

# Proizvodnja i kontrola kvalitete veterinarskog implantata izrađenog iz titanijeve legure

---

Zadavec, Lara

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:145169>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-09**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



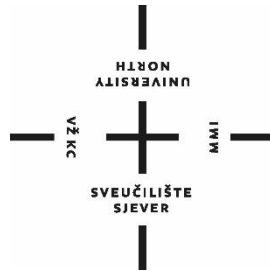
DIPLOMSKI RAD br. 082/STR/2023

**PROIZVODNJA I KONTROLA KVALITETE**  
**VETERINARSKOG IMPLANTATA IZRAĐENOG IZ**  
**TITANIJEVE LEGURE**

Lara Zadravec

Varaždin, ožujak 2023.

**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**  
**Studij Proizvodno strojarstvo**



DIPLOMSKI RAD br. 082/STR/2023

**PROIZVODNJA I KONTROLA KVALITETE**  
**VETERINARSKOG IMPLANTATA IZRAĐENOG IZ**  
**TITANIJEVE LEGURE**

Student:

Lara Zadavec, 0313008781

Mentor:

dr. sc. Matija Bušić

Varaždin, ožujak 2023.

*Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.*

*Zahvaljujem se mentoru dr. sc. Matiji Bušiću na pruženoj prilici, strpljenju, pomoći i savjetima prilikom izrade diplomskog rada.*

*Zahvaljujem se tvrtci Eonex d.o.o. i kolegama na ukazanom povjerenju, za preneseno znanje i pristupu informacijama potrebnim za izradu samog rada.*

*Posebno se zahvaljujem svojim roditeljima Srećku i Meliti i mužu Filipu za bezuvjetnu moralnu podršku, za svaku riječ ohrabrenja te što su bili uz mene uvijek i u svakom trenutku.*

*Lara Zadravec*

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Strojarstvo

PRISTUPNIK Lara Zdravec

IMBAG 0313008781

DATUM 20.2.2023.

KOLEGIJ Suvremene proizvodne tehnologije

NASLOV RADA Proizvodnja i kontrola kvalitete veterinarskog implantata izrađenog iz titanijeve legure

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Production and quality control of veterinary implant made from titanium alloy

MENTOR dr. sc. Matija Bušić

ZVANJE docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. doc dr. sc. Jasna Leder Horina, predsjednica povjerenstva
2. doc. dr. sc. Matija Bušić, mentor, član povjerenstva
3. doc. dr. sc. Zlatko Botak, član povjerenstva
4. doc. dr. sc. Tomislav Veliki, zamjenski član
- 5.

## Zadatak diplomskog rada

BROJ 082/STR/2023

OPIS

U teoretskom dijelu diplomskog rada na osnovi podataka iz literature potrebno je opisati veterinarski implantat koji se obrađuje u radu te materijal, titanijevu leguru, iz koje se implantat izrađuje. Potrebno je definirati i vrednovati sve tehničke zahtjeve koje konačni proizvod mora ispuniti. Potrebno je preporučiti i opisati sve tehnološke procese, strojeve, stezne i rezne alate koji će se koristiti u izradi navedenog implantata.

U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je predložiti tehnološke procese potrebne za izradu sa redosljedom operacija. Potrebno je definirati potrebne parametre za obradu i rezne alate koji će se koristiti u proizvodnji. Posebno detaljno obraditi višeosnu obradu odvajanjem čestica na 5D CNC glodačem obradnom centru. Predložiti potrebnu završnu obradu površine nakon obrade odvajanjem čestica. Potrebno je predložiti i provesti postupke kontrole dimenzija i kontrole kvalitete na konačnom proizvodu. Analizirati rezultate mjerenja prema dopuštenim odstupanjima navedenim u tehničkim zahtjevima proizvoda. Prema izmjerenim vrijednostima dimenzija donijeti zaključak o prihvatljivosti proizvoda i razlozima postojanja odstupanja u izmjerenim vrijednostima. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

ZADATAK URUČEN

21.02.2023.



## **Sažetak**

U ovom diplomskom radu opisan je proces obrade odabrane medicinske pločice po svim procesima. Medicinska pločica primjenjuje se u veterini i ugrađuje se u tijelo životinja. U uvodnom dijelu opisan je materijal titan i njegove legure od kojeg se medicinska pločica izrađuje, opisana je mikrostruktura materijala i primjena materijala. U nastavku su detaljno prikazani svi proizvodni procesi izabranog implantata od isporuke materijala u skladište potrebnog za samu izradu, strojne obrade, završne obrade, kontrole kvalitete, pakiranje gotovog proizvoda te isporuka. Prikazana su stezanja proizvoda, specifikacije i alati kojima se obrađuje, glavne značajke obradnog centra HAAS VF-2SSYT, laser Trumark Station 7000, oprema za kontrolu proizvoda te postupci završne obrade, matiranje i anodiziranje. U eksperimentalnom dijelu prikazan je postupak i rezultati početnog odobrenja proizvoda, završne kontrole i vizualne završne kontrole proizvoda.

Ključne riječi: medicinska pločica, titan i njegove legure, proizvodni proces

## **SUMMARY**

This thesis describes the process of processing the selected medical plate by all processes. The medical plate is used in veterinary medicine and is implanted in the animal's body. In the introductory part, the material titanium and its alloys, from which the medical plate is made, is described, the microstructure of the material and the application of the material are described. All the production processes of the selected implant are presented in detail below, from the delivery of materials to the warehouse necessary for the production itself, machining, finishing, quality control, packaging of the finished product and delivery. Product clamps, specifications and machining tools, main features of HAAS VF-2SSYT machining center, Trumark Station 7000 laser, product control equipment and finishing processes, matting and anodizing are shown. In the experimental part, the procedure and results of initial product approval, final control and visual final control of the product are presented.

Key words: medical plate, titanium and its alloys, production process

## Popis korištenih kratica

NC	Numeričko upravljanje
CNC	Računalno numeričko upravljanje
CAD	Računalom podržano konstruiranje
CAM	Computer Aided Manufacturing
3D	3 dimenzijski prikaz
X, Y, Z	Translacijske osi
A, B, C	Rotacijske osi
AIA	Automatska izmjena alata
SHIP	Sredstva za hlađenje i podmazivanje
Xs	Radna dužina
Ls	Dužina oštrice
IK	Unutarne hlađenje
WD	Termoprihvati
SZ	Stezna čahura



# Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Općenito o titanu.....	2
2.1.	Kemijska i fizikalna svojstva titana .....	2
2.2.	Postupci dobivanja titana .....	4
2.3.	Obrada i primjena u prevlačenju površina .....	5
2.4.	Tehnički titan.....	6
2.5.	Primjena materijala .....	7
2.6.	Legure titana.....	10
2.7.	Biokompatibilnost .....	14
3.	Postupci proizvodnog procesa odabrane medicinske pločice .....	16
3.1.	Priprema rada proizvodnje .....	16
3.2.	Ulazno skladište i kontrola materijala .....	17
3.3.	Strojna obrada .....	18
3.4.	Kugličarenje .....	25
3.5.	Kontrola kvalitete .....	26
3.6.	Anodiziranje .....	27
3.7.	Lasersko označavanje.....	31
3.8.	Kratkotrajno pasiviranje .....	34
3.9.	Pakiranje i isporuka .....	34
4.	EKSPERIMENTALNI DIO .....	37
4.1.	Početna kontrola proizvoda .....	37
4.2.	Završna kontrola.....	40
4.3.	Završna vizualna kontrola .....	42
4.4.	Kontrola dimenzija 3D skenerom .....	42
5.	Zaključak.....	47
6.	Literatura.....	48
	POPIS SLIKA .....	49
	POPIS TABLICA .....	51

---

## 1. Uvod

U današnje vrijeme, u svijetu je sve bitnija primjena i razvijanje novih materijala te se od njih zahtijevaju što bolja svojstva. Svojstva materijala koja se nastoje dobiti su relativno velika čvrstoća i tvrdoća, otpornost na trošenje, odlična korozijska postojanost i povoljna žilavost te se iz toga razvijaju nove tehnologije. Materijali se obrađuju raznim tehnologijama poput toplinske obrade, postupkom elektrokemijske zaštite, postupkom prevlačenja, zatim postupcima preoblikovanja kao što je lijevanje. Radi poboljšavanja svojstava legiranjem materijala sa različitim legirnim elementima dobivaju se željene karakteristike materijala. U stvarnosti ipak materijali ne zadovoljavaju sve zahtjeve, tako da je većina podložna trošenju, ali u određenoj mjeri se to trošenje primjenom postupka prevlačenja može smanjiti. Jedan od opasnijih mehanizma trošenja je korozija te se zbog toga nastoje razviti materijali da imaju što veću korozijsku otpornost. Odabir materijala vrlo je bitan u zrakoplovnim industrijama ili medicini. Materijali prolaze različita detaljna ispitivanja zbog utvrđivanja adekvatnosti i da ne bi došlo do nepovoljnih posljedica na ljudski organizam. U medicini se najviše koristi čisti titan i titanove legure zbog svoje biokompatibilnosti, specifičnih karakteristika površine na kojoj se stvara pasivni oksidni sloj te izvrsna mehanička svojstva. Jedan od glavnih problema predstavlja visoka cijena titana, zbog toga što proizlazi iz kompleksnog i skupog procesa proizvodnje [1].

Biokompatibilnost definiramo kao kompatibilnost materijala implantata s živim tkivom, tako da nije toksično, ne izaziva ozljede tkiva ili imunološke reakcije i negativnu fiziološku reaktivnost. Tjelesne su tekućine u normalnim uvjetima 0,9 % - tne otopine soli, a sadrže aminokiseline i proteine. One se sastoje od više različitih vrsta tekućina, kao što su tkivne tekućine, limfe i krv. Također sadrže krute komponente, kao što su lutajuće i krvne stanice. Temperatura je u normalnim uvjetima 37 °C i tlak 1013 MPa, a pH je 7. Navedena biološka okolina ljudskog tijela podložna je koroziji za materijale od metala. Nižim parcijalnim tlakom kisika u ljudskom tijelu se ubrzava korozija kod biokompatibilnih metalnih materijala tako što se obnavljanje pasivni oksidni filmovi na površini smanjuju. Koncentracija aktivnog kisika u ljudskom tijelu se može ekstremno povećati zbog upalnih procesa te time dovode do ubrzane korozije. Budući da ljudi dnevno naprave nekoliko tisuća koraka, ugrađeni umjetni implantati kao što su koljeno, umjetni kuk, pločice za fiksaciju kostiju, fiksatori kralježnice podnose promjenjivo opterećenje [1].

---

## 2. Općenito o titanu

Materijali na bazi titana, zbog svojih izvanrednih svojstava, posljednjih nekoliko desetljeća primjenjuju se kroz različite grane industrija, pa tako i u biomedicinskom inženjerstvu. Svojstva koja posjeduje elementarni titan su mala gustoća, visoka temperatura taljenja, dobra korozijska otpornost do temperature 500 °C, te mehanička svojstva koja su stabilna u temperaturama od 200 °C do 600 °C. Titan ima čvrstoću i krutost sličnu čeliku, ali oko 40 % manju gustoću, ali veću čvrstoću od aluminijskog. Njegov osnovni nedostatak koji treba naglasiti je nizak modul elastičnosti, što znači da se time postiže velika krutost kod konstrukcije. Titanove legure se karakteriziraju malom gustoćom te visokom korozijskom otpornošću jer se na njihovoj površini stvara tanak i vrlo elastičan sloj oksida. Na visokim temperaturama su postojane i imaju visoka mehanička svojstva s prekidnom čvrstoćom koja je i do 1600 MPa. Mali koeficijent širenja kojeg posjeduju može se primijeniti za komponente koje se izlažu promjenama temperature. Kako industrijska proizvodnja sve više napreduje, tako je upotreba titana i njegovih legura učestalija u različitim područjima ljudskih djelatnosti. Stoga se koriste najviše u zrakoplovstvu, zatim u medicini, svemirskoj industriji, kemijskoj industriji, arhitekturi, naftnim platformama u moru i automobilskoj industriji. Iako je upotreba titana ograničena njegovom visokom cijenom, pojavljuju se novi procesi koji će vjerojatno značajno smanjiti troškove, omogućujući širu upotrebu titana i njegovih legura. Čovjek je korištenjem materijala od titana unaprijedio kvalitetu proizvoda i time dobio siguran put do modernog tehnološkog razvoja [2].

### 2.1. Kemijska i fizikalna svojstva titana

Titan je kemijski element, u periodnom sustavu ima simbol Ti, atomski broj 22, atomska masa mu je 47,867 i relativna gustoća 4506 kg/m<sup>3</sup>. Kao element pripada skupini prijelaznih metala koji su karakteristični zbog više valentnih stanja, tako da su različite valencije titana u dvo-, tro- i tetra- valentnom stanju. U literaturi oblici koji su navedeni imaju više tetravalentnog stanja ali to nikad nije dokazano. Titan u prirodnoj izotopnoj smjesi ima pet stabilnih izotopa, a mogu se prepoznati i nestabilni izotopi koji su radioaktivni. Titan je srebrnastobijele metalne boje, čvrst je i sjajan te loš vodič topline i elektriciteta. Kad se ugrije do užarenosti kovak je i lako ga je izvlačiti u žicu, dok je u hladnom stanju postaje krhak i ima mogućnost pretvaranja u prah. Vrlo je bitan tehnički materijal koji se upotrebljava u konstrukcijske svrhe, zbog velike mehaničke čvrstoće, dobre žilavosti i odlične korozijske postojanosti, također ima svojstva slična nehrđajućem čeliku. Vodljivost kod titana je puno manja nego kod bakra, ima manju gustoću i čvrstoću od čelika, dok je čvrstoća aluminijska dva puta manja. U nezagrijanom stanju ne reagira s

vrućim lužinama i anorganskim kiselinama, ali se pri povišenoj temperaturi otapa u određenim kiselinama kao što su koncentrirana fluoridna, klorovodična, sumporna i fosforna kiselina. Isto tako, ima reakcije s četiri organske kiseline: mravljom, trikloroocetnom, oksalnom i trifluoroocetnom kiselinom. Sumporna kiselina ima korozivno djelovanje te je najjače pri njezinom udjelu od 80 %. Mnoge sličnosti ima sa silicijem i cirkonijem zbog njegovog kemijskog ponašanja, ali i sa kromom i vanadijem u vodenim otopinama posebno u nižim oksidacijskim stanjima. U koncentriranim kiselinama je čisti titan topljiv, ali se u vodi ne otapa, slika 1.



*Slika 1. Metalni titan visoke čistoće 99,999% [3]*

Titan je zbog svojih kemijskih i mehaničkih svojstava nazivan „metalom budućnosti“. Ako ga usporedimo sa ostalim konstrukcijskim materijalima, on ima vrlo visoku cijenu. Titan je neplemenit metal, a njegov elektrodni potencijal je  $E(Ti/Ti^{2+}) = -1,750$  V. Pasivan film koji se stvara u sredinama vrlo je otporan, a dovoljna su za to i slaba oksidacijska sredstva. U sredinama koje otapaju njegov oksidacijski sloj je nestabilan. Prednost titana je da se vrlo lako može elektrokemijski pasivirati, a zbog njegove odlične otpornosti na koroziju povećava mu se otpornost na uvjete u slatkoj i slanoj vodi, razrijeđenim otopinama kiselina i lužina i otopinama soli. Na površini titana se zbog koncentrirane klorovodične i sumporna kiseline stvara točkasta korozija. Pasivnost se može postići oksidacijskim sredstvima koji su vrlo slabi, tako da je potencijal pasiviranja titana već kod  $E = -0,4$  V. Razlog primjene u raketnim i zrakoplovnim

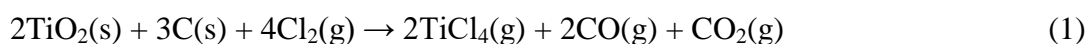
industrijama je mala gustoća, a iz toga se dobiva velik omjer mase i mehaničke otpornosti. Vrijednosti vlačne čvrstoće titana i njegovih legura su od 250 do 700 MPa, a za čvrstoće koje su u većini legura čelika te vrijednosti su ekvivalentne. Temperatura taljenja titana je 1670 °C, a to je oko 400 °C iznad točke taljenja čelika. Koeficijent linearnog širenja mu je nizak. Zahvaljujući stvaranju trenutnog sloja titanova oksida na površini, metalni titan podnosi sve ekstremne uvjete. U početnoj fazi debljina sloja je 1 do 2 nm, ali može porasti nakon četiri godine i do 25 nm. Fizička i mehanička svojstva titana prikazana su u Tablici 1 [2].

Tablica 1. Fizikalna i mehanička svojstva titana [2]

Gustoća	kg/m <sup>3</sup>	4500
Talište	°C	1670
Modul elastičnosti	MPa	110000
Toplinska rastezljivost	10 <sup>-6</sup> /K	9
Vlačna čvrstoća	MPa	250...700
Istezljivost	%	>10

## 2.2. Postupci dobivanja titana

[Za izdvajanje čistog titana danas se koristi titanov (IV) klorid, (TiCl<sub>4</sub>) 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 u struji klora do 900 °C, te pri tome nastaje titanov (IV) klorid:



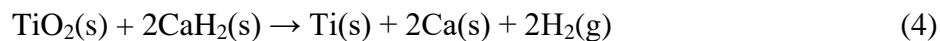
Plinoviti se TiCl<sub>4</sub> odvaja od smjese CO i CO<sub>2</sub> hlađenjem i ukapljavanjem i prema potrebi pročišćava se frakcijskom destilacijom. Pročišćeni se TiCl<sub>4</sub> pri temperaturi 800 °C ili atmosferi argona reducira rastaljenim magnezijem u elementarni titan:



Iz reaktora izvadi se ohlađena smjesa, a otapanjem u razrijeđenim kiselinama ili destilacijom u vakuumu magnezij i magnezijev (II) klorid odvoje se od titana. Redukcija TiCl<sub>4</sub> može se izvršiti i pomoću rastaljenog natrija:



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



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



Postupak koji se primjenjuje u tu svrhu naziva se van Arkel - de Boer postupak, slika 2. Zagrijavanjem smjese titanova praha i joda na 500°C u vakumiranoj posudi sličnoj volframovoj žarulji, 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) jodid] [2].



*Slika 2. Kristal titana dobiven van Arkel – de Boer postupkom [2]*

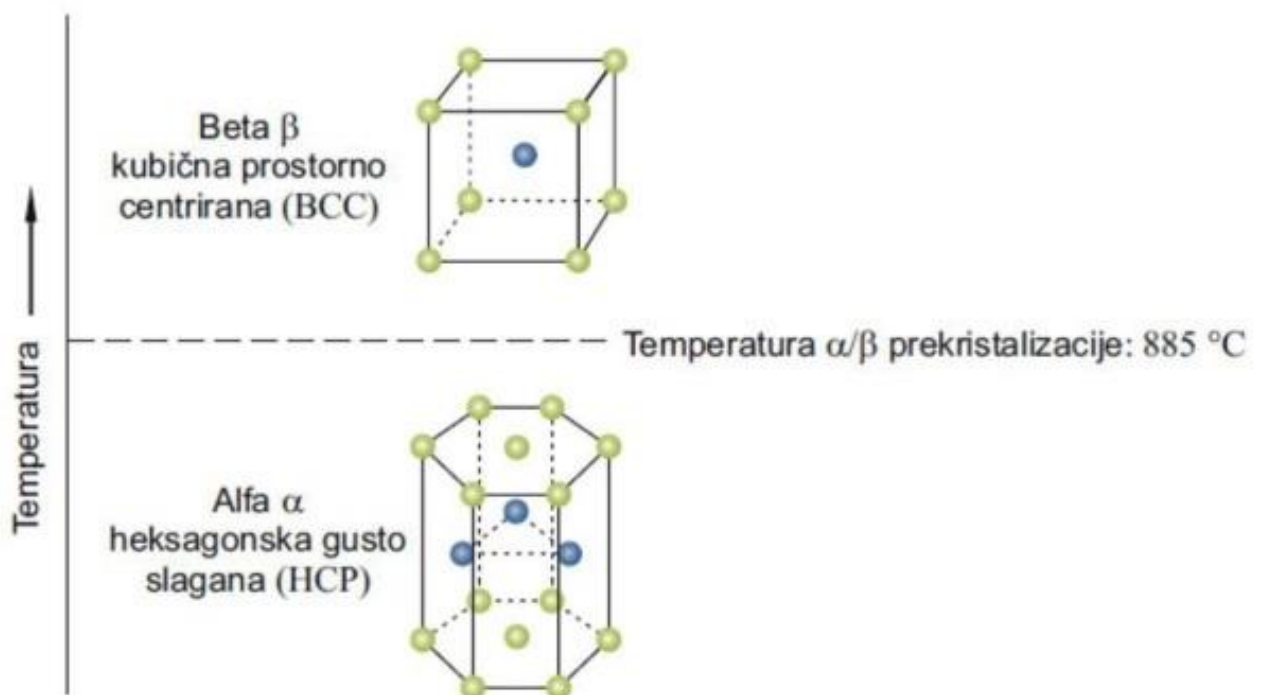
### **2.3. Obrada i primjena u prevlačenju površina**

Titanovi materijali su žilavi zbog čega se teško obrađuju obradom odvajanjem čestica, a za rezanje je potrebna veća sila nego kod čelika. Posebno se teško obrađuju β-legure titana. Za vrijeme velikih brzina rezanja postoji mogućnost opasnosti od zapaljenja strugotine. Sljedeći korak kojim se smanjuje žilavost, a povisuju tvrdoća i čvrstoća je zavarivanje. Provedbom stroge kontrole nad zavarivanjem izbjegava se vezanje tvari poput kisika, vodika i dušika, da ne bi dovelo do stvaranja krhkih faza. Zavareni se dio mora ohladiti te ostaje pod zaštitom. Mjerenjem

tvrdooe kontrolira se kvaliteta zavara, jer tvrdoaa raste svakim poveaanjem udjela kisika ili dušika. Difuzijsko titaniranje ima mogućnost da se postigne na površini predmeta od čelika sa zonom spojeva od titanovih nitrida i titanovih karbida, a ovise o tome koji je sastav plinske smjese. Postupak karbotitraniranja se provodi tako da se kroz obrađeni predmet smjese titanova (IV) klorida i  $TiCl_4$  pusti struja koja se razrijedi vodikom i metanom pri temperaturi od 980 do 1050 °C, a vrijeme trajanja je 2 sata. Dobiveni titanov (IV) ugljik,  $TiC$ , relativno je krhke strukture i ima veliku otpornost na na abrazijsko i adhezijsko trošenje. Postupak se primjenjuje pri izradi matrica za duboko izvlačenje, alata za savijanje lima, u površinskoj obradi tvrdih metala, za prešanje polimera, itd. Postupak nitrotitaniranja provodi se u struji titanova(IV) klorida,  $TiCl_4$ , razrijeđenoj s vodikom i dušikom pri temperaturi od 900 do 1051 °C, a zona spojeva sastoji se od titanovih nitrida. Spojevi koji se dobivaju od titanova (IV) nitrida,  $TiN$ , debljine do 15 em su mekši i znatno duktilniji od karbida [2].

## 2.4. Tehnički titan

Titan je polimorfan metal te na sobnoj temperaturi ima heksagonsku gusto slaganu (HCP) rešetku.  $\alpha$ -titan prelazi na -885 °C u kubičnu prostorno centriranu (BCC) rešetku  $\beta$ -titan, koju zadržava do tališta, slika 3. Zbog heksagonske strukture ograničena je sposobnost hladnog oblikovanja, a ako su potrebni jači stupnjevi deformacije onda je potrebno često međuzarenje [2].



Slika 3. Struktura čistog titana [4]

---

Titan ne smije prijeći 950 °C radi velikog afiniteta titana prema kisiku, vodiku, dušiku i ugljiku, ali na povišenim temperaturama se dobro oblikuje. Kad se titan toplinski obradi ili se obrađuje deformiranjem na zraku, metal na površini dobiva oksidnu prevlaku koja mora ostati u dozvoljenim mjerama. Površina se namjerno oksidira ili prevlači nemetalnom prevlakom zbog intenzivnog lijepljenja na alat, a kasnije se kemijski uklanja. Jedino ako će se dijelovi kasnije doradivati obradom odvajanja čestica onda nema opasnosti. Međutim, sitni dijelovi i dijelovi malih presjeka moraju se toplinski obrađivati u vakuumu ili u zaštitnoj atmosferi inertnog plina. Titanu iznad 450 °C jako pada čvrstoća što znači da nije toplinski čvrsti metal. Sadržaj titana u tehnički čistom titanu je između 98,9 % i 99,5 %, a nečistoće čine ostatak. Budući da ima vrlo visok afinitet za spajanje s kisikom i dušikom čak i apsorpcijom malih količina može doći do loma. Iznad 950 °C titan upija navedene elemente te je potrebno voditi računa o temperaturi žarenja kod toplinske obrade ili obrade deformiranjem na zraku [2].

## 2.5. Primjena materijala

Zbog svojih iznimnih svojstava, titan se najviše primjenjuje u zrakoplovnoj industriji. Izrađuju se dijelovi mlaznih motora, glavina, kućišta, lopatice kompresora i drugi visokoopterećeni dijelovi, slika 5. Kao primjer se može navesti Boeing 777, kod kojeg su oko 10 % mase zrakoplovne konstrukcije zastupljeni ovi materijali.



*Slika 4. Zrakoplov Blackbird [5]*



---

Prvi zrakoplov Blackbird, sastojao se u cijelosti od titanovih legura, slika 4. Titanove legure se sve više upotrebljavaju u brodogradnji za vojne brodove i podmornice zbog otpornosti na djelovanje morske vode. Primjenjuju se još i kod izrade satelita u svemirskoj industriji te izradi projektila. Osim navedenog, da bi do izražaja došla njihova svojstva poput otpornosti na koroziju i visoke temperature koriste se i u nekim drugim industrijama, kao što su tekstilna i kemijska industrija te proizvodnja papira [1].



*Slika 5. Mlazni motor [4]*

Zbog svojih odličnih mehaničkih svojstava i dobre korozijske postojanosti te biološke inertnosti titana i njegovih legura koje su u odnosu na živi organizam, omogućila njihovu primjenu kao biomaterijal za implantate u medicini. Više od 1000 tona legura titana godišnje se u svijetu koristi za izradu implantata za kirurgiju. Biokompatibilni metalni materijali ili biometalni materijali mogu se definirati kao materijali koji imaju primjenu u kontaktu sa tkivom ili tjelesnim tekućinama ljudskog organizma. U ljudskom organizmu se primjenjuju kao nadogradnja ili zamjena strukturnih dijelova. Budući da imaju odgovarajuće mehaničke karakteristike i izvrsni su u elektroprovodnosti, koriste se u izradi medicinskih implantata kao što su umjetni zglobovi, umjetna srca, spojnice, fiksirane pločice, žice, stentovi, pacemakeri, elektrode, slika 6 i 7 [2].



*Slika 6. Dijelovi kuka[4]*



*Slika 7. Titanski zubni implantati [6]*

Najčešće korišteni materijali u te svrhe su legure titana, kobalt-krom legure i nehrđajući čelici. Zbog njihovih svojstava poput čvrstoće, korozijske otpornosti, netoksičnosti, žilavosti i izdržljivosti, kod ovih materijala mogu se pronaći i nedostaci da je krutost veća od krutosti ljudske kosti, ne propušta rendgentske zrake i imaju veliku specifičnu težinu. Prije nego što se titanski dijelovi usađuju u tijelo, stavljaju se u luk plazme koja ima visoku temperaturu i zatim odstrani atome sa površine i dobije novi sloj oksidacijom metala. Oksidni sloj koji nastaje je mjesto vezivanja tkiva. Titan ne izaziva alergijske reakcije pa je time i jedinstven i učinkovit materijal za krunice, mostove, zubne nadomjestke, a također ih štiti od agresivnih tjelesnih tekućina. Isto tako, sve više se izrađuju i nakit, okviri naočala i satovi te zbog mase manje od čelika i čvrstoće koriste se u sportskoj opremi, slika 8 [2].



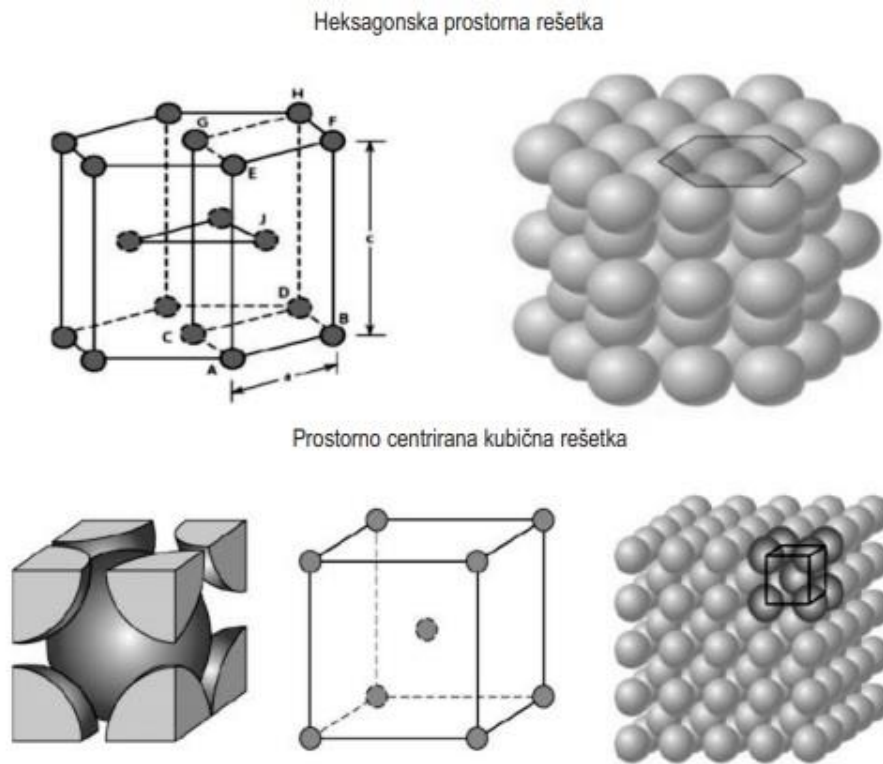
*Slika 8. Palica za golf [4]*

Titan se najviše primjenjuje u obliku titanovog dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) i upotrebljava se kao najkvalitetniji bijeli pigment. Koristi se u proizvodnji keramike, laminata, boja, plastike, papira, vlakana, lakova, prehrambenih i tiskarskih boja. Za zaštitu od štetnog ultraljubičastog zračenja upotrebljavaju se kreme sa titanovim dioksidom. Titan se nalazi i u ljudskom tijelu u primjetljivoj količini te ga čovjek dnevno unosi oko 0,80 mg, od čega je veći dio neapsorbiran. U ljudskom tijelu ukupna količina titana iznosi oko 700 mg. Biljke ga sadržavaju u količini od 2 ppm (suhe tvari), dok ga kopriva i preslica imaju čak i do 80 ppm [2].

## **2.6. Legure titana**

Legure titana su metalni materijali koji se sastoje od titana pomiješanog sa manjom količinom drugih metala, a to su najčešće: paladij (Pd), vanadij (V), aluminij (Al), kositar (Sn), nikal (Ni), molibden (Mo) i željezo (Fe). Metali koje sadrže poboljšavaju svojstva čistog titana te time postaje otporniji na koroziju, lakši za obrađivanje i kovanje, otporniji i stabilniji na visoke temperature. Zahvaljujući formiranju stabilne oksidne prevlake na površini materijala, odlična otpornost na koroziju postojana je u više različitih agresivnih medija. On se obnavlja ukoliko dođe do oštećenja oksidnog sloja. Karakteristika titanskih materijala reverzibilna je transformacija kristalne strukture iz  $\alpha$ -faze (heksagonska prostorna rešetka) u  $\alpha$ -fazu (kubično centrirana prostorna rešetka), kada se prekorače određene temperaturne granice. Ovisno o sadržaju i tipu legirnih elemenata alotropske modifikacije, omogućava različite mogućnosti ojačavanja i kompleksne varijacije u mikrostrukturi, slika 9. Legure titana stabilne su na sobnoj temperaturi, a dijelimo ih prema mikrostrukturi:  $\alpha$ -,  $\beta$ -, i ( $\alpha+\beta$ )- legure. Legirni elementi  $\alpha$ -faze

su: ugljik, kisik, dušik, aluminij i kositar. Djelovanje aluminija je tako što stabilizira  $\alpha$ -fazu i pomiče prekrystalizaciju prema višim temperaturama. Pomoću  $\beta$ -stabilizatora snižava se temperatura prekrystalizacije prema nižim temperaturama i stabilizira  $\beta$ -fazu, a to su: krom, nikal, molibden, željezo, tantal i vanadij. Između monofaznih  $\alpha$ - i  $\beta$ -legura dvofazne ( $\alpha+\beta$ )- legure predstavljaju kompromis [7].



*Slika 9. Prikaz rešetki [2]*

$\alpha$ -legure imaju glavna obilježja: zavarljivost, čvrstoća, žilavost i stabilnost pri povišenim temperaturama. Upotrebljavaju se na višim temperaturama od 375 °C do 550 °C, a sadrže aluminij, cirkonij i kositar. Imaju manju osjetljivost na djelovanje kisika, dušika i ugljika koji uzrokuju krhkost, a djeluju jednako na oksidaciju i otpornost na koroziju kao i  $\beta$ -i ( $\alpha+\beta$ )- legure.  $\alpha$ -legure postoje su i na niskim temperaturama zbog svoje heksagonski gusto slagane strukture, dok mu ona osigurava žilavost i čvrstoću i pri sniženim temperaturama. Relativno su slabo hladno oblikovljive jer imaju ograničen broj kliznih sustava. Kao glavni legirni element je aluminij koji snažno djeluje na porast čvrstoće. Zbog moguće opasnosti od  $Ti_3Al$  intermetalne faze, sadržaj aluminija se ograničava na oko 6 %.  $TiAl_5Sn_{2,5}$  jedina je prava komercijalno dostupna  $\alpha$  legura. Njezina glavna svojstva su da je oksidacijski i korozijski postojana, odlična svojstva pri niskim temperaturama, a najčešće se koristi za dijelove svemirskih letjelica i zrakoplova u kovanom i lijevanom stanju. Ostale legure sadrže 5-8 % aluminija, uz dodatak cirkonija i kositra te  $\beta$  stabilizatora.  $\beta$  stabilizatori uzrokuju male količine  $\beta$  faze u  $\alpha$  matrici.

U  $\alpha$  legure ubrajaju se  $\text{TiAl}_{5,5}\text{Sn}_3$ ,  $\text{TiAl}_6\text{Sn}_2\text{Zr}_4\text{Mo}_2$ ,  $5\text{Zr}_3\text{Nb}_1\text{Si}_{0,3}$ , a izdrže i vse radne temperature do 590 °C. Uglavnom se primjenjuju za lopatice plinske turbine zrakoplovnog motora i kompresora. Legura  $\text{TiAl}_8\text{Mo}_1\text{V}_1$  koriste se gdje je presudna visoka čvrstoća, niska gustoća i dobra zavarljivost, te za izradu lopatica ventilatora plinske turbine.  $\text{TiAl}_{2,25}\text{Sn}_{11}\text{Zr}_5\text{Mo}_1$  legura primjenjuje se za sve ono što zahtjeva otpornost puzanju i visoku čvrstoću, te za velike otkivke. U tablici 2 prikazani su sastav i svojstva  $\alpha$  legura titana [7].

Tablica 2. Sastav i svojstva  $\alpha$  legura titana [7]

Vrsta legure	R <sub>0</sub> , MPa	R <sub>m</sub> , MPa	Maks. sadržaj nečistoća, %					Sadržaj legirnih elemenata				
			N	C	H	Fe	O	Al	Sn	Zr	Mo	Ostali
$\text{TiAl}_5\text{Sn}_{2,5}$	760	790	0,05	0,08	0,020	0,50	0,20	5	2,5	-	-	-
$\text{TiAl}_8\text{Mo}_1\text{V}_1$	830	900	0,05	0,08	0,015	0,30	0,12	8	-	-	1	1V
$\text{TiAl}_6\text{Sn}_2\text{Zr}_4\text{Mo}_2$	830	900	0,05	0,05	0,0125	0,25	0,15	6	2	4	2	0,08 Si
$\text{TiAl}_6\text{Nb}_2\text{Ta}_1\text{Mo}_{0,8}$	690	790	0,02	0,03	0,0125	0,12	0,10	6	-	-	1	2Nb 1 Ta
$\text{TiAl}_{2,25}\text{Sn}_{11}\text{Zr}_5\text{Mo}_1$	900	1000	0,04	0,04	0,008	0,12	0,17	2,25	11	5	1	0,2 Si
$\text{TiAl}_{5,8}\text{Sn}_4\text{Zr}_{3,5}\text{Nb}_{0,7}\text{M}_{0,5}\text{Si}_{0,35}$	910	1030	0,03	0,08	0,006	0,05	0,15	5,8	4	3,5	0,5	0,7 Nb 0,35 Si

$\beta$  legure su bogate  $\beta$  stabilizatorima te sadrže visok udio  $\beta$  faze prostorno centrirane kubične rešetke. Sposobnost im je hladno oblikovanje deformiranjem te je to i glavna prednost  $\beta$ -legura. One mogu postići u hladno očvrnutom stanju visoku čvrstoću toplinskom obradom, za razliku od  $\alpha$ -legura, a posjeduju još visoki omjer čvrstoće i gustoće na sobnoj temperaturi, veliku duktilnost i zavarljivost. Dodatkom teških metala koji imaju veliku gustoću poput kroma i vanadija,  $\beta$ -legure dobivaju stabilnost na sobnoj temperaturi i povećava im se gustoća. ( $\alpha+\beta$ )-legure predstavljaju glavni dio proizvodnje titanovih legura. One su općenito dobro prokaljive, otporne na rast pukotine, visoke lomne žilavosti, ali su sklone puzanju pa su time ograničeno primjenjive na povišenim temperaturama. Budući da su to metastabilne legure koje započinju percipitaciju  $\alpha$  faze pri povišenim temperaturama, neprikladne su za visokotemperaturne primjene bez prethodne stabilizacije. Gornja temperatura primjene je oko 370 °C. Toplinsko očvrnuće postiže se rastopnim žarenjem i dozrijevanjem kada  $\alpha$  čestice percipitiraju, a one djeluju očvršćujuće. Tako se dobivaju visoke vrijednosti specifične čvrstoće zbog sadržaja Cr, Mo, V i Nb, teških metala više gustoće, unatoč povišenoj gustoći. U rastopnom i dozrijevanom stanju žilavost je snižena, ali lomna žilavost percipitacijski očvrnutih  $\beta$  legura je veća od očvrnutih ( $\alpha+\beta$ )-legura podjednake čvrstoće.  $\text{TiV}_{10}\text{Fe}_2\text{Al}_3$ ,  $\text{TiV}_{15}\text{Al}_3\text{Cr}_3\text{Sn}_3$  i

TiMo<sub>15</sub>Al<sub>3</sub>Nb<sub>2,7</sub>Si<sub>0,25</sub> legure podijeljene su u visokočvrste legure s čvrstoćom do 1380 MPa za dozrijevano i rastopno stanje. Imaju visoku čvrstoću, ali su otporne na napetosnu koroziju. Dinamička izdržljivost legure TiV<sub>10</sub>Fe<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> je otpornija na umor, dok je legura TiV<sub>15</sub>Al<sub>3</sub>Cr<sub>3</sub>Sn<sub>3</sub> manje otporna. Legura TiMo<sub>15</sub>Al<sub>3</sub>Nb<sub>2,7</sub>Si<sub>0,25</sub> namijenjena izradi metalnih matrica visokotemperaturnih kompozita zbog toga što ima oksidacijsku postojanost pri visokim temperaturama do 650 °C. Toplinskom obradom može se mijenjati mikrostruktura tih legura dobivanjem željenih svojstava. TiAl<sub>6</sub>V<sub>4</sub> je najvažnija (α+β)- legura i koristi se u jednakoj količini kao svi ostali titanski materijali [1, 2]. U tablici 3 prikazana su sastav i svojstva β legura titana.

Tablica 3. Sastav i svojstva β legura titana [7]

Vrsta legure	R <sub>0</sub> ,	R <sub>m</sub> ,	Maks. sadržaj nečistoća, %					Sadržaj legirnih elemenata				
	MPa	MPa	N	C	H	Fe	O	Al	Sn	Zr	Mo	Ostali
TiV <sub>10</sub> Fe <sub>2</sub> Al <sub>3</sub>	1100	1170	0,05	0,05	0,015	2,5	0,16	3	-	-	-	10V
TiAl <sub>3</sub> V <sub>8</sub> Cr <sub>6</sub> Mo <sub>4</sub> Zr <sub>4</sub>	830	900	0,03	0,05	0,020	0,25	0,12	3	-	4	4	6Cr, 8V
TiV <sub>15</sub> Al <sub>3</sub> Cr <sub>3</sub> Sn <sub>3</sub>	985	1096	0,05	0,05	0,015	0,25	0,13	3	3	-	-	15V, 3Cr
TiMo <sub>15</sub> Al <sub>3</sub> Nb <sub>2,7</sub> Si <sub>0,25</sub>	793	862	0,05	0,05	0,015	0,25	0,13	3	-	-	15	2,7Nb, 0,25Si

α+β legure sadrže izvrsnu kombinaciju mehaničkih svojstava te su glavni dio proizvodnje titanovih materijala. One se mogu toplinski obraditi do umjereno visokih čvrstoća, ali nemaju mogućnost očvrstnuća kao β legure. α+β legure mogu se izlagati kratkotrajno povišenim temperaturama, ali nisu otporne na puzanje. Isto tako, sadrže dobru čvrstoću pri sobnim temperaturama. Ove legure primjenjive su na temperaturama 315 - 400 °C te im je mikrostruktura dvofazna što znači da su teško zavarljive, ali im je oblikovljivost bolja nego kod α legura. TiAl<sub>6</sub>V<sub>4</sub> najvažnija je legura koja se proizvodi u jednakoj količini kao čisti titan i svi ostali titanovi materijali. Ona se sastoji od 90 % Ti, 6 % Al i 4 % V, dok aluminij stabilizira α fazu, vanadij stabilizira β fazu. Legura TiAl<sub>6</sub>V<sub>4</sub> često se toplinski obrađuje na nekoliko načina [7]:

- Meko žarenje – postiže se dobra otpornost na umor, vlačna čvrstoća od oko 900 MPa, srednja lomna žilavost i umjerena brzina rasta pukotine
- Rekristalizacijsko žarenje – postiže se niža čvrstoća i dinamička izdržljivost, povećava se lomna žilavost i usporava brzina rasta pukotine, povećava otpornost na oštećenja

- 
- Betatizacijsko žarenje – postiže se povećanje lomne žilavosti, usporava rast pukotine, snizuje vrijednost dinamičke izdržljivosti
  - Rastopno žarenje i dozrijevanje – postiže maksimalnu čvrstoću od 1100 MPa

## 2.7. Biokompatibilnost

Biokompatibilnost se definira kao kompatibilnost materijala implantata s biološkim okolišem, a isključuje njegovu negativnu fiziološku reaktivnost, imunološku reakciju, toksičnost i ozljede tkiva. U početnoj fazi industrije implantata kao ključni zahtjev koji osigurava dobru kompatibilnost s okolnim tkivom odabrana je što manja kemijska reaktivnost, pa su se ugljični čelici skloni koroziji zamijenili nehrđajućim čelicima, kobalt – krom legurama, titanom i platinom. Nova lista prioriteta povećanja kompatibilnosti čine zahtjevi poput izbjegavanja imunološkog odgovora, netoksičnosti, neiritabilnost, nekancerogeno djelovanje. Vrlo bitan zahtjev za biomaterijale je netoksičnost. Potrebno je utvrditi u kojoj mjeri određeni materijal sadržava opasne tvari koje bi mogle loše utjecati na organizam. Obično se formulira kao zahtjev zabrane promjene mase implantata nakon ugradnje, ali postoji situacija u kojoj je dizajniran tako da u organizam otpušta neke funkcionalne spojeve s unaprijed definiranim ciljem. Kod analize biomaterijala potrebno je uzeti u obzir sve parametre u sustavu implantat s obzirom na kompleksnost navedenih zahtjeva, a to su temperatura, pH, vrste mehaničkog opterećenja, vrste okolnog tkiva. U suvremenom istraživanju može se vidjeti napredak, na polju biokompatibilnosti te se može postići suprotnim pristupom reaktivnosti na površini kontakta ugrađenog materijala i tkiva. U najnovije vrijeme postoje istraživanja pri ugradnji implantata prema kojem postoji djelomična biorazgradnja koja je projektirana unaprijed. Analiza biokompatibilnosti materijala analizira se u dvije razine, na razini površine i na razini osnovnog materijala [8].

Biokompatibilni metalni materijali moraju zadovoljiti određene zahtjeve i imati određena svojstva da bi se mogli koristiti u izradi medicinskih implantata [8]:

- Otpornost na koroziju i netoksičnost – kod metalnih materijala koji se koriste u medicini ne smije doći do korozije u dodiru s okolnim živim tkivom. Korozija u kombinaciji s mehaničkim opterećenjem može dovesti do loma materijala. Ne toksičnost je vrlo bitno svojstvo metalnih implantata jer otpuštanje metalnih iona, za vrijeme korozije, može dovesti do upalnih procesa, alergijskih reakcija, neuroloških poremećaja ili raka.

- Modul elastičnosti – vrijednost modula elastičnosti kod koštanog tkiva je u rasponu od 0,1 do 35 GPa, a kod metalnog implantata na bazi titana je oko 116 GPa. Zbog ovakvih razlika

---

između modula elastičnosti i metalnog implantata može doći do elastičnih deformacija, a kao posljedica je odvajanje implantata od kosti i strukturno oštećenje kosti.

- Biokompatibilnost – materijali bi se trebali odlikovati izrazitom biokompatibilnošću ćelija ljudskog organizma, ćelija mekih i tvrdih tkiva prema površini materijala implantata.

- Prihvatljivost materijala – okolno koštano tkivo mora prihvatiti materijal. Prihvatljivost materijala predstavlja rizik od odbacivanja materijala, a mjeri se ocjenom u rasponu od 1 do 10. Donja granica prihvatljivosti je 7, a kod titana i titanovih legura ocjena prihvatljivosti je 10.

- Troškovi – proizvodnja implantata odrađuje se prema potrebi i zahtjevima kupca, tako da masovna proizvodnja nije moguća. Troškovi ovakve pojedinačne proizvodnje odnose se na cijenu materijala, troškove proizvodnje i troškove završne obrade. Na osnovu cijene najskupljeg materijala mjere se maksimalni troškovi proizvodnje koji se primjenjuje u implantaciji.

Za specifične primjene u medicini postavljaju se i neki dodatni zahtjevi:

- Bioaktivnost – ubrzavanje zarastanja polomljene kosti, sprečavanje upalnih procesa

- Biodegradacija – kirurški konac, naprava za fiksiranje u rekonstruktivnoj kirurgiji, terapijski sistem za kontroliranje i postepeno oslobađanje lijekova

- Otpornost na infekcije – mjesta gdje implantantna naprava ulazi u kožu, kao što su kateteri, dovodi do opskrbe umjetnog srca krvlju. Dodavanjem antimikrobnih tvari i antibiotika u biomedicinske uređaje sprječava se infekcija.

- Trombootpornost – odnosi se na implantate koji su u kontaktu s krvlju: umjetne arterije, srčani zalisci, a postižu se kontrolom površine ili modifikacijom površine materijala i nanošenjem bioaktivnih slojeva na površinu materijala.



---

### 3. Postupci proizvodnog procesa odabrane medicinske pločice

U nastavku rada biti će detaljno opisani proizvodni procesi izrade odabranog veterinarskog implantata na CNC obradnom centru. Odabrana pločica koristi se u ortopediji za spajanje kostiju, slika 10. Zatim, bit će opisani procesi od same pripreme rada, dolaska naručene sirovine u skladište, strojne obrade na CNC glodaćem obradnom centru, kontrole kvalitete, završne obrade, pakiranje gotovog proizvoda i isporuke. U eksperimentalnom djelu rada prikazat će se završna kontrola pločice od početnog odobrenja do završne kontrole i kontrole 3D skenerom.



*Slika 10. Medicinska pločica*

#### 3.1. Priprema rada proizvodnje

Priprema rada bavi se pripremanjem svih ulaznih elemenata neophodnih za proizvodnju te praćenjem proizvodnje. U pripremu rada za proizvodnju pločice uključeno je dizajniranje, konstruiranje i modeliranje, planiranje proizvodnje, izrada dokumentacije, narudžba materijala za izradu pločice, odabir stroja i alata za strojnu obradu te broj i način stezanja. Nakon zaprimanja narudžbe za serijsku izradu pločica, obavlja se priprema rada te se izdaje radni nalog. U radnom nalogu propisani su svi proizvodni procesi za izradu pločice s navedenim informacijama o datumu početka i predviđenim datumom završetka proizvodnje uz priložene

---

mjerne protokole za kontrolu kvalitete, propisane protokole rada i tehničku dokumentaciju proizvoda. U radnom nalogu opisani su svi proizvodni procesi od početka izrade pločice pa sve do isporuke gotove pločice.

### 3.2. Ulazno skladište i kontrola materijala

Nakon narudžbe sirovog materijala kod određenog dobavljača u ulazno skladište zaprima se plosnati materijal legure titana 3.7035 ( $Ti_2$ ), dimenzija 8 x 38 mm i dužine 3700 mm. Zatim se vrši ulazna kontrola materijala tj. njegove šarže tako da se provjere dimenzije materijala i certifikat koji je priloženi uz navedeni materijal. Ako kontrola ustanovi da materijal i certifikat odgovaraju, materijal se odobrava te se potrebna količina šalje na piljenje tračnom pilom i zatim na daljnju obradu. Za strojnu obradu potrebne dimenzije sirovca 8 x 38 mm, dužine 70 mm, prikazanog na slici 11.



*Slika 11. Sirovac legure titana*

---

### 3.3. Strojna obrada

Strojna obrada vrši se na glodaćem obradnom centru HAAS VF-2SSYT, slika 12. Haas Super-Speed vertikalni obradni centri pružaju velike brzine glavnog vretena, brze hodove i brzo izmjenjivanje alata neophodno za proizvodnju velikog volumena i skraćeno vrijeme ciklusa. Svaki SS stroj ima značajku od 12000 rpm, linijski direktni pogon glavnog vretena, ultra brzi izmjenjivač alata koji je pričvršćen s bočne strane i brzim pomacima na svim osima te nudi veći Y-hod osi. Za HAAS upravljanje ima sučelje dodirnog zaslona koji omogućava unos podataka i druge upravljačke funkcije na zaslonu, bez upotrebe tipkovnice. U HAAS sustavu kroz glavno vreteno dolazi hlađenje rashladnom tekućinom te je tlak do 69 bara rashladnog sredstva na alat za rezanje. Omogućava veću brzinu posmaka, bušenje dubokih provrta, teže rezove i bolju hrapavost na površini. Sustavom hlađenja kroz alat vrijeme ciklusa se skraćuje i time se povećava propusnost i kvaliteta proizvoda. Uz omogućen TSC maksimalan broj okretaja je 15000 rpm. Također u sustavu ima zaštita od prenapona za kontrolu stroja, te time sprječava oštećenje kritičnih komponenti, ako dođe do prenapona, troši se modul za jednokratnu zaštitu od prenapona. Time električni udar ne može utjecati na ostale upravljačke komponente. Materijali koji se obrađuju na ovim strojevima su nehrđajući čelici na bazi kroma i nikla i legure titana. Zbog teške obradivosti ovakvih materijala potreban je alatni stroj koji ima veliku snagu i krutost da ih može obraditi, što znači da je bitno da podnosi velika toplinska i mehanička opterećenja, da smanji vibracije i ima dobar dovod SHIP-a. U nastavku su prikazane osnovne specifikacije stroja [9]:

#### **Radno područje:**

Dužine osi (X/Y/Z): 762 × 508 × 508 mm

Udaljenost vretena do stola (~ maksimalno): 610 mm

Udaljenost vretena do stola (~ minimalno): 102 mm

Dužina stola: 914 mm Širina stola: 457 mm

Širina T-utora: 15,9 - 16,00 mm

Udaljenost središta T-utora: 125 mm

Broj standardnih T-utora: 3

Maksimalna dozvoljena masa na stolu: 680 kg

#### **Glavno vreteno:**

Brzina vrtnje: 12000 min<sup>-1</sup>

Snaga vretena: 22,4 kW

Pogonski sustav: Inline Direct – Drive

Maksimalni okretni moment: 122 Nm

Konus: CT 40

Podmazivanje ležaja: Oil Injection

Hlađenje glavnog vretena: Liquid Cooled

**Osi ( X / Y / Z):**

Posmak: 35,6 m/min

Maksimalna sila na X / Y / Z : 8874 / 8874 / 13723 N

**AIA:**

Tip: SMTC- bočno, kružno spremište alata s dvostrukom rukom za izmjenu alata

Kapacitet spremišta alata: 30 + 1

Maksimalna dužina alata (od crte koja presijeca os vretena): 279 mm

Maksimalna masa alata: 5 kg Vrijeme zamjena alata: 1,8 s

Vrijeme između zadnjeg reza jednog alata i prvog reza drugog alata: 2,4 s

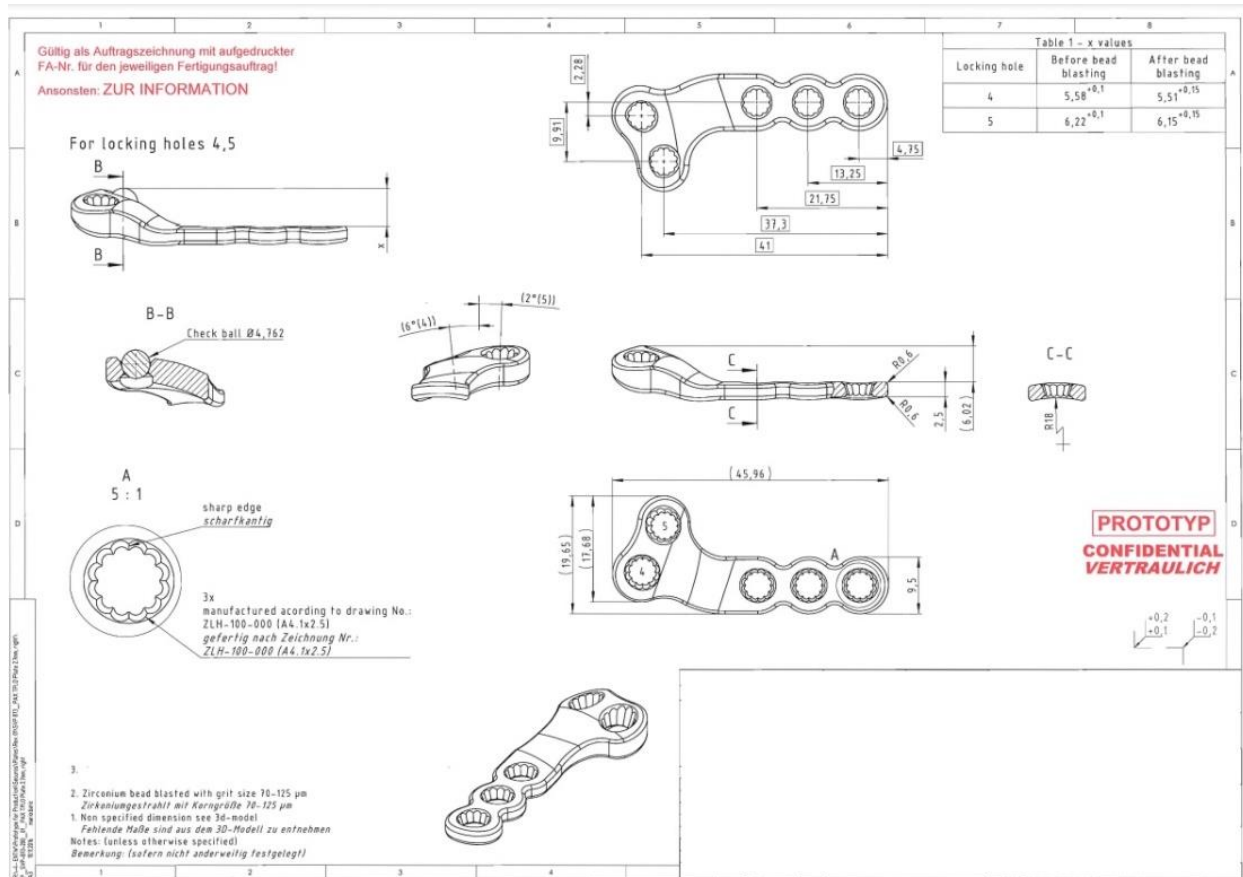
Mjere stroja: Dimenzije stroja: (širina ×visina ×dužina): 2690 × 2590 × 2570 mm

Masa stroja: 3539 kg



*Slika 12. Obradni centar HAAS VF-2SSYT*

Nakon dolaska sirovca do obradnog centra, priprema se stroj za početak strojne obrade pločice. Iz konstrukcijskog nacrtu proizlaze dimenzije za strojnu obradu pločice za koji se razrađuje tehnološki proces, slika 13.



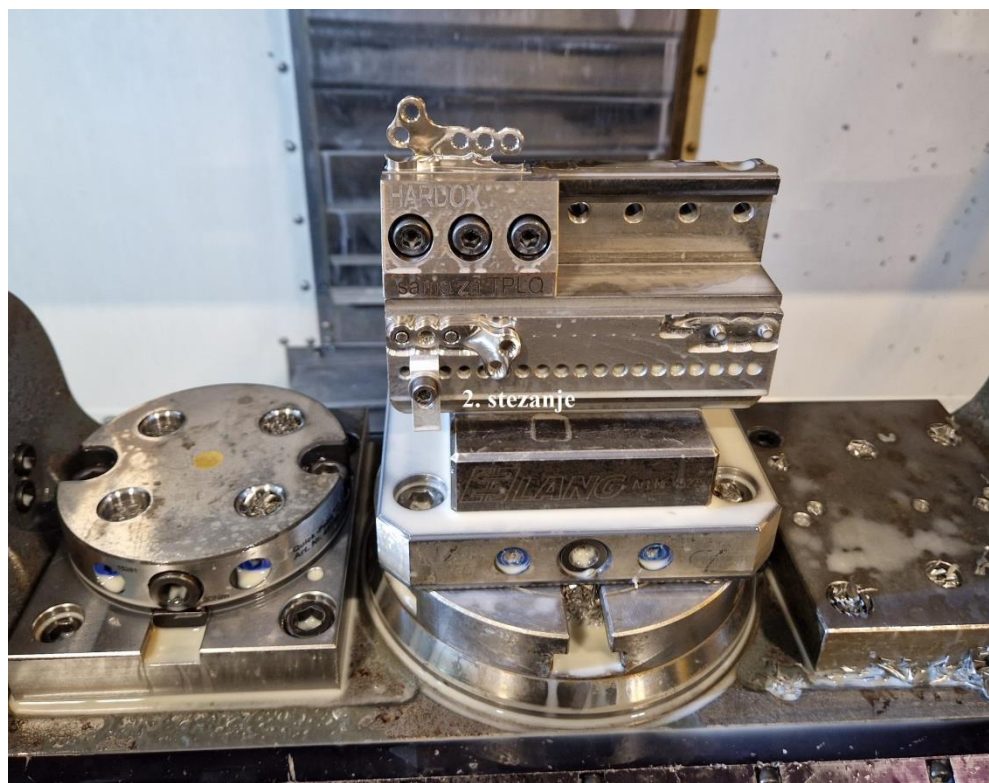
Slika 13. Konstrukcijski nacrt pločice

Zatim je potrebno da programer prema definiranoj dokumentaciji napiše program izrade proizvoda tj. NC koda koji vodi alat po konturi obrade prema zadanim točkama, te se pobrinuti za tehnološke parametre: materijalu obratka, svojstvima, obradivosti i optimalnosti parametara obrade. Strojna obrada pločice vrši se u dva stezanja. Prije početka obrade pločice, potrebno je sirovac stegnuti u škripac koji se graniči sa zaticom promjera 10 mm, a alati se smještaju u prihvat alata koji se nalazi u glavnome vretenu, slika 14.



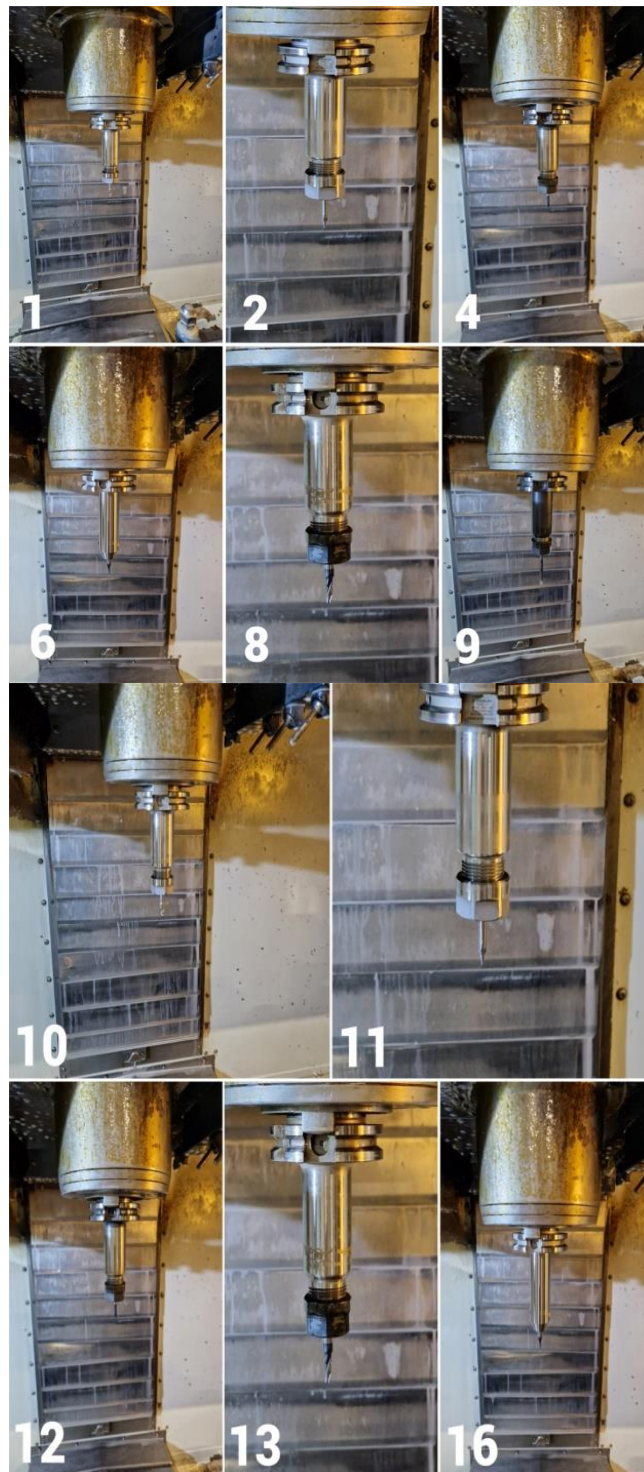
*Slika 14. Prvo stezanje*

Drugi dio stezanja vrši se na specijalnoj steznoj napravi koja je izrađena od strane tvrtke, slika 15. Na svim steznim napravama stezanje sirovca vrši se pomoću moment ključa.



*Slika 15. Drugo stezanje*

Tijekom strojne obrade pločice koristi se 15 različitih alata s prihvatom SK 40, slika 16. U samom sklopu obradnog centra nalazi se uređaj koji se koristi za prednamještanje alata te ima svrhu da služi za pripremu, mjerenje i kontrolu na samom stroju. Sastoji se od 3D mjerne glave, komunikacijskog sučelja s upravljačkom jedinicom stroja, mjerne sonde za mjerenje duljine alata i postavljanje. U nastavku na slici su prikazani svi rezni alati za strojnu obradu pločice prema dokumentaciji alata, tablica 4.



*Slika 16. Alati za strojnu obradu pločice*

Tablica 4. Dokumentacija alata

Dokumentacija alata								
Vrsta prihvata: SK 40					Alati			
Alat	Ø	Xs	Ls	IK	Naziv prihvata	Naziv alata	Proizvođač	Kod artikla / mjesto skladištenja
1	16	55		X	SA Ø16×80	Vretenasto glodalo za grubu obradu Ø16	ISCAR	79710CS51600KMXW
2	8	22,5		X	WD Ø8×100	Kuglasto glodalo Ø8	HOLEX	20 7125 8
3	8	22,5		X	WD Ø8×100	Kuglasto glodalo Ø8	HOLEX	20 7125 8
4	3	24			SZ ER 16×100	Kuglasto glodalo Ø3	HOLEX	20 7125 3
6	10	30			SZ ER 16×100	NC zabusivac Ø10/90°	WNT	10716010
8	3,7				SZ ER 16×100	Profilno glodalo Ø3.7	TM	TM-18-0174
9	4,1				SZ ER 16×100	Ravrtač Ø4.1 H7	GARANT	16 4341 4,1
10	0,55	22,5	4,5	X	SZ ER 16×100	Profilno glodalo za grubu obradu SR	WOLF	35001422
11	0,55	22,5	4,5		SZ ER 16×100	Profilno glodalo za finu obradu SL	WOLF	35001422
12	4				SZ ER 16×100	Glodalo za obradu rubova Ø4	WNT	50 944 040
13	3	25			SZ ER 16×100	Vretenasto glodalo za finu obradu Ø3	WNT	50 609 030
16	4	25			SZ ER 16×100	Vretenasto glodalo za grubu obradu Ø4	WNT	50 944 040
17	4	25			SZ ER 16×100	Vretenasto glodalo za finu obradu Ø4	WNT	50 944 040
18	6				SZ ER 16×100	Vretenasto glodalo za finu obradu Ø6	WNT	50 609 060
19	2				SZ ER 16×100	Kuglasto glodalo Ø2	HOLEX	20 7125 2



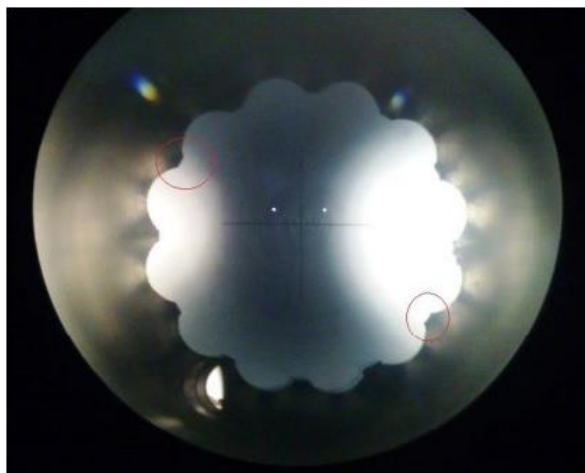
---

Strojna obrada počinje nakon što je stroj pripremljen i poslužen. Tijekom prvog stezanja postoji operacija glodanje, bušenje, razvrtavanje i upuštanje. Pločica ima sferni oblik, a to se dobiva 5-osnom obradom pomoću okretnog-nagibnog stola te je korišten alat kuglasto glodalo koji služi za grubu i finu obradu. Nakon završenog prvog stezanja na obratku ostaje dio sirovog materijala kojeg je potrebno odvojiti rukom. Neobrađeni obradak potrebno je stegnuti na specijalnu steznu napravu za daljnju obradu tj. drugo stezanje. U drugom stezanju obrađuje se vanjska kontura i radijus. Završetkom strojne obrade dobiva se konačan traženi oblik i dimenzije pločice, slika 17.



*Slika 17. Pločica nakon prvog i drugog stezanja*

Zbog postignute nezadovoljavajuće hrapavosti obrađene površine zbog utjecaja vibracija, stepenice od alata na spojnim mjestima potrebno je doraditi brusnim papirom. Brusni papir mora biti sa granulacijom 600 ili finijom. Također, pločica se obavezno mora pobrusiti po svim površinama brusnim runom proizvođača Scotch-Brite bez obzira da li kasnije ide na kugličarenje ili ne. Na samoj pločici nalaze se rupe za zaključavanje, takozvani „cvjetovi“ koje je potrebno počistiti provlačenjem četkice namijenjene upravo tome, slika 18.



*Slika 18. Rupa za zaključavanje na pločici („cvijet“)*

### 3.4. Kugličarenje

Nakon strojne obrade pločica ide na daljnji proces obrade kugličarenja na uređaju za kugličarenje, slika 19. Bitno je da se svaki radni komad obrađuje istim postupkom.



*Slika 19. Uređaj za kugličarenje*

Kod kugličarenja je vrlo bitan razmak od sapnice do radnog komada, što znači da je veći pritisak kad je pločica bliže sapnici. Pločica se postavlja pod kutom od  $45^\circ$  te se time smanjuje pritisak na komad i potrebna je manja snaga za držanje komada na željenoj poziciji. Kugličarenjem se mijenja površina pločice te ona postaje tvrđa i otpornija, ali isto tako i krhkija. Vrste upotrebljavanog abraziva kod kugličarenja su plemeniti korund i staklene kuglice. Na slici 20. prikazana je pločica nakon obrade kugličarenja.



*Slika 20. Pločica nakon kugličarenja*

### **3.5. Kontrola kvalitete**

Nakon strojne obrade vrši se kontrola kvalitete pločice. Kod mjerenja svaki komad mora biti propisno očišćen te je isto tako neophodno svaki „cvijet“ provjeriti graničnim kontrolnim trnom prije mjerenja na optičkom mikroskopu. Optički mikroskop, marke Vision sastoji se od kombinacije dvaju mjernih mikroskopa u jednom. On se koristi za mjerenje zahtjevnijih pozicija s vrlo niskim kontrastom između određenih točaka. Jedinstvena tehnologija bez okulara pruža slike visoke rezolucije. Zbog dvostruke tehnologije idealan je za širok raspon beskontaktnih mjerenja plastičnih i medicinskih dijelova, strojno obrađenih dijelova za zrakoplovnu, automobilsku i vojnu industriju te drugih preciznih strojarskih dijelova, slika 21 [10].



*Slika 21. Optički mikroskop*

Na svakom zubu mora se vidjeti ravna površina jer se u suprotnome dobiva netočna mjera zbog srha. Mjerenje se provodi prema ispitnom protokolu te se koristi mjerenje na optičkom mikroskopu, mjerna ura i kuglica, pomično mjerilo te granični kontrolni trnovi.

### **3.6. Anodiziranje**

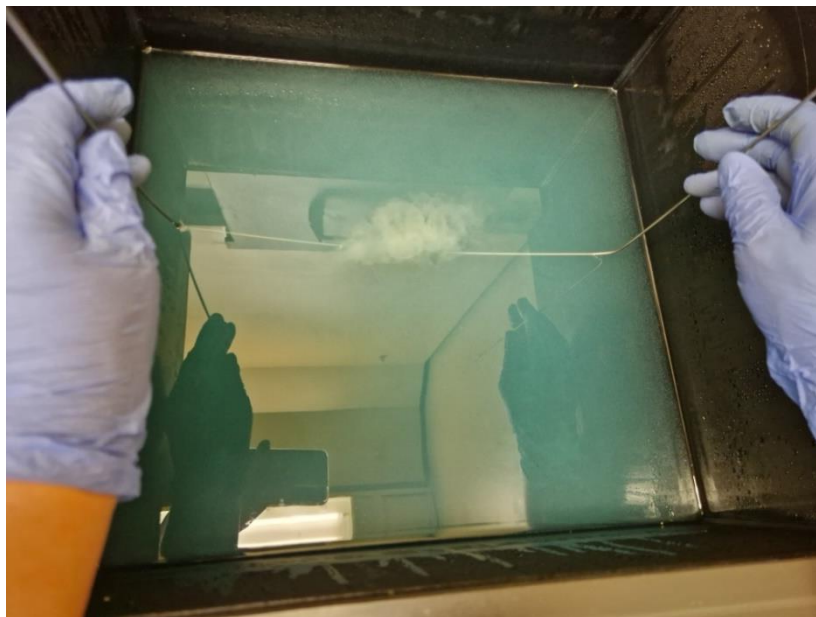
Anodizacija se definira kao proces elektrolize provođenjem struje kroz elektrolit te pri tome u elektrolitu dolazi do kemijskih promjena. U kombinaciji s električnim poljem i ionskom difuzijom kisika obuhvaća elektrodne reakcije i time se stvara oksidni film na anodnoj površini. Anodizacija je utvrđena metoda kojom se stvaranju različiti tipovi zaštitnih oksidnih filmova na metalima. Nakon kontrole kvalitete što znači da je pločica zadovoljila sve kriterije vrši se

---

anodizacija. Komadi se stavljaju u košarice za ispiranje te se provodi pranje u ultrazvučnoj kupki u trajanju od 5 min. na temperaturi od 60 do 70 °C radi skidanja masnoće od ostatka emulzije. Nakon pranja komadi se ispiru i ispuhuju zrakom. Zatim se provodi postupak bajcanja, u trajanju od 45 do 60 sekundi, do pojave mjehurića, slika 22 i 23.



*Slika 22. Postavljanje vremena za bajcanje*



*Slika 23. Bajcanje pločica*

Nakon bajcanja, slijedi pranje u kupki C1 (14 l destilirane vode 2 l Citrisurf-a 2250) u trajanju od 5min. na temperaturi od 70 °C. Zatim u deioniziranoj vodi u kupki D1 (15 l

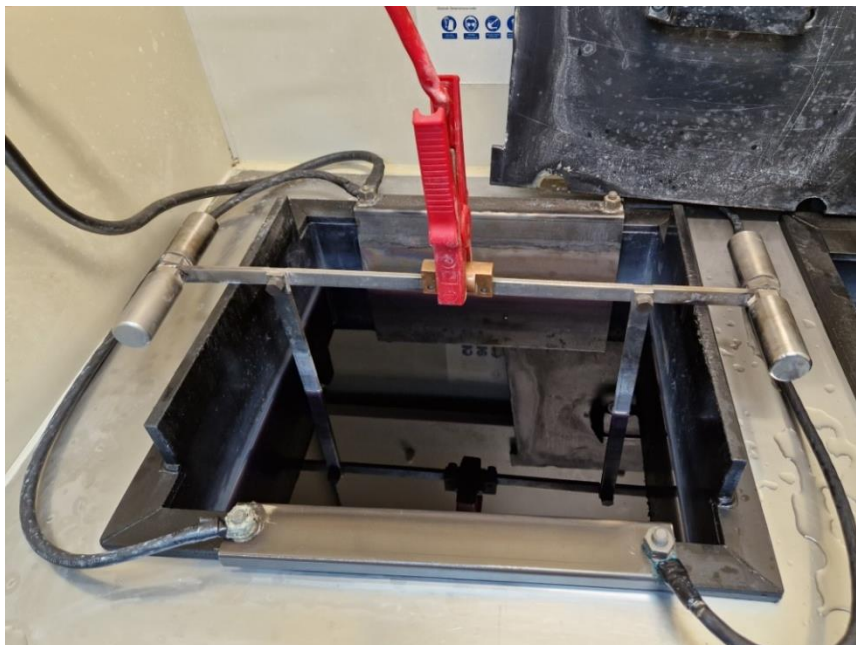
---

destilirane vode) u trajanju od 5 min. na 40 °C. Kada se komadi izvade iz kupke, hlade se cca. 15 min. Zatim se vrši postupak anodizacije tako da se komadi stavljaju na stalak za anodiziranje, slika 24.



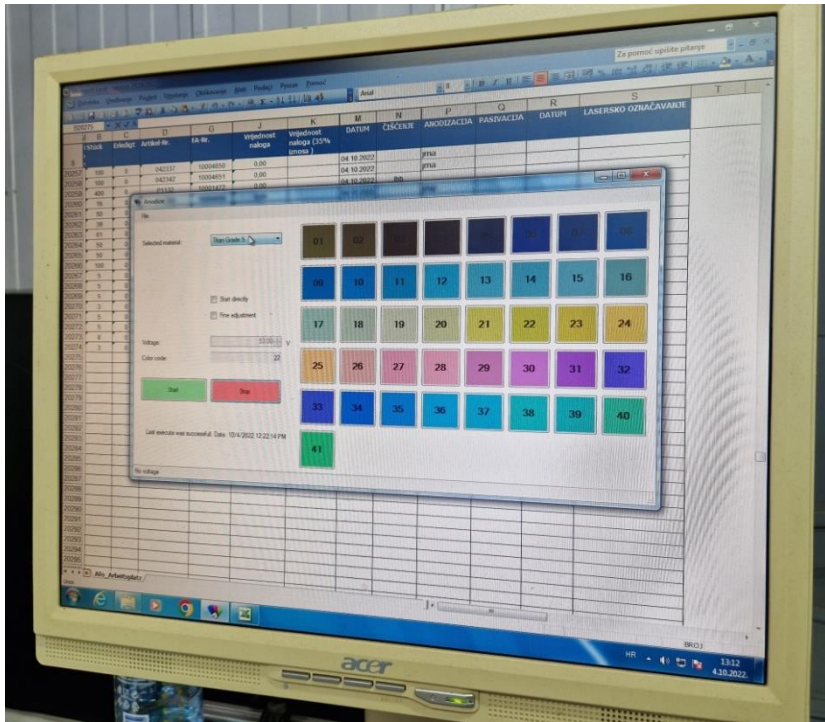
*Slika 24. Stalak za anodiziranje*

Stalak sa pločicama se uranja u kupku za anodiziranje te se na njega pričvršćuje spojnica plus pol i nakon par sekundi otklanja i vadi iz kupke, slika 25.



*Slika 25. Pričvršćivanje spojnice na stalak*

Preko programa na računalu odabire se određen kod boje pločice sa palete i tako se pokreće postupak anodizacije, slika 26.



*Slika 26. Program na računalu sa odabirom boja*

U radnom nalogu propisani su točni parametri i postupak provođenja anodizacije. Boju pločice dobivamo jačinom napona, dok se jačinom struje određuje potrebno vrijeme za proces. Nakon dobivene tražene boje proizvoda, opet se ponavlja postupak pranja u kupkama i ispiranje komada, slika 27.



*Slika 27. Anodizirane pločice*

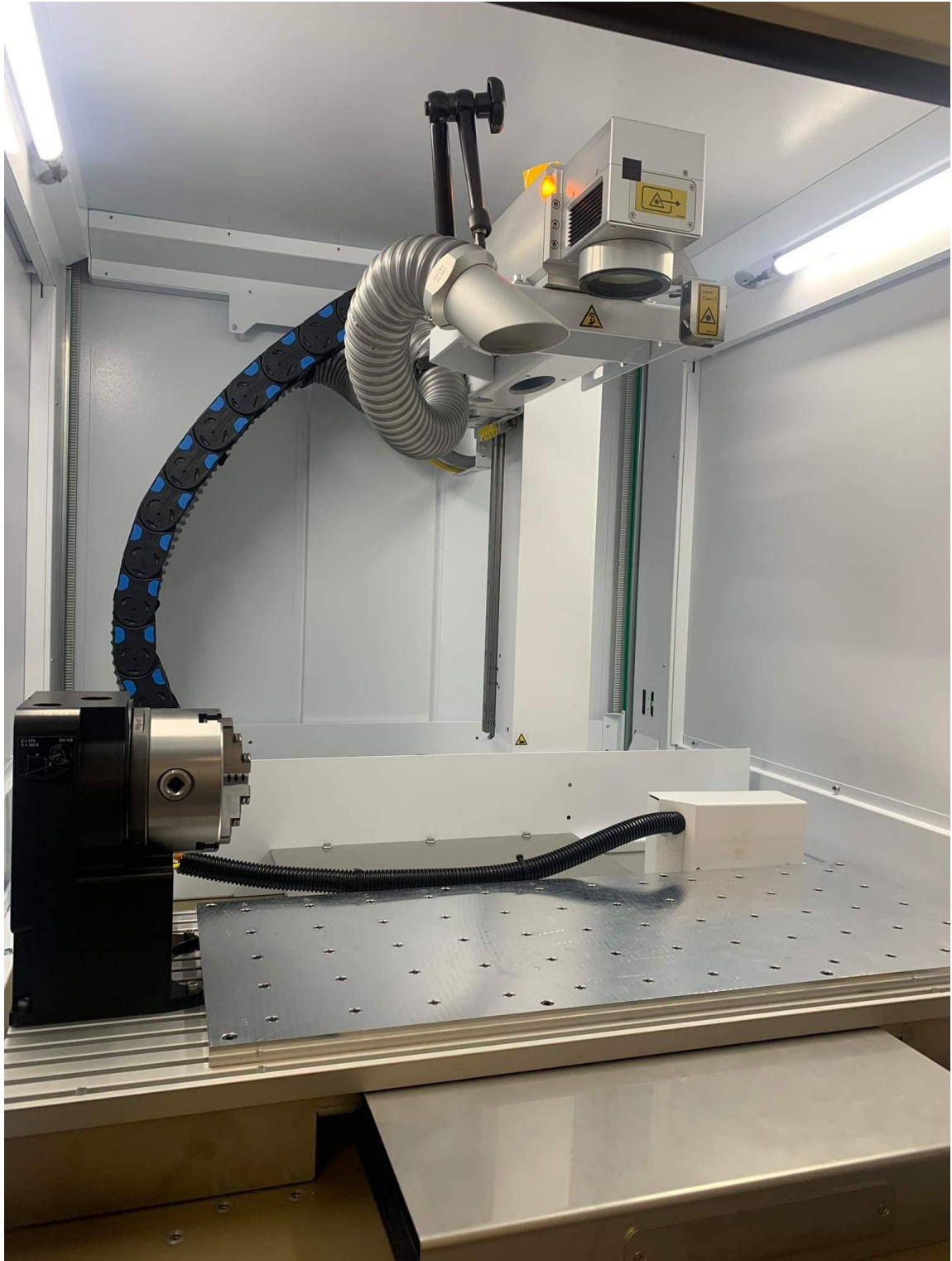
### 3.7. Lasersko označavanje

Nakon anodizacije proizvoda, pločica prema radnom nalogu ide na postupak laserskog označavanja na laseru TruMark Station 7000, slika 28. Na laser TruMark Station 7000 moguće je laserski precizno označiti pojedinačne velike komponente ili veliki broj malih dijelova za proizvodnju. Laser ima sustav rotirajućih stolova i može se pomicati pomoću dvije osi u smjeru X i Z. Pozicioniranje radne površine u smjeru Y otvara veliko, lako dostupno radno područje. Cjelokupno radno područje ima izvrsnu dostupnost, a izvanredna ergonomija olakšava rad. Motorizirana vrata pružaju sigurnost i povećavaju produktivnost brzim otvaranjem i zatvaranjem, također ima mogućnost djelomičnog otvaranja ili zatvaranja vrata. Sustavi za odvod dima i čestica osiguravaju radno okruženje bez emisija, čak i kada se koristi velika snaga lasera, slika 29. Osim toga, ugrađen je sustav koji osigurava izvrsno prigušivanje vibracija kroz polimer betonsku ploču kao središnju komponentu [11].



*Slika 28. Stroj za lasersko označavanje*





*Slika 29. Radna površina lasera*

Na pločicu se laserski graviraju serijski broj i kod pločice te se tako isporučuje kupcu, slika 30. Odabrana pločica postavlja se na radni stol te se jednim pritiskom pokreće laser koji ispisuje kod po površini materijala, dok se u programu za upravljanje postavljaju napredne postavke. U upravljačkom programu pisaača spremljene su vrste procesa i time se znatno olakšava svakodnevni rad automatskim optimiziranjem grafički potrebnih procesa.



*Slika 30. Laserski označena pločica*

Zatim slijedi završna kontrola pločice u odjelu kontrole kvalitete. Na pločici se kontrolira dobivena boja, vizualni izgled nedostataka ili oštećenja, provjerava se ugravirani kod i serijski broj koji je naveden na radnom nalogu prema paleti boja, slika 31. Prema uputama koje su propisane standardima i na radnom nalogu, završna kontrola vrši se uz korištenje jednokratnih rukavica. Ukoliko je pločica zadovoljila sve kriterije završne kontrole šalje se na kratkotrajno pasiviranje i u skladište na pakiranje.



*Slika 31. Paleta boja*

### 3.8. Kratkotrajno pasiviranje

Postupak kratkotrajnog pasiviranja koristi se za proizvode koji se ne mogu uroniti u dušičnu kiselinu, slika 32. Pomoću čistog vatiranog štapića, natopljenog dušičnom kiselinom briše se odmašćeni proizvod na mjestu gdje je pločica laserski označena gravurom. Zatim se briše s čistim vatiranim štapićem natopljenim u kupki A (deionizirana voda), te se osuši čistom krpom. Svaki se proizvod tretira pojedinačno kako bi se poštovalo vremensko trajanje tretiranja 30 sekundi te da ne bi bilo predugog kontakta kiseline s gravurom što može uzrokovati izbjeljivanje gravure.



*Slika 32. Kratkotrajno pasiviranje*

### 3.9. Pakiranje i isporuka

Nakon pasiviranja, pločica dolazi na pakiranje. Za pakiranje pločica koriste se vrećice sa određenim specifikacijama. Pločice je potrebno stavljati u prozirne, plastične vrećice koje se zatvaraju pomoću stroja za vakuumiranje i obavezno je korištenje jednokratnih rukavica. Kada se vrećice s proizvodom stavljaju u stroj za vakuumiranje, potrebno je podesiti visinu podložnih ploča. Za dobivanje pravilnog zavara, vrećica se stavlja na rub varilice i poklopi poklopcem, slika 33. i 34.



*Slika 33. Uređaj za vakuumiranje*



*Slika 34. Uređaj za vakuumiranje*

Prema narudžbi od kupca pakira se određena količina proizvoda te se zapakirani proizvodi stavljaju u kutiju za transport, slika 35 i 36. Na kraju se isporučuju i transportiraju kao paket. Isporukom pločica završeni su svi proizvodni procesi.



*Slika 35. Pakiranje pločica u vrećice*



*Slika 36. Paket za isporuku*

---

## 4. EKSPERIMENTALNI DIO

Kod proizvodnih procesa izrade pločice najbitnija je kontrola kvalitete pločice. Ukoliko ne odgovaraju tražene dimenzije, mjere ili nije unutar dopuštenih tolerancija pločica ne nastavlja proces te se škartira. Stoga se kontrola kvalitete vrši nakon skoro svakog proizvodnog procesa. U nastavku bit će prikazana početna kontrola proizvoda te završna kontrola proizvoda.

### 4.1. Početna kontrola proizvoda

Prema ispitnom protokolu mjere se određene vrijednosti za početno odobrenje proizvoda. Prvo je potrebno mjernu uru postaviti na nulu, tako da ispod stavimo etalon određene visine. Prvi postupak je mjerenje visine kuglice mjernom urom i kuglicom promjera 4,762, slika 37.



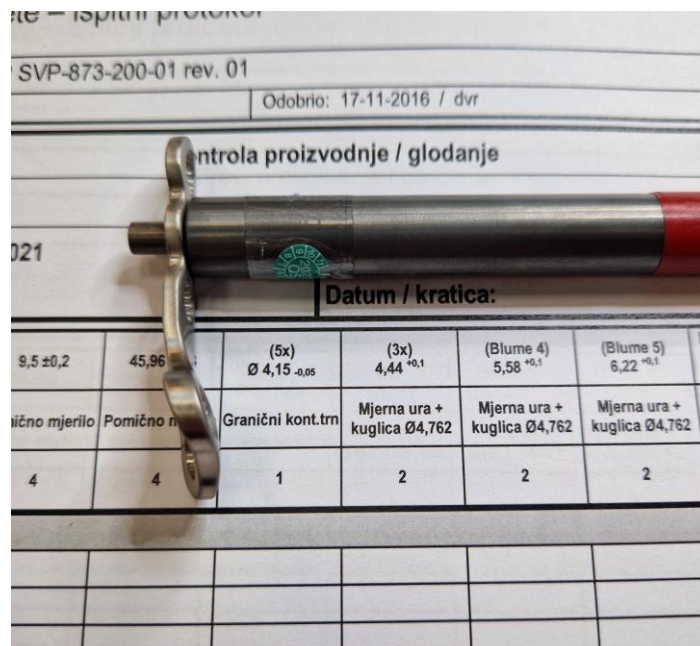
*Slika 37. Mjerenje visine kuglice*

Zatim mjerimo ostale dimenzije, duljinu, širinu te debljinu koje su navedene na mjernom protokolu pomičnim mjerilom, prikazano na slici 38.



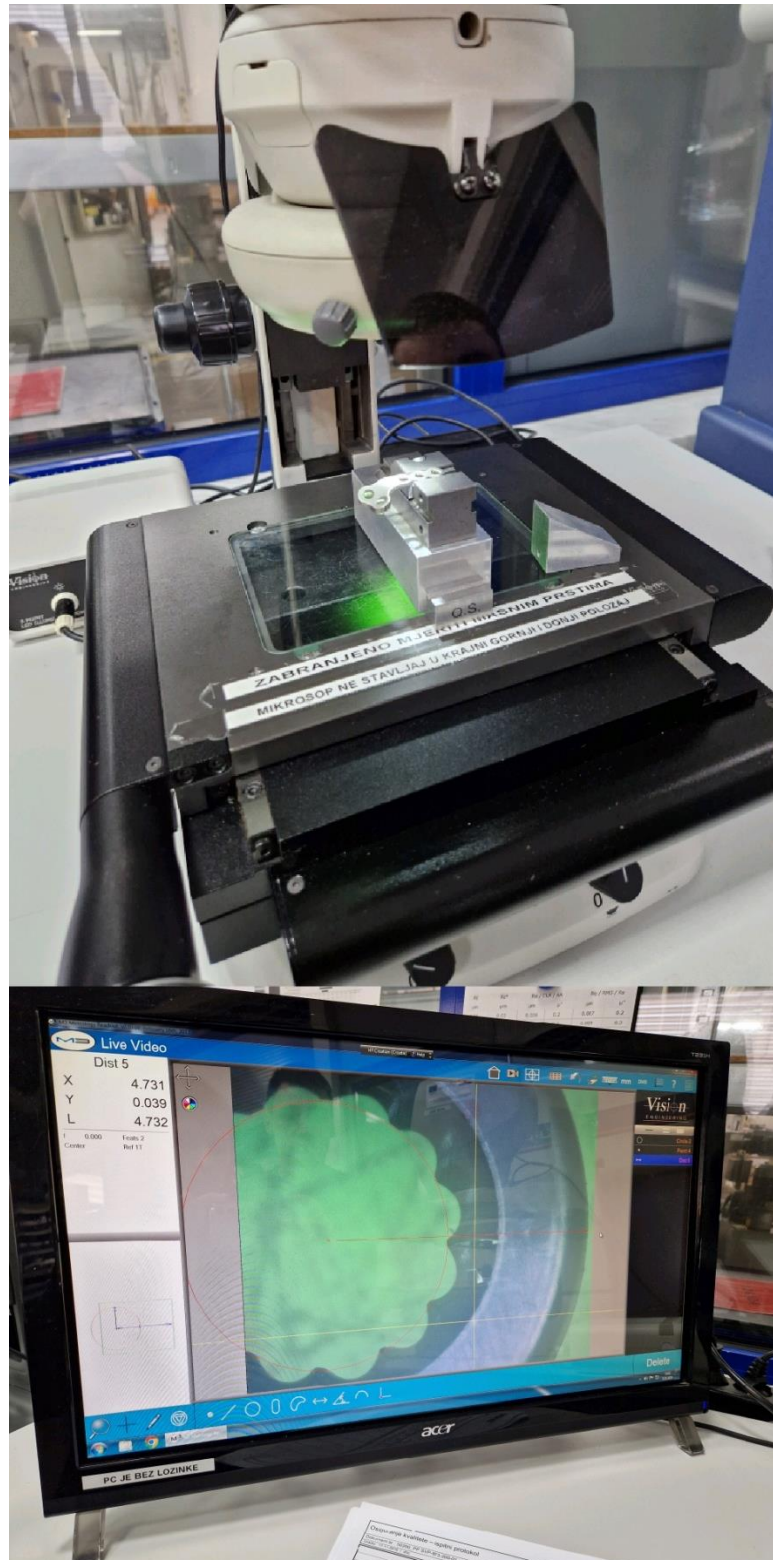
Slika 38. Mjerenje pomičnim mjerilom

Isto tako, potrebno je provjeriti da li svi "cvjetovi" odgovaraju dimenzijama sa graničnim kontrolnim zaticom, prikazano na slici 39.



Slika 39. Provjera sa graničnim kontrolnim zaticom

Mjerenje simetrije i razmaka "parabole" mjeri se na mikroskopu. Kada postavimo pločicu na mjerno staklo, pozicioniramo se na rub pločice te odaberemo potrebne komande i dobivamo X i Y os. Isto tako se pozicioniramo za ostale vrijednosti i zatim očitamo dobivene rezultate koji moraju odgovarati zahtjevima, prikazano na slici 40.



Slika 40. Mjerenje na mikroskopu



Kada smo izmjerili sve dimenzije koje su navedene na mjernom protokolu te ako su unutar dozvoljenih tolerancija unosimo ih u ispitni protokol, tablica 5.

Tablica 5. Rezultati mjerenja 01

Ispitni kriterij:	2,5 ±0,1	9,5 ±0,2	45,96 ±0,3	(5x) Ø 4,15 <sup>-0,05</sup>	(3x) 4,44 <sup>+0,1</sup>	(Blume 4) 5,58 <sup>+0,1</sup>	(Blume5) 6,22 <sup>+0,1</sup>	Faza sa zadnje strane (3x) 5,150 <sup>-0,3</sup>	(Upuštenje sa zadnje strane Blume 4-5) Ø 5,45 <sup>+0,1</sup>	4,75 ±0,1	*Vizualna kontrola
Ispitno sredstvo:	Pomično mjerilo	Pomično mjerilo	Pomično mjerilo	Granični kont.trn	Mjerna ura + kuglica Ø4,762	Mjerna ura + kuglica Ø4,762	Mjerna ura + kuglica Ø4,762	Mikroskop	Pomično mjerilo	Mikroskop	vizualno
Isp. frekv.:	4	4	4	1	2	2	2	4	4	4	*1
Br. ispitnog komada											
1.	2,49	9,52	49,95	OK	4,51	5,622	6,272	5,074	5,51	4,771	OK
2.	2,50	9,51	49,98	OK	4,53	5,593	6,281	5,082	5,47	4,763	OK

## 4.2. Završna kontrola

Nakon što je izvršena početno odobrenje proizvoda te vrijednosti odgovaraju, nastavlja se proizvodnja pločica do određene količine koja je navedena na radnom nalogu. Kada su sve pločice izrađene slijedi završna kontrola proizvoda prije anodizacije i označavanja. Prema mjernom protokolu potrebno je izmjeriti vrijednosti rupa ("cvjetova"). Mjerna ura stavlja se u mjernu napravu ZLH-100-000-V1, te se mjerenje izvodi tasterom Ø 4,76, slika 41 i 42.



Slika 41. Mjerna kuglica



Slika 42. Mjerenje rupa ("cvjetova")

Kada su izmjerene sve dimenzije koje su navedene na mjernom protokolu te ako vrijednosti odgovaraju unosimo ih u ispitni protokol, tablica 6.

Tablica 6. Mjerni protokol nakon mjerenja 02

Ispitni kriterij:	(3x) 4,37 <sup>+0,15</sup>	(Blume 4) 5,51 <sup>+0,15</sup>	(Blume 5) 6,15 <sup>+0,15</sup>	*Vizualna kontrola
Ispitno sredstvo:	Mjerna ura + kuglica Ø4,762	Mjerna ura + kuglica Ø4,762	Mjerna ura + kuglica Ø4,762	vizualno
Isp. frekvencija:	AQL-Z0,1	AQL-Z0,1	AQL-Z0,1	AQL-Z0,1
Br. Ispitnog komada				
1.	4,49	5,585	6,230	OK
2.	4,45	5,452	6,351	OK

### 4.3. Završna vizualna kontrola

Nakon označavanja laserom, pločice dolaze na završnu kontrolu. Potrebno je vizualno provjeriti da li gravura i boja anodizacije odgovaraju prema nacrtu i radnom nalogu. Vršiti se 100 % kontrola, znači da se provjerava svaka pločica. Ako sve odgovara prema navedenome, pločice idu na pasiviranje i pakiranje. U tablici 7 je prikazan mjerni protokol.

Tablica 7. Mjerni protokol nakon mjerenja 03

Ispitni kriterij:	Ispitno sredstvo	Ispitna frekvencija	Rezultat
Lasersko označavanje	Vizualno	AQL-Z 0.1	OK
Boja anodizacije prema nacrtu (Zrinski kod II 06)	Vizualno	100%	OK
Vizualna kontrola površine	Vizualno	100%	OK
Vizualna kontrola faza	vizualno	100%	OK

### 4.4. Kontrola dimenzija 3D skenerom

Za mjerenje i kontrolu dimenzija pločice koristio se 3D optički skener ATOS Q8, slika 43. 3D optički skener ima tehnologiju snimanja s dvije digitalne kamere i trostruko skeniranje te mogućnost i preciznost mjerenja sjajnih površina i udubljenja.



*Slika 43. Skener Atos Q8 s postoljem*

Mjerni podaci mogu se usporediti s projektnim podacima kako bi se provjerila dimenzijska kvaliteta dijelova. ATOS Q se sa svojim promjenjivim mjernim volumenima može prilagoditi specifičnim mjernim zadacima, ovisno o veličini i geometriji dijelova. Koristi „Blue Light“ tehnologiju koja osigurava najtočnije podatke mjerenja, čak i najmanji detalji mogu se uzeti za točnu i realističnu procjenu, te se mogu odrediti vrijednosti korekcije za geometriju alata (tragovi udubljenja, deformiranost) te parametri stroja i procesa. Osim toga, podaci skeniranja više dijelova mogu se koristiti za analizu, a mjerni podaci dijele se pomoću GOM softvera, slika 44 i 45. GOM sustav omogućuje manje ponavljanja, bolju kontrolu procesa i višu kvalitetu proizvoda [12].



*Slika 44. Skener Atos Q8*



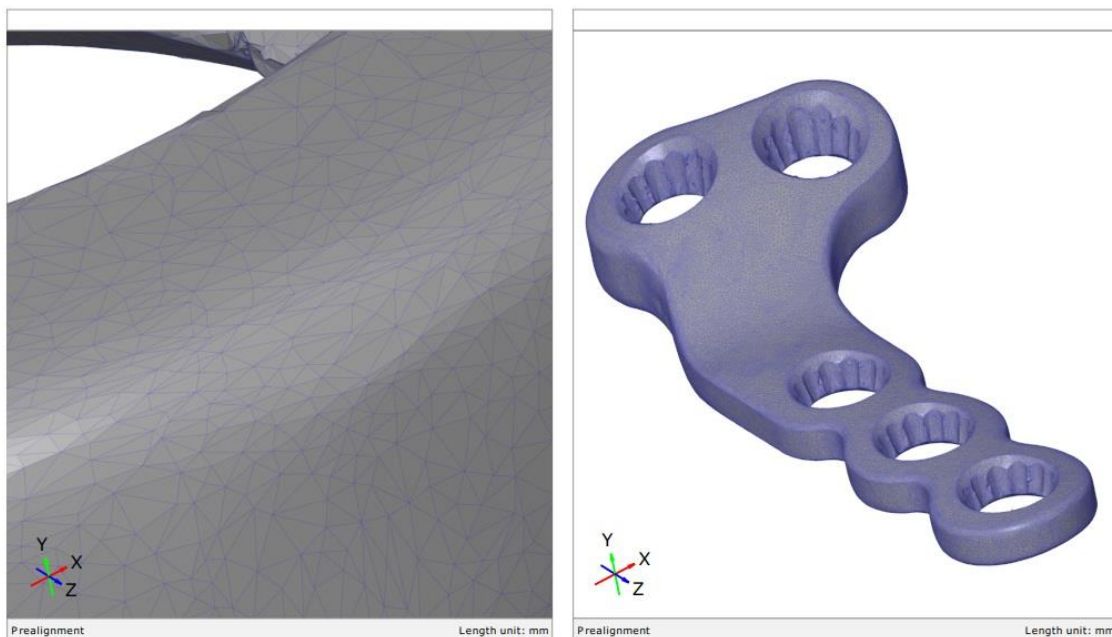
*Slika 45. Glava skenera Atos Q8*

Pločicu je potrebno pripremiti za skeniranje s odgovarajućim oznakama, postavljamo je na površinu mjernog mjesta, određuju se razmaci prema uputama i zatim je spremno za skeniranje sa svih strana. Tako skenirani model pločice otvara se u softverskom programu GOM, slika 46.

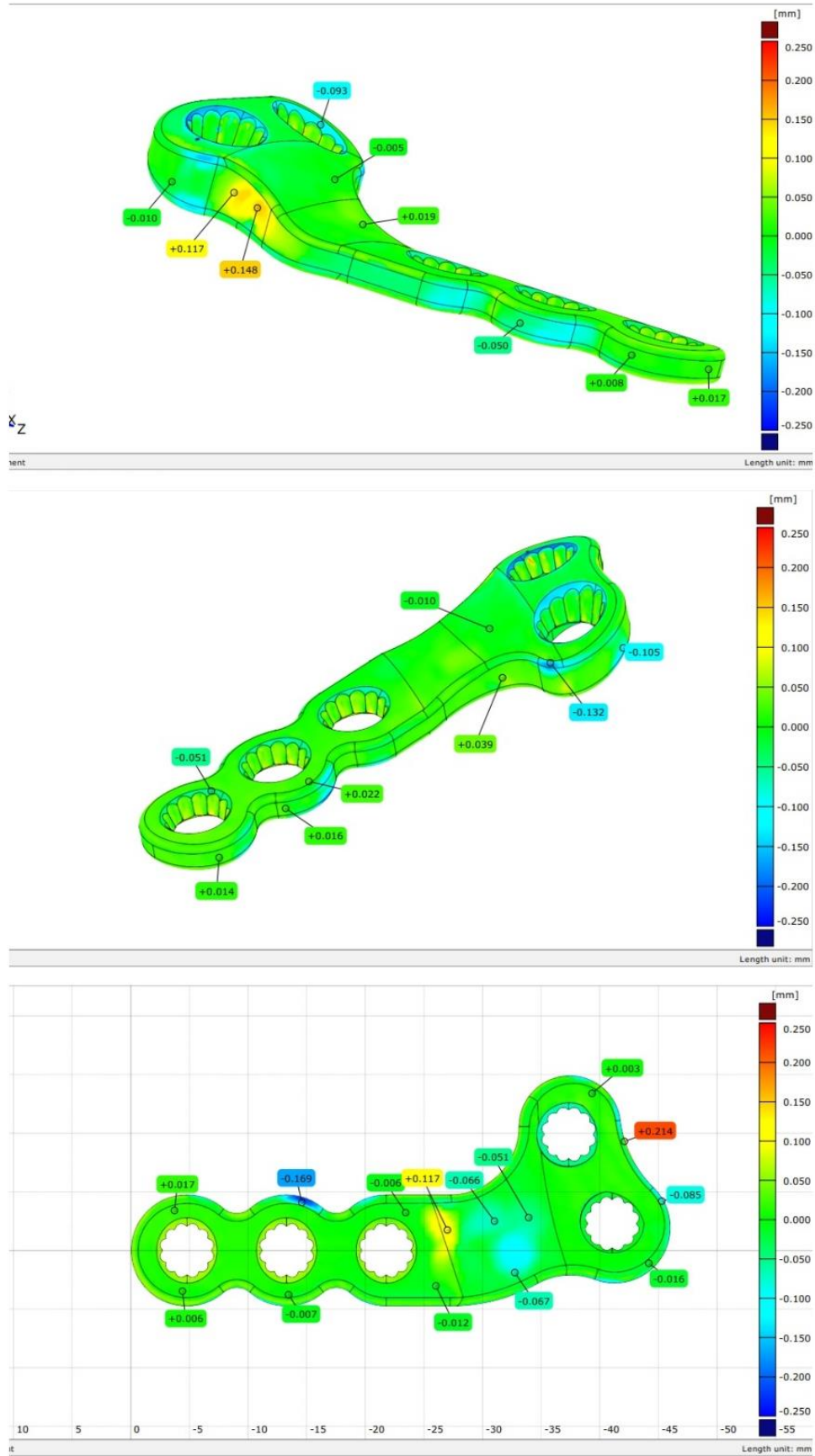


*Slika 46. Model skenirane pločice*

Upotrebom GOM softvera dobivamo preklapanje modela pločice i CAD modela te time dobivamo uvid u odstupanja od dimenzija. Na slici 47. prikazana je mrežna struktura pločice, a na slici 48. usporedba pločice s odstupanjem tolerancije i pločice s dobrim vrijednostima.



*Slika 47. Mrežna struktura pločice*



Slika 48. Usporedba CAD modela sa skenirano pločicom

---

## 5. Zaključak

Više puta kroz rad spomenuta su odlična svojstva titana i titan legura. Zahvaljujući ovim svojstvima upotrebljavaju se u različitim industrijama i proizvodnjama te nadilaze većinu današnjih konstrukcijskih materijala. Zbog svog sastava, udjela i vrste legiranih elemenata imaju odličnu dinamičku izdržljivost i čvrstoću te korozivnu postojanost. Također imaju dobra antikorozijska svojstva te se zbog toga koriste za konstrukcije izložene agresivnim medijima. Nedostatak koji je presudan u izboru materijala je njegova visoka cijena, ali se i dalje izabiru u nekim primjenama. U medicini se pronalazi za izradu umjetnih zglobova, umjetnih srca, spojnica, fiksiranih pločica, žica, stentova, pločica za pričvršćivanje kostiju, itd.

U radu je opisan cijeli proizvodni proces medicinske pločice koja se koristi u veterini. Prvi proces od kojeg kreće sama izrada je priprema rada i izdavanje naloga. Zatim se zaprima sirovi materijal u ulazno skladište gdje se priprema za daljnju obradu. Strojna obrada vrši se na suvremenom obradnom centru upotrebom CAD/CAM softvera. Nakon obrade proizvod prolazi kroz različite procese i kontrolu kvalitete. Za kontrolu kvalitete koriste se najsuvremeniji precizni mjerni uređaji poput mikroskopa i 3D skenera. Nakon provjere i odobrenja, proizvod je spreman za pakiranje i isporuku kupcu. Korištenjem i ulaganjem u visoko kvalitetne tehnologije proizvodnje čini tvrtku uspješnom i kvalitetnom na globalnom tržištu.

U eksperimentalnom dijelu rada opisano je mjerenje medicinske pločice klasičnom mjernom opremom gdje su se koristile mjerne ure, pomično mjerilo i optički mikroskopi. Dobivene vrijednosti mjerenjem prikazane u tablici 5 i 6 su unutar zahtijevanih tolerancija. Zatim je opisano mjerenje skenerom ATOS Q8 te su na slici 48 prikazani rezultati mjerenja. Mjerenje se izvodilo na način da se uspoređi prvi strojno izrađeni komad medicinske pločice s CAD modelom. Rezultati prikazuju sve dimenzije i tolerancije oblika i položaja te je prikazano odstupanje tolerancije. Kod ovog mjerenja velika je prednost to što se obrada podataka može automatizirati i zbog toga je idealno za mjerenje serije istih uzoraka. Također, prednost je da se može kreirati plan i izvještaj mjerenja samo sa CAD modelom bez fizičkog uzorka. Točnost mjernog skenera bolja je od preciznosti i točnosti klasične mjerne opreme te se dobivaju relevantniji rezultati. ATOS sustav je odlično rješenje nove napredne tehnologije za kontrolu kvalitete.



---

## 6. Literatura

- [1] Šnajdar Musa Mateja: Razvoj titana – magnezij kompozita za biomedicinsku primjenu, Doktorski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2015.
- [2] V. Bišćan, V. Leutić: Svojstva titana i njegovih legura, Zbornik Veleučilišta u Karlovcu, 2012
- [3] <https://www.britannica.com/science/titanium>, dostupno 23.01.2023.
- [4] Ćorić Danko: Posebni metalni materijali – predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2016.
- [5] [https://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed\\_SR-71\\_Blackbird#/media/File:Lockheed\\_SR-71\\_Blackbird.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed_SR-71_Blackbird#/media/File:Lockheed_SR-71_Blackbird.jpg), dostupno 22.01.2023.
- [6] <https://www.apolonija.hr/zubni-implantati/metalni-zubni-implantati/>, dostupno 21.01.2023.
- [7] Ćorić Danko: Svojstva i primjena titana i njegovih legura, Zagreb, 2016.
- [8] Dragana R. Barjaktarević: Površinska nanostruktorna modifikacija i karakterizacija materijala na bazi titana za primenu u medicini, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu Tehnološko-metalurški fakultet, 2021
- [9] <https://www.haascnc.com/hr/machines/vertical-mills/vf-series/models/small/vf-2ssyt.html>, dostupno 18.01.2023.
- [10] <https://www.visioneng.com/products/non-contact-measurement/swift-pro/>, dostupno 23.01.2023.
- [11] [https://www.trumpf.com/en\\_CA/products/machines-systems/marketing-systems/trumark-station-7000/](https://www.trumpf.com/en_CA/products/machines-systems/marketing-systems/trumark-station-7000/), dostupno 23.01.2023.
- [12] <https://www.gom.com/en/products/3d-scanning/atos-q>, dostupno 23.01.2023.

---

## POPIS SLIKA

Slika 1. Metalni titan visoke čistoće 99,999% [3] .....	3
Slika 2. Kristal titana dobiven van Arkel – de Boer postupkom [2].....	5
Slika 3. Struktura čistog titana [4] .....	6
Slika 4. Zrakoplov Blackbird [5] .....	7
Slika 5. Mlazni motor [4].....	8
Slika 6. Umjetni kuk[4].....	9
Slika 7. Titanski zubni implantati [6] .....	9
Slika 8. Palica za golf [4].....	10
Slika 9. Prikaz rešetki [2].....	11
Slika 10. Medicinska pločica .....	16
Slika 11. Sirovac legure titana .....	17
Slika 12. Obradni centar HAAS VF-2SSYT .....	19
Slika 13. Konstrukcijski nacrt pločice .....	20
Slika 14. Prvo stezanje.....	21
Slika 15. Drugo stezanje .....	21
Slika 16. Alati za strojnu obradu pločice .....	22
Slika 17. Pločica nakon prvog i drugog stezanja .....	24
Slika 18. Rupa za zaključavanje na pločici („cvijet“).....	24
Slika 19. Uređaj za kugličarenje .....	25
Slika 20. Pločica nakon kugličarenja .....	26
Slika 21. Optički mikroskop .....	27
Slika 22. Postavljanje vremena za bajcanje .....	28
Slika 23. Bajcanje pločice.....	28
Slika 24. Stalak za anodiziranje .....	29
Slika 25. Pričvršćivanje spojnice na stalak .....	29
Slika 26. Program na računalu sa odabirom boja .....	30
Slika 27. Anodizirane pločice .....	30
Slika 28. Stroj za lasersko označavanje .....	31
Slika 29. Radna površina lasera .....	32
Slika 30. Laserski označene pločice .....	33
Slika 31. Paleta boja.....	33
Slika 32. Kratkotrajno pasiviranje .....	34
Slika 33. Uređaj za vakuumiranje .....	35
Slika 34. Uređaj za vakuumiranje.....	35

---

Slika 35. Pakiranje pločica u vrećice .....	36
Slika 36. Paket za isporuku .....	36
Slika 37. Mjerenje visine kuglice.....	37
Slika 38. Mjerenje pomičnim mjerilom .....	38
Slika 39. Provjera sa graničnim kontrolnim zatikom.....	38
Slika 40. Mjerenje na mikroskopu .....	39
Slika 41. Mjerna kuglica .....	40
Slika 42. Mjerenje rupa ("cvjetova").....	41
Slika 43. Skener Atos Q8 s postoljem .....	43
Slika 44. Skener Atos Q8.....	44
Slika 45. Glava skenera Atos Q8 .....	44
Slika 46. Model skenirane pločice .....	45
Slika 47. Mrežna struktura pločice .....	45
Slika 48. Usporedba CAD modela sa skeniranom pločicom .....	46

---

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Fizikalna i mehanička svojstva titana [2].....	4
Tablica 2. Sastav i svojstva $\alpha$ legura titana [7] .....	12
Tablica 3. Sastav i svojstva $\beta$ legura titana [7] .....	13
Tablica 4. Dokumentacija alata.....	23
Tablica 5. Mjerni protokol nakon mjerenja 01 .....	40
Tablica 6. Mjerni protokol nakon mjerenja 02 .....	41
Tablica 7. Mjerni protokol nakon mjerenja 03 .....	42

# Sveučilište Sjever



SVEUČILIŠTE  
SJEVER

## IZJAVA O AUTORSTVU I SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, LARA ZADRAVEC (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom PROIZVODNJA I KONTROLA KVALITETE (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Lara Zadravec  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, LARA ZADRAVEC (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom PROIZVODNJA I KONTROLA KVALITETE (upisati naslov) čiji sam autor/ica. VETERINARSKOG IMPLANTATA OD TITANIJEVE LEGURE

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Lara Zadravec  
(vlastoručni potpis)