

Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku

Odjel za kemiju

Preddiplomski studij kemije

Martina Herendić

Željezova trijada

(Iron Triad)

Završni rad

Mentor: doc. dr. sc. Elvira Kovač-Andrić

Osijek, 2019.

SAŽETAK

Ovaj završni rad obuhvaća tematiku vezanu za osobine elementa Trijade željeza (željezo, kobalt i nikel). Poblizje su objašnjena zasebna svojstva elemenata te skupine i njihova sposobnost stvaranja jakog magnetskog polja što se naziva feromagnetizam. Zbog svojih feromagnetskih svojstva ovi metali imaju široku primjenu u industriji. Najčešće se koriste u legurama s ugljikom i međusobnim legurama kako bi se dobio zadovoljavajući karakter metala. Također ovi elementi pronalaze svoju primjenu i u bojenju materijala (stakla, tinte), baterijama, zaštitama od korozije, elektronikama i u različitim drugim svrhama koje su od velike važnosti za opći napredak. Stoga cilj ovog rada bio je opisati svojstva elemenata Trijade željeza, njihovu specifičnost i objasniti važnost njihove upotrebe.

KLJUČNE RIJEČI: Trijada željeza, željezo, kobalt, nikel

ABSTRACT

This final thesis includes theme related to element properties to the Triad of iron (iron, cobalt and nickel). Closely explained separately properties for elements of that group and their ability of creating a strong magnetic field what called ferromagnetism. Cause of it's ferromagnetism performance this materials have a wide application in the industry. Usually they are used in alloys with carbon and mutal alloys in order to obtain satisfactory character of metal. Also this elemente find their use in metal dyeing (glass, ink), batteries, corrosion, protection, electronics and in various of their things which are of a great importance for general progression. Hence the aim of this paper was to bring closer performance elements Triad of iron, their specify and explain importance of their use.

KEY WORDS: Triad of iron, iron, cobalt, nickel

SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
2.	MAGNETIČNOST MATERIJALA	2
2.1.	FEROMAGNETIZAM.....	2
2.1.1.	Magnetiziranje feromagneta.....	3
2.1.2.	Krivlja histereze.....	4
2.1.3.	Upotreba feromagneta	6
3.	ŽELJEZO	7
3.1.	KEMIJSKE KARAKTERISTIKE.....	7
3.2.	ALOTROPSKE MODIFIKACIJE	7
3.3.	REAKCIJE.....	8
3.4.	SPOJEVI.....	9
3.5.	BIOLOŠKA ULOGA	9
3.6.	DOBIVANJE	10
3.6.1.	Visoke peći	10
4.	KOBALT	13
4.1.	KEMIJSKE KARAKTERISTIKE.....	13
4.2.	REAKCIJE.....	14
4.3.	SPOJEVI.....	14
4.4.	DOBIVANJE	15
5.	NIKAL.....	17
5.1.	KEMIJSKE KARAKTERISTIKE.....	17
5.2.	REAKCIJE.....	18
5.3.	SPOJEVI.....	18
5.4.	DOBIVANJE	18
6.	KOROZIJA.....	20

7. ZAKLJUČAK.....	23
8. LITERATURA.....	25
8.1. POPIS SLIKA.....	26

1. UVOD

Naziv Trijada željeza podrazumijeva tri elementa četvrte periode periodnog sustava: željezo, kobalt i nikal. Ti elementi imaju zajedničko svojstvo vođenja topline i elektriciteta te posjeduju svojstvo feromagnetizam. Feromagnetizam karakterizira pojava snažne interakcije tvari sa vanjskim magnetskim poljem zbog slobodnih elektrona. Najjače feromagnetsko svojstvo posjeduje željezo, a nakon njega slijedi kobalt pa nikal. Feromagnetski materijali danas se izrazito puno koriste kako bi se olakšao i ubrzao način života pomoću sve naprednijih i modernijih preparata.

Motivaciju za pisanje ovog rada pobudila je želja za produblivanjem općih znanja o materijalima koji svoju primjenu pronalaze u gotovo svim segmentima koji nas okružuju i u stalnom su doticaju s nama.

2. MAGNETIČNOST MATERIJALA

Atomi sami po sebi zbog svoje građe sadrže orbitalni magnetski moment (\vec{L}) i spinski magnetski moment (\vec{S}). Ukupni magnetski moment atoma (μ) jednak je vektorskom zbroju tih magnetskih momenata i može se prikazati jednačinom 1.

$$\mu = \vec{L} + \vec{S} \quad (1)$$

Orbitalni magnetski moment javlja se zbog orbitalnog gibanja elektrona oko jezgre, a spinski magnetski moment zbog vrtnje elektrona, protona i neutrona oko svoje osi. Elektroni se oko jezgre gibaju u suprotnim smjerovima pa se ukupni orbitalni magnetski momenti poništavaju stoga orbitalni magnetski moment ne pridonosi puno ukupnom magnetskom momentu. Temeljem toga može se zaključiti da najveći doprinos magnetičnosti atoma daju spinski magnetski momenti. Spinski magnetski momenti protona i neutrona puno su manji od elektrona zbog njihove velike mase¹, stoga se njihov utjecaj na magnetičnost može zanemariti.

U orbitali se mogu nalaziti najviše dva elektrona suprotnih spinova. Ako je orbitala popunjena dolazi do poništavanja spinova što uzrokuje nemagnetično svojstvo atoma. Svaki nespareni elektron u orbitali atoma doprinosi ukupnoj magnetičnosti tvari. S obzirom na vrstu magnetičnosti svojstva materijala mogu se podijeliti na dijamagnetike, paramagnetike, feromagnetike, antiferomagnetike i feromagnetike.

2.1. FEROMAGNETIZAM

Termin feromagnetizam je jedan od tipa magnetizma koji se koristi za izražavanje sposobnosti pojedinih tvari da zadržavaju magnetska svojstva i spontano stvaraju svoje magnetsko polje u odsutnosti vanjskog magnetskog polja. Može se reći da su feromagnetni mikroskopski visoko uređeni sustavi stoga se feromagnet može prikazati kao skup mikroskopskih područja. Ta mikroskopska područja sadrže vlastiti magnetski moment i vlastitu orijentaciju koja je u feromagnetu usmjerena u pravcu u kojem su orijentirana ostala područja. Takva mikroskopska područja koja imaju jedinstven smjer magnetizacije prvi je odredio francuski fizičar Pierre-Ernest Weiss (1865.-1940.) i u njegovu čast dobila su naziv

¹ $m_e \approx 9.109 \times 10^{-31}$ kg; $m_p \approx 1,674 \times 10^{-27}$ kg; $m_n \approx 1,674 \times 10^{-27}$ kg

Weissove domene. Hrvoje Miloloža ([9], 5 str.) navodi pretpostavku Weissa da u domeni postoji unutrašnje magnetsko polje (tzv. Weissovo polje \vec{B}_w) koje je proporcionalno s magnetizacijom sustava (\vec{M}). Povezanost je prikazao jednadžbom 2 u kojoj oznaka γ predstavlja konstantu proporcionalnosti (jakost međudjelovanja magnetskih dipola).

$$\vec{B}_w = \gamma \vec{M} \quad (2)$$

Weissove domene smatraju se područja homogene magnetizacije veličine od 10 do 100 μ m. Svaka domena ponaša se kao permanentni magnet u kojem svi atomi imaju jednako usmjereni magnetski moment.

2.1.1. Magnetiziranje feromagneta

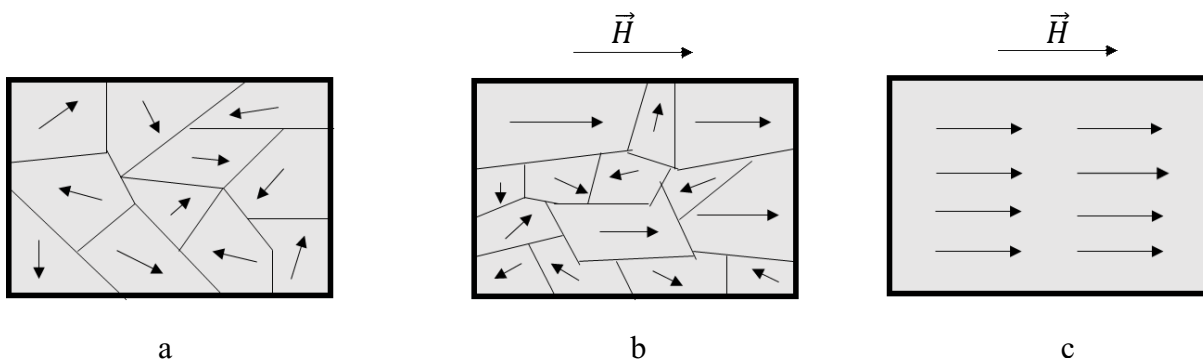
U cjelini kada se sve domene nemagnetiziranog feromagneta zbroje on je nemagnetičan zbog kaotičnih orijentacija domena čija se djelovanja poništavaju. Pod utjecajem vanjskog magnetskog polja na nemagnetični feromagnet domene u smjeru polja povećavat će svoju veličinu na račun smanjivanja domena suprotnog usmjerenja. Rast domena je reverzibilan proces kod magnetskih materijala koji ne zadržavaju magnetska svojstva nakon djelovanja vanjskog magnetskog polja, te zbog toga nakon prestanka djelovanja vanjskog magnetskog polja domene se vraćaju u prvobitni oblik. Kod feromagneta to nije slučaj, jer zbog jakog međudjelovanja Weissovih domena dolazi do pojave spontane magnetizacije², te feromagnet zadržavaju usmjerenje domena i nakon djelovanja vanjskog magnetskog polja. „*Već primjenom malih magnetskih polja dolazi do velike magnetizacije feromagnetskih materijala.*“ ([9], 10str.). Zbog tog svojstva feromagnet se zovu i jaki magneti.

Kada bi se povećavala jakost vanjskog magnetskog polja koje djeluje na feromagnet došlo bi do magnetskog zasićenja u kojem bi Weissove domene suprotnog usmjerenja od vanjskog magnetskog polja iščeznule te bi nastala jedna velika domena u smjeru vanjskog magnetskog polja. Nakon magnetskog zasićenja danje povećanje vanjskog magnetskog polja ne utječe na magnetizaciju materijala.

Postupno magnetiziranje započinje s materijalom koji ima kaotičan rasored domena, tj. s materijalom na koji ne djeluje vanjsko magnetsko polje (SLIKA 1, a). Djelovanjem

²Spontana magnetizacija - pojava koja govori da je sustav najstabilniji, tj. najmanja energija sustava je kada su spinovi usmjereni u istom smjeru

vanjskog magnetskog polja na materijal dovodi se do povećanja domena koje su usmjerane u smjeru vanjskog magnetskog polja (SLIKA 1, b). Danjim djelovanjem vanjskog magnetskog polja moglo bi se reći da cijeli materijal postaje jedna velika domena čija je orijentacija u smjeru vanjskog magnetskog polja (SLIKA 1, c).



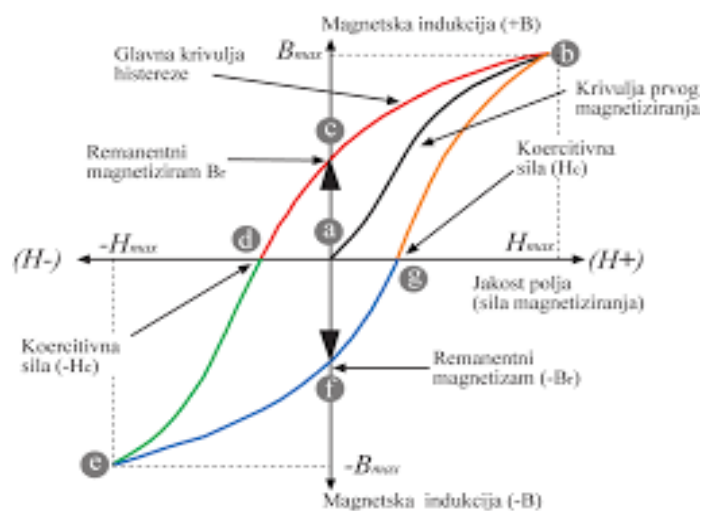
SLIKA 1. Orijentiranje domena u magnetskom polju.

2.1.2. Krivlja histereze

Krivulja kojom se opisuje magnetiziranje feromagneta naziva se krivulja histereze. Prikazuje se kao nelinearna ovisnost magnetskog polja (\vec{H}) i magnetizacije (\vec{M}). Krivulja započinje unošenjem nemagnetiziranog feromagneta u vanjsko magnetsko polje pri čemu dolazi do usmjeravanja nasumičnih domena (SLIKA 2, duljina \overline{ab}). Povećanjem jačine magnetskog polja doseže se magnetsko zasićenje u točki M_s . U M_s materijal je zasićen i sve su domene usmjerene u smjeru vanjskog magnetskog polja. Smanjivanjem vanjskog magnetskog polja dolazi do postupnog povećanja nasumičnog usmjerenja polja, tj. smanjivanjem \vec{H} smanjuje se \vec{M} po duljini \overline{bc} (SLIKA 2). „Pri isključivanju polja magnetizacija nije nula nego ima neku konačnu vrijednost M_R (remanentna magnetizacija) a uzrok je zaustavljanje domenskih zidova u nekim metastabilnim položajima.“ ([7], 2. str.). Remanentna magnetizacija također se može opisati kao posljedica anizotropije uzorka koji promatramo te zapinjanja domenskih zidova na nečistoćama koje su se našle u ispitivanom uzorku. Takvo objašnjenje remanentne magnetizacije dao je Petar Popčević u svom diplomskom radu ([14], 19. str.).

Uključivanjem vanjskog magnetskog polja suprotnog smjer od prethodnog magnetizacija bi se smanjivala sve dok ne bi pala na nulu (SLIKA 2, duljina \overline{cd}). Vanjsko

magnetsko polje kod kojeg je magnetizacija jednaka nula naziva se koercitivna jakost magnetskog polja ($-H_C$). Danjim povećanjem vanjskog magnetskog polja suprotnog smjera postiglo bi se magnetsko zasićenje ($-M_S$) (SLIKA 2, duljina \overline{de}), ali suprotnog smjera nakon kojeg daljnjim povećanjem vanjskog magnetskog polja suprotnog smjera ne bi došlo do promjene magnetizacije feromagneta. Kada bi se vanjsko magnetsko polje suprotnog smjera smanjivalo do nule opet bi magnetizacija poprimila vrijednost remanentne magnetizacije, ali suprotnog predznaka (SLIKA 2, duljina \overline{ef}). Ponovnim uključivanjem prvobitnog vanjskog magnetskog polja magnetizacija bi polagano pala na nulu (SLIKA 2, duljina \overline{fg}) nakon čega bi ponovno rasla do magnetskog zasićenja označenog na Slici 2 duljinom \overline{gb} . Ponavljanjem postupak magnetizacije odvijao bi se bez početnog \overline{ab} dijela.



SLIKA 2. Krivulja histereze. [15]

S obzirom na krivulju histereze feromagnetski materijali mogu se podijeliti na meke i tvrde. Meki feromagnetni imaju male vrijednosti H_C pa zbog toga imaju uzak oblik petlje. U njih spadaju meki čelik, čisto željezo i različite slitine. Tvrđi feromagnetski materijali imaju široku krivulju histereze i posjeduju velike vrijednosti H_C . Uglavnom se koriste za izradu trajnih magneta, kreditnih kartica, magnetnim trakama, DC elektromagneti. Izrađuju se od različitih slitina željeza.

Što se tiče područja unutar petlje Antonio Eberhardt u svom radu napisao je: *“Područje unutar petlje predstavlja rad koji primjenjuje vanjsko polje na materijal kako bi se demagnetizirao, a raspršuje se kao toplina.”* ([1], 7. str.). Drugim riječima površina

histereze govori nam koliki je gubitak energije. Što je veća njezina površina to je i veći gubitak u feromagnetnom materijalu. Iz tog razloga materijali s malom površinom histereze (meki feromagnetni) koriste se u elektronici, transformatorima, generatorima izmjenične struje i ostalim tehnologijama.

2.1.3. Upotreba feromagneta

Kao što je navedeno feromagnetni danas imaju veliku ulogu u razvoju suvremene tehnologije. Najpoznatija je njihova upotreba u proizvodnji trajnih magneta koji imaju sposobnost izdržati utjecaj velikih sila. Jedni od najjačih trajnih magneta su neodimijski magneti (neodimij-željezo-bor). Sastavljeni su od tetragonalne kristalne rešetke ($\text{Ne}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$) kojoj je potreban iznimno velika energija da bi se namagnetizirala u suprotnom smjeru od njihove magnetizacije.

Feromagnetni također se primjenjuju u generatorima i elektromotorima u nepokretnom dijelu električnih strojeva (statorima) kako bi se pobudio magnetski tok. Upotrebljavaju se i u diskovima, filmskim vrpcama, telefonima, električnim mjernim instrumentima, različitim vrstama prijemnika, odašiljača i zvučnicima.

Svoju primjenu pronalaze i u medicini kao uređaji za magnetsku rezonanciju koji služe za snimanje signala iz jezgara vodika u ljudskom tijelu.

3. ŽELJEZO

Poznavanje i upotreba željeza seže duboko u ljudsku prapovijest te se može reći da je željezo jedan od najviše korištenih metala, te nakon aluminija najčešći metal u Zemljinoj kori. U počecima željezo se koristilo u svrhu izrade obrambenih alata i dekorativnih umetaka. Kako bi se željezo moglo koristiti za izradu alata potrebno ga je obraditi mehaničkim ili kemijskim putem. Ivančica Živčić navodi da su: *“Najraniji dokazi o taljenju željeza nađeni su na hetitskim iskopinama u Maloj Aziji, a datiraju između 1700-1400 pr.Kr.”* ([10], 2. str.)

3.1. KEMIJSKE KARAKTERISTIKE

Željezo (*lat. Ferrum*, Fe) je u elementarnom obliku srebrnasto sjajni mekan metal s relativnom atomskom masom 55.847 g/mol. Svrstava se u skupinu prijelaznih metala. Nalazi se četvrtoj periodi i osmoj skupini periodnog sustava elemenata, te posjeduje atomski broj 26. Elektronska konfiguracija može se napisati u skraćenom obliku [Ar] 3d⁶ 4s². „Poznati izotopi željeza koji se javljaju u prirodi su: ⁵⁴Fe, ⁵⁶Fe, ⁵⁷Fe te ⁵⁸Fe. Ostali izotopi su radioaktivni s kratkim vremenom poluraspada, uz iznimku izotopa ⁶⁰Fe.“ ([8], 2. str.). Njegova feromagnetičnost postojana je do 770 °C.

3.2. ALOTROPSKE MODIFIKACIJE

Alotropija može se opisati kao pojavljivanje istog elementa u obliku različitih struktura. Zbog različite strukture element posjeduje različita fizikalna i kemijska svojstva.

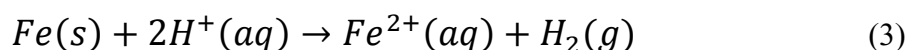
Željezo posjeduje 3 alotropske modifikacije:

- α -Fe – temperatura postojanosti te modifikacije je od 0 do oko 906 °C. Kristalna struktura je volumno centrirana kubična rešetka. Oblik je magnetičan, tj. posjeduje feromagnetičnost do Curieve temperature koja za željezo iznosi 770 °C. Iznad Curieve temperature prelazi u β -Fe koji je dijamagnetičan i strukturno se ne razlikuje od α -Fe
- γ -Fe – stabilan je na temperaturi od 906 °C do 1403 °C i posjeduje plošno centriranu kubičnu kristalnu strukturu. Nemagnetičan je.

- δ -Fe – stabilan je na temperaturi iznad 1403 °C. Posjeduje volumno centriranu kubičnu kristalnu rešetku

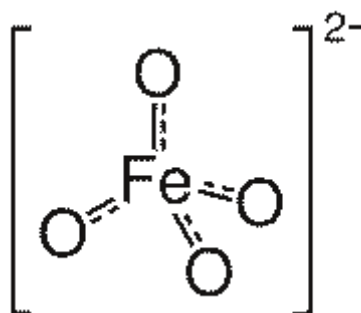
3.3. REAKCIJE

Željezo je kemijski vrlo reaktivno i posjeduje jako redukcijsko djelovanje. Neplemeniti je metal s negativnim redukcijskim potencijalom (${}^{\circ}E(\text{Fe}^{2+}|\text{Fe}) = -0,44\text{V}$) stoga se lako otapa u razrijeđenim kiselinama koje imaju neoksidacijsko djelovanje uz razvijanje vodika (jednadžba 3).



U koncentriranim oksidacijskim kiselinama željezo ne pokazuje topljivost pošto na površini željeza nastaje zaštitni oksidacijski sloj koji onemogućuje reakciju.

Željezo reagira s vrlo jakim vrućim bazama (NaOH, KOH) pri čemu nastaju soli ferata(VI) opće formule $[\text{FeO}_4]^{2-}$ (SLIKA 3).



SLIKA 3. Struktura ferata (VI). [16]

Željezo reagira sa svim halogenim elementima uglavnom dajući željezne(III) halogenide, izuzev joda (slabi oksidans) koji daje željezov(II) jodid, FeI_2 .

Pri višim temperaturama željezo reagira s amonijakom (Fe_2N), ugljikom (Fe_3C), vodenom parom i kisikom s kojim stvara okside.

3.4. SPOJEVI

U spojevima željezo se pojavljuje u 0, +2 i +3 oksidacijskom stanju, vrlo rijetko u +4 i +6 stanju.

Fe – oksidacijsko stanje je 0 i takav oblik željeza pojavljuje se u kompleksnim spojevima (metalnim karbonilima). Primjeri karbonila željeza su $\text{Fe}(\text{CO})_5$ (žuto-narančasta tekućina, njegov raspad značajan je u proizvodnju čistog željeza) i $\text{Fe}(\text{CO})_9$ (narančasti kristali).

Fe^{+2} (fero) – elektronska konfiguracija je $[\text{Ar}] 3d^6$. Spojevi u fero stanju imaju ionski karakter. Topljiv je u vodi pri bilo kojem pH i formira oktaedarske heksaaqua komplekse blijedo zelene boje. Ovisno o anionu razlikuje se njihova velika osjetljivost na oksidaciju sa zrakom (kisikom). Njegov oksid je blijedo zelene boje i odgovoran je za stvaranje hrđe. Fe^{2+} u vodenoj otopini uz prisustvo kisika spontano se oksidira u Fe^{3+} .

Fe^{+3} (feri) – elektronska konfiguracija je $[\text{Ar}] 3d^5$. Spojevi u feri stanju uglavnom su kovalentnog karaktera. Otopine tog iona poprimaju žute boje, osim otopina sa bromidom gdje poprima crvenu boju. Topljiv je u vodi samo ispod 3,5 vrijednosti pH. Iznad tog pH nastajat će talog narančasto-žute boje. Netopljivost Fe^{3+} spojeva može se koristiti za uklanjanje viška fosfata u jezerima stvarajući željezo(III) fosfat (FePO_4) koji smanjuje bioraspodivnost fosfora i time smanjuje prekomjeren rast algi.

Oba iona (Fe^{2+} i Fe^{3+}) stvaraju mnogobrojne kompleksne spojeve koji nisu izrazito stabilni te njihova priprema nije jednostavna. Najstabilniji kompleksni spojevi su sa cijanidom, heksacijanoferat(II) ion, $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ i heksacijanoferat(III) ion, $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$.

3.5. BIOLOŠKA ULOGA

Željezni ioni imaju bitnu ulogu u metabolizmu živih organizama. Nalaze se u krvi, mišićima, jetri i kostima. Njihova bitna uloga je u prijenosu kisika (sastavni je dio hemoglobina, mioglobina) i za redukcijsko-oksidacijske procese u organizmu (citokromi, feredoksin, oksidacijska fosforilacija i dr.).

„Željezo se resorbira u cijelom probavnom sustavu, a najviše u duodenumu, dok se prema distalnim dijelovima crijeva apsorpcija smanjuje. Divalentno željezo (Fe^{2+} , fero) se lakše apsorpira od trovalentnog (Fe^{3+} , feri) željeza kojeg uglavnom ima više u prehrani, te su zbog toga potrebni različiti spojevi i strukture koje pomažu u redukciji željeza, feri u fero

oblik, za lakšu apsorpciju.“ ([12], 3. str.). Apsorpcija željeza olakšava se dodatkom vitamina C koji će promijeniti feri u fero oblik. Tijekom otežane apsorpcije, pojačanog gubitka ili nekog drugo razloga gubitka željeza može se razviti anemija, dok višak željeznih iona može uzrokovati oštećenje bubrega i jetre.

3.6. DOBIVANJE

„Još prije 5000 godina pr. Kr. meteoritsko željezo se koristilo za izradu oruđa i oružja, a oko 1500 godina pr. Kr. počinje proizvodnja željeza. Važnost željeza u prošlosti dokazuje i činjenica da je posljednji dio prapovijesti (od 1200 godine pr. Kr. pa do približno nove ere) nazvan željezno doba.“ ([4], 21. str.). Pošto se željezo rijetko nalazi u elementarnom obliku potrebno ga je izolirati iz njegovih oksidnih i rjeđe karbonatnih ruda. Nekada se željezo dobivalo u primitivnim pećima s plitkim ognjištem na kojima se izmjenično stavljala željezna ruda i drveni ugljen. Gorenjem ugljena nastao je ugljikov monoksid koji je reagirao s kisikom oksidiranih ruda pri čemu bi zbog nedovoljno visoke temperature nastalo spužvasto željezo i ugljikov dioksid. Spužvasto željezo sa nečistoćama nakupljalo se na dnu peći i naknadno kovalo kako bi se uklonile nečistoće i željezo postalo kompaktno i upotrebljivo. Danas se za proizvodnju željeza uglavnom koriste visoke peći sa koksom, a vrlo rijetko električne peći, rotacione peći i niske peći.

3.6.1. Visoke peći

Željezo dobiveno u visokim pećima dobiva se redukcijom ruda pomoću koksa. *„Sredinom 15. stoljeća konstruirana je prva je visoka peć u Europi.*“ ([10], 17. str.).

Za ekstrakciju željeza u visokoj peći potrebne su 4 komponente :

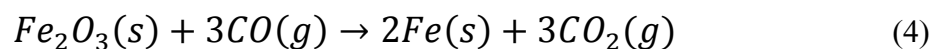
- ŽELJEZNA RUDA - koriste se rude bogate željeznim mineralima kao što su magnetit ($\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$), hematit (Fe_2O_3), limonit ($\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$) i siderit (FeCO_3). Rude u svojem sastavu uz minerale sadrže i jalovinu (glinica, magnezijev oksid, kalcijev karbonat i dr.) koja je čvrsto vezana za mineral.
- TVARI ZA TALJENJE – spojevi koji omogućuju uklanjanje pepela dobivenog izgaranjem koksa i jalovine pri čemu nastaje masa nazvana troska. Uglavnom se kao taljivo sredstvo koristi vapnenac stoga nastala troska bazičnog je karaktera. Troska je manje gustoće od rastaljenog metala pa se

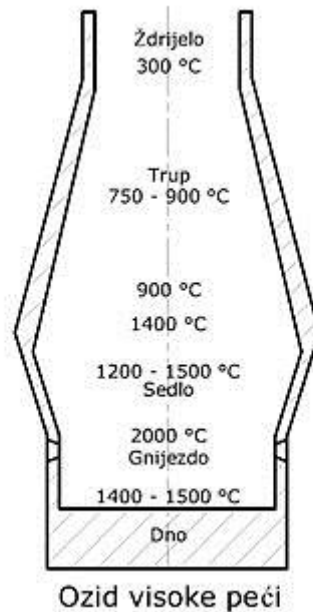
lako uklanja s površine, te se može iskoristiti za proizvodnju cementa i građevnog kamena.

- REDUCENS – tvar koja otpušta elektrone, tj. veže kisik iz željezne rude. Kao reducens u proizvodnji željeza koristi se kruta, porozna tvar nazvana metalurški koks koji se dobiva suhom destilacijom kamenog ugljena pri visokim temperaturama.
- ZRAK – zrak obogaćen kisikom veže na sebe suvišan ugljik i služi za izgaranje goriva. Radi veće efikasnosti prethodno se zagrijava i upuhuje u peć.

Proces proizvodnje željeza započinje pripremom rude. Iz rude se ukloni što više jalovine, zatim se suši i dehidrira, drobi i na kraju prži. Tako pripremljena ruda sa dodanim tvarima za taljenje slaže se naizmjenice s koksom u ždrijelo peći, te se na donjem dijelu peći upuhuje vrući zrak koji izgara doji sloj koksa.

Visoka peć sastoji se od pet međusobno spojenih dijelova koja se razlikuju oblikom i temperaturom (SLIKA 4). Grotlo ili ždrijelo se nalazi na gornjem dijelu peći te posjeduje najnižu temperaturu i služi za ravnomjerno odvođenje plinova nastalih u visokoj peći. Plin koji izlazi iz peći služi za zagrijavanje komore u kojoj se nalazi zrak koji će se upuhivati u peć. U ždrijelu smjesa se predgrijava, a prolaskom kroz trup i trećinu sedla željezne rude se reduciraju pomoću plinova (ugljikov monoksid i vodik). Na oko 1200 °C dolazi se do faze taljenja željeza i odvajanja troske na površinu. U donjem djelu peći nalaze se otvor za dovođenje zraka, odvođenje sirovog željeza i troske. Sumarna reakcija svih procesa u proizvodnji željeza prikazana je jednadžbom 4.





SLIKA 4. Visoka peć. [17]

Sirovo željezo koje izlazi iz visoke peći vrlo je krhko, nije kovno i neprikladno je za upotrebu stoga ga je potrebno naknadno obraditi. Za dobivanje kvalitetnijeg materijala potrebno je sirovo željezo pročistiti od primjesa (mangan, sumpor, fosfor, silicij i dr) i ukloniti sadržaj ugljika koji u sirovom željezu iznosi oko 4% što uzrokuje njegovu krhkost.

Većina se sirovog željeza prevodi brzim hlađenjem u bijelo željezo koje sadrži ugljik vezan u obliku cementita (željezov karbid, Fe_3C). Sadrži više mangana a manje silicija. Koristi se za proizvodnju dobrog tehničkog materijala zvanog čelik. Čelik se dobiva u čeličanicama koje se uglavnom nalaze uz visoke peći tako da sirovo željezo automatski odlazi u danju preradu.

Sporim hlađenjem sirovog željeza nastaje sivo željezo koje se lijevanjem koristi za proizvodnju masovnih i toplinski ne opterećenih materijala. Sivo željezo kemijskim sastavom sadrži ugljik u obliku grafita, manje mangana, a više silicija.

4. KOBALT

Zbog mistične boje kobaltove rude koristile su se u dalekoj prošlosti uglavnom za bojanje različitih materijala. Jedno od najpoznatijih korištenja kobalta u svrhu bojanja su visokocijenjene vaze i drugi porculanski predmeti iz dinastije Ming (SLIKA 5).



SLIKA 5. Vaza iz dinastije Ming. [18]

„Kobalt je otkriven u blagu pronađenom u grobu faraona Tutankamona, koji je vladao u Egiptu od 1361. do 1352. godine p.n.e.. Tamo je pronađen mali stakleni predmet obojen u modru boju koja je potekla od kobalta.“ ...“Mnogo ranije, u Kini, korišteno je kobaltovo modrilo za glazuru lončarskog posuđa.“ ([2], 3.str.).

4.1. KEMIJSKE KARAKTERISTIKE

Kobalt (*lat. Cobaltum*, Co) je relativno nereaktivan, bijeli metal srebrno-plavog sjaja. Njegova atomska masa iznosi 58,933 g/mol, a atomski broj je 27. U periodnom sustavu smjestio se između željeza i nikla u četvrtoj periodi i devetoj skupini. Njegova elektronska konfiguracija je $[\text{Ar}] 3d^7 4s^2$. Kobalt posjeduje 13 nestabilna izotopa i jedan izotop koji je stabilan ($^{59}_{27}\text{Co}$).

„Kobalt je, doduše s mnogo primjesa, prvi dobio Šveđanin G. Brandt (1735). Kasnije je opisao neke njegove osobine i otkrio njegovu magnetičnost.“ ([3], 176. str.). Svoju feromagnetičnost posjeduje do 1115 °C nakon koje postaje paramagnet.

Za razliku od željeza koji ima tri alotropske modifikacije kobalt sadrži dvije. α alotropska modifikacija stabilna je na temperaturama iznad oko 417 °C i kristalna struktura mu je površinski centrirana kubična kocka. β modifikacija stabilna je na temperaturama ispod oko 417 °C, te mu je struktura heksagonske rešetke.

4.2. REAKCIJE

U kompaktnoj formi kobalt ne reagira sa zrakom do oko 300 °C nakon čega oksidira. U praškastom obliku je piroforan³, te nakon oko 220 °C reagira sa ugljikom pri čemu tvori karbid.

Topljiv je u razrijeđenim kiselinama (sumornoj, klorovodičnoj, dušičnoj).

Zbog njegove otpornosti prema ljudskim enzima pronalazi svoju čestu upotrebu u medicinske svrhe. Poznata legura kobalt-krom u stomatologiju se upotrebljava dugi niz godina za izradu implantata, krunica, proteza i sl. „Kobalt leguri daje otpornost na koroziju, tvrdoću i čvrstoću, a krom daje tvrdoću i otpornost na koroziju pasivizirajućim učinkom (stvaranjem kromova oksida na površini legure koji štiti od vanjskih utjecaja).“ ([11], 26. str.). Uz stomatologiju svoju upotrebu pronalazi i u kirurške svrhe.

4.3. SPOJEVI

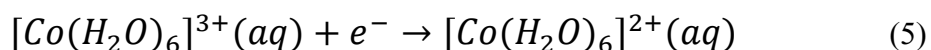
Najčešći oksidacijski brojevi kobalta su +2 i +3, te u nekim kompleksnim spojevima iznosi 0. Kobaltovi spojevi oksidacijskih brojeva +4 i +5 još nisu sa sigurnošću utvrđeni da postoje. Njegova specifičnost je u velikoj razlici redoks potencijala sustava ${}^{\circ}E(\text{Co}|\text{Co}^{2+}) = -0,28\text{V}$ i ${}^{\circ}E(\text{Co}^{3+}|\text{Co}^{2+}) = +1,84\text{V}$ što igra bitnu ulogu kod spojeva s kobaltom.

Co – stupanj oksidacije 0 nalazi se u kompleksnim spojevima, metalnim karbonilima. Neki primjeri kobaltovih karbonila su $\text{Co}_2(\text{CO})_8$ (crveno-narančasta krutina) i $\text{Co}_4(\text{CO})_{12}$ (crni kristali). Spojevi kobalta s oksidacijskim brojem 0 imaju veliku upotrebu u proizvodnji katalizatora.

³ Tvari koji su zbog velike površine vrlo reaktivni i sklони oksidaciji ili samozapaljenju

Co^{2+} - elektronska konfiguracija je $[\text{Ar}] 3d^7$. Otopine Co^{2+} ružičaste su boje zbog hidratiziranog iona $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$. Co^{2+} ion je slabo redukcijsko sredstvo (nedovoljno za redukciju kisika) što ga razlikuje od Fe^{2+} koji je dovoljne jačine za redukciju kisika. Co^{2+} u kompleksima formira tetraedre i oktaedre. Zanimljiva upotreba kobaltovog(II) klorida je u proizvodnji nevidljivih tinta koje blagim zagrijavanjem postaju vidljive.

Co^{3+} - elektronska konfiguracija je $[\text{Ar}] 3d^6$. Co^{3+} ion je jako oksidacijsko sredstvo te lako oksidira vodu pri čemu nastaje kisik. Njegovi vodeni kompleksi ($[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$) izrazito su nestabilni u otopinama i ukoliko nema aniona koja bi ga stabilizirao reducira se u $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$. U lužnatom okruženju mnogo su stabilniji Co^{3+} kompleksi pa je ravnotežna reakcija pomaknuta u smjeru njihova stvaranja, u lijevo (jednadžba 5).

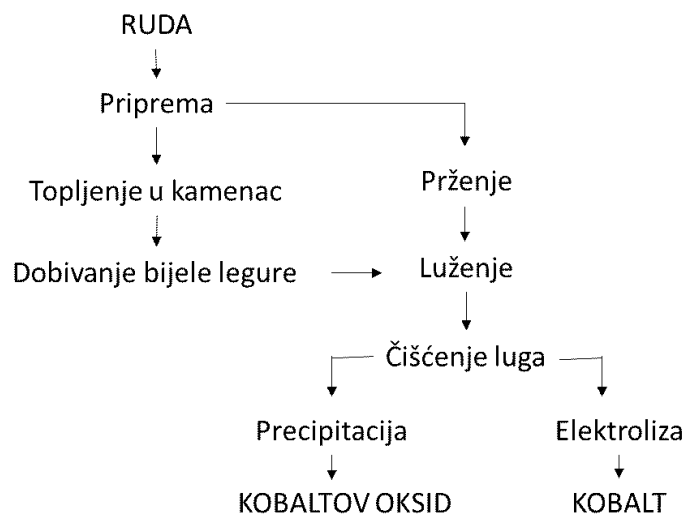


4.4. DOBIVANJE

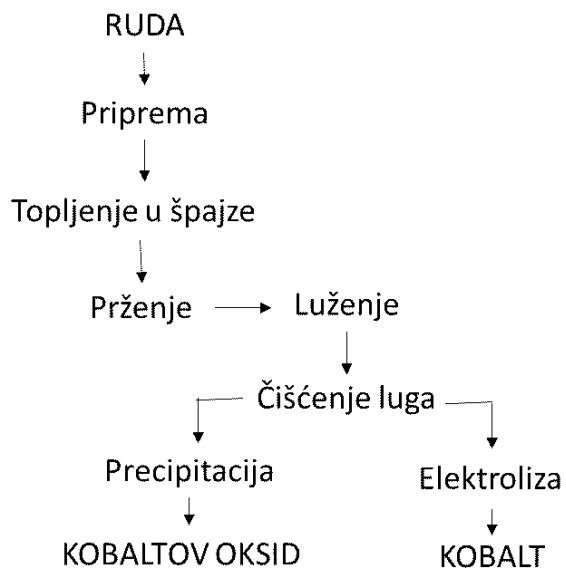
Potražnja kobalta je vrlo velika, a B. Đurković ([3], 176. str.) navodi da najveći dio potrošnje kobalta pokriva proizvodnja u Zairu (više od 70% svjetske proizvodnje, bez istočnih zemalja), dok su proizvodnje kobalta u Kanadi (8,5%), Zambiju (8%) i Maroku (6,5%) kao što je navedeno znatno manje.

S obzirom da rude uglavnom sadrže mali postotak minerala kobalta, kobalt se u proizvodnji dobiva kao sporedni produkt, ili se dobiva iz sporednih produkata i otpadnih materijala nastalih tijekom proizvodnje drugih metala (olova, cinka, bakra, nikla i dr.). Poznatiji minerali kobalta su arsenidi (skuterudit, CoAs_3 ; smaltin, CoAs_2), sulfidi (karolit, $\text{CuS} \cdot \text{Co}_2\text{S}_3$; lineit, Co_3S_4), arsenidsulfidi (kobaltin, CoAsS) i oksidi (asbolan, $\text{CoO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$).

Prva faza proizvodnje kobalta je koncentriranje rude flotacijom, gravitacijskom koncentracijom ili rijetko nekim drugim postupkom. Takva koncentrirana ruda dalje se elektrokemijskim procesima pomoću elektrolize, hidrometaluroškim procesima ili pirometaluroškim procesima prevodi u kobalt. Na odabir dobivanja kobalta iz ruda najviše utječe njihov sastav. Tako postupci prve faze dobivanja kobalta iz ruda koje sadrže i ruda koje ne sadrže arsen, te ruda bogatih bakrom ili bogatih niklom vrlo su različiti, dok su završne faze slične. Za primjer navedeni su postupci dobivanja kobalta iz bezarsenidnih i arsenidnih ruda (SLIKA 6 i SLIKA 7).



SLIKA 6. Postupak dobivanja kobalta iz bezarsenidnih ruda.



SLIKA 7. Postupak dobivanja kobalta iz arsenidnih ruda.

5. NIKAL

Nikal je posljednji element koji čini trijadu željeza i pokazuje zajednička svojstvo feromagnetičnosti. 1751.g. otkrio ga je švedski kemičar Braun Alex Fredrik Cronstedt te ga je kvalificirao kao mineral bakra i nazvao vražji bakar. Naziv vražji bakar dobio je jer je pronađena ruda nikla (niklov arsenid) imala crvenu boju i smatralo se da je to bakrena ruda (SLIKA 8). Pošto iz te rude rafiniranjem nije mogao dobiti bakar nazvan je vražji bakar.



Slika 8. Niklov arsenid [19]

5.1. KEMIJSKE KARAKTERISTIKE

Nikal (*lat. Niccolum*, Ni) je metal srebrnog sjaja sa žutim podtonom. Njegova atomska masa iznosi 58.693 g/mol, a atomski broj mu je 28. U periodnom sustavu elemenata nalazi se u četvrtoj periodi i desetoj skupini stoga mu je elektronska konfiguracija [Ar] 3d⁸ 4s². Nikal posjeduje 12 izotopa od kojih su stabilni : $^{58}_{28}\text{Ni}$, $^{60}_{28}\text{Ni}$, $^{61}_{28}\text{Ni}$, $^{62}_{28}\text{Ni}$, $^{63}_{28}\text{Ni}$ i $^{64}_{28}\text{Ni}$. Od 7 radioaktivnih izotopa $^{59}_{28}\text{Ni}$ ima najduže vrijeme poluraspada (oko 10⁵ godina).

Posjeduje dobro antikorozivno svojstvo, te se zbog toga često koristi za presvlačenje drugih metala kako bi se povećala njihova trajnost (niklovi izrazito nehrđajući čelici). Njegova otpornost prema koroziji omogućila je upotrebu nikla u prehrambenoj i kemijskoj industriji (katalizator) kao i brodogradnji, te proizvodnji kovanica.

Vrlo je otporan na vatru, te na visokim temperaturama posjeduje dobru čvrstoću. Može se kovati i polirati do visokog sjaja. Što se tiče magnetičnost, na sobnoj temperaturi nikal posjeduje feromagnetično svojstvo do 358 °C nakon koje se gubi magnetizacija.

Elementarni nikal može se naći u dvije alotropske modifikacije. Jedna je plošno centrirana kubična kristalna rešetka, a druga je heksagonska kristalna rešetka koja zagrijavanjem iznad oko 200 °C prelazi u kubičnu kristalnu rešetku.

5.2. REAKCIJE

Vrlo je otporan u doticaju s vodom i zrakom, a u praškastom obliku lako upija plinove što uzrokuje smanjene mehaničkih svojstava.

U reakciji sa razrijeđenim kiselinama dolazi do razgradnje, ali njegova postojanost je veća od postojanosti željeza. Lako je topiv u razrijeđenoj dušičnoj kiselini, a u razrijeđenoj klorovodičnoj i sumpornoj se znatno sporije razara. S koncentriranim kiselinama pasivizira se, a u organskim kiselinama reagira vrlo polako. Prema bazama nikal je vrlo inertan.

5.3. SPOJEVI

Nikal se u spojevima najčešće nalazi u oksidacijskom stanju +2, ali može postojati i u 0, +1, +3 i +4 oksidacijskim stanjima.

Ni^{+2} – elektronska konfiguracija je $[\text{Ar}] 4s^2 3d^6$. Vodene otopine Ni^{+2} iona prepoznatljive su bistre zelene boje. Dodatkom lužine u vodenu otopinu niklovih dvovalentnih iona nastaje voluminozni zeleni talog, $\text{Ni}(\text{OH})_2$. Njegovim žarenjem istiskuje se vodik i nastaje zeleni prah (niklov(II) oksid, NiO) koji ima široku upotrebu kao što je bojenje stakla, katalizator, poluvodiči u akumulatorima i dr.

5.4. DOBIVANJE

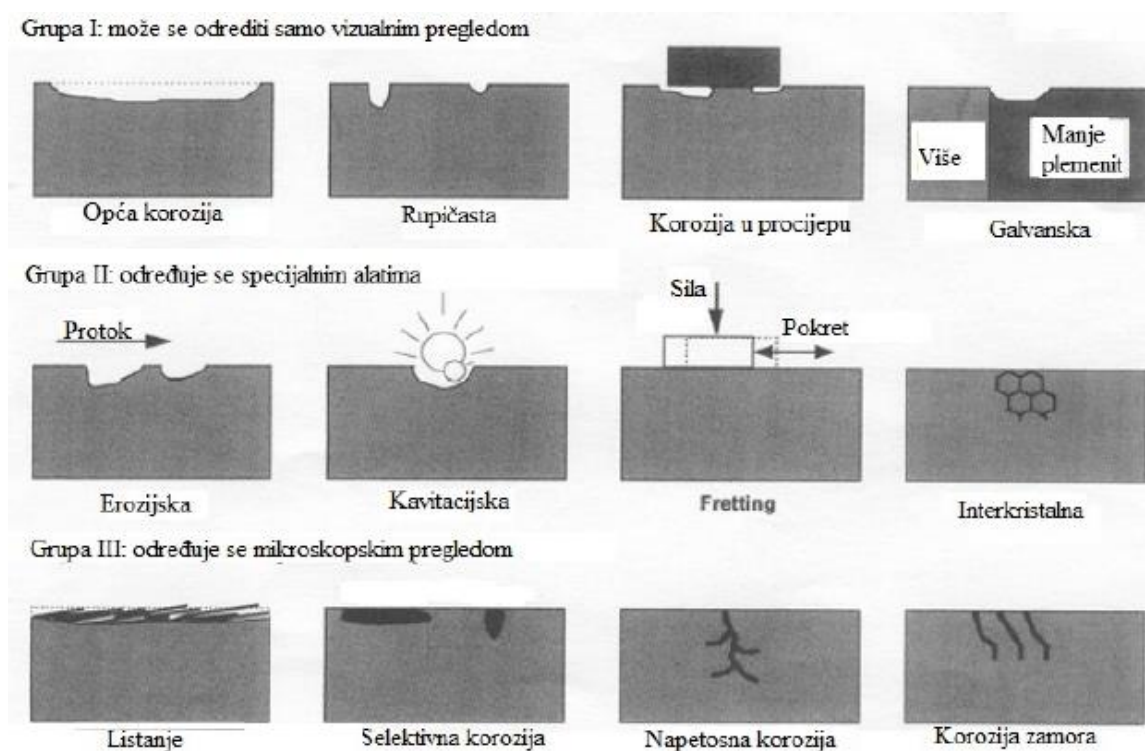
Rasprostranjenost nikla u Zemljinoj kori je vrlo niska (oko 0,008%) stoga se nikal koristi samo u nekoliko zemalja od kojih najveću svjetsku proizvodnju nikla posjeduje Rusija. Minerali nikla nalaze se u obliku sulfida koji u rudama često sadrže bakar (pentlandit, $(\text{Ni}, \text{Fe})_9\text{S}_8$; milerit, NiS), oksida (garnijerit, $(\text{Ni}, \text{Mg})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$; bunzenit, NiO) i arsenida (nikelin, NiAs ; mauherit, $\text{Ni}_{11}\text{As}_8$; gersdorffit, NiAsS).

Kako bi se proizveo nikal danas se upotrebljavaju hidrometaluroški i pirometaluroški postupci. Izbor tehnike izdvajanja ovisi o postotku nikla, kao i o vrsti rude iz koje se izdvaja nikal i sastavu jalovine.

D. Đurković ([5], 340. str.) navodi da se u pirometaluroškom postupku sulfidne niklove rude prerađuju topljenjem na kamenac, te se propuhuju na fini kamenac i prevode u metalni nikal. Za razdvajanje nikla od bakra u toku prerade primjenjuje se selektivna flotacija, karbonilni postupak i hidrometalurški postupci. Za preradu oksidnih niklovih ruda primjenjuju se dva pirometalurška postupka: redukciono-sulfidirajuće topljenje na kamenac i njegova prerada na metalni nikal, te redukciono topljenje niklovih ruda na feronikal.

6. KOROZIJA

Korozija se može opisati kao destruktivni proces koji uništava površinu metala. Svi metali skloni su hrđanju bez obzira na plemenitost, samo je razlika u brzini kojom će doći do hrđanja. Postoji mnogo oblika korozije, a najčešći je opći oblik koji zahvaća cijeli materijal. Vrste korozije prikazane su na Slici 9.

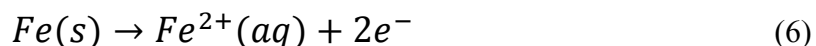


SLIKA 9. Vrste korozije. [20]

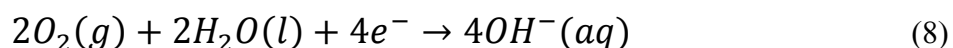
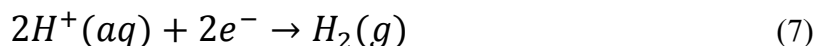
Gledajući koroziju željeza hrđa je kemijskim sastavom vodeni željezni oksid koji sadrži varijabilan sastav prikazan formulom $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. Hrđanjem dolazi do odvajanja površinskog sloja metala što povećava površinu koja može nastaviti hrđati i s vremenom kompletan metal se pretvori u hrđu. Mehanizam hrđanja može biti ubrzan dodatkom kiselina, soli, manje reaktivnim metalima i povišena temperatura.

„Bitan uvjet njene pojave jest dodir metala s drugom fazom koja ima osobine elektrolita, pri čemu na metalu dolazi do stvaranja tankog sloja s osobinama elektrokemijskog dvosloja.“ ([13], 297. str.).

Voda i kisik osnovne su tvari za formiranje hrđe. Na dijelu željeza gdje je voda dolazi do oksidacije željeza (taj dio željeza čini anodu⁴) (jednadžba 6).

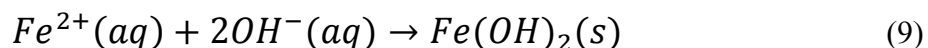


Odvojeni slobodni elektroni iz oksidacije odlaze na katodni dio željeza gdje uz pomoć vode služe za redukciju vodikovih iona ili otopljenih molekula kisika (jednadžba 7 i 8).

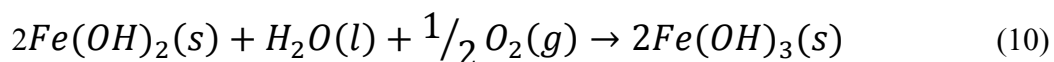


Brzina oksidacije željeza i redukcije kisika događa se istovremeno kako ne bi došlo do razdvajanja naboja na metalu te bi se metal spontano električni nabio što nije izvedivo.

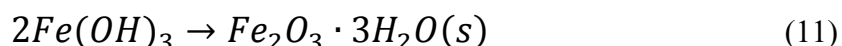
Sljedeća reakcija je reakcija između fero-oblika i hidroksidnih iona pri čemu se taloži željezov(II) hidroksid (jednadžba 9).



Željezov(II) hidroksid oksidira se do željezo(III) hidroksida (jednadžba 10).



Željezov(III) hidroksid se odmah hidrolizira na stabilniji oblik koji se naziva hrđa (jednadžba 11).



Korozivna otpornost željeza, kao i drugih metala može se povećati legiranjem. Legiranje je postupak miješanja legirajućeg materijala s osnovnim metalom u svrhu dobivanja željenih svojstava. Jedna od najpoznatijih legura je čelik. Čelik je legura željeza i ugljika koja može ali i ne mora sadržavati legirajuće elemente. Za legiranje čelika najčešće se dodaju krom, nikal ili molibden. „*Legiranje s niklom povećava korozivnu otpornost i to sve do 40% nikla. Daljnjim dodavanjem nikla svojstva mu se bitno ne poboljšavaju. ... Legiranje s kromom povećava korozivnu otpornost, naročito prema kemijskoj koroziji na*

⁴ Razdvajanje katodnog i anodnog dijela je samo radi lakšeg prikaza i objašnjavanja procesa reakcije

povišenoj temperaturi“ ([6], 7. str.). Molibden se dodaje kako bi povećao čvrstoću legure ali također djeluje i na povećanje antikorozivnog svojstva.

Čelik se može podijeliti na niskolegirani i visokolegirani čelik. Visokolegirani čelici sadrže više od 5% legirajućih elemenata. Niskolegirani čelici sadrže najviše 5% legirajućih elemenata. *„Niskolegirani čelik sa bakrom do 0,3% otporan je u atmosferskoj koroziji i koroziji u vodi. Vjerojatno se prilikom korozije gornji sloj obogaćuje bakrom koji ga štiti od daljnjeg razaranja, kao i korozijski produkti koji na njemu dobro prijanjaju. Bolju korozijsku otpornost imaju čelici legirani sa do 1,5% kroma, do 0,7% bakra i do 0,7% nikla. Još bolji su oni sitnozrnaste strukture koji sadrže mangan, molibden, nikl, silicij i fosfor do 0,2%“ ([6], 6. str.).*

7. ZAKLJUČAK

Trijada željeza skupni je naziv za tri elementa: željezo, kobalt i nikal. Njihovo osnovno svojstvo je feromagnetizam koji se može objasniti pomoću prisustva nesparenih elektrona čiji su spinovi orijentirani u istom smjeru i čine Weissove domene. Pod djelovanjem vanjskog magnetskog polja domene rastu na račun suprotno orijentiranih domena te nakon prestanka djelovanja vanjskog magnetskog polja zadržavaju svoje usmjerenje što je osnova razlika feromagneta od paramagneta. Od Trijade željeza željezo posjeduje najjače feromagnetno svojstvo.

Željezo kao kemijski vrlo reaktivan srebrnasti metal vrlo lako reagira sa neoksidacijskim razrijeđenim kiselinama uz razvijanje vodika, dok sa oksidacijskim kiselinama stvara zaštitni sloj koji otežava reakciju. S bazama reagira teže, tj. reagira samo s jakim vrućim bazama. Poznato je 5 oksidacijskih stanja od kojih su 0, +2 i +3 najčešća u spojevima. Feromagnetičan je do 770 °C. Dobivanje željeza vrši se u visokim pećima na visokim temperaturama redukcijom rude pomoću koksa. Kao produkt dobiva se sirovo željezo koje je krhko i neprikladno za upotrebu stoga je potrebna danja obrada brzim ili sporim hlađenjem.

Kobalt je prepoznatljiv kao bijeli metal srebrno-plavog sjaja. Svoje feromagnetsko svojstvo posjeduje do 1115 °C nakon koje postaje paramagnet. Reagira sa razrijeđenim kiselinama te je karakterističan po otpornosti prema ljudskim enzima što omogućuje njegovu primjenu u medicini. Kobalt se uglavnom dobiva kao sporedni produkt kod izolacije nekih drugih metala pošto je njegova koncentracija u rudama uglavnom niska.

Nikal, zvan vražji bakar, je metal srebrnastog sjaja sa žutim podtonom. U reakcijama sa razrijeđenim kiselinama reagira polako dok se sa koncentriranim pasivizira. Može se polirati i kovati, te je otporan na visoke temperature i posjeduje dobro antikorozivno svojstvo što otvara njegovu primjenu u kemijskoj i prehrambenoj industriji, brodogradnji i drugo. Svojstvo feromagnetizma posjeduje do 358 °C. Jedino oksidacijsko stanje nikla koje je stabilno je +2. Nikal se dobiva hidrometaluroškim ili pirometaluroškim postupkom, ovisno o sastavu rude.

Svi metali bez obzira na svoju plemenitost skloni su hrđanju, tj. koroziji samo je razlika u vremenu potrebnom za stvaranje hrđe. Željezna hrđa kemijskim sastavom je vodeni željezni oksid varijabilne kemijske formule $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. Kako bi se povećala otpornost metala prema koroziji metal se legira s određenim drugim metalom što će povećati

antikorozivno svojstvo. Najpoznatija legura je čelik, tj. legura željeza i ugljika koja može i ne mora sadržavati legirajuće elemente. S obzirom na postotak sadržaja legirajućih elemenata čelik se može podijeliti na visokolegirane (sadrže više od 5% legirajućih elemenata) i niskolegirane čelike (sadrže manje od 5% legirajućih elemenata).

8. LITERATURA

- [1] A. Eberhardt. (2017). *Kompleksni spojevi kao molekularni magneti*. Završni rad. Zagreb.
- [2] A. Judin. (2017). *Solvotermalne sinteze kompleksa kobalta s 1h-benzimidazol-2-metanolom*. Završni rad. Zagreb.
- [3] B. Đurković. Klor – kobalt. <http://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/kobalt.pdf> (26.7.2019.)
- [4] B. Panić. (2016). *Alotropne modifikacije*. Završni rad. Zagreb.
- [5] D. Đurković. Neutronika – nikal. <http://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/nikal.pdf> (6.8.2019.)
- [6] D. Šakan. *Korozivna svojstva pojedinih tehničkih materijala*. Nastavni materijali. Rijeka.
- [7] D. Žilić. (1999.). *Kvantna magnetska histereza kod Mn₁₂-acetata*. Seminar iz eksperimentalne fizike. Zagreb.
- [8] E. Seničar. (2017). *Spojevi željeza kao pigmenti*. Završni rad. Zagreb.
- [9] H. Miloloža. (2016). *Magnetska svojstva amorfnih feromagneta*. Diplomski rad. Osijek.
- [10] I. Živčić. (2016). *Analiza mikrostrukture kletskog mača*. Diplomski rad. Zagreb.
- [11] K. Potočki. (2018). *Legure u stomatologiji*. Diplomski rad. Zagreb.
- [12] M. Hršak. (2009). *Uloga jetre u metabolizmu željeza – histokemijsko dokazivanje željeza*. Seminar. Zagreb.
- [13] M. Metikoš-Huković. (2000). *Elektrokemija*. Interni udžbenik. Zagreb.
- [14] P. Popčević. (2007). *Utjecaj grebanja površine na petlje histereze amorfnih trake*. Diplomski rad. Zagreb.

8.1. POPIS SLIKA

[15] SLIKA 2.

https://www.google.com/search?biw=1366&bih=625&tbm=isch&sa=1&ei=DPRHXafhOb3Cgwee_7OwDQ&q=vrste+magnetizma&oq=vrste+magnetizma&gs_l=img.3...13110.24249..24679...8.0..3.243.4130.1j25j4.....0....1..gws-wiz-img.....0..0i24j35i39j0j0i8i30.ByXWajOOqI4&ved=0ahUKEwinl6rdsuvjAhU94eAKHZ7DNYQ4dUDCAY&uact=5#imgrc=-vSMTPvx4pBu2M: (5.3.2019.)

[16] SLIKA 3.

[https://www.google.com/search?q=ferat\(VI\)&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwie5PHpvtLjAhWJjosKHQXwDacQ_AUIECgB&biw=1366&bih=625#imgrc=0zSUBBCh-XRbM](https://www.google.com/search?q=ferat(VI)&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwie5PHpvtLjAhWJjosKHQXwDacQ_AUIECgB&biw=1366&bih=625#imgrc=0zSUBBCh-XRbM): (8.7.2019.)

[17] SLIKA 4.

https://www.google.com/search?q=visoka+pe%C4%87&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi23YvS-MrjAhVLVhoKHQI9CL4Q_AUIECgB&biw=1366&bih=625#imgrc=YLRI581qSiuuEM: (4.8.2019.)

[18] SLIKA 5.

<https://ocdn.eu/pulscms-transforms/1/nOhk9ILaHR0cDovL29jZG4uZXUvaW1hZ2VzL3B1bHNjbXMvTVRBN01EQV8vNzA4MWJjMGQ2MjdINDY0NmEzZDYwNzg4NWVvYWM5NzcuanBnkZMCzQLkAIEAAQ> (7.8.2019.)

[19] SLIKA 8.

<http://www.jewellery.org.ua/stones-katalog/img/img543.jpg> (27.8.2019.)

[20] SLIKA 9.

https://www.google.com/search?q=vrste+korozije&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi5-v2jsOvjAhXpsosKHU6bA3IQ_AUIESgB&biw=1366&bih=625#imgrc=YXGD2qxvF3Z2ScM: (5.8.2019.)