

Vlatka Bišćan, dipl. ing. kemije¹

Viktorija Luetić, ing. prehrambene tehnologije²

SVOJSTVA TITANA I NJEGOVIH LEGURA

The Properties of Titanium and Its Alloys

SAŽETAK: Titan je metal srebrnosive boje i visokog sjaja, deveti je element po obilnosti u Zemljinoj kori, a moguće ga je naći i u meteoritima. Ima nisku električnu vodljivost i mali koeficijent toplinskog širenja. Kako titan ima veliku pasivnost, njegovo fizikalno svojstvo je visoka razina korozijske otpornosti na većinu kiselina i mineralnih klorida. Mehaničkih je svojstava poput čelika, ima visoku temperaturu taljenja i lagan je. Budući da je vrlo otporan na koroziju primjenjuje se u proizvodnji osovina propelera i drugih brodskih dijelova koji su izloženi morskoj vodi. Netoksičan je, nemagnetičan i antialergen, biološki kompatibilan s ljudskim tkivom i kostima što ga čini idealnom materijalom za medicinske proizvode implantata. Titan s metalima aluminijem, kromom, željezom, molibdenom, kositrom, vanadijem, cinkom i drugim tvori legure različitih fizikalnih, kemijskih, strukturnih i specifičnih svojstava, različitih tvrdoća, čvrstoća, žilavosti, otpornim na koroziju, oksidaciju i ostale potrebite uvjete.

Ključne riječi: titan, legure titana

ABSTRACT: Titanium metal is silver-grey color and high gloss, the ninth element of the abundance in the Earth's crust, and can be found in meteorites. It has a low electrical conductivity and low coefficient of thermal expansion. Since titanium has a great passivity, its physical property is a high level of corrosion resistance to most mineral acids and chlorides. It has mechanical properties such as steel, has a high melting temperature and is light. Since it is highly resistant to corrosion it is applied in the manufacture of propeller shafts and other ship parts that are exposed to seawater. It is non-toxic, nonmagnetic and antiallergenic, biologically compatible with human tissue and bone, which makes it an ideal material for medical implant products. Titanium, together with metals aluminium, chromium, iron, molybdenum, tin, vanadium, zinc and other, forms various alloys of physical, chemical, structural and specific properties of different hardness, strength, toughness, corrosion-resistance, oxidation and other necessary requirements.

Keywords: titanium, titanium alloys

¹ Veleučilište u Karlovcu, vlatka.biscan@vuka.hr

² vluetice@gmail.com

1. UVOD

Materijali na bazi titana, zahvaljujući izvanrednim svojstvima, posljednjih desetljeća nalaze široku primjenu u različitim granama industrije, uključujući i biomedicinsko inženjerstvo. Svojstva elementarnog titana su visoka temperatura taljenja, mala gustoća, dobra otpornost prema koroziji sve do 500°C, stabilna mehanička svojstva u temperaturnom intervalu od 200°C do 600°C, čvrstoća i krutost slični su čeliku, ali oko 40% manje gustoće od čelika i veće čvrstoće od aluminijske. Treba naglasiti da je njegov osnovni nedostatak nizak modul elastičnosti, stoga se ne može postići veća krutost konstrukcije. Titanove legure odlikuju se malom gustoćom i visokom otpornošću na koroziju. Postojane su na visokim temperaturama, imaju visoka mehanička svojstva s prediknom čvrstoćom i do 1600 MPa. Posjeduju mali koeficijent širenja i mogu se primijeniti za komponente koje su izložene temperaturnim promjenama.

Posljednjih desetljeća počinje industrijska proizvodnja i učestalija upotreba titana i njegovih legura u više područja ljudskih djelatnosti. Primjenu nalazi u svemirskoj industriji, zrakoplovstvu, kemijskoj industriji, medicini, arhitekturi, naftnim platformama u moru, automobilskoj industriji te drugim područjima. Iako je izvanredan metal, proizvodnja titana i njegovih legura iziskuje dosta sredstava stoga se još uvijek smatra povlasticom. Upotrebom titanskih materijala čovjek je unaprijedio kvalitetu svojih proizvoda i osigurao put modernom tehnološkom razvoju.

2. TITAN U POVIJESTI

Grčka riječ *titanos* znači bijela zemlja, prema kojoj su dobili ime sinovi Geje i Urana, bogova iz grčke mitologije. Titani su bili bijeli ljudi koji su vladali tijekom legendarnog zlatnog doba, a po njima je kemijski element dobio svoje ime. Prvi je mineral titana otkrio svećenik William Gregor 1791. godine u zabačenom selu Cornwallu na jugozapadu Engleske. Pažnju mu je privukao crni pijesak na obali kojeg je privlačio magnet. Analizirao ga je i zaključio da se sastoji od dvije komponente, dva metalna oksida. Jedan je bio željezni oksid koji je pokazivao magnetna svojstva, dok drugi nije. Shvatio je da se radi o novootkrivenom metalu koji se prvotno nazivao po njemu gregorit. Neovisno o tom otkriću, četiri godine kasnije, 1795. godine, znameniti njemački znanstvenik Martin Heinrich Klaproth, otkrio je isti element i dao mu ime titan, koje se koristi i danas.

Ni Gregor niti Klaproth nisu doživjeli da vide čisti metal, jer titan nije moguće izdvojiti iz njegove oksidne rude zagrijavanjem s ugljenom. Postupkom zagrijavanja ukloni se kisik, a titan daljim zagrijavanjem na sebe veže ugljik, nastaje novi spoj titanov karbid. Godine 1910. djelatnik u tvrtki General Electric, SAD, dobio je čisti titan (99,8%) zagrijavanjem titanova tetraklorida i metalnog natrija pod visokim tlakom u zatvorenoj posudi. Čisti je titan u drugoj polovici 20. stoljeća našao primjenu³, zbog

³ Filetin i ostali: **Svojstva i primjena materijala**, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2002.

nekorozivnih svojstava, male mase i velike čvrstoće, lake obrade i zadržavanja svojstava pri visokim temperaturama.

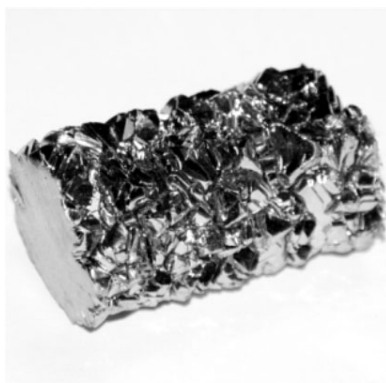
3. NALAZIŠTA TITANA

Prosječni je maseni udio titana u litosferi 0,57% i nalazi ga se u vulkanskim stijevama i njihovim sedimentima. Najviše titana nalazi u ilmenitu (FeTiO_3) i rutilu (TiO_2), a prisutan je u pijesku vulkanskog porijekla. Naročito je raširen u rudama koje sadrže željezo, osobito u tzv. titanskom željezu, ilmenitu, tehnički najvažnijem mineralu titana. Osim u ilmenitu titan u prirodi postoji kao titanit ($[\text{CaTi}(\text{SiO})_4]\text{O}$), perovskit ($[\text{CaTiO}_3]$) i kao titanov dioksid (TiO_2) u tri različita kristalna oblika (rutil, brukit i anatas). Glavna ruda, ilmenit, kopa se iz golemih naslaga sedimentnih i magmatskih stijena u Norveškoj, Ukrajini, Kanadi i Zapadnoj Australiji. Svjetska proizvodnja godišnje iznosi oko 99000 tona metalnog titana i 4,3 milijuna tona titanovog dioksida⁴. Ilmenit i rutil čine oko 24% Zemljine kore što titan čini devetim elementom po redu od zastupljenih elemenata na planetu. Zalihe titana iznose preko 600 milijuna tona. Titanov dioksid i titanati su najstabilniji od svih komponenti tla i vrlo su otporni na ispiranje⁵.

4. KEMIJSKA I FIZIKALNA SVOJSTVA TITANA

Titan je kemijski element, simbol Ti, u atomskog broja 22, atomske mase 47,867 i relativne gustoće 4506 kg/m^3 . Pripada skupini prijelaznih metala za koje je karakteristično više valentnih stanja, tako da titan ima različite valencije koje se javljaju u dvo-, tro- i tetra-valentnom stanju. U literaturi se spominju oblici od više tetravalentnog stanja ali nikad nisu dokazani. U prirodnoj izotopnoj smjesi titan ima pet stabilnih izotopa, a poznati su i nestabilni radioaktivni izotopi.

Slika 1. Kristal titana dobiven van Arkel - de Boer postupkom



Izvor: Images of Elements, www.images-of-elements.com/titanium (10.05.2012.)

⁴ Emsley J.: **Vodič kroz elemente**, Izvori, Zagreb 2005, str. 391-396.

⁵ **Tehnička enciklopedija**, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1997., str. 90-91.

Titan je srebrnastobijeli metal, nemagnetskih svojstava i vrlo važan tehnički materijal. U hladnom je stanju krhak i može se pretvoriti u prah, a ugrijan do užarenosti je kovak i lako se izvlači u žicu. Važan je tehnički materijal i upotrebljava se u konstrukcijske svrhe, jer posjeduje svojstva nehrđajućeg čelika, veliku mehaničku čvrstoću, dobru žilavost i odličnu korozivnu postojanost. Titan nije dobar vodič topline i elektricneta. Ima vodljivost daleko manju od bakra, čvrst je kao čelik, a gustoća mu je upola manja nego kod čelika, dok mu je čvrstoća dva puta veća od čvrstoće aluminijsa⁶.

U nezagrijanom stanju titan ne reagira s anorganskim kiselinama i vrućim lužinama, ali se pri povišenoj temperaturi otapa u koncentriranoj fluoridnoj, klorovodičnoj, sumpornoj i fosfornoj kiselini. Korozivno djelovanje sumporne kiseline najjače je pri njezinom udjelu od 80%. Pri povišenoj temperaturi titan će reagirati s četiri organske kiseline: mravljom, oksalnom, trikloroocetnom i trifluoroocetnom kiselinom.

Njegovo kemijsko ponašanje pokazuje mnoge sličnosti sa silicijem i cirkonijem. U vodenim otopinama, osobito u nižim oksidacijskim stanja ima sličnosti s otopinama kroma i vanadija. Čisti titan nije topljiv u vodi, ali je topljiv u koncentriranim kiselinama⁷.

Titan, cirkonij i hafnij pripadaju četvrtoj skupini prijelaznih elemenata. Cirkonij i hafnij pokazuju veću međusobnu sličnost u odnosu na titan. Zajednička elektronska konfiguracija im je $(n-1)d^2ns^2$ s dva nesparena elektrona u odgovarajućim d-orbitalama. Tališta i vrelišta ovih elemenata rastu u skupini prema dolje što je u skladu s jakošću veze između atoma u elementarnom stanju. Prva energija ionizacije kod sva tri elementa je prilično niska, međutim velike vrijednosti za četvrtu energiju ionizacije, zajedno s ostalim energijama, pokazuju da se realno ne može očekivati postojanje iona s četiri pozitivna naboja i ne postoje ni kod jednog od ovih elemenata niti u čvrstom agregatnom stanju, niti u vodenim otopinama. Prema standardnim redoks-potencijalima pretpostavilo bi se da su ovi elementi jako reaktivni. Međutim, ovi elementi, osobito titan, lako prelaze u pasivno stanje i otporni su prema raznim korozivskim utjecajima⁸.

Titan je zbog svojih mehaničkih i kemijskih svojstava često nazivan „metalom budućnosti“. U odnosu na ostale uobičajene konstrukcijske materijale je skup metal. Neplemenit je metal s elektrodnim potencijalom: $E(\text{Ti}/\text{Ti}^{2+}) = -1,750\text{V}$. Vrlo je otporan u sredinama u kojima se može stvoriti pasivni film, a za to su dovoljna i slaba oksidacijska sredstva. Nestabilan je u sredinama koje otapaju oksidacijski sloj. Titan vrlo lako elektrokemijski pasivira što dolazi do izražaja u njegovoj odličnoj korozivskoj otpornosti na uvjete u atmosferi, slatkoj i slanoj vodi, otopinama soli i razrijeđenim otopinama kiselina i lužina. Koncentrirana klorovodična i sumporna kiselina dovode do stvaranja točkaste korozije na površini titana. Potencijal pasiviranja titana je već kod $E = -0,4\text{ V}$, tako da se pasivnost postiže već vrlo slabim oksidacijskim sredstvi-

⁶ Emsley J.: **Vodič kroz elemente**, Izvori, Zagreb 2005, str. 391-396.

⁷ **Tehnička enciklopedija**, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1997., str. 90-91.

⁸ Filipović I., Lipanović S.: **Opća i anorganska kemija**, Školska knjiga, Zagreb, 1995.

ma. Zbog male gustoće titana proizlazi velik omjer mehaničke otpornosti i mase, a razlog tome je primjena u zrakoplovstvu i raketnoj industriji⁹.

Titan i njegove legure su vlačne čvrstoće od 250 do 700 N/mm², vrijednosti su ekvivalentne za one čvrstoće koje se nalaze u većini legura čelika. Titan ima visoku temperaturu taljenja 1670°C, a to je oko 400°C iznad točke taljenja čelika. Ima nizak koeficijent linearnog širenja. Metalni titan podnosi sve ekstremne uvjete zahvaljujući sloju titanova oksida koji se trenutno stvori na površini metala. Debljina sloja u početnoj fazi je 1 do 2 nm, ali nakon četiri godine može porasti i do 25 nm¹⁰. Fizička i mehanička svojstva titana prikazana su u Tablici 1.

Tablica 1. Fizikalna i mehanička svojstva titana

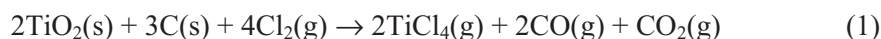
gustoća	kg/m ³	4500
talište	°C	1670
modul elastičnosti	N/mm ²	110000
toplinska rastezljivost	10 ⁻⁶ /K	9
vlačna čvrstoća*	N/mm ²	250...700
istezljivost*	%	> 10

* ovisno o stanju obrade i udjelu nečistoća

Izvor: Filetin i ostali: Svojstva i primjena materijala, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, 2002., str. 157.

5. POSTUPCI DOBIVANJA TITANA

Danas se za izdvajanje čistog titana koristi titanov(IV) klorid, (TiCl₄) koji se reducira do metala zagrijavanjem s metalnim magnezijem pri visokoj temperaturi (1300°C). Kao sirovina upotrebljava se rutil ili ilmenit koji se zagrijava s ugljikom do 900°C u struji klora, pri čemu nastaje titanov(IV) klorid:



Plinoviti se TiCl₄ odvaja od smjese CO i CO₂ hlađenjem i ukapljavanjem. Po potrebi pročišćava se frakcijskom destilacijom. Pročišćeni se TiCl₄ pri temperaturi 800 °C ili atmosferi argona reducira rastaljenim magnezijem u elementarni titan:



Ohlađena smjesa izvadi se iz reaktora, a magnezij i magnezijev(II) klorid odvoje se od titana otapanjem u razrijeđenim kiselinama ili destilacijom u vakuumu. Redukcija TiCl₄ može se izvršiti i pomoću rastaljenog natrija:



⁹ Stupnišek-Lisac E.: **Korozija i zaštita konstrukcijskih materijala**, FKIT, 2007.

¹⁰ Filetin i ostali: **Svojstva i primjena materijala**, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2002.

Također je moguće dobiti metal u obliku praha zagrijavanjem titanovog dioksida s kalcijevim hidridom:



Čisti titan može se dobiti i termičkim raspadom para titanovog(IV) jodida:



U tu svrhu primjenjuje se van Arkel - de Boer postupak. Smjesa titanova praha i joda se zagrijava na 500°C u vakumiranoj posudi sličnoj volframovoj žarulji, pri čemu nastaje titanov(IV) jodid koji hlapi i raspada se na tankoj volframovoj žici u obliku štapa. Oslobođeni jod s titanovim prahom nadalje ponovo stvara titanov(IV) jodid¹¹.

Žilavi titanovi materijali teško su obradivi odvajanjem čestica i zahtijevaju veće sile rezanja nego čelik. Posebno su teško obradive β -legure titana. Kod velikih brzina rezanja javlja se opasnost od zapaljenja strugotine. Zavarivanje je sljedeći korak kojim se općenito povisuje tvrdoća i čvrstoća, a smanjuje žilavost. Zavarivanje se strogo kontrolira da bi se izbjeglo vezanje kisika, vodika i dušika, koji može dovesti do stvaranja krhkih faza. Zavareni dio mora ostati pod zaštitom sve do potpunog hlađenja. Kvaliteta zavara kontrolira se mjerenjem tvrdoće, jer svako povećanje udjela kisika ili dušika uzrokuje porast tvrdoće.

Postupak difuzijskog titaniranja ovisi o sastavu plinske smjese, a može se postići na površini čeličnih predmeta zone spojeva od titanovih karbida i titanovih nitrida. Karbotitaniranje se provodi ako se preko obrađivanog predmeta pusti struja smjese titanova(IV) klorida, TiCl_4 , razrijeđena vodikom i metanom pri temperaturi od 980 do 1050°C u vremenskom trajanju od 2 sata. Dobiveni titanov(IV) ugljik, TiC, relativno je krhak i vrlo otporan na abrazijsko i adhezijsko trošenje. Postupak je našao primjenu pri izradi matrica za duboko izvlačenje, alata za savijanje lima, za prešanje polimera, u površinskoj obradi tvrdih metala itd. Kod postupka nitrotitaniranja zona spojeva sastoji se od titanovih nitrida. Postupak se provodi u struji titanova(IV) klorida, TiCl_4 , razrijeđenoj s vodikom i dušikom pri temperaturi od 900 do 1051°C. Dobiveni spojevi titanova(IV) nitrida, TiN, debljine do 15 μm su mekši od karbida, ali znatno duktilniji¹².

5.1. Tehnički titan

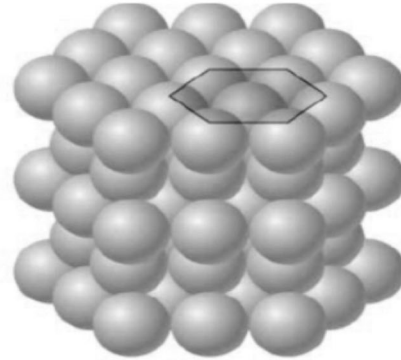
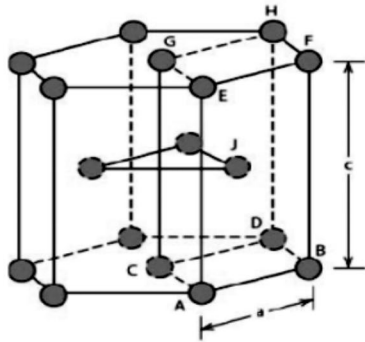
Titan je polimorfan metal koji se javlja u dvije alotropske modifikacije: alfa (α) i beta (β) titan. α -titan na sobnoj temperaturi ima gusto sleganu heksagonsku prostornu rešetku, koja na temperaturi višoj od 885°C prelazi u kubičnu prostornu centriranu rešetku, β -titana koju zadržava do točke tališta (v. Slika 2).

¹¹ Filipović I., Lipanović S.: **Opća i anorganska kemija**, Školska knjiga, Zagreb, 1995.

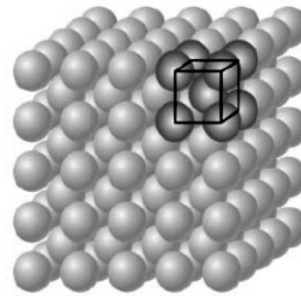
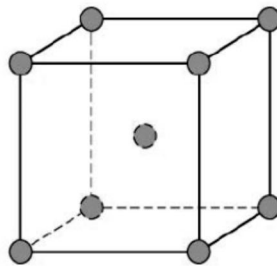
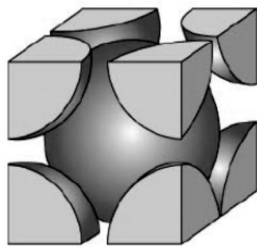
¹² Gojčić M.: **Površinska obrada materijala**, Metalurški fakultet, Zagreb, 2010.

Slika 2. Prikaz alotropskih modifikacija titana

Heksagonska prostorna rešetka



Prostorno centrirana kubična rešetka



Izvor: Tomić, M: Kristalne strukture, seminar iz Mehanike materijala, Tehnički fakultet, Rijeka, 2011.,
preuzeto sa: www.riteh.uniri.hr

Tehnički čist titan sadrži između 98,9% i 99,5% titana, a ostatak čine nečistoće (kisik, željezo, dušik i drugi). Ima vrlo visok afinitet za spajanje s kisikom i dušikom i absorpcija tih elemenata čak i u malim količinama uvjetuje lomljivost metala. Pri toplinskoj obradi ili obradi deformiranjem na zraku potrebno je voditi računa da temperatura žarenja ne prijeđe 950°C, jer iznad te temperature titan djeluje kao upijajući papir navedenih elemenata. Zaštita materijala postiže se i namjernim oksidiranjem površine koja ne smije prijeći dopuštenu mjeru. Pošto se titan intenzivno lijepi na alat kojim se obrađuje, površina se namjerno oksidira ili prevlači nekim drugim metalom koji se odstranjuje nakon obrade kemijskim putem ili obradom odvajanja čestica. Za sitnije dijelove metala koji se moraju toplinski obrađivati koristi se vakuum ili atmosfera nekog inertnog plina¹³.

¹³ Filetin i ostali: **Svojstva i primjena materijala**, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2002.

5.2. Legure titana

Legure titana su metalni materijali koji sadrže titan pomiješan s drugim metalima u manjoj količini, a najčešće su to: paladij (Pd), vanadij (V), aluminiј (Al), kositar (Sn), nikal (Ni), molibden (Mo) i željezo (Fe). Ovi metali dodatno poboljšavaju svojstva čistog titana, čineći ga još otpornijim na koroziju, lakšim za kovanje i obradu, stabilnijim i otpornijim na visoke temperature. Visoka točka tališta uvjetuje značajnu otpornost na pojavu puzanja. Odlična korozivska otpornost postojana je u različitim agresivnim medijima zahvaljujući vrlo stabilnoj oksidnoj prevlaci koja se formira na površini materijala. Ukoliko dođe do oštećenja oksidnog sloja, on se iznova obnavlja.

Karakteristika titanskih materijala reverzibilna je transformacija kristalne strukture iz α -faze (heksagonska prostorna rešetka) u β -fazu (kubično centrirana prostorna rešetka), kada se prekorače određene temperaturne granice. Alotropna modifikacija koja ovisi o sadržaju i tipu legiranih elemenata, omogućava kompleksne varijacije u mikrostrukturi i raznolike mogućnosti ojačavanja.

Legure titana dijele se prema mikrostrukturi koja je stabilna na sobnoj temperaturi. Postoje α -, β -, i ($\alpha+\beta$)- legure. Stabilizatori (legirni elementi) α -faze su: ugljik, kisik, dušik, aluminiј i kositar. Aluminiј djeluje tako što pomiče prekrizalizaciju prema višim temperaturama i stabilizira α -fazu. β -stabilizatori, a to su: krom, nikal, molibden, željezo, tantal i vanadij, snižavaju temperaturu prekrizalizacije prema nižim temperaturama i stabiliziraju β -fazu. Dvofazne ($\alpha+\beta$)- legure predstavljaju kompromis između monofaznih α - i β -legura.

Glavna obilježja α -legura su: zavarljivost, žilavost, čvrstoća i stabilnost pri povišenim temperaturama. Sadrže aluminiј, kositar i cirkonij i preferiraju se za upotrebu na višim temperaturama od 375°C do 550°C. Manje su osjetljive na djelovanje kisika, ugljika i dušika koji uzrokuju krhkost. Otpornost na koroziju i oksidaciju jednaka im je kao i β - i ($\alpha+\beta$)- legurama. Najčešća α -legura je TiAl5Sn2,5 koja se koristi u kovanom i lijevanom stanju, uglavnom za dijelove zrakoplova i svemirskih letjelica.

Sposobnost hladnog oblikovanja deformiranjem glavna je prednost β -legura. Za razliku od α -legura, β -legure mogu postići visoku čvrstoću toplinskom obradom, osobito u hladno očvrnutom stanju. Imaju veliku duktilnost, visoki omjer čvrstoća/gustoća na sobnoj temperaturi te su zavarljive. Dodatkom kroma i vanadija, teških metala velike gustoće, povećava se gustoća β -legure i postaje stabilnija na sobnoj temperaturi. ($\alpha+\beta$)- legure predstavljaju glavni dio proizvodnje titanovih legura. Mikrostruktura tih legura toplinskom se obradom može mijenjati tako da se ostvare željena svojstva. Najvažnija ($\alpha+\beta$)-legura je TiAl16V4 i koristi se u jednakoj količini kao svi ostali titanski materijali¹⁴.

¹⁴ Čorić D., Filetin T.: *Materijali u zrakoplovstvu*, Interna skripta, FSB, Zagreb, šk. god. 2010./2011.

6. PRIMJENA TITANSKIH MATERIJALA

Zahvaljujući iznimnim svojstvima koja posjeduju, ovi se materijali danas rabe u izradi primarnih konstrukcijskih elemenata. Najviše se koriste u zrakoplovnoj industriji za izradu lopatica kompresora i dijelove mlaznih motora, glavina, kućišta i drugih visokopterećenih dijelova. Primjerice, kod Boeinga 777, ovi su materijali zastupljeni s oko 10% mase zrakoplovne konstrukcije. Zrakoplov Blackbird bio je prvi avion u cijelosti načinjen od titanovih legura. Osim toga titanove se legure upotrebljavaju za izradu projektila i satelita u svemirskoj industriji. Zbog otpornosti na djelovanje morske vode, sve se više primjenjuju u brodogradnji, prvenstveno za vojne brodove i podmornice. Osim navedenog, koriste se u nekim drugim industrijama gdje dolaze do izražaja njegova otpornost na koroziju i visoke temperature, a to su tekstilna i kemijska industrija kao i proizvodnja papira.

Odlična mehanička svojstva i biološka inertnost titana i njegovih legura u odnosu na živi organizam, uz dobru korozijsku postojanost, omogućila su njihovu primjenu kao biomaterijal za implantate u medicini. Biometalni materijali ili biokompatibilni metalni materijali su definirani materijali koji se primjenjuju u kontaktu sa stanicama, tkivima ili tjelesnim tekućinama ljudskog organizma. Primjenjuju se kao nadogradnja ili zamjena strukturnih dijelova ljudskog organizma. Zbog odgovarajućih mehaničkih karakteristika i izvrsne elektroprovodnosti, biokompatibilni materijali primjenjuju se za izradu medicinskih implanata poput umjetnih zglobova, umjetnog srca, spojnice, fiksiranih pločica, žica, stentova, pacemaker elektroda i drugih potrebitih pomagala. Legure titana, kobalt-krom legure i nehrđajući čelici su materijali najčešće rabljeni u te svrhe. Zbog njihove čvrstoće, otpornosti na koroziju, netoksičnosti, izdržljivosti, čvrstoći i žilavosti, ovi materijali imaju i neke nedostatke kao što su krutost veća od krutosti kojom se odlikuje ljudska kost, velika specifična težina materijala i nepropusnost rendgenskih zraka. Činjenica je da se prije usađivanja titanskih dijelova u tijelo isti stavljaju u luk plazme visoke temperature koji odstrani površinski sloj atoma i oksidacijom metala istaloži novi sloj. Upravo taj oksidni sloj je mjesto vezivanja tkiva¹⁵.

Titan je jedinstven i učinkovit materijal za zubne nadomjestke, posebno krunice i mostove koje štiti od agresivnih tjelesnih tekućina i ne izaziva alergijske reakcije. Nakit, okviri naočala, satovi i drugi estetski dodaci sve se više izrađuju od titanovih materijala. Zahvaljujući svojoj masi koja je manja od čelika i čvrstoći, svoju upotrebu pronalaze i u sportskoj opremi, osobito u alpinističkoj i speleološkoj.

Primjena titana u obliku titanovog dioksida (TiO₂) mnogo je raširenija, upotrebljava se kao najkvalitetniji bijeli pigment. Koristi se u proizvodnji boja, plastike, papira, vlakana, keramike, lakova, laminata, prehrambenih i tiskarskih boja. Kreme sa

¹⁵ Lütjering G. i Williams J.: **Titanium** (Engineering Materials and Processes), Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 2010.

titanovim dioksidom upotrebljavaju se za zaštitu kože od štetnog ultraljubičastog zračenja.

Titan nema poznatu biološku ulogu, ali ga u ljudskom tijelu ima u zamjetljivoj količini, a smatra se da čovjek unosi dnevno u organizam oko 0,80 mg, od čega veći dio prođe neapsorbiran. Titan nije toksičan metal i ljudsko ga tijelo može podnijeti u velikim količinama. Ukupna količina titana u ljudskom tijelu iznosi oko 700 mg. Biljke ga sadržavaju u količini od 2 ppm (suhe tvari), dok ga kopriva i preslica imaju čak i do 80 ppm¹⁶.

7. ZAKLJUČAK

Istraživanja titana i rudarstvo provodi se u cijelom svijetu. Titan i njegove legure svoju komercijalnu primjenu mogu zahvaliti nizu odličnih svojstava: visokoj čvrstoći, dobroj žilavosti, niskoj gustoći (maloj masi) te odličnoj korozivnoj postojanosti pri niskim i povišenim temperaturama. Zahvaljujući ovim svojstvima titanovi se materijali uglavnom koriste u zrakoplovnoj industriji i proizvodnji različitih projektila gdje predstavljaju tehnički superiorniji i isplativiji konstrukcijski materijal od čelika i niklovih legura. Visoka čvrstoća pri niskoj gustoći omogućila je uporabu titanovih materijala u izradi mehanički i toplinski opterećenih zrakoplovnih dijelova koji istovremeno moraju biti i što manje mase. Jedna od prvih primjena zabilježena je u svemirskim brodovima Apollo i Mercury nakon čega se nastavlja za potrebe vojnog zrakoplovstva i u programima američke svemirske agencije NASA. Danas se ove legure uspješno koriste i u civilnom zrakoplovstvu gdje zahvaljujući svojim povoljnim svojstvima uspješno doprinose reduciranju mase zrakoplovne konstrukcije.

Titan i njegove legure su nemagnetične i vrlo dobro provode toplinu. Titanovi su materijali ujedno i odlične korozivne otpornosti. Oksidni sloj nositelj je otpornosti na koroziju. Ukoliko dođe do oštećenja zaštitnog sloja on se iznova obnavlja. Ove karakteristike titanovih materijala bile su uvjet njihove primjene u brodogradnji.

Titanovi materijali ne smiju se izlagati temperaturama višim od 950 °C radi velikog afiniteta titana prema kisiku, vodik, dušiku i ugljiku. Pri toplinskoj obradi ili obradi deformiranjem na zraku površina metala prekriva se oksidnom prevlakom koju je potrebno mehanički ukloniti obradom odvajanjem čestica. Sitni dijelovi se, stoga, toplinski obrađuju u vakuumu ili zaštitnoj atmosferi inertnog plina.

Titanove legure su vrlo čvrste, imaju malu gustoću, otporne su na koroziju i kompatibilne su s novim kompozitnim materijalima. Nedostatak je njihova uvijek visoka cijena, deset do dvadeset puta viša u odnosu na ostale njima slične materijale.

¹⁶ Emsley J.: **Vodič kroz elemente**, Izvori, Zagreb 2005.

Literatura

1. Cvijović-Alagić I., Rakin M.: **Integritet biomedicinskih implanta od legura titana** (prvi deo), Integritet i vek konstrukcija, Beograd, Vol. 8, br. 1, 2008.
2. Čorić D., Filetin T.: **Materijali u zrakoplovstvu**, Interna skripta, FSB, Zagreb, šk. god. 2010./2011.
3. Emsley J.: **Vodič kroz elemente**, Izvori, Zagreb 2005.
4. Filetin i ostali: **Svojstva i primjena materijala**, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, 2002.
5. Filipović I., Lipanović S.: **Opća i anorganska kemija**, Školska knjiga, Zagreb, 1995.
6. Gojić M.: **Površinska obrada materijala**, Metalurški fakultet, Zagreb, 2010.
7. **Images of Elements**, www.images-of-elements.com/titanium (10.05.2012.)
8. Lütjering G. i Williams J.: **Titanium** (Engineering Materials and Processes), Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 2010.
9. Stupnišek-Lisac E.: **Korozija i zaštita konstrukcijskih materijala**, FKIT, 2007.
10. **Tehnička enciklopedija**, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1997.
11. Tomić, M.: **Kristalne strukture**, seminar iz Mehanike materijala, Tehnički fakultet, Rijeka, 2011., preuzeto sa: www.riteh.uniri.hr, (10.5.2012.)