

I. Uvod

Tehnički materijali i njihovo značenje u strojarstvu

Sastav zemljine kore

Nalazišta tehničkih materijala

Načela i načini dobivanja

Osnove metalografije

Metalografska ispitivanja strukture metala i njezina

veza i utjecaj na svojstva metala

Unutarnja građa čistih metala – kristalne rešetke

Unutarnja građa čistih metala – kristalne rešetke

Dijagram stanja željezo-ugljik i željezo-željezni karbid

1.1. TEHNIČKI MATERIJALI I NJIHOVO ZNAČENJE U STROJARSTVU

Područje tehničkih materijala neizmjerno je veliko: postoji na tisuće različitih plastika, tisuće metalnih legura te bezbroj keramičkih smjesa i spojeva koji su uključeni u ovo područje proučavanja. Svi ti tehnički materijali izrađeni su od stotinjak postojanih (stabilnih) elemenata. Zapravo, ova knjiga govori o 51 od tih elemenata koji se koriste za izradu mnoštva različitih materijala dostupnih projektantima. Kako elementi čine osnovu tehničkih materijala, tako i ovaj tekst započinjemo raspravom o njima, kao i o načelima kemije – univerzalnog jezika za proučavanje elemenata i njihovih reakcija.

Tehnički materijali su materijali od kojih su sačinjeni proizvodi, strukture, uređaji i mehanizmi koji nam služe kao pomoć u svakodnevnom životu i unapređivanju životnih uvjeta.

Razvoj tehnike sve je više uvjetovan i povezan sa znanjima o materijalima i njima pripadajućim tehnologijama. Nekad je za njihovo otkrivanje, dobivanje, oblikovanje i preradu bila dovoljna vještina pojedinca, a danas je za to nužan znanstveni pristup. U istraživanju, razvoju i primjeni tehničkih materijala sudjeluju interdisciplinarni timovi stručnjaka. Sinteza, povezivanje podataka i znanja čine osnovu za razvijanje novih materijala i pripadajućih tehnologija, kao i inovativnih proizvoda. Industrijski najrazvijenije zemlje mnogo ulazu u obrazovanje o tehničkim materijalima, kao i u razvoj i istraživanje novih materijala. Njihov broj i raznovrsnost se povećava, traže se drukčija svojstva, a razvijaju se i nove tehnologije dobivanja materijala.

Metali su ključni u strukturama i mehanizmima; plastike su neprocjenjive u izradi medicinskih uređaja, u potrošačkoj robi, pakiranju i izradi odjeće, a keramika je nužna za elektroniku. Metali, plastike i keramika ulaze u smjese iz kojih se izrađuju novi materijali s boljim svojstvima od onih koje imaju sastavni materijali.

Napredak ljudske vrste slijedi napredak u razvoju tehničkih materijala. U doba Krista bila je dostupna tek nekolica tehnicičkih materijala. Dakako, ljudi su koristili kamen, drvo i glinu za strukture, a u izradi alata samo bakar, kositar (lim), željezo, zlato i srebro. Samo su željezo i neke legure bakra bili svrhoviti kao alati za oblikovanje korisnih predmeta koji bi unaprijedili životne uvjetne.

U posljednjih 200 godina znanstvenici su otkrili sve postojeće materijale (elemente) koji nas okružuju. Naučili su kako ih kombinirati u korisne spojove, strukturalne i alatne materijale te električne uređaje, i tako ih koristiti za izgradnju dojmljivih građevina, u komunikacijama, u medicinske svrhe – za sve što želimo i što nam je potrebno.

Osnovni cilj ove knjige jest upoznati vas s tehničkim materijalima i svim njihovim svojstvima, kako biste mogli točno odabrati materijale za zadatke tehničkih nacrta. Trebali biste razviti čitav spektar materijala koji se mogu koristiti za izgradnju mostova, za oblikovanje plastičnih dijelova, izradu alata,



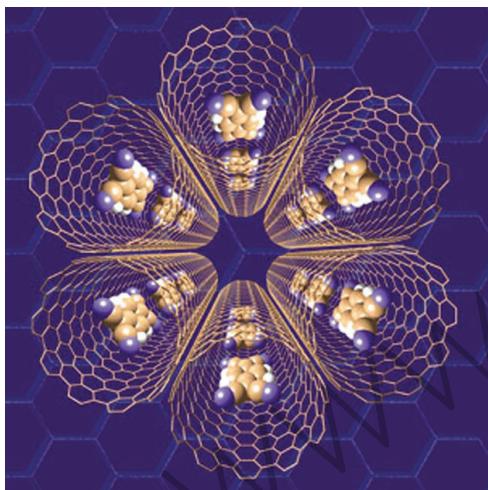
Slika 1-1

Plastike su neprocjenjive u izradi medicinske opreme



Slika 1-2

Prilikom konstruiranja mosta važno je izabrati one materijale koji će podnosići težinu strukture



Slika 1-3

Organske molekule zatvorene u ugljikove cijevi

potporu integriranom strujnom krugu, provođenje topline i elektriciteta, ili pak za potporu slomljenoj kosti.

Teoriju sustava materijala ćemo iznijeti u skraćenom obliku koji je dovoljan kao temelj za odabir informacija. Bit će obuhvaćeni svi važni sustavi materijala: polimeri, keramika, metali, spojevi (smjese), kao i kombinacije ovih sustava. Neki strojevi rade prilično dobro služeći se samo polimerima ili samo metalima. Svi sustavi materijala moraju se promatrati kao upotrebljivi. Kao uvod u koncept materijala, ovo poglavlje će dati pregled osnova kemije i pokazati kako su tehnički materijali povezani s konceptom i svojstvima.

1.1.1. Porijeklo tehničkih materijala

Proučavanje tehničkih materijala većinom se zasniva na učenjima kemije i fizike.

Svi materijali u svojoj tvorbi, reakcijama i kombinacijama slijede zakone fizike i kemije. Najmanji dio elementa, koji zadržava svojstva tog istog elementa, jest atom. **Atomi** su građevni blokovi za tehničke materijale.

Sve su tvari sastavljene od atoma povezanih različitim tipovima veza u različite uzorke. Većina tvari kojima se služimo u industriji i svakidašnjem životu mogu se kategorizirati kao organske ili anorganske. **Organiski materijali** sadrže element ugljik (i obično vodik) kao ključan dio njihove strukture, i obično su izvedeni iz tvari organskog porijekla. Petrolejski proizvodi su organski – sirova nafta zapravo je ostatak biljaka i životinja koje su živjele prije milijun godina. **Anorganski materijali** su one tvari koje nisu izvedene iz tvari organskog porijekla. U njih ubrajamo: pjesak, kamen, vodu, metale i nezapaljive plinove.

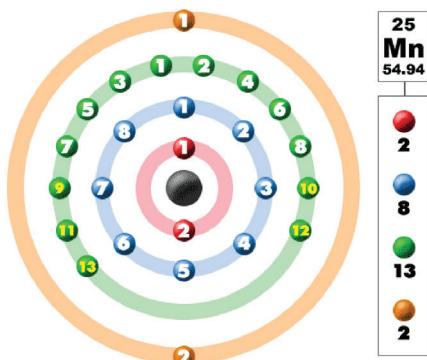
Metalurzi i keramičari se prvenstveno bave anorganskim tvarima. S druge strane, inženjeri u plastici se prvenstveno bave organskim tvarima. Pojme tehničkih materijala bavi se i jednim i drugim područjem, pa tako i ovaj tekst. Kako bismo uspostavili određeni redoslijed tehničkih materijala, napraviti ćemo pregled osnovnih sastojaka koji se koriste za izradu organskih i anorganskih materijala, elemenata. **Element** je čista tvar koja se ne može rastaviti na jednostavnije tvari. U Zemljinoj kori se prirodno pojavljuje oko 90 elemenata.

Elementi su građevni blokovi za sve materijale.

Velik broj tih elemenata ima malen industrijski značaj, ali je u tehničkim materijalima važno prepoznati imena i kemijske simbole za elemente koji su u većoj uporabi. Slika 1-5 prikazuje uobičajenu inačicu periodnog sustava elemenata. Elementi su razvrstani prema atomskom broju. Vodiku je pripisan atomski broj 1, a svi drugi elementi dobivaju svoj atomski broj iz usporedbe njihovih subatomskih građa s elementom vodika. **Atomski broj** odnosi se na broj protona u jezgri atoma. Atomi se sastoje od **protona** (pozitivno nabijenih čestica), **neutrona** (neutralnih čestica) i **elektrona** koji kruže **nukleusom** ili **jezgrom atoma**. Pojednostavljeni, atomi se često opisuju kao "Sunce" (jezgra), okruženo "planetima" (elektronima) koji oko njega kruže.

Elektroni, protoni i neutroni imaju masu. Uvriježeno je da protoni imaju nominalnu masu od 1 atomske jedinice mase (AMU).

1.1.2. Periodni sustav elemenata



Slika 1-4

Atom mangana

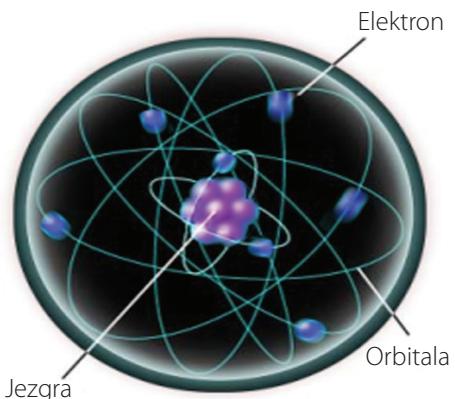
IA		IIA		Nemetali			Metaloidi			Metali			VIIA								
				Plemeniti plinovi		Aktinoidi			Lantanoidi												
1	H	1.008	2	Li	Be	3	4						5	6	7	8	9	10	11		
2	25	Mn	54.94	11	12	Na	Mg	22.99	24.31	19	20	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	23	
3				39.10	40.08	40.08	44.96	47.83	50.94	52.00	54.94	55.85	58.93	58.69	63.55	65.38	69.72	72.59	74.92	78.96	83.80
4				37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
5				Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6				85.47	87.62	88.91	91.22	92.91	95.94	(98)	101.1	102.9	106.4	107.9	112.4	114.8	118.7	121.8	127.6	126.9	131.3
7				55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
8				Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
9				132.9	137.3	138.9	178.5	180.9	183.9	186.2	190.2	192.2	195.1	197.0	200.6	204.4	207.2	209.0	(209)	(210)	(222)
10				87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112						
11				Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub						
12				(223)	226	(227)	(261)	(262)	(263)	(262)	186.2	(268)	(269)	(272)	(277)						
13				58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71				
14				Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
15				140.1	140.9	144.2	(145)	150.4	152.0	157.3	158.9	162.5	164.9	167.3	168.9	173.0	175.0				
16				90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103				
17				Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	(251)	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			
18				232.0	(231)	238.0	(237)	(244)	(243)	(247)	(247)	(251)	(252)	(257)	(258)	(259)	(260)				

Slika 1-5

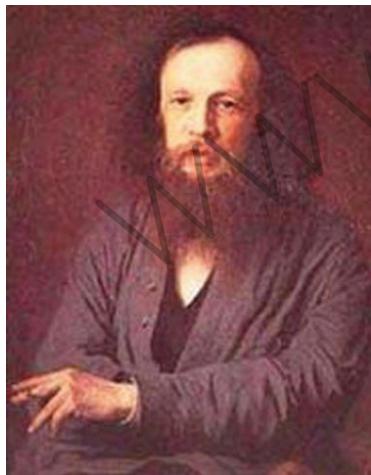
Periodni sustav elemenata

Svojstva elemenata periodna su funkcija njihovih atomskih brojeva. Uobičajeno je elemente prikazati redom kako je prikazano na [periodnom sustavu](#). Atomski broj elemenata povećava se vodoravno (u tablici), a okomite grupacije zasnivaju se na sličnostima u valenciji elektronskih postava i u kemijskim i fizičkim svojstvima elemenata. Elemente u skupini I.A nazivamo alkalnim metalima, a u skupini II.A, alkalno-zemljanim metalima. Skupine koje su poredane kao prijelazni elementi su metali s posebnom postavom elektronske podljske (nepotpuna podljska). Skupine III.A, IV.A, V.A, VI.A i VII.A većinom čine nemetali, a elementi u posljednjoj okomitoj grupaciji su nezapaljivi plinovi. Skupine elemenata u odvojenoj vodoravnoj tablici su lantanidski i aktinidiski nizovi koji zapravo pripadaju nizovima 6 i 7, ali kada bi ih se prikazalo na taj način, tablica ne bi svojim oblikom bila u ravnoteži. Elementi u svakom nizu ponašaju se kemijski jednak, stoga je ovo odstupanje i logično i praktično.

Periodni sustav uspostavili su sredinom 19. st. kemičari koji su pokušavali složiti tada poznate elemente prema sličnom kemijskom ponašanju. Ruski znanstvenik D. I. [Mendeljejev](#) je prihvaćen kao autor sustava koji izgleda uglavnom jednako onome koji je danas u uporabi. Vodoravni nizovi zovu se [periode](#). Unutar periode nuklearni naboј svakog elementa povećava se

**Slika 1-6**

Građa atoma

**Slika 1-7**

D. I. Mendeljejev (1834 – 1907)

za jedan slijeva nadesno. Svi elementi u određenoj okomitoj skupini imaju jednake brojeve elektrona u valentnoj ljusci (s nekim izuzecima), i to smatramo razlogom njihovog jednakog općenitog kemijskog ponašanja. Plemeniti (nezapaljivi) plinovi posjeduju sličnosti u svojstvima. Elementi u skupini VII. A, koji se nazivaju halogeni elementi, također su kemijski slični, i tako redom, za svaku skupinu.

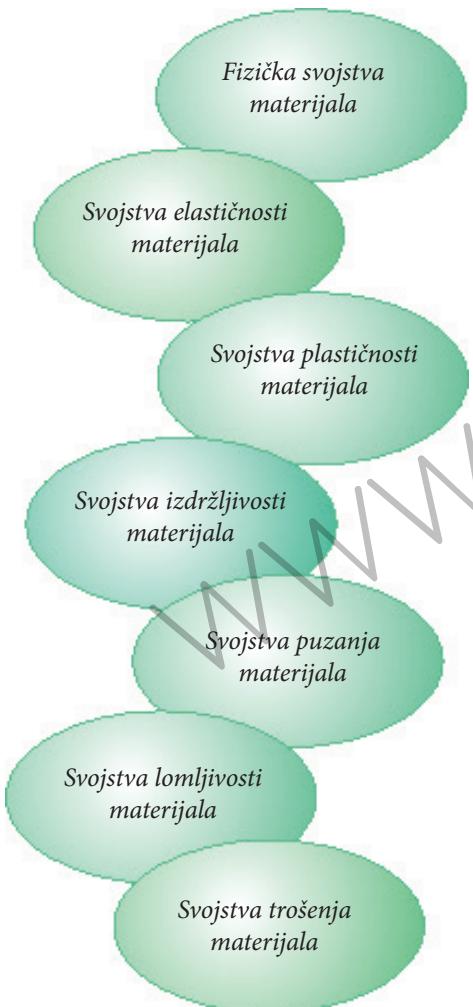
Elementi u periodnom sustavu s atomskim brojem većim od 92 u prirodi ne postoje – oni su nastali nuklearnim reakcijama. Elementi s atomskim brojem 120 su utvrđeni, ali su relativno nepostojani pa su neki čak i neimenovani.

Koja je uloga periodnog sustava u tehničkim materijalima? Prije svega, to je rječnik imena i kemijskih simbola za elemente koji su građevni blokovi za sve tehničke materijale. Kemijski simboli za elemente koriste se tijekom načnadnih rasprava o materijalima i njihovoj obradi. Porodične grupacije pokazuju koji se elementi ponašaju slično. U određenoj problematiki ta informacija može biti vrlo korisna. Atomska težina je pokazatelj gustoće elementa, što je fizikalno svojstvo koje također može ući u obzir. Pojednostavljena struktura atoma, prikazana na slici 1-6, pokazuje broj elektrona u različitim orbitalama. Broj na dnu okomitog stupca periodnog sustava pokazuje broj elektrona u valentnoj ljusci. Taj broj i grupacija određenog elementa pokazuju kako se taj isti može kombinirati s drugim elementima.

1.1.3. Svojstva materijala

Svojstva materijala određuju iskoristivost tehničkih materijala, odnosno odabir materijala za neki projekt koji ovisi o svojstvima koje materijal posjeduje. Isto tako, kada se kod stvaranja programa za projekt odabire materijal, taj odabir materijala će ovisiti o njegovim svojstvima. Svojstva tehničkih materijala važnih za uporabu u proizvodnji mogu biti određena s pomoću zasićenih testova. Ovo će se poglavljje baviti svojstvima koja su najčešće ključna u odabiru materijala te načinima određivanja tih svojstava raznovrsnim testovima.

Materijal se odabire s obzirom na svoje karakteristike. Projektant se mora odlučiti za ona svojstva materijala potrebna za određeni dio projekta. Slijedom toga, mora odrediti svojstva moguće prihvatljivih materijala. Prije određivanja sličnih odlika u različitim sustavima materijala, potrebno je odrediti nazine svojstava. Cilj ovog poglavlja je definiranje svojstava važnih za odabir i određivanje načina na koji se materijali odnose prema glavnom sustavu materijala – polimerima, metalima i keramici. Cilj je i prikazati načine korištenja tih svojstava pri odabiru materijala. U laboratorijima su određene stotine svojstava za materijale sličnih odlika. Opisivanje svih tih svojstava nije moguće obraditi u jednom poglavlju pa će biti opisana samo ona najvažnija. U nekim će slučajevima biti opisana i tehnika određivanja svojstva.



Slika 1-8

Mehanička svojstva materijala za mehaničke analize

Većina kategorija po kojima se odabiru materijali su prikazani u tablici 1-1.

Kemijska svojstva su karakteristike materijala povezane sa strukturom materijala i rasporedom elemenata. Ta se svojstva obično određuju u kemijskim laboratorijima i nije ih moguće odrediti golim okom.

Fizička svojstva materijala su karakteristike koje se odnose na interakciju tih materijala s različitim vrstama energije i drugim materijalnim tijelima. U osnovi, ta su svojstva zasnovana na zakonima fizike i mogu se odrediti bez uništavanja ili mijenjanja (strukture) materijala. Boja je fizičko svojstvo; može se odrediti gledanjem materijala ili s pomoću instrumenta. Gustoća materijala se može odrediti vaganjem i određivanjem obujma predmeta. Za određivanje ovog svojstva također nije nužno mijenjanje ili uništavanje materijala.

Mehanička svojstva su karakteristike materijala koje se očituju kada na materijal djeluje određena sila. To se obično izražava elastičnošću ili plastičnošću materijala. Određivanje ovog svojstva najčešće zahtjeva uništavanje materijala. Tvrdoća materijala je mehaničko svojstvo zato što se određuje s pomoću grebanja ili provođenjem sile preko malog prodornika. To se smatra destruktivnim jer grebanje ili prodiranje može uništiti dio nekih aplikacija.

1.2. METALI, NJIHOVA NALAZIŠTA I NAČINI DOBIVANJA

Tehnički materijali se dijele na :

- metale,
- metaloide (sadrže svojstva metala i nemetala) i
- nemetale.

Od svih tehničkih materijala danas se najviše koriste metali ili kovine. Početak korištenja metala datira još iz vremena starog Egipta (3000 god. prije Krista). Metal se tada koristio u elementarnom obliku, ali adekvatno mehanički prilagođen tadašnjim potrebama.

Pojam **metal** podrazumijeva čitav niz karakteristika od kojih su najznačajnije:

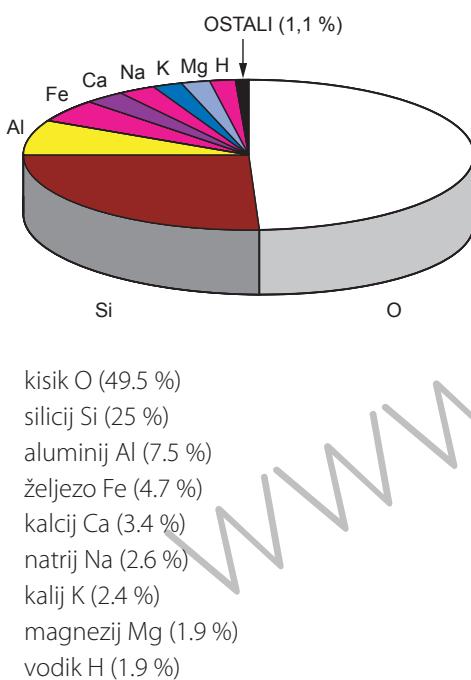
- a) metalni sjaj,
- b) mogućnost plastičnih deformacija,
- c) visoka električna i toplinska vodljivost.

Metalni sjaj specifičan je za pojedine metale, a imaju ga zahvaljujući velikoj gustoći atoma u jedinici obujma, što ih čini neprozirnim i kad su vrlo tanki. Mogućnost plastičnih deformacija čini ih pogodnim za tehnološke prerade valjanjem, kovanjem, savijanjem, raznim izvlačenjima i sl. Intenzitet električne i toplinske vodljivosti ovisi o vrsti metala ili legure.

Tablica 1-1

Pregled svojstava materijala i načina na koje se odnose prema različitim sustavima materijala

	Kemijska svojstva	Fizička svojstva	Mehanička svojstva	Mogućnosti nabave/proizvodnje
Metali:	kompoziti		rastezna/tlačna svojstva	dostupni oblici
	mikrostrukture		izdržljivost	dostupna veličina
	faze		duktilnost	dostupna tekstura
	zrnatost		zamorna (pogonska) svojstva	proizvodna tolerancija
	otpornost na koroziju		čvrstoča	
	inkluzije		tvrdoca	
			statička otpornost	
			posmična čvrstoča	
Plastike:	kompoziti	točka taljenja	rastezna/tlačna svojstva	proizvodna tolerancija
	dodatni materijali	transformacije stakla (polimera/stakla)	toplinska deformacija	postojanost (stabilnost)
	kristalnost		granica tlaka-brzine	dostupna veličina
	molekularna težina		izdržljivost	mogućnost oblikovanja
	zapaljivost		otpornost statičke izdržljivosti	tekstura površine
Keramika:	kompoziti	magnetičko svojstvo	rastezna/tlačna svojstva	dostupni oblici
	poroznost	električko svojstvo	lomna izdržljivost	dostupna veličina
	zrnatost	optičko svojstvo	poprečni lom	proizvodna tolerancija
	kristalna struktura	akustičko svojstvo	tvrdoca	dostupna tekstura površine
	otpornost na koroziju	gravimetrijsko svojstvo		
	faze	boja		
Kompoziti:	kompoziti		rastezna/tlačna svojstva	dostupni oblici
	matrica, pokazatelj učvršćenja		lomna izdržljivost	dostupna veličina
	matrica, s pojačanom vezom		statička otpornost	proizvodna tolerancija
	iznos obujma pojačanja		pojačanje	postojanost (stabilnost)
	vrsta morfologije pojačanja		orientacija	tekstura površine
	uništavanje okoliša			



Slika 1-9

Podjela kemijskih elemenata prema zastupljenosti u Zemljinoj kori



Slika 1-10

Rudnik željezne rude (površinski iskop)

Metale možemo podijeliti u 3 skupine: A, T i B.

U skupinu A spadaju alkalijski metali, čiji su najznačajniji predstavnici: Na, K, Ca, Mg.

U skupinu T spadaju: Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Ni, Mo, W, Ir, Pt i dr.

U skupinu B spadaju metaloidi, čiji su najznačajniji predstavnici: B, C, Si, Ge, As, Se itd.

1.3. SASTAV ZEMLJINE KORE

Sve prirodne materijale dobivamo iz Zemljine kore pa nas najviše zanima njezin sastav. Njegino bogatstvo elementima prikazano je i izraženo u postotcima na slici 1-9.

Aluminij sa 7,5 % i željezo s 4,7 % najrasprostranjeniji su metali u Zemljinoj kori pa je i logično da se najviše koriste.

Većina tehničkih metala, osim zlata, platine i srebra, u prirodi se nalazi u obliku minerala koje nazivamo **rudačama**.

Tehnologiju dobivanja metala nazivamo **metalurgija**.

U osnovi razlikujemo dvije vrste metalurgije:

- ekstraktivnu metalurgiju, koja se bavi procesima dobivanja metala iz rudača;

- prerađivačku metalurgiju, koja se bavi procesima prerade dobivenih metala u poluproizvode (kovanjem, valjanjem, izvlačenjem i sl.) te lijevanjem, zavarivanjem i toplinskim obradama.

Procesi dobivanja metala iz rudača mogu biti:

- pirometalurški (taljenje),
- hidrometalurški (ispiranje) i
- elektroliza.

Oksidne rudače su dovoljno bogate i mogu ići izravno u preradu.

Sulfidne rudače se prethodno moraju pržiti da bi se prevele u oksidne, čime se istodobno i obogaćuju.

Za željezne rudače se primjenjuje postupak sinteriranja (aglomeracije), a za obojene metale postupak flotacije.

Obojeni metali, osim platine, zlata i srebra, nalaze se u rudačama najčešće kao sulfidi te je neminovno njihovo obogaćivanje kako bi se povećala njihova koncentracija u rudači.

Za dobivanje metala često se koriste dva, a nekad i svi navedeni postupci. Elektroliza je uvijek posljednja jer daje vrlo čist metal, čak do 99,99 %.