povećava otpornost zavarenih spojeva prema prslinama na toplo. Povećanjem sadržaja mangana do 1.5% rastu jačina i žilavost uz održanje dobre plastičnosti.

Bakar, u količinama koje se obično sreću u konstrukcionim čelicima (oko 0.5%), povećava napon tečenja i jačinu (R_{eH} i R_m), ne pogoršavajući bitnije osobine plastičnosti i zavarljivosti. Povećava takođe otpornost prema atmosferskoj koroziji.

Ugljenik najviše utiče na strukturu i osobine čelika. Povećava jačinu, tvrdoću, otpornost na habanje, prokaljivost, a snižava svojstva plastičnosti i žilavost, uz pogoršanje zavarljivosti.



Uticaj legirajućih elemenata na svojstva čelika

Azot, slično ugljeniku povećava jačinu čelika na sobnoj i povišenim temperaturama. Prednost mu je što se hemijski ne vezuje za hrom, pa kod Cr-Ni čelika ne umanjuje korozionu otpornost. Nepovoljno je što smanjuje plastičnost i time otežava hladnu preradu.

Hrom, u većem sadržaju, u ugljeničnim i niskolegiranim čelicima pogoršava njihovu zavarljivost na račun poboljšanja prokaljivosti. Povećava vatrootpornost austenitnih čelika u oksidacionim uslovima. Hrom obrazuje veoma stabilne karbide Cr_{23}C_6 , Cr_7C_3 i Cr_3C_2 , koji se u čeliku mogu nalaziti u slobodnom stanju ili povezani sa Fe_3C . Sa porastom sadržaja hroma smanjuje se termička provodnost što zahteva predostrožnost pri zagrevanju čelika, npr. pri preradi na toplo, termičkoj obradi ili zavarivanju.

Molibden se u konstrukcionim čelicima izaziva usitnjavanje zrna i dovodi do povećanja žilavosti (pri visokim temperaturama) i prokaljivosti. Sa povećanjem sadržaja Mo raste i jačina i napon tečenja, dok izduženje i kontrakcija opadaju.



Uticaj legirajućih elemenata na svojstva čelika

Aluminijum pokazuje veću sklonost ka obrazovanju nitrida - smanjujući n a- taj način osetljivost čelika na proces starenja. Dodatak aluminijuma nerđajućim čelicima povećava otpornost na oksidaciju.

Titan je legirajući element najvećeg afiniteta prema ugljeniku, pa se stoga često primenjuje kao stabilizator u čelicima otpornim prema kiselinama, u cilju vezivanja ugljenika i sprečavanja da nastane karbid hroma.

Niobijum pokazuje veliku sklonost ka ugljeniku i obrazuje karbid NbC. Često se primenjuje u mikrolegiranim čelicima. Njegov koristan uticaj na osobine čelika zasniva se pre svega na kočenju procesa segregacije. Sužava austenitno područje, smanjuje prokaljivost i poboljšava zavarljivost.

Bor je element koji obrazuje karbide i veoma povećava prokaljivost čelika ako se doda u malim količinama. Pri većim sadržajima bora prokaljivost čelika opada i nastaje krta grubozrnasta struktura. Obično se dodaje čelicima u malim količinama - oko 0.003%.



Uticaj legirajućih elemenata na svojstva čelika

Sumpor pokazuje veliku sklonost ka segregaciji. U legurama Fe-C pri povišenom sadržaju sumpora nastaje niskotopljiva eutektika Fe-FeS ($\approx 975-985^{\circ}\text{C}$) raspoređena po granicama metalnih zrna, što u suštini umanjuje otpornost prema prslinama na toplo koje nastaju oko solidus temperature.

Fosfor umanjuje otpornost prema prslinama na toplo i znatno snižava žilavost, naročito na sniženim temperaturama. Posebno negativan uticaj fosfora zapaža se pri povišenom sadržaju ugljenika i nikla. Utvrđeno je, da u nekim austenitnim čelicima fosfor povećava termo-postojanost.



MAŠINSKI MATERIJALI

Označavanje čelika

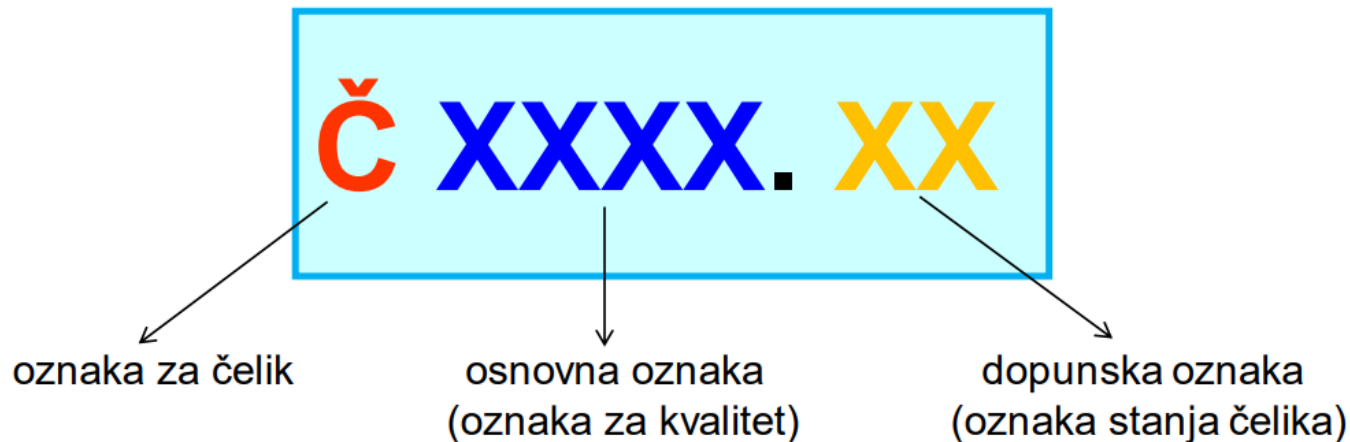


Prema standardu JUS Č.B.0.002



Označavanje čelika

Označavanje čelika se vrši nizom slovni i brojčanih simbola.



Opšta oznaka za čelik sastoji se iz tri dela:

- slovnog simbola Č,
- osnovne oznake za kvalitet čelika (četiri cifre),
- dopunske oznake za stanje čelika (dve ili jedna cifra).

Označavanje čelika

Prema JUS-u, čelici su svrstani u dve grupe i to:

- ugljenični konstruktivni čelici sa garantovanim mehaničkim osobinama (ugljenični čelici sa negarantovanim hemijskim sastavom ili ugljenični čelici trgovačkog kvaliteta)
- ugljenični i legirani čelici sa garantovanim hemijskim sastavom i garantovanim mehaničkim osobinama



Označavanje ugljeničnih konstruktivnih čelika sa garantovanim mehaničkim osobinama

Prvi simbol → Č **X**XXX. XX u osnovnoj oznaci je: **0**

Drugi simbol → Č X**X**XX. XX u osnovnoj oznaci označava minimalnu nazivnu zateznu jačinu i to kod vruće valjanih čelika u stanju isporuke, a kod hladno deformisanih čelika u stanju koje je prethodilo hladnoj deformaciji. U sledećoj tabeli date su vrednosti zatezne jačine (čvrstoće) za svaki simbol:



Označavanje ugljeničnih konstruktivnih čelika sa garantovanim mehaničkim osobinama

simbol na drugom mestu

0 trgovački kvalitet

1 do 330 MPa

2 340 ÷ 370 MPa

3 370 ÷ 390 MPa

4 400 ÷ 490 MPa

5 500 ÷ 590 MPa

6 600 ÷ 690 MPa

7 > 700 MPa

Treći i četvrti simbol →

Č XXXX. XX

u osnovnoj oznaci označava redni

broj čelika prema sledećoj tabeli:

00 ÷ 44 trgovački kvalitet

45 ÷ 89 garantovana čistoća

90 ÷ 99 čelici za automate



Označavanje ugljeničnih konstruktivnih čelika sa garantovanim mehaničkim osobinama

Primer: O kom čeliku se radi ako je označen sa Č 0545?

Broj "0" označava da se radi o čeliku sa garantovanim mehaničkim osobinama.

Broj "5" označava propisanu (minimalnu) zateznu čvrstoću ($R=480-580$ MPa).

Dvocifreni broj "45," označava da je to čelik sa ograničenim sadržajem sumpora i fosfora. Za čelike iz ove podgrupe delimično se ograničava sadržaj ugljenika, silicijuma i mangana.



Označavanje ugljeničnih i legiranih čelika sa garantovanim hemijskim sastavom i garantovanim mehaničkim osobinama

Kod ove grupe čelika garantuje se **sadržaj ugljenika** i maksimalan sadržaj nečistoća (fosfora i sumpora).

Prvi simbol →

Č **X**XXX. XX

u osnovnoj oznaci je:

1

Drugi simbol →

Č **X**XXX. XX

označava desetostruko uvećanu vrednost maksimalnog sadržaja ugljenika izraženu u % i zaokruženu na ceo broj.

Treći i četvrti simbol →

Č **XX**XX. XX

označava redni broj čelika prema tabeli:

00 ÷ 19	ne namenjene termičke obrade
20 ÷ 29	čelici za cementaciju
30 ÷ 39	čelici za poboljšanje
40 ÷ 49	čelici za alate
50 ÷ 59	alatni visokolegirani čelici
60 ÷ 69	čelici sa specijalnim svojstvima
70 ÷ 79	hemijski postojani i vatrootporni čelici
80 ÷ 89	slobodno
90 ÷ 99	ostali i čelici za automate



Označavanje ugljeničnih konstruktivnih čelika sa garantovanim mehaničkim osobinama

Označavanje legiranih čelika

Prvi simbol →

Č **X**XXX. XX

u osnovnoj oznaci označava najuticajniji legirajući element. Uticajnost legirajućeg elementa dobija se tako što se srednji sadržaj svakog elementa u % pomnoži sa odgovarajućim faktorom vrednosti i čiji proizvod se dobije veći, taj element je uticajniji, a njegov simbol stoji na prvom mestu u osnovnoj oznaci.

simboli legirajućih elemenata

C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	ostali
1	2	3	4	5	6	7	8	9

faktori vrednosti

Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	Co	Ti	ostali
1	1	4	4	7	14	17	20	30	30



Označavanje ugljeničnih konstruktivnih čelika sa garantovanim mehaničkim osobinama

Drugi simbol →

Č **XXXX**. XX

označava drugi po uticajnosti legirajući element. Kod „jednostruko“ legiranih čelika drugi simbol je 1.

Treći i četvrti simbol →

Č **XXXX**. XX

označava redni broj čelika prema prikazanoj tabeli:

00 ÷ 19	ne namenjene termičke obrade
20 ÷ 29	čelici za cementaciju
30 ÷ 39	čelici za poboljšanje
40 ÷ 49	čelici za alate
50 ÷ 59	alatni visokolegirani čelici
60 ÷ 69	čelici sa specijalnim svojstvima
70 ÷ 79	hemijski postojani i vatrootporni čelici
80 ÷ 89	slobodno
90 ÷ 99	ostali i čelici za automate



Označavanje ugljeničnih konstruktivnih čelika sa garantovanim mehaničkim osobinama

Dopunska oznaka → **Č XXXX. XX** ili oznaka za **stanje čelika** definiše stanje čelika i sastoji se od jednog ili dva simbola (cifre), kao što je dato u narednoj tabeli:

Oznaka stanja čelika

0	bez termičke obrade
1	žareno
2	žareno na maksimalnu obradljivost
3	normalizovano
4	poboljšano
5	hladno deformisano
6	prema posebnim uputstvima
9	specijalno



Označavanje ugljeničnih i legiranih čelika sa garantovanim hemijskim sastavom i garantovanim mehaničkim osobinama

Primer: O kom čeliku se radi ako je označen sa Č 4570?

Broj "4" označava da je hrom (Cr) najuticajniji element u čeliku.

Broj "5" označava da je nikel "Ni" drugi legirajući element po uticajnosti u čeliku.

Dvocifreni broj "70" označava da se radi o hemijski postojanom i vatrootpornom čeliku.



PRIMERI

Č **0645** → **0** → **Ugljenični čelik** negarantovanog hemijskog sastava
→ **6** → zatezna čvrstoća čelika je 600 – 690 MPa
→ **45** → čelik garantovane čistoće

Č **1730** → **1** → **Ugljenični čelik** garantovanog hemijskog sastava
→ **7** → čelik sadrži $7 : 10 = 0,7\%C$
→ **30** → čelik za poboljšanje

Č **4571** → **4** → **Legirani čelik**
→ **4** → Cr; **5** → Ni
→ **71** → hemijski postojan i vatrootporan čelik

Prema standardu EN 10027



Prema EN 10027 oznake čelika su svrstane u dve osnovne grupe:

GRUPA 1 — čelici definisani područjem primene i mehaničkim ili fizičkim svojstvima

GRUPA 2 — čelici definisani hemijskim sastavom

Kod livenih čelika ispred oznake piše se slovna oznaka **G**



OZNAKE 1. GRUPE — čelici definisani područjem primene i mehaničkim ili fizičkim svojstvima

Za čelike koji se označavaju na osnovu upotrebe i mehaničkih ili fizičkih svojstava oznaka počinje sa jednim od 11 slova:



OZNAKE 1. GRUPE — čelici definisani područjem primene i mehaničkim ili fizičkim svojstvima

Za čelike koji se označavaju na osnovu upotrebe i mehaničkih ili fizičkih svojstava oznaka počinje sa jednim od 11 slova:

S — konstrukcioni čelici,

P — čelici za opremu pod pritiskom (za rezervoare),

L — čelici za cevi,

E — čelici za mehaničke konstrukcije (mašinogradnju),

B — betonski čelici (za armirani beton),

posle prve oznake sledi broj koji označava **napon tečenja** (R_e)

Y — čelici za prednapregnute betonske konstrukcije,

R — čelici za šine,

posle slovnog simbola sledi broj koji **označava zateznu čvrstoću** (R_m)

H — hladnovaljani pločasti proizvodi visoke čvrstoće za oblikovanje u hladnom stanju,

D — pločasti proizvodi za hladno oblikovanje,

T — fini lim,

M — čelici za primenu u elektrotehnici.

Za čelike sa prvom oznakom **S**, **P**, **L**, **B** i **E** (čelici za konstrukcije), posle prve oznake piše se broj koji se odnosi na najmanju vrednost **napona tečenja** (R_e).

Za čelike sa prvom oznakom **Y** i **R**, posle ovih oznaka stoji broj koji označava najmanju vrednost **zatezne čvrstoće** (R_m) izražene u MPa.

Kod čelika čija oznaka počinje prvim simbolom **H**, **D**, **T** i **M**, posle prve oznake sledi broj koji se odnosi na određenu mehaničku karakteristiku ili drugi podatak u zavisnosti od vrste i namene čelika

OZNAKE 1. GRUPE — čelici definisani područjem primene i mehaničkim ili fizičkim svojstvima

Utrošena energija udarom prilikom preloma, J			temperatura ispitivanja, °C
27 J	40 J	60 J	°C
☐ JR ☐	☐ KR ☐	☐ LR ☐	20
☐ J0 ☐	☐ K0 ☐	☐ L0 ☐	0
☐ J2 ☐	☐ K2 ☐	☐ L2 ☐	-20
☐ J3 ☐	☐ K3 ☐	☐ L3 ☐	-30
☐ J4 ☐	☐ K4 ☐	☐ L4 ☐	-40
☐ J5 ☐	☐ K5 ☐	☐ L5 ☐	-50
☐ J6 ☐	☐ K6 ☐	☐ L6 ☐	-60

- A otvrdnuto termičkim taloženjem
- M termomehanički valjano
- N normalizaciono žareno ili valjano
- Q kaljeno i otpuštanje (poboljšano)
- G ostale karakteristike,
ako je potrebno sa 1 ili 2 mesta



Zatim u sklopu ove iste oznake sledi dodatna oznaka od slovnih simbola koji se odnose na termičku obradu, tehnološke karakteristike, energiju loma i slično u zavisnosti od vrste čelika.

PRIMERI:

- S355J0** (**S**-opšti konstrukcioni čelik, **355**-min vrednost granice tečenja R_e u MPa , **J0**-utrošena energija udara pri lomu je $27J$ na temperaturi $0^\circ C$),
- P274NB** (**P**- čelik za posude pod pritiskom, **274**- min vrednost granice tečenja R_e u MPa , **N**- normalizovan čelik, **B**- boce za gas),
- L280M** (**L**- čelik za cevi, **280**- min vrednost R_e u MPa , **M**-termomehaničko valjanje),
- E295** (**E**- čelik za mehaničke konstrukcije, **295**- min vrednost granice tečenja R_e),
- B500A** (**B**- betonski čelik, **500**- min vrednost napona tečenja R_e , **A**- klasa zahteva),
- Y1500C** (**Y**- čelik za prednapregnute betonske konstrukcije, **1500**- min vrednost zatezne čvrstoće R_m u MPa , **C**- hladnovučena žica),
- R850Mn** (**R**- čelik za šine, **850**- min vrednost zatezne čvrstoće, **Mn**- čelik sa visokim sadržajem mangana),
- H400M** (**H**- hladnovaljani pločasti čelik visoke čvrstoće za oblikovanje u hladnom stanju, **400**- min vrednost napona tečenja, **M**- termomehaničko valjanje),
- DC04** (**D**- pločasti čelik za hladno oblikovanje, **C**- otvrdnjavanje hladnom obradom, **04**- min vrednost zatezne čvrstoće je $340 MPa$),
- T650** (**T**- fini lim, **650**- vrednost napona tečenja u MPa),
- M390-50E** (**M**-čelik za primenu u elektrotehnici, **390**- najveći utvrđeni gubitak u $W/kg \times 100$, **50**- debljina u mm , **E**- legiran poluproizvod)



OZNAKE 2. GRUPE — čelici definisani hemijskim sastavom

Za čelike koji se označavaju na osnovu hemijskog sastava oznake su podeljene u 4 podgrupe:

2.1 Nelegirani čelici sa srednjim sadržajem mangana ($Mn < 1\%$)

Oznaka sadrži sledeće: slovnu oznaku **C**, zatim sledi broj koji predstavlja srednji utvrđeni sadržaj ugljenika pomnožen sa 100. Ponekad oznaka sadrži i dodatnu oznaku koja pruža određene podatke vezane za hemijske ili tehnološke karakteristike u vidu slovnog simbola (E,R,D,C,S,U itd).

PRIMER:

C35R (**C**- ugljenični čelik, **35**- čelik sadrži 0,35% ugljenika ($35:100 = 0,35$),
R- propisan sadržaj sumpora).

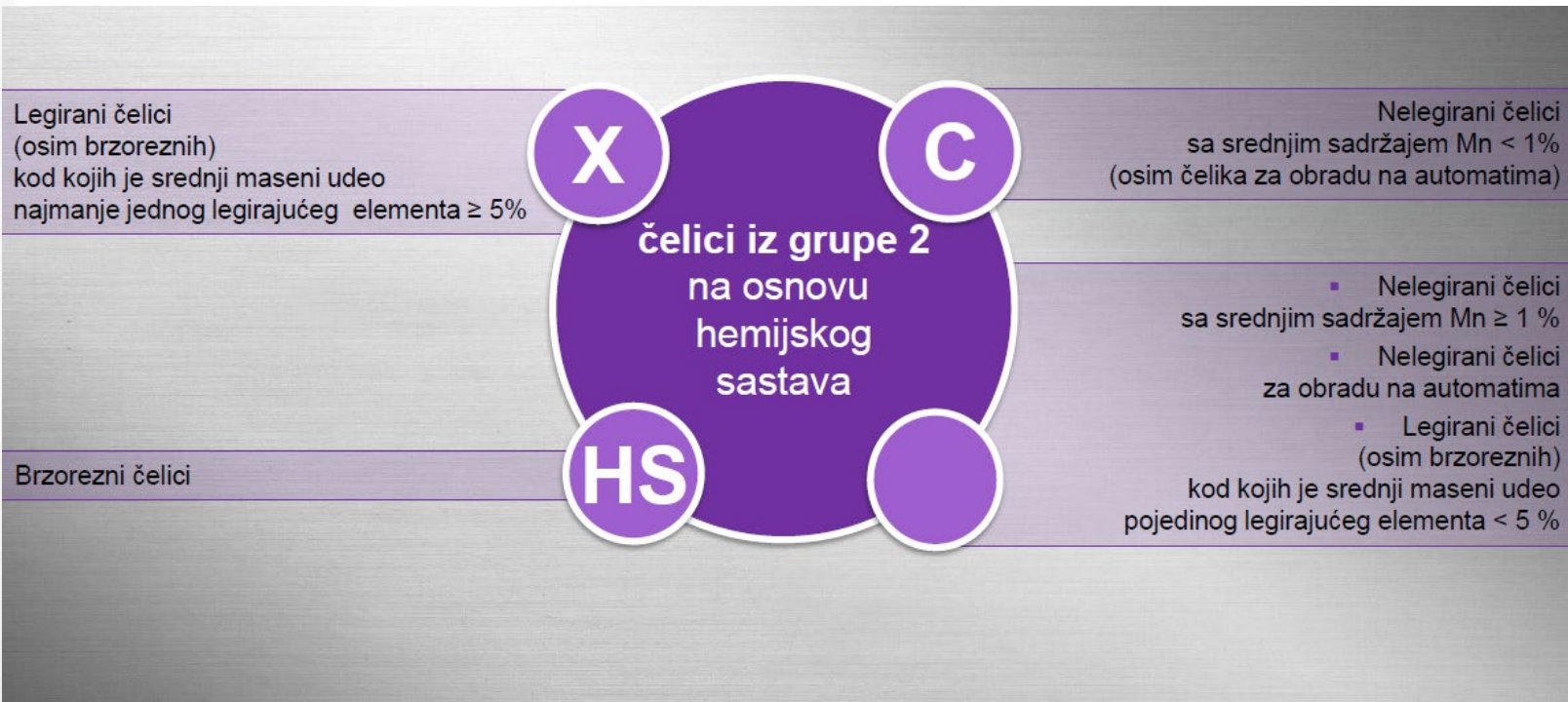
2.2 Nelegirani čelici sa srednjim sadržajem mangana ($Mn \geq 1\%$), nelegirani čelici za obradu na automatima i legirani čelici (osim brzoreznih) kod kojih je sadržaj svakog legirajućeg elementa $< 5\%$

Prvi simbol je srednji sadržaj ugljenika u % pomnožen sa 100, zatim slede hemijski simboli legirajućih elemenata, a zatim brojevi koji označavaju vrednosti sadržaja legirajućih elemenata u % pomnožene odgovarajućim faktorima i zaokružene na ceo broj.



OZNAKE 2. GRUPE — čelici definisani hemijskim sastavom

Za čelike koji se označavaju na osnovu hemijskog sastava oznake su podeljene u 4 podgrupe:



Faktori legirajućih elemenata:

element	faktor
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr	10
Ce, N, P, S	100
B	1000

PRIMER:

28Mn6- (niskolegirani čelik, **28-** sadržaj ugljenika je $C = 0,28\%$, **Mn-** čelik je legiran sa manganom, **6-** sadržaj Mn = $1,5\%$ ($6/4$))

2.3 Legirani čelici (osim brzoreznih) kod kojih je sadržaj bar jednog od legirajućih elemenata $\geq 5\%$

Prvi simbol je **X**, sledi srednji sadržaj ugljenika u % pomnožen sa 100, a zatim hemijski simboli legirajućih elemenata pa brojevi koji su razdvojeni crtom, a predstavljaju sadržaj legirajućih elemenata u %.

PRIMER:

X5CrNi18-10 - (**X-** visokolegirani čelik, **5-** sadržaj ugljenika $C = 5/100 = 0,05\%$, Cr,Ni- čelik je legiran sa hromom i niklom, **18-10-** sadržaj Cr = 18% Ni- 10%)

2.4 Brzorezni čelici

Prvi simbol je **HS**, zatim slede brojevi sadržaja legirajućih elemenata u % prema redosledu **W – Mo – V – Co**.

PRIMER:

HS2-9-1-8 - (**HS**- brzorezni čelik, **2-9-1-8**- sadržaj legirajućih elemenata 2%**W**, 9%**Mo**, 1%**V**, 8%**Co**)

Napomena:

U cilju lakšeg prepoznavanja oznake iz ove druge grupe čelika treba znati sledeće, kada na prvom mestu u oznaci stoji:

C – ugljenični čelici,

BROJ – niskolegirani čelici,

X – visokolegirani čelici,

HS – brzorezni čelici.

PRIMERI:

S275JR- (čelik iz grupe 1, **S**- konstrukcioni čelik, 275- granica tečenja $Re=275MPa$, **JR**- utrošena energija loma je 27 J na temperaturi 20°C),

E360- (grupa 1, **E**- čelik za mehaničke konstrukcije, **360**- granica tečenja $Re=360MPa$),



P355GH- (grupa 1, **P**- čelik za posude pod pritiskom, **355**- granica tečenja $Re=355 \text{ MPa}$, **GH**- čelik za rad na povišenim temperaturama),

17NiCrMo6-4 (grupa 2, niskolegirani čelik **17**- sadrži 0,17%C, **Ni**, **Cr**, **Mo**- legirajući elementi čiji je sadržaj $Ni = 6/4 = 1,5\%$, $Cr = 4/4 = 1\%$, bez datog % sadržaja za Mo),

C40E (grupa 2, ugljenični čelik, **40**- sadrži 0,40%C, **E**- sa propisanim max sadržajem sumpora),

X6CrNiMoTi17-12-2 (grupa 2, **X**- visokolegirani čelik, **6**- sadržaj ugljenika $C=0,06\%$, **Cr**, **Ni**, **Mo**, **Ti**- legirajući elementi, **17-12-2**- sadržaj $Cr = 17\%$, $Ni = 12\%$, $Mo = 2\%$, bez datog sadržaja Ti),

HS18-1-2-5 (grupa 2, **HS**- brzorezni čelik, **18-1-2-5**- sadržaj legirajućih elemenata 18%W, 1%Mo, 2%V, 5%Co).



Uporedni pregled oznaka čelika u JUS C.B0.500 i JUS EN 10027



Oznaka čelika u JUS C.B0.500:1989	Oznake čelika u JUS EN 10025:2003	
	Osnovna oznaka prema JUS EN10027-1 i ECIS IC 10	Brojčana oznaka prema JUS EN 10027-2
Č 0130	S185	1.0035
Č 0370	S235JR	1.0037
Č 0371	S235JRG1	1.0036
Č 0361	S235JRG2	1.0038
Č 0362	S235JO	1.0114
Č 0363	S235J2G3	1.0116
Č 0451	S275JR	1.0044
Č 0452	S275JO	1.0143
Č 0453	S275J2G3	1.0144
Č 0561	S355JR	1.0045
Č 0562	S355JO	1.0553
Č 0563	S355J2G3	1.0570
Č 0545	E295	1.0050
Č 0645	E335	1.0060
Č 0745	E360	1.0070

MAŠINSKI MATERIJALI

Termičke obrade čelika



Termička obrada čelika

Termička obrada čelika se sastoji u **strukturnoj promeni čelika, zagrevanjem** do iznad kritičnih temperatura, držanjem određenog vremena na toj temperaturi sa **naknadnim hlađenjem** raznim brzinama.

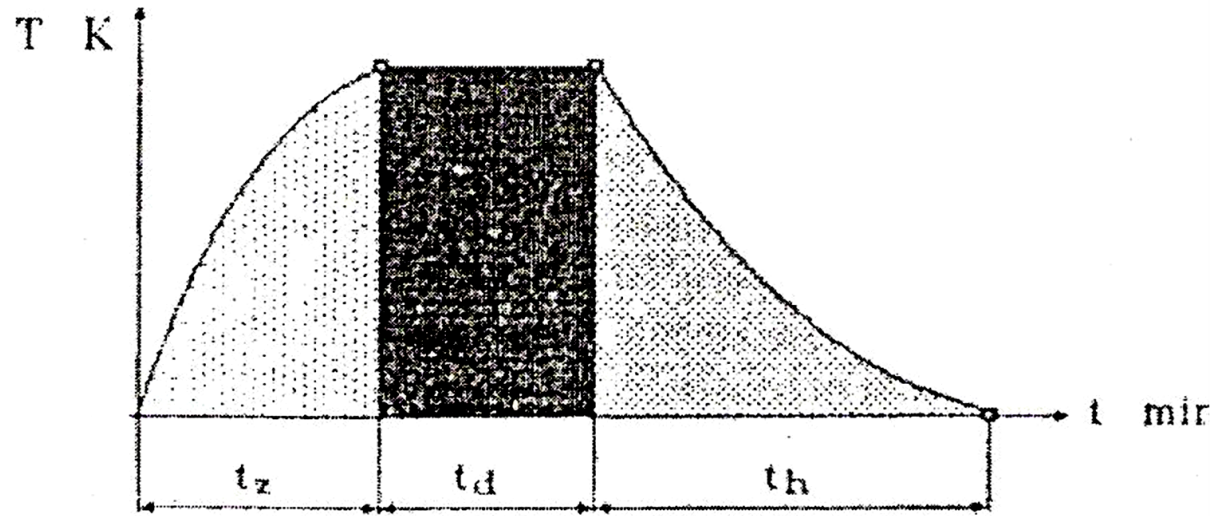
Termička obrada čelika ima za cilj da u funkciji postavljenih zahteva koji utiču na njihova svojstva, izvrši promene postojećih mehaničkih i drugih svojstava.

Izbor režima zagrevanja i hlađenja se bira u zavisnosti od:

- svojstva čelika koja se žele postići
- vrste i karakteristika polazne strukture
- hemijskog sastava čelika
- oblika i dimenzija elementa koji se termički obrađuje i sl.



Termička obrada čelika



t_z -vreme zagrevanja,

t_d - vreme držanja na temperature zagrevanja,

t_h -vreme hlađenja

Najopštija termička obrada materijala



Osnovni vidovi termičke obrade čelika

Termičke obrade čelika su svrstane u dve osnovne grupe:

- I grupa: **predhodne** ili **pripremne** termičke obrade
- II grupa: **završne** termičke obrade.

I grupa - U predhodne ili pripremne termičke obrade spadaju:

- žarenje i
- normalizacija.

Ovi vidovi termičke obrade sprovode se: radi poboljšanja obradljivosti čelika pri preradi deformisanjem u toplom i hladnom stanju; da bi se izvršila priprema čelika za završnu termičku obradu.

II grupa - U najznačajnije završne termičke obrade spadaju:

- kaljenje,
- otpuštanje,
- poboljšanje i
- starenje.

Završne termičke obrade se sprovode u cilju poboljšanja statičke i dinamičke čvrstoće čelika.



Prethodne i pripremne termičke obrade čelika



Žarenje

Procesom žarenja se vrši:

- izjednačavanje hemijskog sastava,
- uravnoteženje strukture sastava i
- eliminisanje unutrašnjih naprezanja.

Procesom žarenja se čelik **dugo drži na temperaturi** žarenja, a zatim se **sporo hladi**.

Nekoliko različitih postupaka žarenja se koristi za popravljjanje svojstava čelika i oni se mogu podeliti na dve vrste:

- ***postupci žarenja kod kojih ne dolazi do faznih transformacija***, a ako i dođe one nemaju presudan uticaj na konačnu strukturu (difuzno žarenje, rekristalizacija, uklanjanje zaostalih napona) i
- ***postupci žarenja kod kojih se ostvaruju fazne transformacije*** u zavisnosti od cilja koji se želi postići žarenjem (potpuno žarenje, izotermalno žarenje, sferoidizacija i normalizacija).



Žarenje

Najčešća podela postupaka žarenja je sledeća:

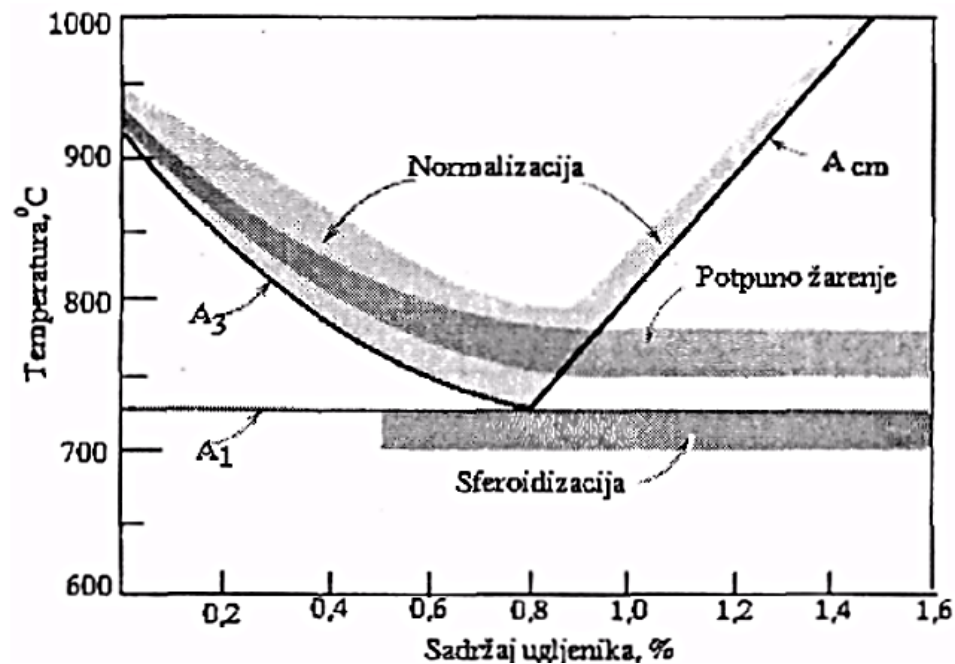
- **meko** žarenje
- **difuzno** žarenje
- žarenje koji se izvodi radi **uklanjanja unutrašnjih naprezanja**
rekristalizaciono žarenje.

Bilo koji proces žarenja sastoji se iz tri faze:

- (1) zagrevanje do određenih temperatura,
- (2) držanje na tim temperaturama određeno vreme i
- (3) sporo hlađenje do sobne temperature.



Žarenje



Temperaturni intervali zagrevanja ugljeničnih čelika u cilju termičke obrada žarenjem

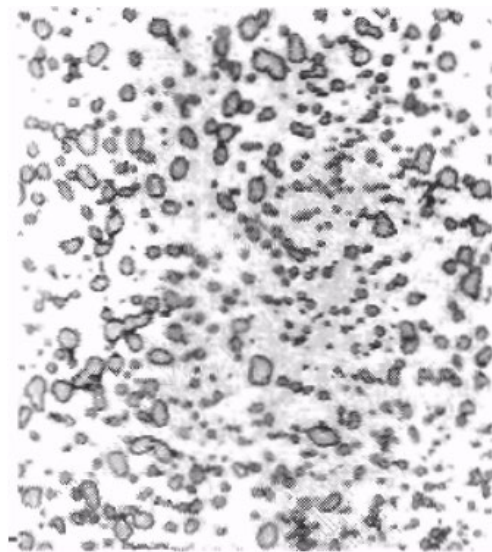
Meko žarenje

Srednjeugljenični i visokougljenični čelici u mikrostrukturi i ako sadrže lamelarni perlit mogu i pored toga biti tvrdi i nepodesni za obradu rezanjem i deformisanjem.

Ako se ovi čelici zagrevaju do temperature $\sim 700^{\circ}\text{C}$ i drže dovoljno dugo vremena (18–24 časa) i sporo hlade, formiraće se jedna sferoidna struktura, a ovaj proces žarenja naziva se sferoidizacija (meko žarenje).

Umesto naizmeničnih lamela ferita i cementita (perlit) u procesu žarenja cementit se pojavljuje u obliku sfernih čestica ravnomerno raspoređenih u feritnoj osnovi.

Mekim žarenjem se poboljšava žilavost, plastična o bradljivost, obradljivost rezanjem. Takođe, mekim žarenjem se obavlja priprema za završnu termičku obradu, procesom kaljenja.



Difuzno žarenje

Difuzno žarenje (homogenizacija) se koristi kao proces koji se primenjuje u postizanju ujednačavanja strukture čelika **posle livenja**.

Procesom livenja čelika dolazi do neujednačenosti veličine zrna kao i do neujednačenosti hemijskog sastava zrna austenitne strukture. Da bi se ove pojave otklonile, vrše se procesi: difuznog **dugotrajnog žarenja** na temperaturama od 1100-1200°C i **laganog hlađenja** u peći radi postizanja homogenizacije hemijskog sastava čelika, kao i proces homogenizacije zrna strukture po veličini, procesom normalizacije.

Vreme trajanja procesa (zagrevanje, držanje na temperaturama i sporo hlađenje) jeste od 80–100 časova. Posle difuzionog žarenja, zbog visokih temperatura i dugotrajnog zagrevanja, dobija se krupnozrna struktura.

U cilju usitnjavanja metalnih zrna i popravljavanja svojstava kod čeličnih šipki se postiže naknadnom obradom deformisanjem, a odlivci se podvrgavaju potpunom žarenju ili normalizaciji.



Žarenje za uklanjanje unutrašnjih naprezanja

Ovo žarenje se primenjuje u cilju uklanjanja zaostalih napona koji mogu nastati:

- (1) u toku obrade deformisanjem, kao i u toku obrade rezanjem;
- (2) neujednačenim hlađenjem delova koji se izrađuju na povišenim temperaturama, kao i u procesima zavarivanja i livenja;
- (3) Faznim transformacijama kod kojih se hlađenjem stvaraju faze koje imaju različite gustine.

Uklanjanje zaostalih napona dovodi do dimenzionalne stabilnosti, kasnije uklanjanje zaostalih napona u toku rada posle nekog vremena može biti razlog krivljenja delova. Takođe, smanjuje se sklonost ka stvaranju prslina a usled naponske korozije.

Žarenje koji se izvodi radi uklanjanja unutrašnjih naprezanja se izvodi na temperaturama 400-450°C a zatim se vrši sporo hlađenje, čime se ostvaruje homogenizacija i odstranjivanje jednog dela unutrašnjih naprezanja u čeliku.



Rekristalizaciono žarenje

Rekristalizacionom žarenju se podvrgavaju čelici koji su obrađivani deformisanjem u hladnom stanju i kod kojih je došlo do deformacionog ojačavanja, tj. do povećavanja svojstava čvrstoće, a smanjenja plastičnosti.

Ovaj vid termičke obrade nastaje **zagrevanjem čelika iznad temperature rekristalizacije** čime struktura čelika dobija sitnija raznovrsna zrna, čime se čeliku vraća plastičnost i sposobnost za dalje plastično deformisanje.



Normalizacija

Kod ovog vida termičke obrade materijal se zagreva do područja austenita. Posle dužeg držanja na naznačenoj temperaturi dolazi do **pregrevanja čelika**, a zatim se vrši njegovo **hlađenje na vazduhu**, a ne kao kod termičke obrade žarenjem gde se hlađenje vrši u peći.

Normalizacija se primenjuje da se ukloni krupnozrna struktura dobijena u postupcima obrade u toplom stanju (livenje, kovanje, valjanje, zavarivanje i dr.).



Završne termičke obrade



Kaljenje

Kaljenjem se postiže povećanje tvrdoće, otpornost na habanje i delimično čvrstoća čelika.

Proces kaljenja se sastoji iz tri faze:

- prva faza je **zagrevanje čelika** do temperature iznad kritične tačke
- druga faza obuhvata **pregrevanje**, odnosno držanje na naznačenoj temperaturi iz prva faze, čime se postiže zagrevanje unutrašnjosti čelika
- treća faza obuhvata proces **brzog hlađenja** čelika u rashladnom sredstvu.

Termičkom obradom kaljenja vrši se transformacija austenita u strukture kaljenja koje zavise od brzine hlađenja i prisustva legirajućeg elementa, pa mogu biti:

- martenzitna struktura
- trustitna struktura
- sorbitna struktura
- perlitna struktura.



Kaljenje

Martenzit – Ako je brzina hlađenja dovoljno velika (veća od kritične brzine hlađenja) doći će do stvaranja martenzita. Ako je brzina hlađenja manja od kritične brzine doći će do stvaranja trustita, sorbita i perlita.

Najveću tvrdoću ima čelik sa martenzitnom strukturom, a najmanju sa perlitnom.

Trustit – Ako je brzina hlađenja nešto manja od kritične, dolazi do stvaranja trustita. Trustit je mehanička smeša ferita i cementita čije su lamele sitne.

Koristi se pri termičkoj obradi kaljenja alatnih čelika gde se pored velike tvrdoće zahteva i dobra žilavost.



Kaljenje

Sorbit – Sorbit je struktura koja nastaje pri brzinama hlađenja manjim od onih pri kojima se dobija trustit. On je mehanička smeša ferita i cementita gde su lamele većih dimenzija.

Sorbitna struktura se dobija termičkom obradom kaljenja u ulju.

Perlit – Perlit se dobija pri brzinama hlađenja koje su približno vrednostima normalnih brzina hlađenja. On ima najmanju tvrdoću od svih struktura čelika koje se dobijaju termičkim obradama kaljenja, ali zato ova struktura daje najbolju žilavost čeliku.



Prokaljivost čelika

Sposobnost čelika da se kaljenjem dobijeni sloj martenzitne ili martenzitno–trustitne strukture prostire do određene dubine naziva se **prokaljivost**.

Pri kaljenju čelika, u zavisnosti od kritične brzine hlađenja i poprečnog preseka dela, dobija se različita struktura od površine ka jezgru. Pošto se unutrašnji slojevi delova sporije hlade od spoljnih slojeva, onda u tom opsegu, gde je brzina hlađenja manja od kritične, prokaljivanje je samo do određene dubine, dok se u jezgru razlaganjem austenita obrazuje lamelarna struktura ferita i cementita (trustit, sorbit ili perlit).

Ako se jezgro hladi brzinom većom od kritične onda se po celom preseku obrazuje martenzitna struktura, u tom slučaju prokaljivost je potpuna.



Kaljenje

Brzina hlađenja čelika sa temperature kaljenja ima veliki uticaj za postizanje željenih struktura kao i na konačan rezultat kaljenja.

Pravilan izbor sredstva za hlađenje mora da obezbedi željenu strukturu po celom poprečnom preseku, bez pojava većih unutrašnjih napona, prslina i deformacija.

Izbor sredstva za hlađenje bira se u zavisnosti od hemijskog sastava, željene strukture dimenzija i oblika dela.

Kao **sredstva za hlađenje** najčešće se koriste: mirna ili tekuća voda, slana voda, vodeni rastvori soli i baza, mineralna ulja, rastopljene soli i vazduh.

Zbog različite toplotne provodljivosti, specifične toplote i toplote isparavanja ovih sredstava za hlađenje razlikuju se i njihove brzine hlađenja (sposobnost hlađenja).

Za hlađenje **ugljeničnih i niskolegiranih čelika** uobičajeno sredstvo je **voda i slana voda**.

Za hlađenje **legiranih čelika** upotrebljavaju se **mineralna ulja**.



Otpuštanje

Termička obrada otpuštanja čelika se vrši **nakon** izvršenog **kaljenja**, sa ciljem da se poveća žilavost i plastičnost čelika, ali uz izvesno smanjenje njegove tvrdoće i čvrstoće.

Proces otpuštanja čelika se vrši u tri faze:

1. I faza - **zagrevanje** do određene temperature
2. II faza - **pregrevanje** i
3. III faza - lagano **hlađenje na vazduhu**.

U zavisnosti od temperature do koje se vrši zagrevanje, postoje tri vida otpuštanja i to:

- **niskotemperaturno** otpuštanje, koje se izvodi na temperaturama od 150-200°C
- **srednjetemperaturno** otpuštanje, koje se izvodi na temperaturama od 300-500°C
- **visokotemperaturno** otpuštanje, koje se izvodi na temperaturama od 500-700°C.

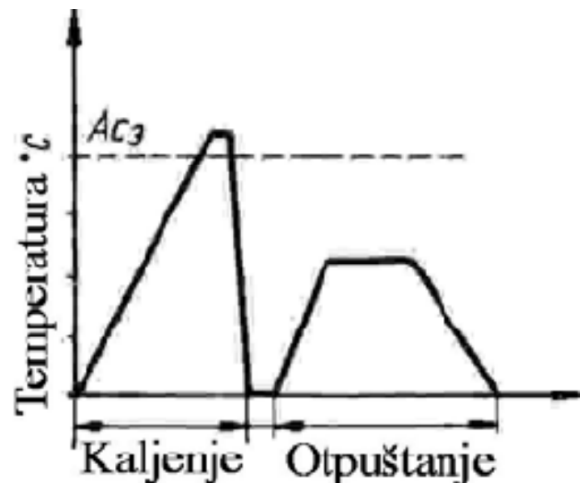


Poboljšanje

Poboljšanje je vid **kombinovane** termičke obrade, koji se sastoji iz **kaljenja** i **otpuštanja** na temperaturama od 450-700°C.

Ovim postupkom se podvrgavaju nelegirani i legirani čelici kod kojih se sadržaj ugljenika kreće u granicama od 0,2-0,6%.

Cilj termičke obrade poboljšanja je uklanjanje unutrašnjih napona, dobijanje sitnoznaste sorbitne strukture, povećanje granice razvlačenja i plastičnosti čelika.



Starenje

Pri termičkoj obradi nastaju strukture koje poseduju višak energije u sebi (metastabilne strukture).

Kako legura teži stanju sa minimumom energije, tada dolazi do prelaska iz nestabilnog stanja u stabilno.

Ovaj proces naziva se **starenjem** i on je povezan sa premeštajem atoma u kristalnoj rešetki.

Procesom starenja **smanjuju se unutrašnji naponi** i ostvaruje se raspad prezasićenih čvrstih rastvora.

Proces starenja se odvija na sledeće načine:

1. stadijum: postupak **difuzije atoma**
2. stadijum: **formiranje nove kristalne rešetke**
3. stadijum: **rast kristala** (stvaranje zrna)
4. stadijum: **ukрупnjavanje** i rast metalnih zrna.



MAŠINSKI MATERIJALI

Konstrukcioni i alatni čelici



Konstrukcni čelici



Konstrukcioni čelici su karakteristični po **dobrim mehaničkim svojstvima, dobro se obrađuju rezanjem i deformisanjem** (kovanje, valjanje, izvlačenje, presovanje), dobro se zavaruju.

Prema čvrstoći ovi čelici su podeljeni u četiri grupe:

1. čelici niske čvrstoće ($Re < 250$ MPa),
2. čelici srednje čvrstoće ($250 < Re < 750$ Mpa),
3. čelici visoke čvrstoće ($750 < Re < 1550$ MPa),
4. čelici ultravisoke čvrstoće ($Re \geq 1550$ MPa).

Konstrukcioni čelici se koriste za čelične konstrukcije i konstrukcione elemente u **mašinogradnji, mostogradnji, brodogradnji, kotlogradnji, izradi cevovoda** i sličnih konstrukcija.



Opšti konstrukcioni čelici

Opšti konstrukcioni čelici se koriste za izradu:

- zavarenih konstrukcija i cevovoda,
- konstrukcija spojenih zavrtnjevima i zakovicama,
- u visokogradnji,
- mostogradnji,
- hidrogradnji i
- mašinogradnji.

Takode, ovi čelici mogu da se primenjuju i u daljoj svojoj preradi, i to postupcima hladnog presovanja, vučenjem i vrućim kovanjem ili valjanjem.



Opšti konstrukcioni čelici

Opšti konstruktivni čelici podeljeni su u šest grupa i to:

1. **Grupa 0**, pripada čelik čija je oznaka Č 0000, koji se koristi u trgovačke svrhe, i to za neodgovorne delove.
2. **Grupi A**, pripadaju čelici čija se osnovna oznaka završava brojem 0; koriste se za statički opterećene zavarene konstrukcije koje nisu izložene većim temperaturnim promenama, niti temperaturama nižim od -10°C . Ova grupa čelika ima garantovani hemijski sastav.
3. **Grupa B**, pripadaju čelici čija se osnovna oznaka završava brojem 1; koriste se za odgovorne zavarene konstrukcije kod kojih ne postoji opasnost od krtog loma. Mogu biti izloženi radu na niskim temperaturama do -10°C . U ovu grupu spadaju čelici čija je oznaka: Č 0361, Č 0371, Č 0461 i Č 0561.



Opšti konstrukcioni čelici

4. **Grupa C**, pripadaju čelici čija se osnovna oznaka završava brojem 2; U ovu grupu spadaju čelici čija je oznaka: Č 0362, Č 0462, Č 0562.
5. **Grupa D**, pripadaju čelici čija se oznaka završava brojem 3, koriste se za odgovorne zavarene konstrukcije izložene dinamičkim opterećenjima i niskim temperaturama do -30°C . U ovu grupu čelika spadaju: Č 0363, Č 0463, Č 0543.
6. **Grupa E**, pripadaju čelici čija se oznaka završava brojem 5. Ovi čelici koriste se za odgovorne mašinske delove kao što su osovine, vratila, zupčanici, klinovi i si. Osnovne vrste ovih čelika su: Č 0545, Č 0645 i Č 0745.



Opšti konstrukcioni čelici

Prema **načinu termičkog tretmana**, ugljenični konstruktivni čelici se dele na:

- čelike za cementaciju,
- čelike za poboljšanje.



Čelici za cementaciju

Ovi čelici spadaju u grupu konstrukcionih čelika **sa malim sadržajem ugljenika** (0,1-0,25%), i koriste se za delove kod kojih se površinski sloj cementira (**Cementacija** je termohemijski proces obogaćivanja površinskog sloja ugljenikom) ili karbonitrira (**Karbonitriranje** je termohemijski proces obogaćivanja površinskog sloja ugljenikom i azotom istovremeno).

Posle cementiranja ili karbonitriranja, površinski sloj čelika postiže visoku tvrdoću, otpornost prema habanju i koroziji, dok jezgro zadržava dobru žilavost.

Prema **hemijskom sastavu** čelici za cementaciju mogu da budu:

- ugljenični,
- legirani.



Čelici za cementaciju

Ugljenični čelici za cementaciju sadrže u sebi mali sadržaj ugljenika do 0,2%.

Upotrebljavaju se za izradu delova malih dimenzija i jednostavnih oblika, izloženih habanju i malim opterećenjima, gde se ne zahteva visoka čvrstoća jezgra (ručice, poluge, rukavci, zglobovi i sl.).

U ovu grupu spadaju čelici oznake: Č 1120, Č 1121, Č 1220, Č1221, Č 1281.

Legirani celici za cementaciju su čelici niskolegirani sa hromom, manganom, niklom, molibdenom. Sadržaj ugljenika kod ovih čelika kreće se u granicama od 0,18-0,24%.

Koriste se za izradu delova većih dimenzija, jače opterećenih i odgovornih, kod kojih se zahteva visoka tvrdoća površinskog sloja i dovoljno visoka čvrstoća i žilavost jezgra.

U ovu grupu spadaju čelici oznake: Č 4120, Č 4721, Č5420, Č 7420.



Čelici za poboljšanje

Poboljšanje je termička obrada koja se sastoji od kaljenja i visokog otpuštanja. Čelik se prvo kali i neposredno posle kaljenja u ulju, vodi ili vazduhu ponovo lagano zagreje na temperaturi preko 350°C (što zavisi od vrste čelika), a zatim polagano ili brzo hladi. Ovim procesom se dobija optimalna žilavost i čvrstoća materijala.

Posle termičke obrade poboljšanjem, metalni materijali imaju visoku vrednost napona tečenja i zatezne čvrstoće, dobru plastičnost, malu osetljivost na koncentraciju napona, visoku vrednost dinamičke čvrstoće i zadovoljavajuću žilavost.

Ovi čelici se upotrebljavaju za izradu **konstruktivnih delova**, koji su za vreme rada **izloženi velikim i složenim naprezanjima**.

Prema hemijskom sastavu, čelici za poboljšanje se dele na:

- ugljenične,
- legirane.



Čelici za poboljšanje

Ugljenični čelici za poboljšanje spadaju u grupu čelika sa sadržajem ugljenika od 0,3 do 0,5%.

Ovi čelici se upotrebljavaju za izradu delova poprečnog preseka do 100 mm.

Manganovi čelici, Č 3130, Č 3131, upotrebljavaju se za mašinske delove većih čvrstoća i prečnika do 55 mm.

Čelik č 3230 je mangan-silicijumov čelik koji zbog silicijuma u svom sastavu ima povećanu tvrdoću, što je dobro za izradu pogonskih delova.

Čelik Č 3830 je mangan-vanadijumov čelik, koji se zbog velike čvrstoće upotrebljava se za mašinske delove izložene velikom dejstvu trenja.



Čelici za poboljšanje

Legirani čelici za poboljšanje su čelici koji se koriste za izradu delova već ih poprečnih preseka do 250 (mm).

Ovi čelici su legirani hromom, niklom, molibdenom i vanadijumom.

Čelici legirani hromom, imaju oznake **C 4130**, **Č 4131**, i to su čelici koji se upotrebljavaju za gabaritno velike mašinske delove veće čvrstoće.

Hrom-vanadijumov čelik oznake **Č 4830**, je čelik kod koga se dodavanjem (legiranjem) vanadijuma povećava žilavost.

Čelik Č 4734 je hrom-molibden-vanadijumov čelik koji se upotrebljava za mašinske delove velikih gabarita.

Čelici Č 5430, Č 5431 i C 5432 su hrom-nikl-molibdenovi čelici koji se upotrebljavaju za mašinske delove većih čvrstoća i od kojih se traži i velika žilavost.



Alatni čelici



Alatni čelici

Alatnim čelicima nazivaju se **ugljениčni** i **legirani** čelici, koji poseduju visoku tvrdoću i otpornost prema habanju.

Upotrebljavaju se za izradu reznih alata za obradu metala i drugih vrsta materijala.

Do kraja XIX veka svi alati su izrađivani od ugljeničnih alatnih čelika.

Trenutno nelegirani (ugljениčni) alatni čelici zauzimaju oko 10% udela u ukupnoj masi proizvedenih alatnih čelika.



Alatni čelici

Pored dobrih mehaničkih osobina (svojstava) ove vrste čelika moraju da imaju druga važna svojstva, kao što su:

- **dobra toplotna stabilnost**, da ne bi došlo do promene strukture i mehaničkih svojstava pri zagrevanju alata u toku procesa rada
- **otpornost prema razugljeničenju površinskog sloja i oksidaciji**, jer ove pojave smanjuju čvrstoću, tvrdoću i otpornost prema habanju
- **odgovarajuća toplotna provodljivost**, da bi se sprečilo pregrevanje, a time i smanjenje tvrdoće u površinskom sloju
- **mali koeficijent linearnog širenja** na temperaturama kojima je alat izložen u toku rada
- **dobra obrada brušenjem**, što je naročito važno za izradu alata zamerne instrumente



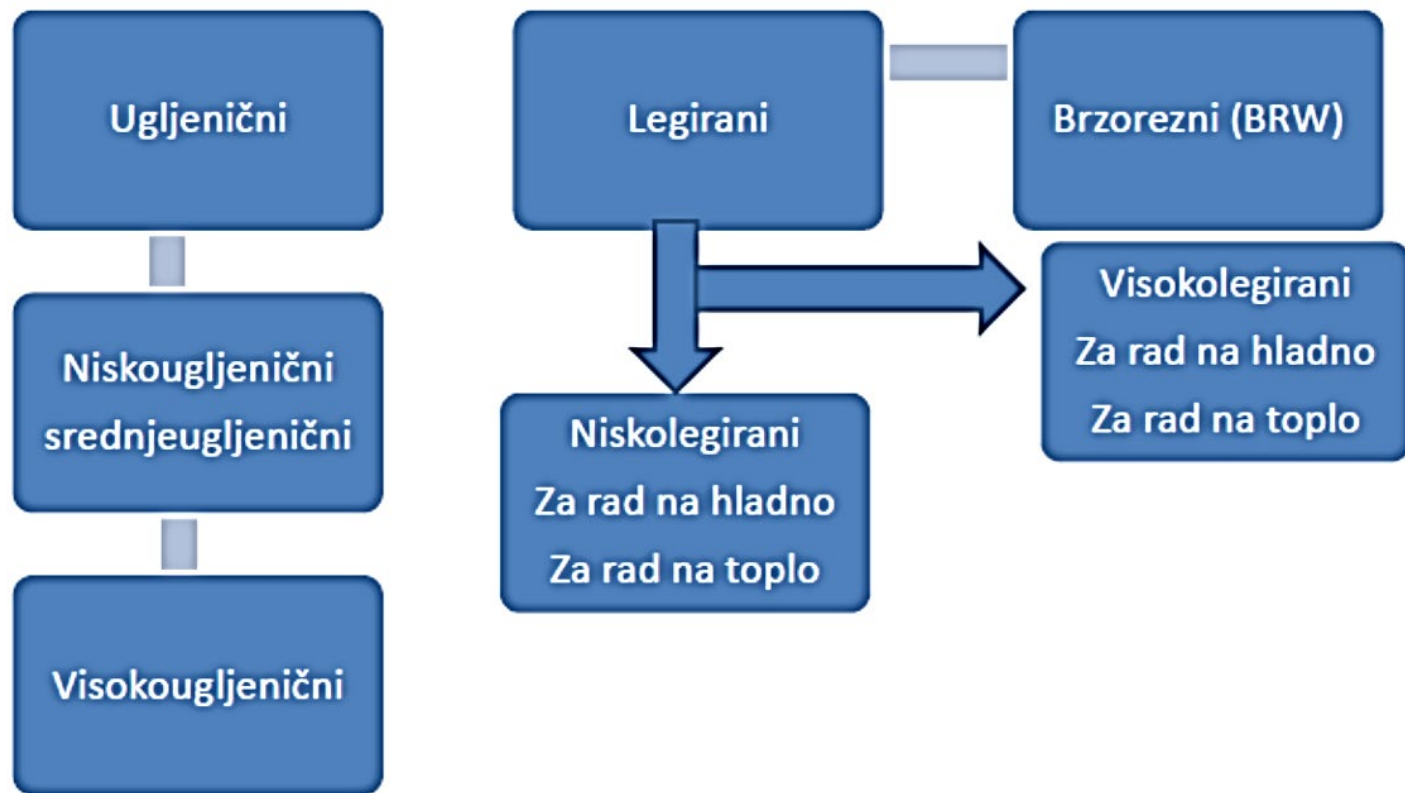
Alatni čelici

Postoje sledeće grupe alatnih čelika:

1. **ugljenični** alatni čelici
2. **legirani** alatni čelici za rad u **hladnom** stanju
3. **legirani** alatni čelici za rad u **toplom** stanju
4. **visokolegirani brzorezni** alatni čelici



Alatni čelici



Ugljenični alatni čelici

Ugljenični alatni čelici su čelici koji sadrže od 0,6-1,4% C.

Karakterišu se sledećim svojstvima:

- imaju visoku tvrdoću
- imaju visoku otpornost prema habanju u dijapazonu temperatura od 0-150°C
- alati izrađeni od ugljeničnih alatnih čelika imaju relativno dobru žilavost



Ugljenični alatni čelici

- **Sa niskim sadržajem ugljenika** (sa 0,25% C)

Primena za merne alate i kontrolnike, metalne lenjire, šablone i sl.

- **Sa srednjim sadržajem ugljenika** (0,25-0,6% C)

Primena za izradu ručnih alata i pribora, reznih alata za obradu drveta, livačkih kalupa i sl.(na pr. Č1540 za sekire, čekiće, srpove)

- **Sa visokim sadržajem ugljenika** (0,6-1,4% C)

Primena za izradu alata za prosecanje, za preradu hladnim deformisanjem, za obradu drveta i termoplasta, stezni alati, mali kalupi za izradu plastike i gume i sl. (Č1840, Č1841, Č1940)

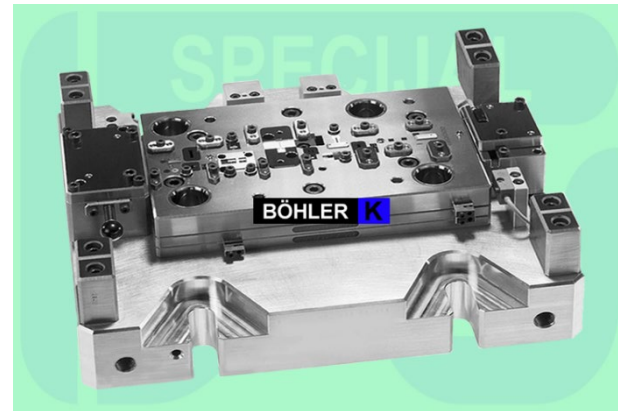


Legirani alatni čelici za rad u hladnom stanju

U ove čelike ubrajaju se čelici namenjeni za **oblikovanje i mehaničku obradu do temperature od 200°C**.

Osnovni legirajući element kod ove vrste čelika je **hrom**, a po potrebi se dodaju i **molibden, vanadijum i volfram**.

Primena ovih čelika je u izradi **alata za prosecanje i probijanje, udarne alate, alate za presovanje i vučenje, elemente drobilica, delove bagera, alate za poljoprivredu, merne alate i sl.**



Legirani alatni čelici za rad u toplom stanju

U ove čelike ubrajaju se čelici namenjeni za izradu **alata za kovanje i presovanje šipki i cevi, alati za livenje pod pritiskom, alati za izradu valjaka, matrica, zakovica i čepova.**

Kod ovih vrsta čelika kao legirajući elementi se koriste: **hrom, molibden, volfram i vanadijum.**



Brzorezni alatni čelici

Ovi čelici su **toplotno postojani** što ukazuje, da zadržavaju **visoku tvrdoću i otpornost prema habanju na povišenim temperaturama** (620-650°C).

Postojanost alata izrađenih od ovih čelika je velika, i ona dozvoljava brzine rezanja od 2-4 puta veće nego kod ugljeničnih čelika, a postojanost je veća od 10-30 puta u odnosu na ugljenične čelike.

Brzorezni alatni čelici spadaju u grupu **visokolegiranih** čelika, a osnovni legirajući elementi su **volfram** i **molibden** koji obezbeđuju toplotnu postojanost ovim čelicima.

Povećanje tvrdoće pri povišenim temperaturama se obezbeđuje dodavanjem **kobalta** i **vanadijum** kao legirajućih elemenata u ovim čelicima.



Brzorezni alatni čelici

Osnovna karakteristika brzoreznih čelika je **postojanost strukture pri dugotrajnom zagrevanju** na temperaturi od 600-650°C, što omogućuje da ne dolazi do promene tvrdoće i drugih svojstava u toku rada.

Prema stepenu uticaja legirajućih elemenata u ovim čelicima, razlikujemo:

- molibdenske,
- volframske i
- kobaltne čelika.

Molibdenski i kobaltni brzorezni čelici odlikuju su visokom otpornošću prema habanju i relativno dobrom žilavošću.

Koriste se za izradu delova izloženi udarima u toku rada (noževi i glodači za grubu obradu, spiralne burgije).

Volframski brzorezni čelici se koriste za visokooterećene alate pri velikim brzinama rezanja i za grubu obradu pod veoma teškim uslovima rada.



Čeliční liv



Čelični liv je legura gvožđa i ugljenika, i to sa:

- sadržajem ugljenika do 0,6% nazivaju se **konstrukcionim čeličnim livom**,
- preko 0,6% ugljenika, nazivaju se **alatnim čeličnim livom**.

Upotrebljavaju se za izradu delova i odlivaka koji su u svome radu opterećeni dinamičkim uticajima (opterećenju, sili i sl.).

Svojstva livkosti čeličnog liva se mogu popraviti povećanjem sadržaja ugljenika u njemu, ali dolazi do smanjenja njegove žilavosti.



Podela konstrukcionih čeličnih livova se vrši prema njegovom sastavu, pa se razlikuju:

- **niskougljenični** čelični liv kod kojih se sadržaj ugljenika kreće u granicama od 0,1-0,25% C
- **srednjeugljenični** čelični liv kod kojih se sadržaj ugljenika kreće u granicama od 0,25%-0,4% C
- **visokougljenični** čelični liv kod kojih se sadržaj ugljenika kreće u granicama od 0,4-0,6% C
- **legirani** čelični liv.



Niskougļjēničņi čelični liv koriste se za izradu manje opterećenih delova (kućista elektromotora, delova šinskih vozila, delova putničkih vozila i dr.).

Srednjeugļjēničņi čelični liv se koriste za izradu odlivaka koji su veoma opterećeni dinamičkim uticajima (točkovi lokomotiva, postolja mašina, delovi mašina prekidnog transporta, kućista i radna kola hidroturbina i sl.).

Visokougļjēničņi čelični liv koriste se za izradu odlivaka koji u svome radu imaju intezivno habanje (zupčanici na valjaoničkim mašinama, zupčanici na mašinama u proizvodnji cementa i dr.).

Legirani čelični livovi su podeljeni na manganske, hromske i višestruko legirane. Osnovni razlog legiranja čeličnog liva se sastoji u povećanju otpornosti prema abraziji, otpornosti prema koroziji i vatrootpornosti.



MAŠINSKI MATERIJALI

Korozija i zaštita metala



Korozija



Korozija

Korozijom se naziva **proces razaranja** metala i njihovih **legura** pod **dejstvom spoljašnje sredine**.

To je nenamerno razaranja konstrukcionih materijala prouzrokovano fizičkim, fizičko-hemijskim i biološkim agensima.

Reč potiče od latinske reči ***corrodere***, što znači ***nagristi***.

Korozija dovodi:

- ili do **neporoznog sloja**, koji zaustavlja dalji proces propadanja (kao kod bakra i aluminijuma)
- ili do **poroznog**, kao kod gvožđa, te vazduh i dalje prolazi kroz taj sloj i dovodi do dalje (dublje) korozije.



Korozija

Prema **načinu rasprostiranja** postoje tri vrste korozije i to:

- površinska korozija
- dubinska korozija
- kombinovana korozija

Prema **načinu na koji se korozija odvija** postoje:

- hemijska korozija i
- elektrohemijska korozija



Korozija

Površinska korozija predstavlja koroziono razaranje površine metalnog mašinskog elemenata, a javlja se u dva oblika:

- ravnomerna i
- neravnomerna.

Ravnomerna korozija razara celu površinu mašinskog dela ravnomerno, dok **neravnomerna korozija** deluje razarajuće po centrima tj. pojasevima na površini mašinskog elementa.

Dubinska korozija razara strukturu mašinskog elemenata, tako da dolazi do pojava centara korozije unutar mašinskog elemenata. Ovo izaziva krti lom elemenata.

Kombinovana korozija je proces sadejstva dveju korozija tj. nastaje kao pojava kombinacije površinske i dubinske korozije.



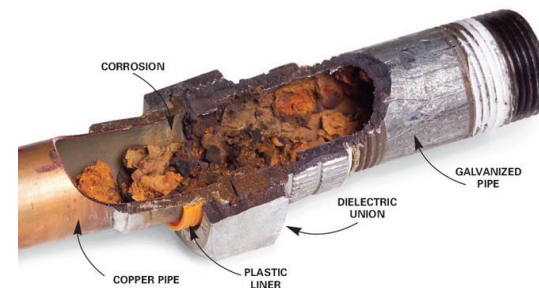
Korozija

Hemijska korozija predstavlja razaranje materijala i legura usled dejstva okolne sredine.

Javlja se u neelektrolitima, tj. u medijima koji ne provode električnu struju:

- spajanje metala s kiseonikom iz vrućih gasova (O, Cl, S, N), što se najčešće dešava pri radu uređaja na visokim temperaturama (zavarivanju, termičkoj obradi itd.)
- korozija metala i legura u neelektrolitima kao što su organske materije (npr. razaranje metala u nafti pod uticajem S ili njegovih jedinjenja)

Elektrohemijska korozija dovodi do razaranja metala i legura pod dejstvom elektrolita i javlja se na dodirnim površinama metala i elektrolita, kao što su voda i vodeni rastvori kiselina, baze i soli, pri čemu se odvijaju reakcije oksidacije i redukcije.



Sprečavanje korozije



Sprečavanje korozije

Sprečavanje korozije se može postići izborom sastava i strukture metala i legura koje će imati najbolju korozionu postojanost u određenoj sredini.

To se postiže na sledeće načine:

- visokom čvrstoćom
- legirajućim elementima
- primenom posebnih režima termičke obrade i
- pogodnim oblikovanjem mašinskih elemenata i sklopova.



Zaštitne prevlake

Metali i legure se od korozije najčešće štite na nekoliko načina:

- Nanošenje metalnih prevlaka
- Nanošenje nemetalnih prevlaka
- Hemijska zaštita
- Elektrohemijska zaštita

Primarna svrha prevlaka je zaštita od korozije.

Sekundarna svrha može biti :

- postizanje određenih fizičkih svojstava površine
- zaštita od mehaničkog trošenja
- postizanje estetskog utiska
- povećanje dimenzija istrošenih delova, odnosno popravka loših proizvoda



Galvanske prevlake

Galvanske prevlake su metalni slojevi koji se katodno izdvajaju na odgovarajućem predmetu elektrohemijiskim putem.

Proces odvijanja se realizuje u odgovarajućim rastvorima soli (elektrolitima) kroz koje se propušta jednosmerna struja niskog napona preko elektroda.

Kvalitet galvanskih prevlaka zavisi od samog načina galvanizacije, kao i od:

- temperature elektrolita,
- gustine struje na površini elektroda i
- načinu pripreme površine koja se zaštićuje prevlakom.



Galvanske prevlake

Galvanska zaštita kao postupak obnavljanja osnovnih delova kod tehničkih sistema se izvodi metalnim prevlakama i to:

- elektrolitičkim prevlakama cinka
- elektrolitičkim prevlakama kadmijuma
- elektrolitičkim prevlakama bakra
- elektrolitičkim prevlakama hroma i
- hemijski tvrdim prevlakama nikla.



Galvanske prevlake

Prednosti

- ✓ Mogu se naneti raznovrsne metalne prevlake (višeslojne)
- ✓ Prevlake čvrsto prijanjaju na podlogu
- ✓ Jednostavno se može regulisati debljina prevlake
- ✓ Niske temperature obrade
- ✓ Postiže se visoka čistoća prevlaka

Nedostaci

- Slaba mikroraspodela
- Galvanski piting koji izaziva poroznost tanjih prevlaka (H_2)
- Mehaničke napetosti
- Promene hemijskog sastava elektrolita



Pocinkovanje

Pocinkovanje se koristi za zaštitu čeličnih delova od korozije.

Boja prevlake cinka je **svetlosiva** (obično, bele ili žute boje), vremenom tamni pa nije preporučljiva za dekorativne predmete, nije otporna u vodi čija je temperatura veća od 65°C, u kiselinama, alkalijama i na niskim temperaturama.

Prednost ove zaštite je u niskoj ceni prevlake što je jako povoljno za zaštitu čeličnih predmeta od korozije u normalnim atmosferskim uslovima.



Kadmijumiziranje

Kadmijum je po svojim svojstvima tj. pri antikorozivnim osobinama sličan cinku, ima veću plastičnost pa se zato više upotrebljava za zaštitu delova koji su mehanički opterećeni.

Otporan je na dejstvo morske vode i morske atmosfere, u alkalijama je nerastvoran, dok je u kiselinama otporniji od cinka.

U uslovima normalne atmosfere zaštitna svojstva kadmijuma su nešto slabija nego kod cinka, a naročito u prisustvu industrijskih gasova.

Boja kadmijuma je srebrnasto bela sa plavičastom nijansom.



Niklovanje

Nikl je plemenitiji metal od gvožđa, za zaštitu se nanosi preko podslojeva bakra iz razloga smanjenja njegove poroznosti.

Prevlake nikla vremenom tamne.

Sirće i tople masti ostavljaju mrlje na površinama prevučenih niklom.



Tvrdo hromiranje

Hrom je izuzetno postojan metal, zadržava svoju boju i sjaj u odnosu na različite hemijske uticaje. Promena boje hroma nastaje iznad 500°C.

Rastvara se u sonoj i vrućoj sumpornoj kiselini.

Zbog postojanosti, poroznosti i plemenitijeg ponašanja u odnosu na čelik, prevlake hroma moraju biti veće debljine, odnosno on se kombinuje sa prevlakama bakra i nikla da bi se obezbedila zadovoljavajuća antikorozivna zaštita.

