

5. Metalli

5.1 Osnove metala	95
5.1.1 Karakteristike metala	97
5.1.2 Primjeri primjene metala	99
5.2 Željezni metali	100
5.2.1 Hlađenje taline željeza	101
5.2.2 Čelici	102
5.2.3 Željezni lijevovi	108
5.3 Neželjezni metali	110
5.3.1 Aluminij	111
5.3.2 Bakar	112
5.3.3 Nikal	113
5.3.4 Titan	113
5.3.5 Magnezij	114
5.4 Korozija i zaštita od korozije	114
5.4.1 Korozija	114
5.4.2 Zaštita od korozije	117
5.4.3 Kemijksa korozija	118

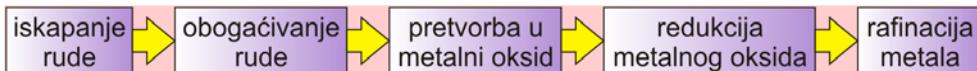
5.1 Osnove metala

U kemiji se pod metalima podrazumijevaju kemijski elementi lijevog dijela periodnog sustava, koji lako otpuštaju elektrone te formiraju metalne kristalne rešetke (*metalna vez*) i katione u spojevima ionskog tipa.

Pod **metalima** se u ovoj knjizi u pravilu podrazumijevaju:

1. jednokomponentni metali, s prisutnim pratećim elementima i nečistoćama, te
2. višekomponentne legure – smjese s dominantnim udjelima dva ili više elemenata.

Metali se dobivaju iz ruda (*kemijski spojevi s nemetalima, najčešće oksidi*) **metalurškim postupcima**. U pravilu se dobivanje metala iz ruda odvija u koracima:

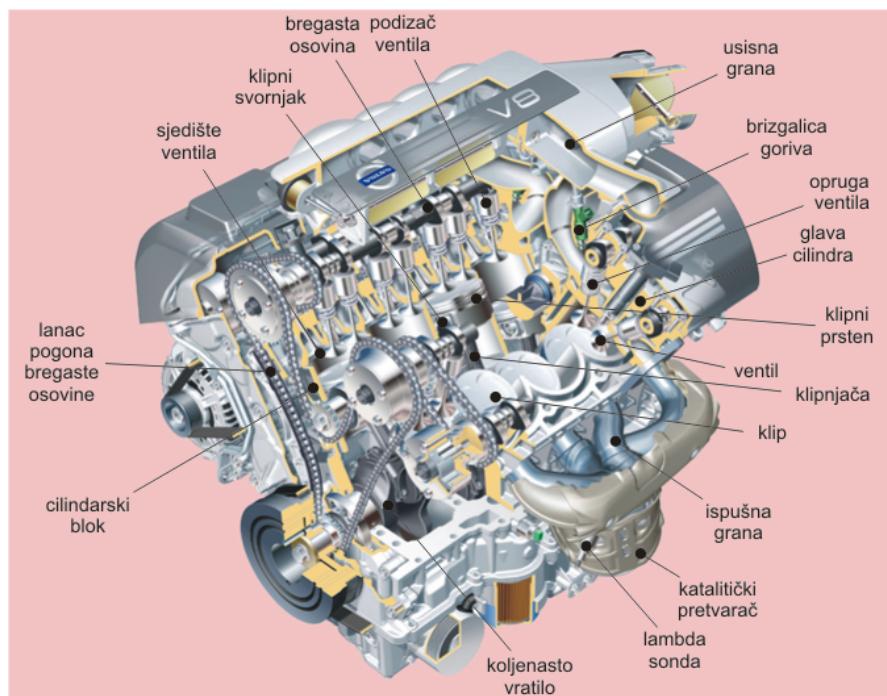


Provedba pojedinih koraka dobivanja različitih metala u velikoj je mjeri različita. Na primjer, redukcija je oksida željeza kemijska (*redukcija ugljikom – koks*), a oksida aluminija elektrokemijска (*redukcija taline*).

U pravilu, **metali** imaju visoka tališta i vrelišta. Dobri su vodiči električne struje i topline. Čvrsti su, plastični, tvrdi i žilavi (*živa*). Metalni se komadi lako oblikuju u proizvode različitim tehnološkim postupcima (*lijevanje, plastična deformacija, skidanje strugotine, spajanje*). Postojani su u organskim sredinama (*ulja, alkoholi*), ali ne i u anorganskim (*vodene otopine – kiseline, lužine i soli*). Lako se dobavljaju u obliku različitih poluproizvoda (*limovi, trake, šipke, cijevi, specijalni profili*), jeftini su i lako se recikliraju (*zlato, platina, rodij, paladij*).

Pored toga, pogodnim izmjenama sastava i strukture, mogu se metali u širokom opsegu prilagoditi potrebama. Na primjer, granica razvlačenja (*plastične deformacije*) kemijski čistog željeza je oko $R_e = 10 \text{ N/mm}^2$, a legiranjem sa samo 0,8 % ugljika i pogodnom toplinskom obradom ona se pomiče sve do oko $R_e = 2.000 \text{ N/mm}^2$.

Zbog pogodne kombinacije svojstava/karakteristika (*mehanička, toplinska, električna, tehnološka, uporabna, cijena*) metali su najčešće korišteni materijali za izradu brojnih strojarskih elemenata i sustava. Na primjer, u izradi dijelova motora s unutarnjim izgaranjem (*Volvo V8, 4,4 L*):



Najčešće primjenjivani materijali u izradi dijelova motora SUI dati su u tablici na sljedećoj stranici.

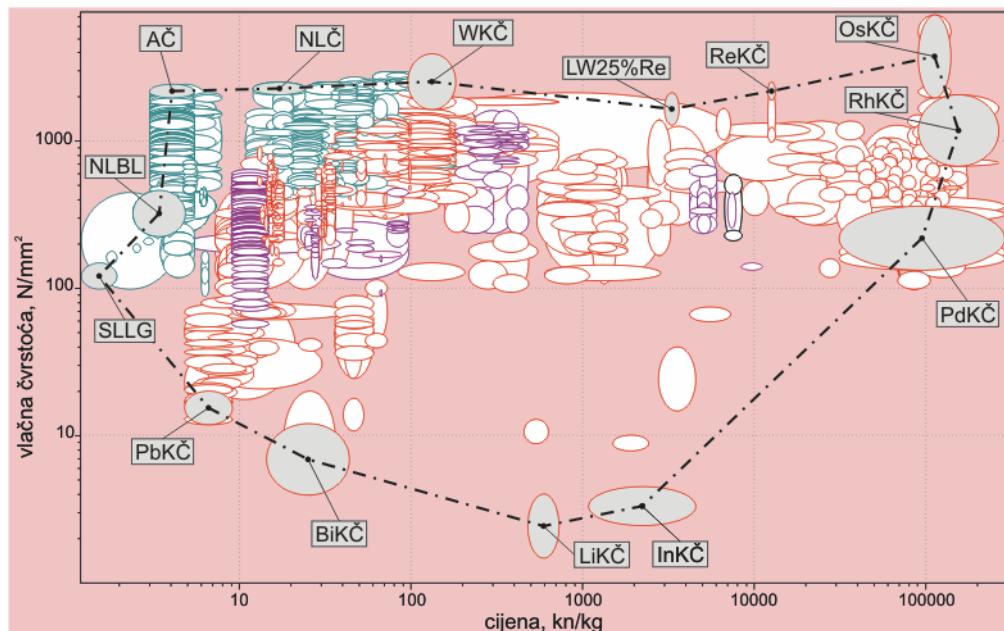
Dio motora SUI	Materijali
cilindarski blok	sivo lijevano željezo, Al legura za lijevanje
klip	Al-Si-Cu-Mg legura
klipni prsten	legirano lijevano željezo, opružni čelik, nehrđajući čelik
bregasta osovina	tvrdi lijev, Cr-Mo čelik, sinterirani metal na bazi željeza
ventil	toplinski otporni čelik, Ti legura, SiC (<i>keramika</i>)
sjedište ventila	lijevano željezo, sinterirani metal na bazi željeza
klipni svornjak	nodularni lijev, Si-Cr čelik, nehrđajući čelik
klipnjača	ugljični čelik, mikrolegirani čelik, sinterirani metal na bazi željeza
koljenasto vratilo	ugljični čelik, mikrolegirani čelik, Cr-Mo čelik, nodularni lijev
ispušna grana	lijevano željezo s visokim sadržajem Si, nehrđajući čelik
klizni ležajevi	Al-Si-Sn legura, Cu-Pb legura
katalizator	Pt-Pd-Rh legura

Prema osnovnom metalu (*komponenta s najvećim udjelom*), razlikuju se:



Pored dominantnih željeznih materijala najvažniji su za konstrukcijske namjene po slijedu značaja: aluminij (*Al*), bakar (*Cu*), nikal (*Ni*), titan (*Ti*).

5.1.1 Karakteristike metala



OSKČ – osmij komercijalne čistoće

WKČ – volfram komercijalne čistoće

AČ – alatni čelik 6CrMo15-5 (WNr. 1.2341)¹

NLČ – niskolegirani čelik 60MnCrB3 (EN 10084)²

ReKČ – osmij komercijalne čistoće

LW25%Re – legura wolframa s 25 % renija

RhKČ – rodij komercijalne čistoće

NLBL – nisko legirani bijeli lijev

PdKČ – paladij komercijalne čistoće

SLLG – sivi lijev s lamelarnim grafitom

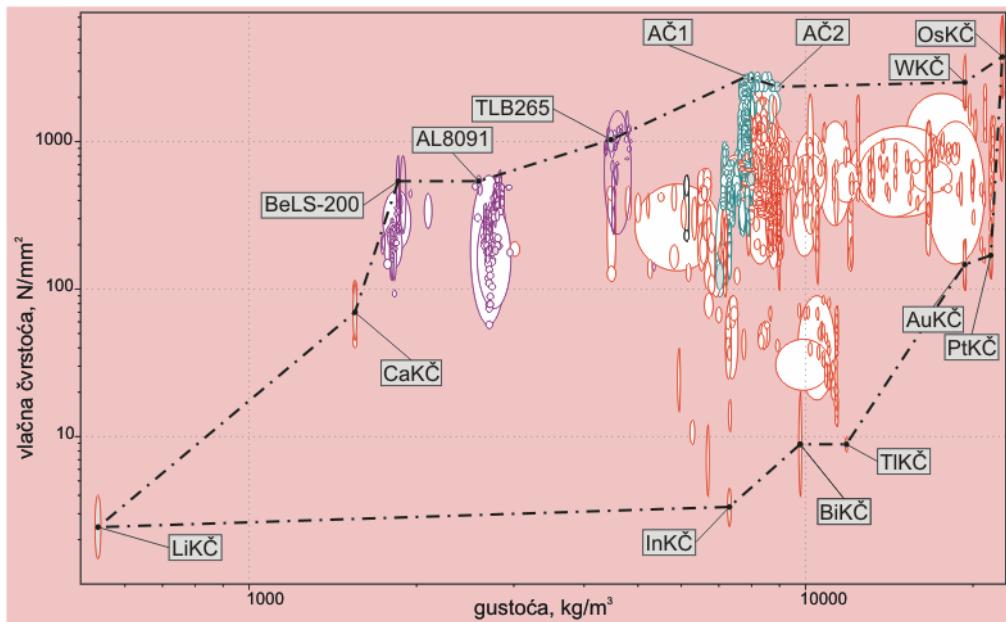
PbKČ – olovo komercijalne čistoće

BiKČ – bizmut komercijalne čistoće

InKČ – indij komercijalne čistoće

LiKČ – litij komercijalne čistoće

¹ AISI P4 ² AISI 5160



OSKČ – osmij komercijalne čistoće
 AČ1 – alatni čelik HS 2-9-2-8 (WNr. 1.3249)¹
 AČ2 – alatni čelik HS 18-1-2-10 (WNr. 1.3265)²
 WKČ – volfram komercijalne čistoće
 TLB265 – titanova legura LB 265
 AL8091 – aluminijeva legura 8091
 BeLS-200 – berilijeva legura S-200

PtKČ – platina komercijalne čistoće
 AuKČ – zlato komercijalne čistoće
 CaKČ – kalcij komercijalne čistoće
 TIKČ – talij komercijalne čistoće
 BiKČ – bizmut komercijalne čistoće
 InKČ – indij komercijalne čistoće
 LiKČ – litij komercijalne čistoće

¹ AISI 48 ² AISI TP

Materijal	uglični čelik	nehrđajući čelik	sivi lijev	legirani aluminij	legirani titан	mesing
	C 22 ¹	X5CrNi18-10 ²	BS 100	2024, T0	B265 5	C36000
Sastav, %	0,17÷0,23 C 3÷6 Mn <0,04P <0,05S	17,5÷20 Cr 8÷11 Ni <2 Mn <1 Si	3,6÷4,0 C 2,4÷2,6 Si 0,5÷0,7 Mn	4,4 Cu 1,5 Mg 0,6 Mn	6 Al 4 V	60 Cu 36 Zn 3 Pb
ρ , kg/dm ³	7,8÷7,9	5,2÷6,4	7,85÷8,06	2,74÷2,8	4,43÷4,51	8,18÷8,35
R_m , N/mm ²	355÷435	510÷620	100÷150	176÷194	862÷1200	360÷400
$R_{m,t}$, N/mm ²	265÷325	205÷310	130÷200	71÷79	848÷1080	150÷160
E , kN/mm ²	205÷215	190÷203	80÷100	73÷77	110÷119	99÷105
ν , –	0,29÷0,30	0,27÷0,28	0,26÷0,27	0,33÷0,34	0,31÷0,37	0,34÷0,35
R_e , N/mm ²	265÷325	205÷310	65÷98	71÷79	786÷910	150÷160
A , %	28÷43	30÷57	0,5÷0,7	19÷22	5÷18	36÷40
K_{IC} , N/mm ^{3/2}	1300÷2100	3760÷7200	630÷760	1150÷1200	2700÷3400	1900÷2000
HV	110÷130	170÷210	90÷216	52÷58	337÷373	75÷80
$R_{d,ls}$, N/mm ²	207÷240	175÷260	40÷68	39÷43	259÷566	165÷177
ϑ_{Max} , °C	340÷356	750÷925	350÷450	77÷177	347÷417	97÷107
ϑ_{min} , °C	-68÷-43	-273	-150÷-50	-273	-273	-273
c , J/(kg·K)	465÷505	490÷530	165÷360	858÷893	553÷570	376÷378
λ , W/(m·K)	50÷54	14÷17	50÷72	189÷197	7,1÷7,3	120÷125
α , $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot \text{K})$	11,5÷12,5	16÷18	11÷13	22,5÷23,7	8,7÷9,1	19,4÷20,6
E_k , MV/m	0,4÷0,6	1÷2	0,4÷0,6	1÷2	0,4÷0,6	1÷2
e_0 , $\mu\Omega \cdot \text{cm}$	16÷18	65÷77	80÷86	3,6÷3,8	168÷170	6,5÷6,9
$k_{recikličnost}$	0,8÷0,9	0,65÷0,75	0,85÷0,95	0,8÷0,9	0,55÷0,65	0,4÷0,5
Cijena, kn	3,0÷5,5	21,6÷31,2	1,2÷1,9	9,1÷14,7	180÷300	14,4÷15,3

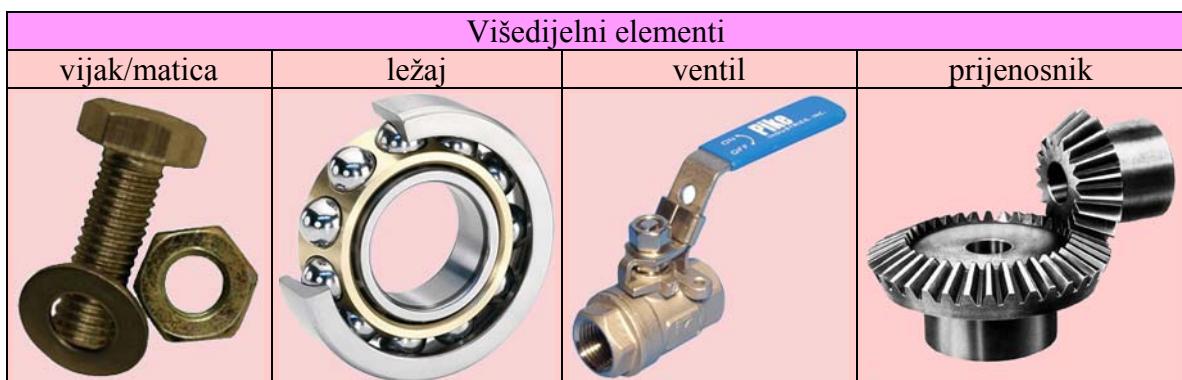
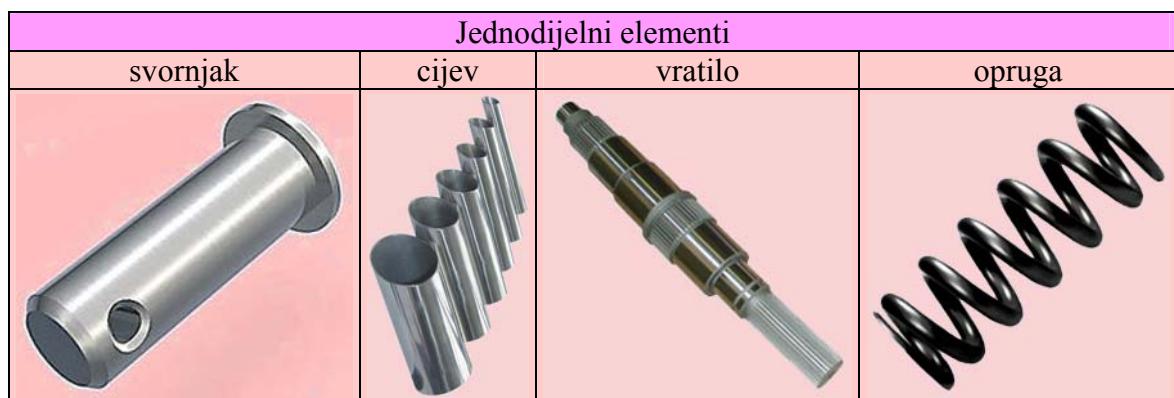
Otpornost na:						
trošenje	vrlo dobra	dobra	vrlo dobra	srednja	srednja	vrlo dobra
oksidaciju, 500°C	dobra	vrlo dobra	dobra	vrlo slaba	dobra	srednja
paljenje	vrlo dobra	vrlo dobra	vrlo dobra	dobra	vrlo dobra	vrlo dobra
UV zrake				vrlo dobra		
slatku vodu	dobra	vrlo dobra	dobra	vrlo dobra	vrlo dobra	vrlo dobra
morsku vodu	srednja	vrlo dobra	srednja	dobra	vrlo dobra	vrlo dobra
jake lužine	slaba	dobra	slaba	vrlo dobra	dobra	slaba
jake lužine	srednja	vrlo dobra	srednja	slaba	dobra	vrlo dobra
slabe kiseline	srednja	vrlo dobra	dobra	vrlo dobra	vrlo dobra	dobra
slabe baze	dobra	vrlo dobra	vrlo dobra	dobra	vrlo dobra	vrlo dobra
organska otapala				vrlo dobra		
Materijal	C 22 ¹	X5CrNi18-10 ²	BS 100	2024, T0	B265 5	C36000
	ugljični čelik	nehrđajući čelik	sivi lijev	legirani aluminij	legirani titan	mesing

¹ AISI 1020 ² AISI 304 (EN 10088-1; WNr. 1.4301)

Kada se pri izboru materijala za izradu nekog dijela usporedno analiziraju dva materijala, pored navedenih karakteristika, moraju se uzeti u obzir i strojarske tehnološke karakteristike. Na primjer, ugljični čelik se lako plastično deformira i zavaruje te se od njega izrađuju cijevi, dok se mesing lako lijeva i obrađuje odvajanjem čestica te se od njega izrađuju komadi složenih geometrijskih oblika.

5.1.2 Primjeri primjene metala

Prikladnim postupcima strojarske tehnologije (*lijevanje, plastično deformiranje, odvajanje strukture, toplinska obrada*) od metala se izrađuje velik broj jednodijelnih i višedijelnih strojarskih elemenata:



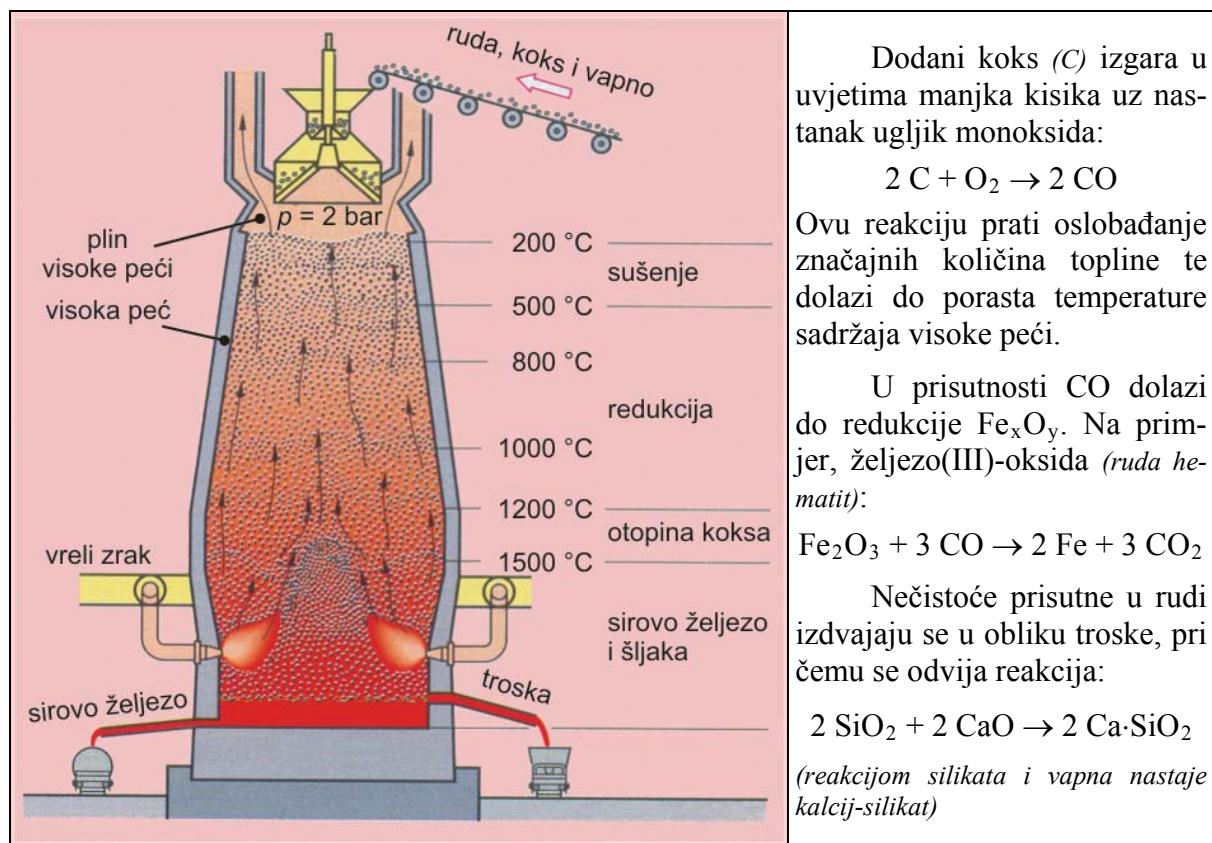
Metali se u velikoj mjeri koriste i u izgradnji različitih strojarskih i elektrostrojarskih (mehatronika) sustava:



5.2 Željezni metali

Sirovo je željezo relativno jeftino jer se rude željeza u prirodi nalaze u velikim količinama, a proizvodnja je relativno jednostavna. Korišteno se željezo lako reciklira (50 %).

Iz rude se sirovo željezo dobiva u visokim pećima.



Primjer bilance visoke peći je:

Punjene peći	Masa, t	Proizvodi	Masa, t
ruda, npr. sa 50 % Fe	4 000	sirovo željezo	2 000
vapno	800	šljaka	1 600
koks	1 800	prašina	200
zrak	8 000	plin visoke peći	10 800
ukupno	14 600	ukupno	14 600

Daljom preradom metalurškim procesima dobivaju se različiti metali (*nelegirani i legirani*) na bazi željeza koji se prema kemijskom sastavu mogu svrstati u tri grupe:



Pogodna svojstva	Nepogodna svojstva
<ul style="list-style-type: none"> visoko talište (1540 °C) velika čvrstoća i pri visokim ϑ (450 °C) od uobičajenih metala najveći E (200 kN/mm²) dobra toplinska i električna provodljivost dobra duktilnost (<i>kovanje, valjanje, izvlačenje</i>) lako legiranje (Cr, Ni, Co, Cu) lako lijevanje lako zavarivanje moguća značajna prilagodba svojstava toplinskom obradom niska cijena 	<ul style="list-style-type: none"> krhkost pri niskim ϑ velika gustoća (preko 7,87 kg/dm³) korozija u prirodnim uvjetima

5.2.1 Hlađenje taline željeza

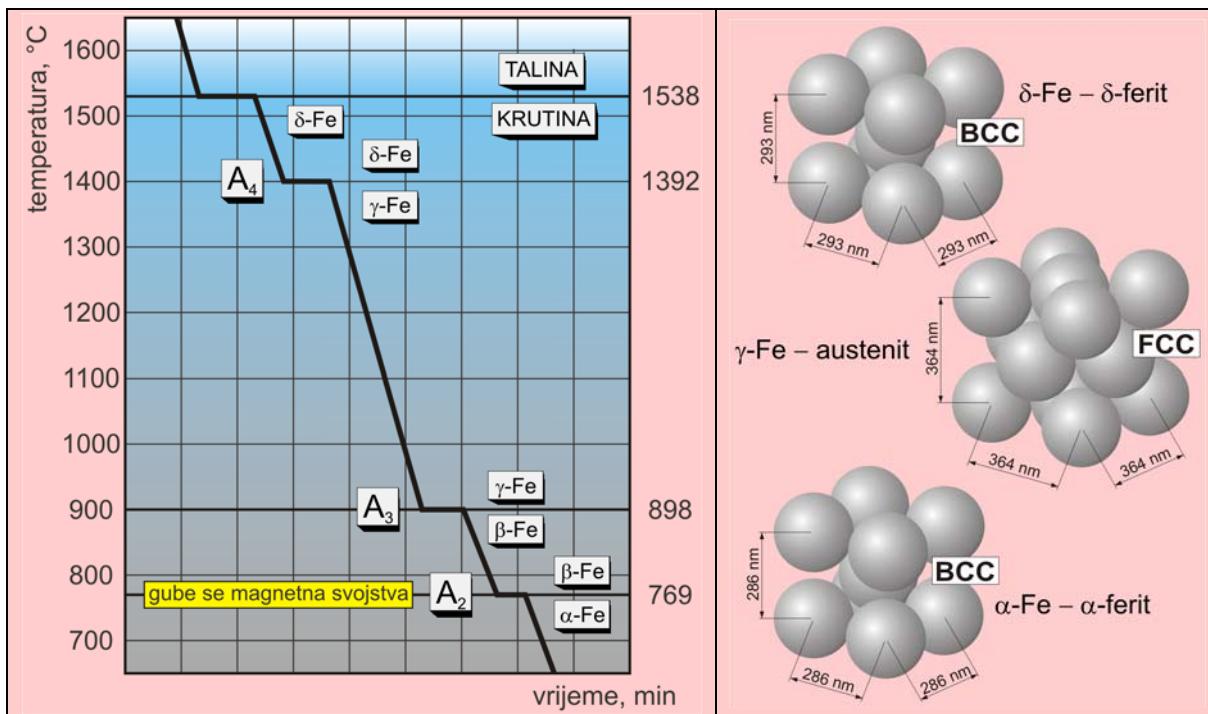
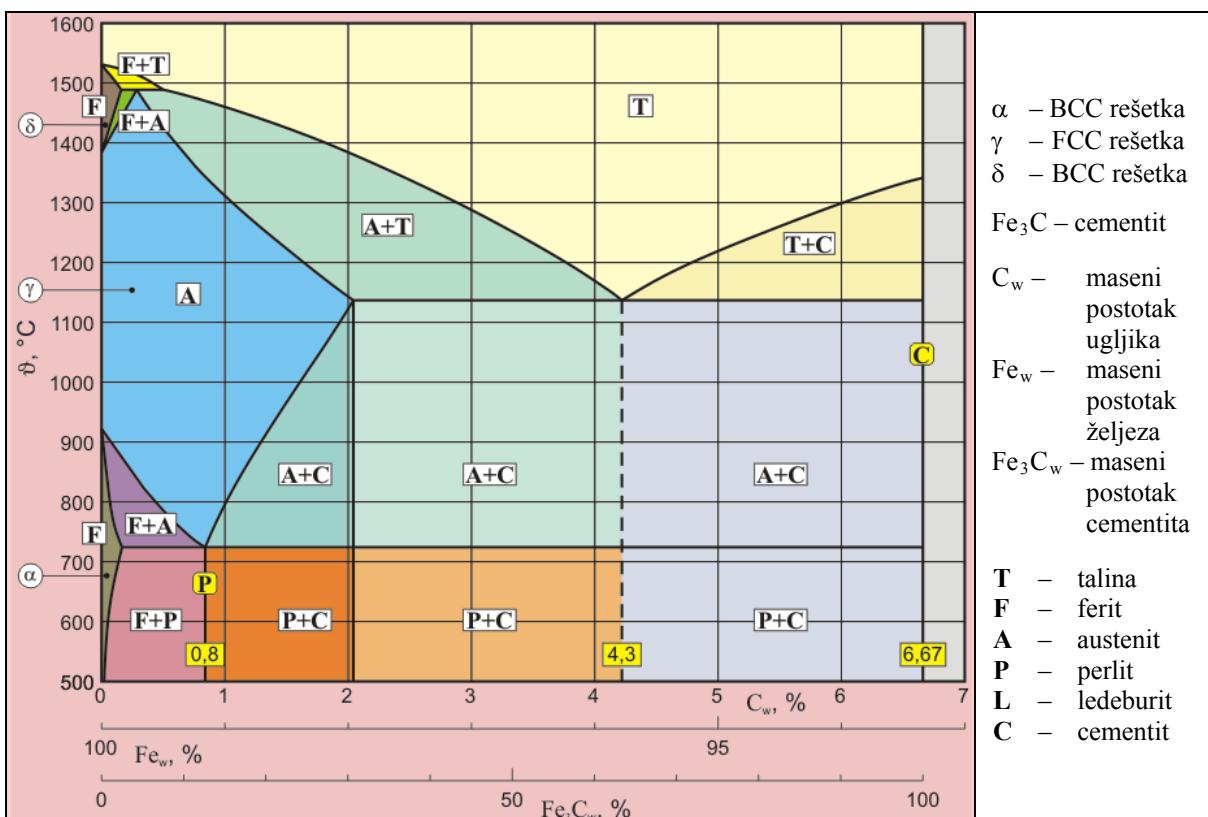
Pri odvođenju topline hlađi se tekuća talina željeza (Fe_t) te nakon dostizanja tališta, uz dalje odvođenje topline, postupno prelazi u krutinu ($\delta\text{-Fe}$):

- talište: $Fe_t \Rightarrow \delta\text{-Fe}$ pri $\vartheta = 1538$ °C ,

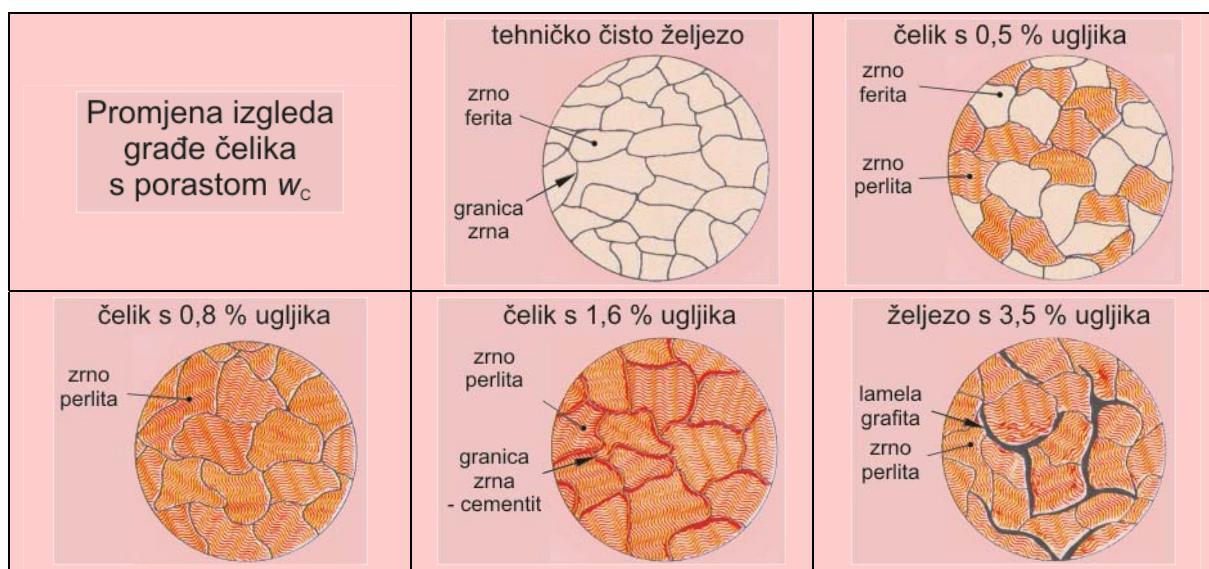
Tijekom daljeg odvođenja topline u krutom željezu (*kemijski čisto željezo*) dolazi do alotropskih modifikacija u točkama zastoja:

- A_4 : $\delta\text{-Fe} \Rightarrow \gamma\text{-Fe}$ pri $\vartheta = 1392$ °C ,
- A_3 : $\gamma\text{-Fe} \Rightarrow \beta\text{-Fe}$ pri $\vartheta = 898$ °C ,
- A_2 : $\beta\text{-Fe} \Rightarrow \alpha\text{-Fe}$ pri $\vartheta = 769$ °C .

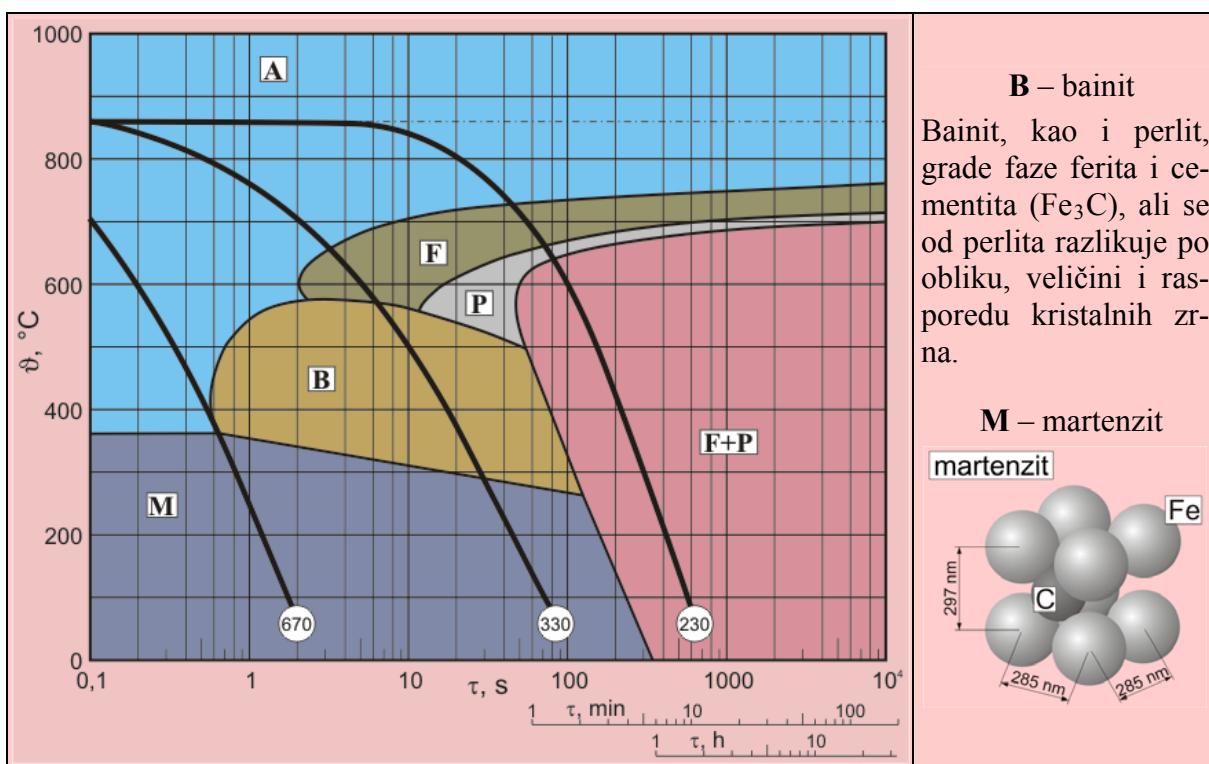
U točkama zastoja, pored odvođenja topline ne mijenja se temperatura sve dok se u potpunosti ne odvije fazna promjena. $\beta\text{-Fe}$ je nemagnetično (*za razliku od $\alpha\text{-Fe}$*), ali ima istu strukturu kao i $\alpha\text{-Fe}$ ($\leftarrow \beta\text{-Fe}$), tako da se zanemaruje pri analizi strukturnih promjena pri hlađenju željeza.

Dijagram stanja Fe–Fe₃C (stanje ravnoteže).

Na dijagramu stanja Fe–Fe₃C opaža se da temperature pri kojima dolazi do faznih transformacija (talište i točke zastoja) značajno ovise o količini ugljika prisutnog u metalu. Na primjer, talište je minimalno pri sadržaju ugljika $w_C = 4,3\%$, a maksimalno pri sadržaju ugljika $w_C = 4,3\%$.



Rezultati očekivani na temelju dijagrama stanja Fe–Fe₃C dobivaju se samo pri vrlo sporom hlađenju krutine (*dovoljno vremena za potpunu faznu pretvorbu*). Za predviđanje rezultata bržeg hlađenja (*nedovoljno vremena za odvijanje potpunih faznih pretvorbi*) koriste se za različite čelike različiti "TTT" dijagrami (*Time-Temperature-Transformation – vrijeme-temperatura-pretvorbe*).



Pri toplinskoj obradi, tvrdoća od 670 HB dobiva se brzim hlađenjem komada u toploj vodi (*prethodnim grijanjem i zadržavanjem na temperaturi oko 850 °C provedena je austenitizacija materijala*). Sporijim hlađenjem komada u ulju dobiva se manja tvrdoća od 330 HB. Pri još sporijem hlađenju (*zrak*) dobiva se još manja tvrdoća 230 HB.

Po potrebi, veoma sporo hlađenje provodi se u samoj peći za toplinsku obradu, pod kontrolom pogodnog sustava regulacije dinamike hlađenja.

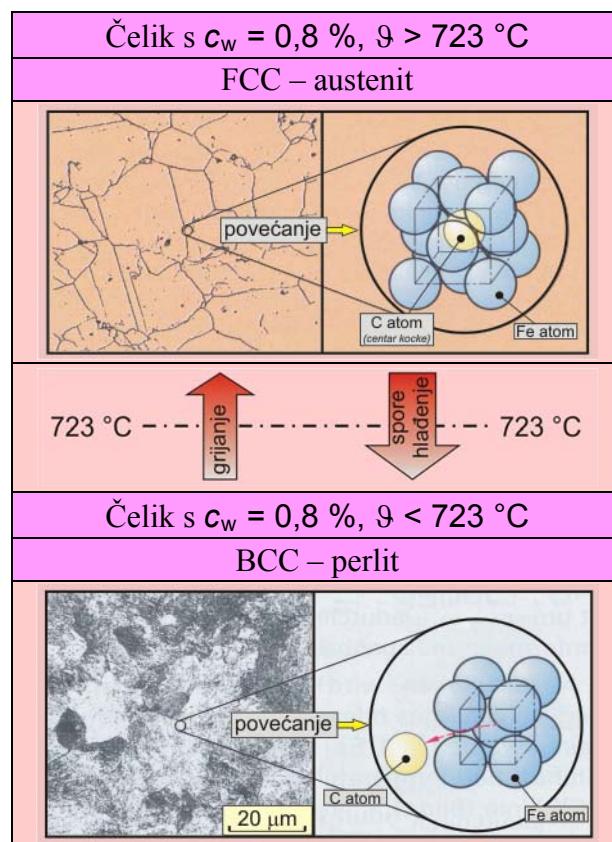
Kod FCC čelije austenitnog čelika raspored je atoma željeza i ugljika (*u izračunavanjima treba imati u vidu da atomi Fe koji se nalaze u kutovima i na stranicama kocke pripadaju i susjednim čelijama*):

- osam atoma Fe u kutovima kocke,
- šest atoma Fe u presjecima dijagonala stranica kocke,
- eventualno prisutan jedan atom C u presjeku prostornih dijagonala kocke.

Kod BCC čelije perlitnog čelika raspored je atoma željeza i ugljika (*u izračunavanjima treba imati u vidu da atomi Fe koji se nalaze u kutovima kocke pripadaju i susjednim čelijama*):

- osam atoma Fe u kutovima kocke,
- jedan atom Fe u presjeku prostornih dijagonala kocke,
- eventualno prisutan jedan atom C je izvan kocke.

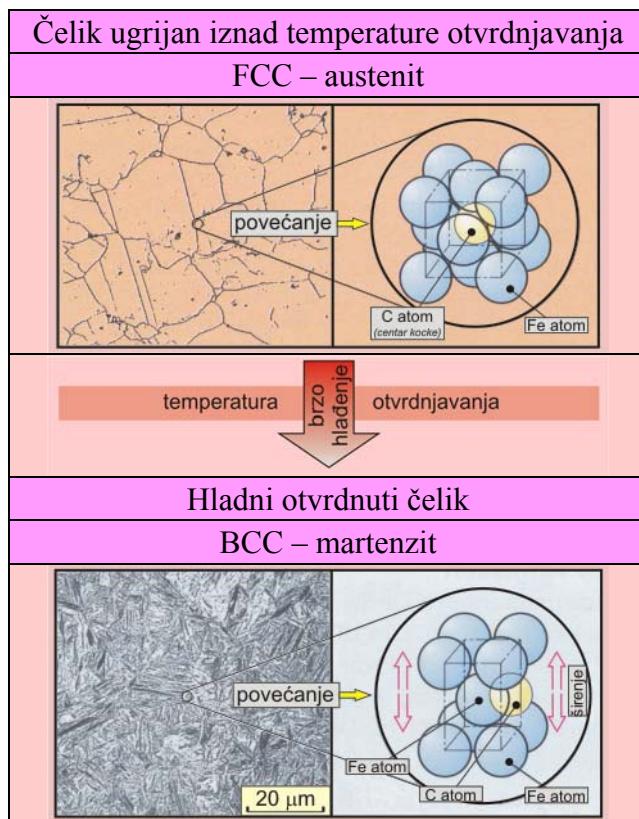
Prema tome, pri sporom grijanju i hlađenju atomi ugljika ulaze i izlaze iz kocke.



Čelicima s preko 0,2 % ugljika može se po grijanju na temperature više od temperaturu otvrdnjavanja (*područje austenita u ravnotežnom dijagramu stanja Fe-Fe₃C*) brzim hlađenjem povećati tvrdoča (*slika na sljedećoj stranici*). Atom ugljika nije imao vremena izaći iz kocke i ostao je zarobljen u tetragonu – kod BCT (*Body Centred Tetragonal – volumno centrirana tetragonalna*) čelije martenzitog čelika raspored je atoma željeza i ugljika (*u izračunavanjima treba imati u vidu da atomi Fe koji se nalaze u kutovima tetragona pripadaju i susjednim čelijama*):

- osam atoma Fe u kutovima tetragona,
- jedan atom Fe u presjeku prostornih dijagonala tetragona,
- a eventualno prisutan jedan atom C zarobljen je u tetragonu.

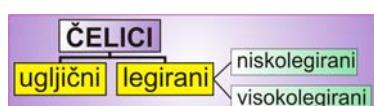
Prema tome, pri sporom grijanju te potom brzom hlađenju atomi C ulaze i ostaju zarobljeni u tetragonu (*martenzit*).



5.2.2 Čelici

Čelici su smjese željeza i ugljika ($w_C \leq 2\%$), s pratećim elementima (Si, Mn, ...) i nečistocama (P, S, ...), te s jednim ili više dodanih legirajućih elemenata. Svojstva čelika ovise o kemijskom sastavu (osobito je velik utjecaj sadržaja ugljika) i građi (struktura i greške).

Prema kemijskom sastavu razlikuju se:



Kod legiranih je čelika udio najmanje jednog od elemenata veći od:

	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	Co	Ti	Cu	Al
w_i , %	0,60	0,80	0,20	0,30	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,05

Dodatkom legirajućih elemenata značajno se mijenjaju svojstva čelika.

Element	w_i , %	Glavni utjecaji
aluminij	< 2	povećava otpornost gradnji cundera (sloj oksida), pospješuje nitriranje, ometa rast zrna
sumpor	< 0,5	poboljšava rezljivost, smanjuje duktilnost i zavarljivost
krom	0,3 ÷ 4	povećava čvrstoću pri visokim temperaturama i zakaljivost te otpornost na koroziju, a u kombinaciji s ugljikom povećava otpornost na trošenje
nikal	0,3 ÷ 5	povećava čvrstoću, žilavost i zakaljivost (pospješuje austenitizaciju), te otpornost na koroziju
bakar	0,2 ÷ 0,5	pospješuje izgradnju zaštitnog sloja u uvjetima atmosferske korozije
mangan	0,3 ÷ 2	povećava zakaljivost, pospješuje austenitizaciju, u kombinaciji sa sumporom smanjuje negativne utjecaje dodatka sumpora

106 MATERIJALI

silicij	$0,2 \div 2,5$	u proizvodnji čelika vezuje kisik, povećava žilavost i zakaljivost
molibden	$0,1 \div 0,5$	povećava sitnozrnost, zakaljivost i čvrstoću pri visokim temperaturama
vanadij	$0,1 \div 0,3$	povećava sitnozrnost i zakaljivost, a u kombinaciji s C povećava otpornost na trošenje
Element	w_i , %	Glavni utjecaji

Prema namjeni razlikuju se:



Od konstrukcijskih čelika izrađuju se različiti strojarski dijelovi i sustavi, a od alatnih se izrađuju različiti proizvodni (*plastična deformacija, rezanje*) i mjerni alati.

Pored **oznaka čelika** prema Hrvatskim normama (*HRN*), danas se u Hrvatskoj često sreću i oznake čelika prema Europskim normama (*EN*), Jugoslavenskim normama (*JUS*), Njemačkim normama (*DIN*), njemačkim Brojevima čelika (*W.Nr.*) i Američkim normama (*AISI*). Usporedne oznake za čelike nalaze se u literaturi – "ključevima" za čelike. Čelici su veoma detaljno obrađeni u normama DIN, na primjer, korištena terminologija je detaljno razrađena u normama DIN EN 10079 – Definicije termina za poluproizvode od čelika (*npr. ravni poluproizvodi, limovi, profili, cijevi*), DIN EN 10052 – Termini toplinske obrade materijala na bazi željeza (*npr. austenitizacija, popuštanje, kaljenje*). Označavanje čelika je detaljno obrađeno u DIN E 10027 - 1 – Sustav označavanja čelika – kratice: (a) na temelju namjene (*npr. S235JR, L360GA, GE240*), (b) na temelju kemijskog sastava te (*npr. C35R, 28Mn6, X10CrNi18-8*) DIN E 10027 - 2 – Sustav označavanja čelika – Broj materijala (*npr. 1.0212, 10345, 1.0721*).

U Europskim normama (*EN*) čelici se označavaju:

- **prema kemijskom sastavu**, na primjer:

visokolegirani čelik: X20CrMoV12-1

X – maseni udio najmanje jednog legirajućeg elementa $w_X \geq 5\%$,

$20 - w_C = 0,20\%$, ($\times 100 = 20$)

Cr, Mn, V – krom, mangan, vanadij,

12-1 – maseni udjeli: $w_{Cr} = 12\%$, $w_{Mn} = 1\%$.

- **prema namjeni, mehaničkim i fizikalnim svojstvima**, na primjer:

konstrukcijski čelik: S235JRG2

S – konstrukcijski čelik,

235 – granica razvlačenja, $R_e = 235 \text{ N/mm}^2$,

JR – udarni rad loma, $KV = 27 \text{ J}$ pri $+20^\circ\text{C}$,

G2 – jamči se udarni rad loma, $KV = 27 \text{ J}$ pri $+20^\circ\text{C}$.

- **brojčano**, na primjer:

1.3551

1 – broj vrste materijala, 1 = čelik,

35 – broj skupine materijala, $30 \div 39$ = razni čelici,

51 – serijski broj.

Prepoznavanje čelika na temelju oznake izlazi iz okvira Materijala, a prethodno navedeni primjeri samo ukazuju na složenost normiranog sustava označavanja čelika. U slučaju rješavanja konkretnog problema dodatne se informacije o konkretnom čeliku lako nalaze u literaturi i ili na internetu.

Konstrukcijski čelici

Od konstrukcijskih čelika izrađuju se različiti dijelovi/sustavi za: preuzimanje sile i/ili momenata u mirovanju ili gibanju (*nosači, mostovi, vratila, zupčanici*), skladištenje ili transport plinova i tekućina (*spremnici, cijevi*), zatvaranje i spajanje (*oplata brodova, zavarena kućišta, vijci*).

Svojstva su konstrukcijskih čelika:

- mehaničke – visoka granica razvlačenja, čvrstoća, žilavost i dinamička izdržljivost,
- postojanost – otpornost na trošenje i koroziju,
- tehnoška – hladna oblikovljivost plastičnom deformacijom, rezljivost i zavarljivost,
- tržišna – niska cijena i laka nabavka.

Prema namjeni se razlikuju:



Nekoliko su primjera konstrukcijskih čelika opće namjene i njihove primjene:

Oznaka čelika		Sastav, % (Max)							R_m	$R_{p0,2}$ (min)	A_5 , %	$KV_{20^\circ C}$, (min), J
EN	HRN	C	Si	Mn	P	S	N	Al	N/mm ²			
S185	Č 0000								290	–	–	–
S235JRG1	Č 0371	0,17	–	–	0,05	0,05	0,007	–	340÷470	225	26	27
S235JRG2	Č 0361	0,17	–	–	0,05	0,05	0,009	–	340÷470	225	26	27
S235JRG3	Č 0363	0,17	0,3	0,2÷0,5	0,04	0,04	0,009	0,02	340÷470	225	26	27
S355J0G3	Č 0562	0,2	0,55	1,7	0,045	0,045	0,009	0,02	490÷630	345	22	27
E295	Č 0545	≈ 0,3	–	–	0,05	0,05	0,009	–	470÷610	285	20	–
E335	Č 0645	≈ 0,4	–	–	0,05	0,05	0,009	–	570÷710	325	16	–
E360	Č 0745	≈ 0,5	–	–	0,05	0,05	0,009	–	670÷830	355	11	–

Vrsta čelika	Područje primjene
S185	Proizvodi sporedne važnosti (<i>ograde, ulične pokrovne ploče, poluge</i>). Zavarljivost nije zajamčena.
S235JRG1	Dijelovi namijenjeni oblikovanju hladnim deformiranjem (<i>limove za hladno valjanje, naplatci kotača</i>).
S235JRG2, S235JRG3	Zavarene konstrukcije, statički srednje opterećene pri temperaturama iznad 0 °C.
S355J0G3, S355J2G3	Zavarene konstrukcije, izložene jakim udarnim naprezanjima pri temperaturama sniženim i do –20 °C. Slabije opterećene osovine i cilindrični zupčanici, koji nisu izloženi uvjetima povišenog trošenja.
E295, E335	Strojni dijelovi koji su i nekaljeni otporni na trošenje (<i>klipnjače, spojne poluge, svornjaci, manje opterećeni zupčanici, jače opterećene osovine pumpa i kompresora, vretena</i>). Srednje opterećeni dijelovi izloženi visokim površinskim tlakovima (<i>pužni vijci, klinovi, zatici</i>).
E360	Dijelovi izloženi jakim statičkim opterećenjima (<i>bez titranja</i>) koji su izloženi uvjetima jakog trošenja (<i>vodeće tračnice, osovine sporih miješalica abrazivnih materijala</i>). U pravilu se ne kali.

108 MATERIJALI

Nekoliko su primjera korozionski postojanih čelika (*zeleno-vrijednosti pri 20 °C*):

Oznaka čelika		<i>HB</i> (gašeno)	<i>R_m</i>	<i>R_{p0,2}</i> (min)	A ₅ , %	KV (min), J	<i>R_{p0,2}</i> , N/mm ²	
EN	HRN		N/mm ²			100 °C	500 °C	
X 12 CrNi 18-8	Č 4571	170 ÷ 220	700 ÷ 950	215	45	105	–	–
X 6 CrNi 18-10KT	Č 4580	130 ÷ 180	500 ÷ 700	185	50	85	155	92
X 6 CrNiTi 18-10	Č 4572	130 ÷ 180	500 ÷ 700	205	45	85	175	110
X 5 CrNiMo 17-12-2	Č 4573	130 ÷ 190	500 ÷ 750	205	40	85	176	119
X 6 CrNiMoTi 17-12-2	Č 4574	130 ÷ 190	500 ÷ 750	225	40	85	190	129
X 10 CrNiMoNb 18-10	Č 4583	130 ÷ 190	500 ÷ 750	225	40	85	190	129

Vrsta čelika	Područje primjene
X 12 CrNi 18-8	Predmeti u kućanstvu, aparati i uređaji u prehrambenoj industriji.
X 6 CrNi 18-10KT	Duboko vučene limene prevlake za prehrambenu industriju.
X 6 CrNiTi 18-10	Zavareni dijelovi u kemijskoj/prehrambenoj industriji. U kućanstvu (<i>nehrdajući pribor za jedlo</i>).
X 5 CrNiMo 17-12-2	Oprema u kemijskoj industriji, industriji boja, mljekarskoj industriji, proizvodnji piva.
X 6 CrNiMoTi 17-12-2	Zavareni dijelovi u kemijskoj industriji, industriji boja te proizvodnji polimera i gume.
X 10 CrNiMoNb 18-10	

Alatni čelici

Namijenjeni su **izradi alata** za oblikovanje metala odvajanjem čestica i plastičnim deformiranjem, kalupa za oblikovanje polimera te izradi mjernih alata.

Svojstva su konstrukcijskih čelika velike:

- krutosti (*deformacije izazivaju promjene dimenzija izrađivanih proizvoda*),
- tvrdoće (*trošenje alata izaziva promjene dimenzija izrađivanih proizvoda*),
- žilavosti (*alati moraju biti otporni na udare kako ne bi dolazilo lomova*).

Prema uvjetima korištenja razlikuju se:



Radne su temperature:

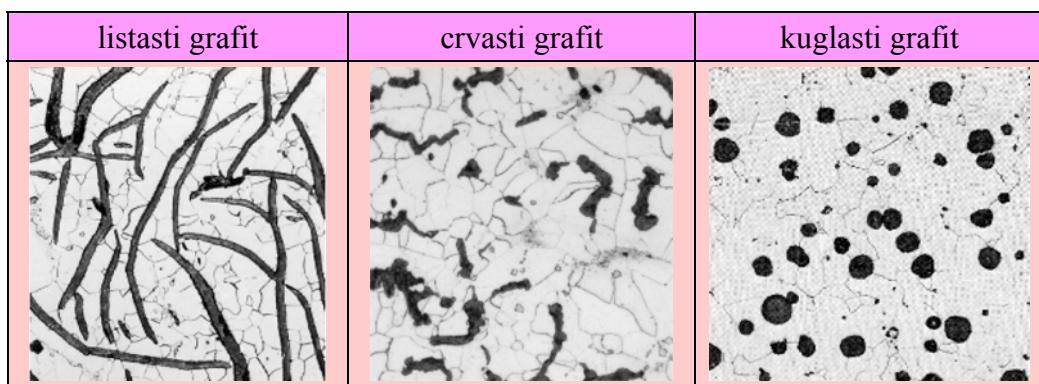
- hladni rad, $\vartheta_r < 200 \text{ } ^\circ\text{C}$,
- topli rad, $\vartheta_r \geq 200 \text{ } ^\circ\text{C}$.

5.2.3 Željezni lijevovi

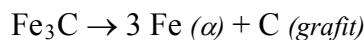
Lijevovi na bazi željeza smjese su željeza s ugljikom. Razlikuju se:

- **čelični lijevovi** sa: $0 < w_C < 2,03 \text{ %}$, u praksi: $w_C < 0,5 \text{ %}$ i
- **željezni lijevovi** sa: $w_C > 2,14 \text{ %}$, u praksi: $3,0 < w_C < 4,5 \text{ %}$.

Sadržaj ugljika u željeznim lijevovima značajno premašuje ravnotežne koncentracije (otopina C u Fe) te se ugljik izdvaja u zrnima grafita i cementita (Fe_3C). Grafit se izdvaja u tri osnovna oblika: listastom (*lamelarnom*), crvastom (*vermikularnom*, *en. compacted*) i kuglastom (*sferoidalnom*).



Cementit je nestabilni spoj i pod određenim uvjetima se razlaže:



Talište je lijevova 1150 do 1300 °C – znatno niže od tališta čelika (*dijagram stanja*).

Prema kemijskom sastavu razlikuju se nelegirani i legirani **čelični lijevovi**:

	vrsta Č lijeva	C	Si	Mn	P	S	Cr
w_i , %	nelegirani	0,11 ÷ 0,43	0,3 ÷ 0,5	0,5 ÷ 0,8	< 0,04	< 0,04	–
	legirani	1,0 ÷ 1,5	0,4 ÷ 0,6	12 ÷ 17	< 0,01	< 0,04	1 ÷ 2

Čelični lijev je zapravo lijevani čelik. Obraduje se samo odvajanjem čestica. Za dobivanje mikrostrukture slične čeliku mora se čelični lijev toplinski obraditi (*usitnjavanje i ujednačavanje veličine kristalnih zrna*).

Komadi od čeličnog lijeva su značajno skuplji od komada od željeznog lijeva (*točan kemijski sastav, visoko talište, poteškoće pri lijevanju, toplinska obrada*).

Željezni lijevovi

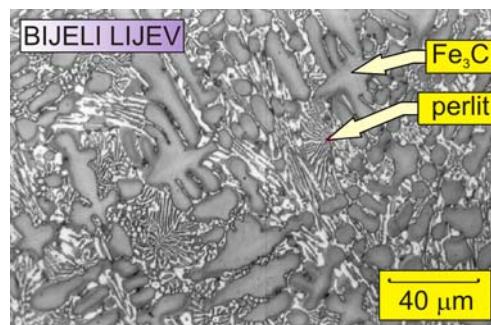
Vrste su željeznih lijevova:



Uobičajen je kemijski sastav **bijelog lijeva**:

	C	Si	Mn	P	S
w_i , %	2,5 ÷ 3,5	< 0,6	3,5 ÷ 4,0	< 0,9	< 0,25

Ugljik je većim dijelom vezan u cementitu čija su krupna kristalna zrna raspoređena u austenitoj, perlitoj ili martenzitnoj osnovi.



Bijeli je lijev tvrd ($> 400 HV$) i krhak, izvrsne je otpornosti na abrazijsko trošenje te visoke tlačne čvrstoće.

Zbog sklonosti formiranju šupljina i napetosti pri lijevanju te teške obrade odvajanjem čestica koristi se za izradu proizvoda jednostavnijih oblika (*industrijski valjci, kugle mlinova, dijelovi drobilica kamena, sapnice pjeskara*).

Uobičajen je kemijski sastav **sivog lijeva**:

	C	Si	Mn	P	S
$w_i, \%$	$2,5 \div 4,5$	$1,0 \div 4,0$	$0,3 - 1,0$	$0,1 \div 1,5$	$< 0,1$

Ugljik je većim dijelom izdvojen u grafitu (*velik sadržaj Si koji pospješuje gradnju grafita, mali sadržaj Mn koji pospješuje gradnju cementita*) čija su kristalna zrna izdvojena u listastom obliku.

Niske je vlačne i visoke tlačne čvrstoće, male žilavosti i istezljivosti. Najjeftiniji je od lijevova, dobre je ljevjivosti i rezljivosti te loše zavarljivosti.

Zbog dobre ljevjivosti i prigušivanja vibracija koristi se u izradi komada složenih oblika koji su tijekom uporabe izloženi titrajnemu opterećenju (*kućišta mjenjača, postolja obradnih strojeva*).

Uobičajen je kemijski sastav **nodularnog lijeva**:

	C	Si	Mn	P	S	Mg
$w_i, \%$	$3,2 \div 3,8$	$2,2 \div 2,8$	$< 0,5$	$< 0,004$	$< 0,01$	$0,03 \div 0,04$

Ugljik je većim dijelom izdvojen kao grafit. Za razliku od sivog lijeva, kristalna su mu zrna izdvojena u obliku kuglica. Oblikovanje kuglica pospješuje magnezij, kao i brojni drugi elementi. Metalna osnova može biti feritne, feritno-perlitne ili perlitne strukture.

Nodularni lijev ima mnogo veću vlačnu čvrstoću nego sivi lijev, ali manju od čeličnog lijeva. Posebna prednost nodularnog lijeva u odnosu na sivi lijev veća su granica razvlačenja, žilavost i duktilnost. Ima veliku dinamičku izdržljivost. Može se zavarivati i dobro se obrađuje postupcima odvajanja strugotine.

Zbog pogodne kombinacije svojstava od nodularnog se lijeva izrađuju brojni dijelovi vozila (npr. *klipni svornjak, koljenasto vratilo, bregasta osovina, zupčaici*), crpki i kanalizacijskih cijevi. U pravilu je najekonomičnija primjena feritno-perlitnog nodularnog lijeva, ali je za odljevke koji se tijekom uporabe izlažu velikim deformacijama i udarnim opterećenjima najpogodniji feritni nodularni lijev.

Temper lijev dobiva se toplinskom obradom bijelog lijevanog željeza – decementacijskim žarenjem ($Fe_3C \rightarrow 3 Fe + C$). Proizvodi su žarenja:

- bijeli temper lijev u oksidacijskoj atmosferi (*okcidacija ugljika – bijeli prijelom*) i
- crni temper lijev u redukcijskoj atmosferi (*izdvajanje ugljika – crni prijelom*).

Od bijelog temper lijeva izrađuju se ručni alati, cijevne prirubnice i dijelovi lanaca, a od crnog temper lijeva bubenjevi kočnica.

5.3 Neželjezni metali

Najviše su korišteni neželjezni metali:



Prema namjeni razlikuju se:

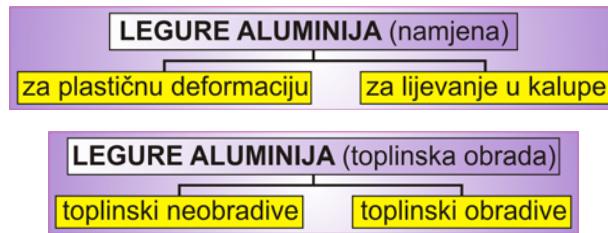


5.3.1 Aluminij

Vrlo niski kemijski potencijali oksida aluminija onemogućavaju njegovo dobivanje iz ruda kemijskom redukcijom uz korištenjem jeftinoga reduksijskog agensa (*ugljik u obliku koksa*). Aluminij se dobiva elektrolitskom redukcijom taline oksida. Pri hlađenju krutine aluminija od tališta sobne temperature ne dolazi do faznih pretvorbi (*FCC kristalna rešetka*). Glavni su legirajući elementi aluminija Cu, Mg, Mn, Si i Zn.

Pogodna svojstva	Nepogodna svojstva
<ul style="list-style-type: none"> mala gustoća ($2,7 \text{ kg/dm}^3$) povoljan omjer vlačne čvrstoće i gustoće velike električne vodljivosti ($2,7 \mu\Omega \cdot \text{cm}$) velike toplinske vodljivosti ($230 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) izuzetno povoljan omjer električne vodljivosti i gustoće (<i>veći nego kod Cu</i>) dobra otpornost na atmosfersku koroziju i koroziju u vodama velika duktilnost, koja se zadržava i pri vrlo niskim ϑ 	<ul style="list-style-type: none"> nisko talište (660°C)

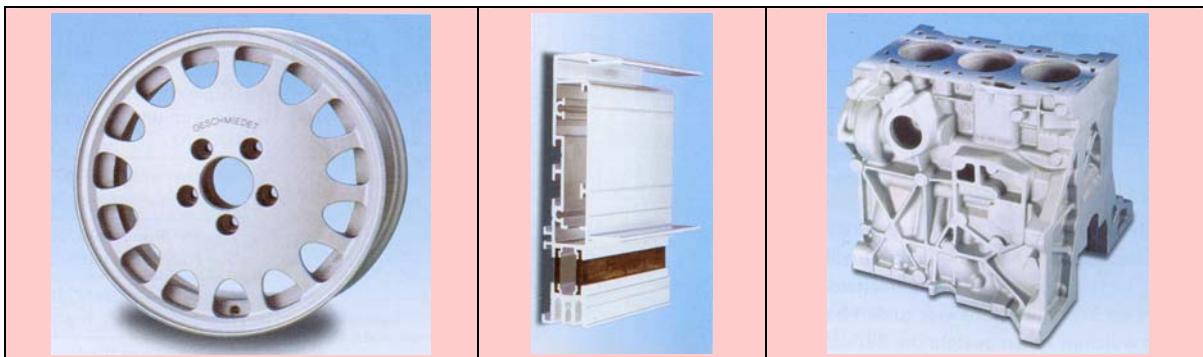
Čisti se aluminij koristi za izradu električnih vodiča (*omjer električne vodljivosti i gustoće aluminija je najpovoljniji od svih metala*), dok se legure koriste u izradi građevinskih konstrukcija, zrakoplovnoj industriji, industriji vozila, za izradu ambalaže (*veoma je povoljan omjer R_m/ρ – čvrst i lak proizvod*) i prehrabenoj industriji (*početna brzina korozije je velika, ali je tanki korozionsko-zaštitni sloj oksida svodi na zanemarive vrijednosti*).



Osobito se mogu dobro oblikovati legure za plastičnu deformaciju, s legirajućim dodacima Cu, Mn, Mg i Si. Imaju visoku čvrstoću i otporne su na atmosferske utjecaje.

Od legura za lijevanje, uglavnom s legirajućim dodatkom Si, mogu se odliti proizvodi s tankim stijenkama. Odliveni su proizvodi čvrsti i uz pogodne legirajuće dodatke otporni na djelovanje slatke i morske vode. Korozionska je otpornost legura Al-Mg dobra, a Al-Cu slaba.

Čvrstoća se dijela legura aluminija može povećati toplinskom obradom – "precipitacijskim očvršćivanjem" tijekom koga se sporo formira disperzija submikroskopskih precipitata u kristalnoj rešetki dobivenoj brzim ohlađenjem prezasićene krute otopine.



Legure aluminija su dominantan materijal za izradu konstrukcije putničkog zrakoplova Airbus A 380. Na slici je s UVOP označena ugljičnim vlaknima ojačana plastika (*kompozit*).



5.3.2 Bakar

Na bazi bakra proizvedena je prva legura – kositrena bronca, koja se koristila još prije oko 11000 godina. Čvrstoća je bakra mala i lako se plastično deformira, ali teško lijeva.

Pogodna svojstva	Nepogodna svojstva
<ul style="list-style-type: none"> • velike električne vodljivosti ($1,8 \mu\Omega \cdot \text{cm}$) • velike toplinske vodljivosti ($390 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) • vrlo velika duktilnost (<i>valjanje, izvlačenje</i>) • dobra otpornost na koroziju • legure bakra imaju različite boje 	<ul style="list-style-type: none"> • velika gustoća ($8,9 \text{ kg/dm}^3$) • nepovoljan omjer vlačne čvrstoće i gustoće • u dodiru s hranom mogu se formirati otrovne tvari

Tehnički čist bakar koristi se za izradu električnih vodiča – od metala veću električnu vodljivost imaju samo zlato i srebro. Bakar se dobro spaja mekim lemljenjem te se oko 50 % proizvedenog bakra koristi u elektronici i elektrotehnici. Zbog dobre se toplinske vodljivosti bakar koristi i za izradu cijevi protustrupnjih i križnih cijevnih toplinskih izmjenjivača.

Svojstva se bakra mogu u velikoj mjeri prilagoditi potrebama legiranjem.

LEGURE BAKRA (sastav)							
s cinkom		bronco (bez Zn)				s niklom (<45%Ni)	
mjedi	novi srebro (Ni)	Sn (<15%Sn)	Al (<14%Al)	Pb,Sn (<25%Pb<10%Sn)	Be (<2%Be)	Mn,Si	

Mjedi su čvrste, te otporne na trošenje i koroziju, a mogu se vrlo dobro polirati. Lako se lijevaju, oblikuju deformiranjem i režu. Koriste se u izradi cijevnih spojnih elemenata, koroziski otpornih vijaka i opruga, sitnih dijelova, ali i posuda pod tlakom.

Dodatak do oko 15 % Sn povećava čvrstoću bronci i otpornost na trošenje. Dio je bronci izuzetno otporan na koroziju, a dio ima dobra klizna svojstva. Bronce se koriste za izradu izmjenjivača topline te u brodogradnji, kemijskoj i petrokemijskoj industriji.

5.3.3 Nikal

Nikal ima feromagnetična svojstva (*može se magnetizirati*), a najvažnije mu je svojstvo izvrsna otpornost na koroziju. Legira se s Cr, Mn, Mg, Al, i Be, a u ovisnosti od legirajućih dodataka ima izraženo visoku čvrstoću, elastičnost, temperaturnu i koroziju postojanost.

Pogodna svojstva	Nepogodna svojstva
<ul style="list-style-type: none"> • vrlo velika otpornost na koroziju 	<ul style="list-style-type: none"> • velika gustoća ($8,9 \text{ kg/dm}^3$)

U proizvodnji legiranih čelika koristi se oko 60 % nikla, a u proizvodnji legura s bakrom i srebrom oko 14 % nikla. 9 % nikla se koristi u proizvodnji kovkog nikla te više različitih korozijski i vatrootpornih legura: "Monel"-a ($w_{Ni} = 60\%$), "Inconel"-a ($w_{Ni} = 44 \div 72\%$), "Hastelloy"-a ($w_{Ni} = 56 \div 76\%$) i drugih superlegura, 6 % za platiranje, 3 % za izradu toplinski i električno otpornih legura

5.3.4 Titan

Titan ima čvrstoću i krutost sličnu čeliku, ali je 40 % manje gustoće ($\rho = 4,5 \text{ g/cm}^3$). Legure titana dostižu čvrstoću do 1400 N/mm^2 i imaju dobra svojstva na povišenim temperaturama. Talište je titana 1670°C .

Pogodna svojstva	Nepogodna svojstva
<ul style="list-style-type: none"> • povoljan omjer vlačne čvrstoće i gustoće • velika otpornost na koroziju • implantati su kompatibilni s ljudskom organizmom 	<ul style="list-style-type: none"> • visoka cijena

Pri hlađenju taline javljaju se dvije alotropske modifikacije – β (*BCC*), stabilna pri višim temperaturama, te α (*HCP*), stabilna pri temperaturama ispod 880°C .

Zbog izvrsne otpornosti na koroziju titan se koristi u kemijskoj industriji, brodogradnji i medicini. U zrakoplovnoj se industriji titan koristi za izradu dijelova trupa aviona i dijelova mlaznih motora. Legiranjem titana s niobijem može se formirati supravodički intermetalni spoj, a legura s niklom pokazuje efekt memoriranja oblika.

Legure titana su dominantan materijal za izradu konstrukcije suvremenog vojnog zrakoplova – lovca F 22 Raptor.



5.3.5 Magnezij

Magnezij ima najnižu gustoću od svih konstrukcijskih metala, ali se zbog niske čvrstoće, otpornosti na trošenje i umor te kemijske otpornosti rijetko koristi bez legirajućih dodataka ($Al - do 10\%$, $Zn - do 6\%$, $Mn - 1 \div 2\%$, $Cu, Si, Ce - cer, Th - torij i Zr - cirkonij$).

Pogodna svojstva	Nepogodna svojstva
<ul style="list-style-type: none"> • vrlo mala gustoća ($1,74 \text{ kg/dm}^3$) • povoljan omjer vlačne čvrstoće i gustoće • izvrsna obradivost, dobra ljevljivost i zavarljivost 	<ul style="list-style-type: none"> • mala otpornost na koroziju • visoka cijena

Legure za gnječenje mogu se rezati velikim brzinama, ali treba poduzeti mjere osiguranja od paljenja strugotina. Legure za lijevanje (pješčani, kokilni i tlačni lijev) pogodne su za izradu dijelova s tankim stijenkama koji moraju biti laki, npr. kućišta ručnih električnih alata.

Magnezijeve legure se upotrebljavaju za izradu dijelova zrakoplova, prenosivih uređaja, računalna, instrumenata i fotoaparata. Površine se dijelova se zaštićuju kromiranjem.

5.4 Korozija i zaštita od korozije

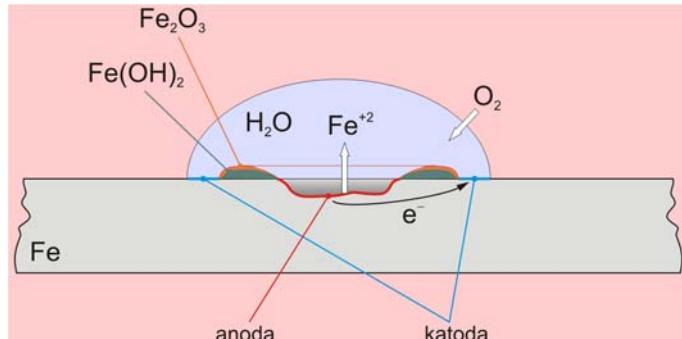
Jedan od oblika djelovanja okoline na metalne materijale je **korozija** – štetno elektrokemijsko otapanje metala u elektrolitima, uz formiranja sloja produkata korozije ili bez njega. Pored gubitaka metala javljaju se i **indirektne štetne posljedice** korozije, koje u pravilu značajno nadmašuju štete uzrokovane gubicima metalnog materijala. Na primjer, kroz proborno korozionsko oštećenje vodovodne cijevi promjera 1 mm, pod tlakom od 3 bar, dnevno će biti izgubljeno oko 1 m^3 pitke vode.

5.4.1 Korozija

Korozija:

- elektrokemijska reakcija metala s agensima korozije sadržanim u okolini,
- odvija se na dodirnoj površini metal/okolina,
- izaziva mjerljive promjene svojstava metala i okoline.

Razvoj se korozije može opisati na primjeru korozije ispod kapljice vode na metalnoj površini. Uzrok je korozije neravnomjerna aeracija (različite koncentracije otopljenog kisika).



U biti, na tijek korozije uslijed neravnomjerne aeracije značajno utječe formiranje produkata korozije. Brzina korozije je veća u području manje koncentracije kisika zbog odsutnosti sloja produkata korozije koji imaju učinak korozionski zaštitnog sloja. Naime, u odsutnosti ovog učinka korozija bi bila najbrža u području najveće koncentracije kisika.

Korozijske veličine – pokazatelji svojstava metala i okoline koja bitno utječu na mogućnost (*termodinamika*) i brzinu (*kinetika*) razvoja korozije.

Razlikuju se:

(a) **vrste korozije**, prema uzrocima:

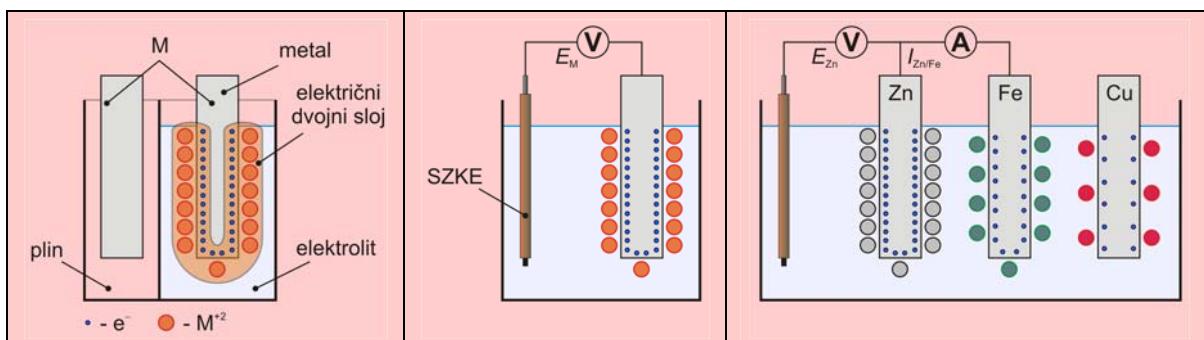


(b) **vidovi korozije**, prema posljedicama:



Korozijsko oštećenje – gubitak funkcije metalnog dijela/sustava izazvan korozijom.

Osnovni je **uzrok korozije** elektrokemijska neravnoteža.



Metal se otapanju u elektrolitu opire formiranjem električnoga dvojnog sloja. Što je jača težnja otapanja metala u elektrolitu i slabije privlačenje iona i elektrona u metalu to će za uspostavljanje **elektrokemijske ravnoteže** biti potrebno formiranje jačega električnoga dvojnog sloja (npr. morska voda / cink), kao i obrnuto (npr. morska voda / bakar). Jakost se dvojnog sloja može opisati **elektrodnim potencijalom**, E_M u V, te izmjeriti voltmetrom (V), koristeći se usporednjom s referentnom elektrodom poznatoga elektrodnog potencijala. U laboratorijima se najčešće koristi standardna zasićena kalomelova elektroda (SZKE).

Uspostavljena **elektrokemijska ravnoteža** se remeti:

- elektrolitičkim i električnim spajanjem metala s drugim metalom,
- lokalnim promjenama svojstava metala ili elektrolita.

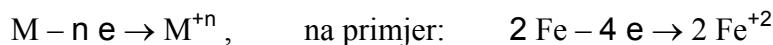
Uslijed poremećaja ravnoteže uspostavlja se korozijski članak (anoda | elektrolit | katoda) i razvija se korozija uz težnju:

- ravnomjerne raspodjele elektrona u krutoj fazi metala – elektroni se gibaju iz područja veće u područje manje koncentracije,
- zaustavljanja otapanja iona metala formiranjem dovoljno jakoga dvojnog sloja – općeg ili lokalnog.

Brzina korozije se može opisati **jakošću korozijске struje**, I_M u A, te izmjeriti ampermeterom (A). Tijekom razvoja korozije u načelu se mogu pratiti elektrodni potencijali i jakosti korozijске struje, ali se racionalna mjerjenja u praksi teško provode. Pouzdani se rezultati o brzina razvoja korozije dobivaju pokusima izlaganja koji su često veoma dugotrajni (*korozija metala u prirodnim uvjetima*).

Sa stajališta elektrokemije korozija je **anodna oksidacija metala** praćena **katodnom redukcijom agensa korozije**. U vodenim su sredinama najčešći agensi korozije otopljene molekule kisika i uvijek prisutni ioni vodika, a razvoj korozije se može opisati jednadžbama:

- anodna oksidacija metala:



(oksidacija \equiv otpuštanje elektrona, anoda \equiv mjesto na kome se odvija oksidacija),

- katodna redukcija agensa korozije:

utrošak otopljenog kisika	oslobađanje vodika
$(O_2 \rightarrow) 2 O + 4 e \rightarrow 2 O^{+2}$ – redukcija $2 O^{+2} + 2 H^+ \rightarrow 2 (OH)^-$ – spajanje	$4 H^+ + 4 e \rightarrow 4 H$ – redukcija $4 H \rightarrow 2 H_2$ – spajanje

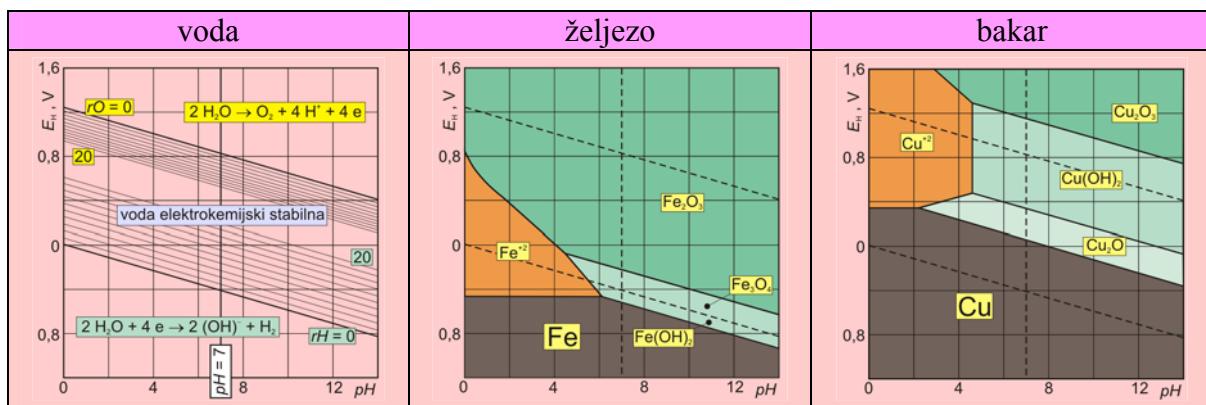
Pokazatelj koncentracije vodikovih iona:

$$pH = -\log c(H^+)$$

i može se zaključiti kako u oba slučaja tijekom razvoja korozije raste pH elektrolita. U neutralnim vodenim otopinama je $c(H^+) = 10^{-7}$ mol H⁺/l $\Rightarrow pH = 7$.

Termodinamička analiza korozije

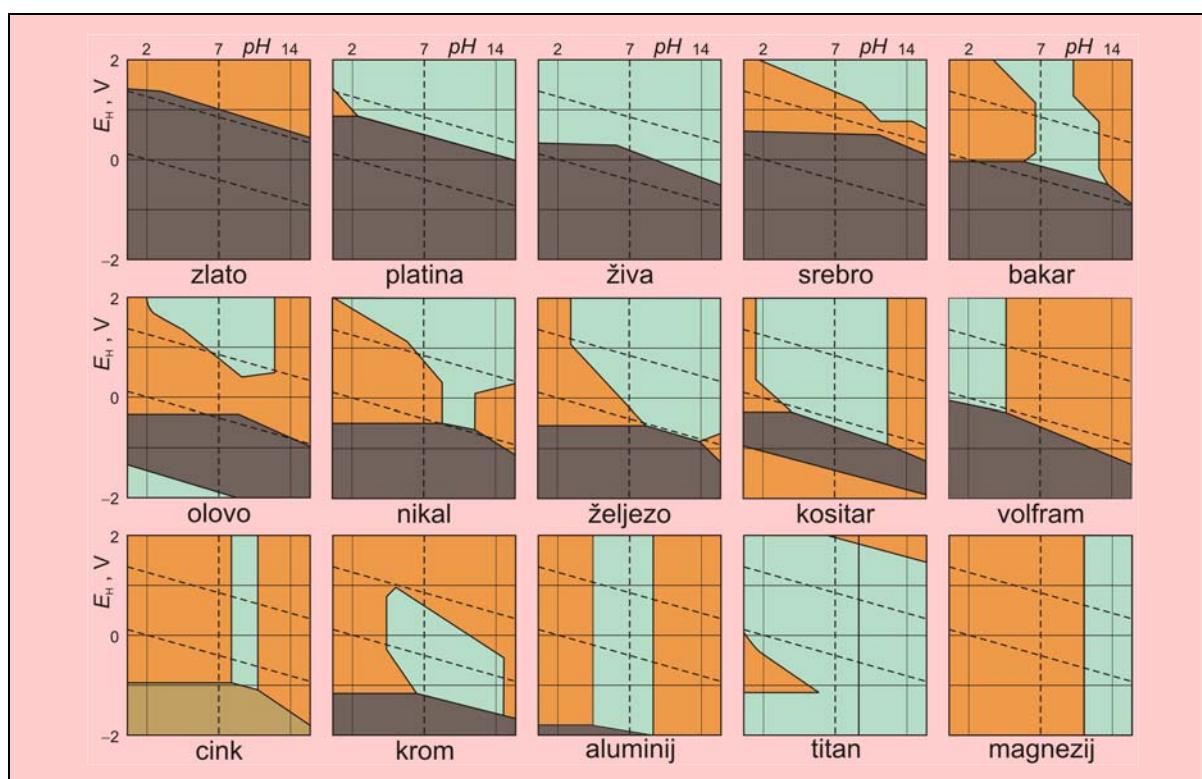
Termodinamičkim pristupom se utvrđuje mogućnost razvoja korozije, a u analizi se često koriste Pourbaixovi dijagrami elektrokemijske ravnoteže:



Aktualni uvjeti mogu se jednostavno odrediti s pH metrom koji omogućava mjerjenje:

- pH vrijednosti – sa staklenom i kalomelovom elektrodom,
- E_H – usporedba sa standardnom zasićenom kalomelovom elektrodom.

Na temelju Pourbaixovih ravnotežnih dijagrama ipak se ne može pouzdano predvidjeti tijek elektrokemijskih i pratećih kemijskih reakcija – strogo uzevši, oni vrijede samo za apsolutno čisti metal i apsolutno čistu vodu. Često dodatak male količine legirajućeg elementa osnovnom metalu ili otapanje male količine kemijskog spoja u vodi rezultira značajnim izmjenama veličina i oblika oblasti u dijagramima elektrokemijske ravnoteže.



Različito su označena područja:

	korozije – metal oksidira te ioni metala prelaze u elektrolit
	pasivnosti – metal oksidira, a oksidi metala formiraju korozijski zaštitni sloj
	imuniteta – metal ne oksidira

5.4.2 Zaštita od korozije

Zaštita od korozije – obuhvaća brojne različite postupke sprječavanja ili smanjivanja brzine korozije, koji se prema prirodi mogu grupirati:

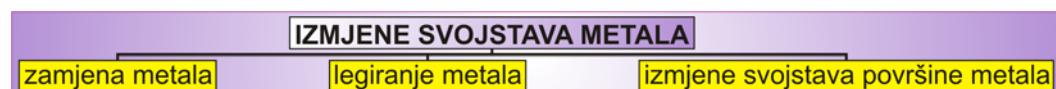


Pravilno konstruiranje

Pravilnim se konstruiranjem strojarskih dijelova/sustava izbjegavaju pojave nehomogenosti metala i/ili elektrolita. Ovamo pripada i provedba toplinske obrade komada kod kojih su prisutna zaostala naprezanja (*posljedica oblikovanja, npr. lijevanje, zavarivanje*).

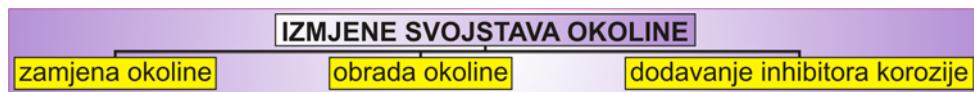
Izmjene svojstava metala

Prikladnim izmjenama svojstava metala (*legiranje*) on se prilagođava aktualnoj okolini.



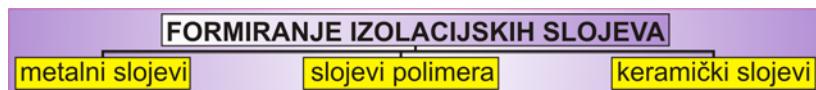
Izmjene svojstava okoline

Prikladnim izmjenama svojstava okoline se prilagođava zadanom metalu.



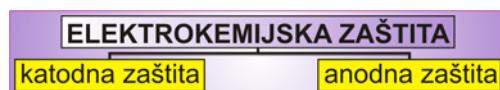
Formiranje izolacijskih slojeva

Formiranjem izolacijskih slojeva (*premaz boje*) korozijski neotporan metal se elektrolitički odvaja od okoline.



Elektrokemijska zaštita

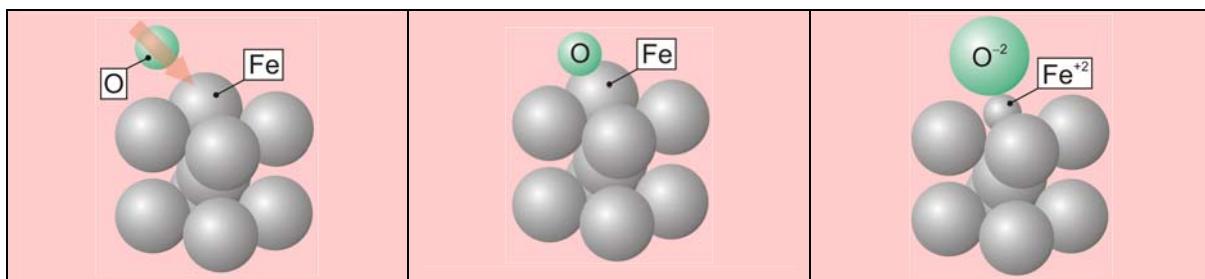
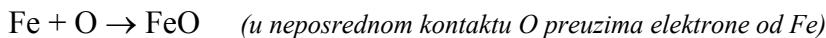
Elektrokemijskom zaštitom se metal iz oblasti korozije (*dijagrami elektrokemijske ravnoteže*) prevode u oblasti imuniteta (*katodna zaštita*) ili pasivnosti (*anodna zaštita*).



Katodna se zaštita provodi sa: (a) žrtvenom anodom i (b) izvorom struje i korozijski otpornom anodom. Kako bi se smanjila potrošnja žrtvene anode ili struje, štićeni se metal prevlači električno izolacijskim slojem polimera (*naliči*).

5.4.3 Kemijска корозија

Kemijска корозија одвија директним сударима атома реактаната – кисика и метала, уз формирање слоја оksida метала. На пример:



Značajne se brzine kemijске корозије метала достиžu тек при високим температурама (*каљенje, visokotemperaturna корозија у лоzištima kotlova*).