

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

**PRIMERJAVA, VPLIV IN VREDNOTENJE
RAZLIČNIH TEHNOLOGIJ IZDELAVE
GRAVURNEGA DELA ORODJA ZA LITJE
ALUMINIJA**

Kandidat: Stanislav Masten

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Strojništvo

Mentor predavatelj: mag. Dragan Gogić

Mentor v podjetju: mag. Kristijan Duh

Lektorica: Slavica Gerič, predmetna učiteljica slovenskega jezika, svet.

Maribor, 2021

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Stanislav Masten sem avtor diplomskega dela z naslovom Primerjava, vpliv in vrednotenje različnih tehnologij izdelave gravurnega dela orodja za litje aluminija, ki sem ga napisal pod mentorstvom Dragana Gogića, mag. inž. metal. in mater..

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo, predstavljanje tujih del oz. misli kot moje lastno, kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 – ZKUASP); prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Maribor, januar 2021

Podpis študenta:

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju Draganu Gogiću, mag. inž. metal. in mater. za strokovno pomoč in vodenje pri pisanju diplomskega dela.

Hkrati bi se tudi rad zahvalil mentorju v podjetju Kristijanu Duhu, mag. inž. str. za vse nasvete in pomoč.

Zahvaljujem se tudi podjetjema Talum d.d. in Marsi Grop, d.o.o..

POVZETEK

V podjetju, v katerem sem zaposlen, se ukvarjamo tudi z izdelavo orodij. Med drugim so to livna orodja za gravitacijsko, nizkotlačno in tlačno litje aluminija. Srečujemo se z najrazličnejšimi oblikami gravur, ki zaradi svojih kompleksnih oblik lahko predstavljajo zaplete pri izdelavi orodja. V družbi Talum d.d. smo zato začeli raziskovati, kako lahko izboljšamo svojo tehnologijo izdelave, saj bomo le tako lahko konkurenčni na trgu. Zavedamo se, da smo le s hitro, cenovno ugodno in seveda kvalitetno izdelavo livnih orodij lahko konkurenčni na današnjem trgu.

Skozi čas se je razvilo veliko različnih metod izdelave izdelkov. Specifične oblike gravur nas lahko omejijo pri izbiri metode izdelave. Običajno moramo metode izdelave kombinirati. Tako lahko na primer rezkanju dodamo potopno erodiranje, da dobimo željeno obliko izdelka, saj je zahtevnost izdelave gravure tako velika, da je izključno z rezkanjem ne moremo izdelati ali pa se takšen način izdelave finančno ne izplača zaradi nakupa dragega rezkalnega orodja. Težava je tudi časovni vidik pri uporabi samo ene metode izdelave, saj je lahko ta zamudna.

V nalogi bom raziskal finančni vidik različnih izdelav in dejanski čas izdelave pri kombinaciji potopne erozije in rezkanja ter izključno rezkanja. Prav tako bom z analizo kakovosti obdelanih površin predstavil vpliv le-teh na kakovostne zahteve izdelkov. Zajel bom tudi možnost izdelave orodja z metodo 3D tiskanja, ki je relativno nova metoda izdelave. Rezultate bom nato med seboj primerjal.

Praktični del bom naredil na podlagi orodja za gravitacijsko litje ohišja toplotnega izmenjevalca, ki ga trenutno izdelujemo. Diplomaska naloga nam bo tudi pripomogla pri naslednjih projektih za lažje izbiranje metodologije in nam bo lahko služila kot vodilo. Ob tem bo potrebna velika pozornost, saj je naloga sestavljena za konkreten primer, ki v nekaterih primerih lahko popolnoma odpove.

Ključne besede: obdelava kovin, CNC- obdelovani stroj, potopna erozija, grafit, aluminij, litje, ekonomičnost, hitra izdelava, tehnologije obdelave, učinkovitost ...

ABSTRACT

COMPARISON, IMPACT AND EVALUATION OF DIFFERENT TECHNOLOGIES OF MAKING THE ENGRAVING PART OF ALUMINUM CASTING TOOLS

In the company that I work at, we are engaged in making various tools. Among other things these are casting tools for gravity, low-pressure and die-casting of aluminum. We encounter a wide variety of forms of cavities that can come with complications in tool making due to their complex shapes. That is why we at Talum d.d. started exploring how we can improve our manufacturing technology so we could compete in the market. Only fast, affordable and high end quality production of casting tools can be competitive in today's market.

Over time, many different methods of product manufacturing have been developed. Specific shapes of cavities can limit us in choosing the methods of making them. Usually we have to combine manufacturing methods. As an example, immersion erosion can be added to milling to obtain the desired shape or form of the product, as the complexity of cavities is so great that it cannot be made exclusively by milling, as for such a method of production is not affordable financially due to the purchase of expensive milling tools. Another problem is the time aspect of using only one method of manufacture, as it can be time consuming.

In this thesis, I will explore the financial aspect of various methods and the actual time of production in the combination of immersion erosion and milling. I will also present the impact of these on the quality requirements of products by analyzing the quality of worked on surfaces. I will also cover the possibility of making a tool with the 3D printing method, which is a relatively new method. I will then compare the results with each other.

I will do the practical part based on the gravity casting tool of the heat exchanger housing that we are currently manufacturing. The diploma thesis will also help us in the upcoming projects to facilitate the choice of methodology and can serve as a guideline. We need to pay attention as the thesis is based on this specific product, the thesis can be unusable in some cases.

Keywords: metal processing, CNC-machine, immersion erosion, graphite, aluminium, casting, economy, fast production, processing technologies, efficiency ...

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	10
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA	10
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	10
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE.....	11
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	11
2	PREDSTAVITEV PODJETJA	12
2.1	ORGANIZACIJA V PODJETJU.....	13
2.2	PE SERVIS INŽENIRING	14
2.2.1	<i>Orodjarna</i>	<i>15</i>
2.2.2	<i>Strojni park orodjarne</i>	<i>15</i>
2.2.3	<i>Izdelki orodjarne</i>	<i>18</i>
2.3	PE ULITKI.....	21
2.3.1	<i>Ključne proizvodne tehnologije</i>	<i>22</i>
3	TEHNOLOGIJE OBDELAVE KOVIN.....	28
3.1	REZKANJE.....	29
3.1.1	<i>Orodja za rezkanje</i>	<i>30</i>
3.1.2	<i>Stroji za rezkanje</i>	<i>32</i>
3.2	EROZIJA	34
3.2.1	<i>Osnove elektro erozijske obdelave</i>	<i>34</i>
3.2.2	<i>Elektroda</i>	<i>36</i>
3.3	3D TISKANJE KOVIN.....	37
4	TEHNOLOGIJA IZDELAVE ORODJA.....	38
4.1	IZDELAVA ORODJA S POSTOPKOM REZKANJA	38
4.1.1	<i>Potek izdelave</i>	<i>39</i>
4.2	IZDELAVA S KOMBINACIJO REZKANJA IN POTOPNE EROZIJE	43
4.3	IZDELAVA ORODJA S TEHNOLOGIJO 3D TISKANJA	53
5	ANALIZA POVRŠIN OBDELANIH Z RAZLIČNIMI TEHNOLOGIJAMI	55
5.1	POVRŠINSKA HRAPAVOST	55
5.2	MIKROSTRUKTURA	60

5.2.1	<i>Toplotni vpliv erozije</i>	60
5.2.2	<i>Homogenost materialov</i>	63
6	PRIMERJAVA REZULTATOV	68
6.1	ČASOVNA PRIMERJAVA	68
6.2	FINANČNI VIDIK	70
7	SKLEP	75
8	VIRI, LITERATURA	77

KAZALO SLIK

SLIKA 1:	ORGANIZACIJA TALUMA D.D.	13
SLIKA 2:	ORGANIZACIJSKA STRUKTURA PE SERVIS INŽENIRING	14
SLIKA 3:	STRUŽNICA	15
SLIKA 4:	BRUSILNI STROJ	16
SLIKA 5:	5-OSNI CNC REZKALNI STROJ	16
SLIKA 6:	ŽIČNA EROZIJA	17
SLIKA 7:	POTOPNA EROZIJA	17
SLIKA 8:	CNC STRUŽNICA	17
SLIKA 9:	LIVNI STROJ ZA GRAVITACIJSKO LITJE	18
SLIKA 10:	LIVNI STROJ ZA NIZKOTLAČNO LITJE	19
SLIKA 11:	LIVNI STROJI ZA TLAČNO LITJE	20
SLIKA 12:	PRODAJA PE ULITKI	21
SLIKA 13:	ALUMINIJEVA TALINA	22
SLIKA 14:	SUŠENJE PEŠČENIH JEDER	23
SLIKA 15:	REZANJE DOLIVKOV	24
SLIKA 16:	PEČ ZA TERMIČNO OBDELAVO	25
SLIKA 17:	OBDELAVA ULITKOV	26
SLIKA 18:	PRIMERI VPETIJ	30
SLIKA 19:	PRIMERI ORODIJ	31
SLIKA 20:	KLASIČNI REZKALNI STROJ	32
SLIKA 21:	5-OSNI CNC REZKALNI STROJ	33
SLIKA 22:	ŽIČNA EROZIJA	35
SLIKA 23:	GRAVURA	39

SLIKA 24: PRIMER REZKALNE GLAVE	40
SLIKA 25: PRIMER TRDO KOVINSKEGA REZKARJA	40
SLIKA 26: KROGELNI REZKAR - PROBLEMATIČNO ORODJE.....	40
SLIKA 27: UTOR, KI PREDSTAVLJA PROBLEM	41
SLIKA 28: VPETA ORODJA.....	43
SLIKA 29: VPENJALNI DEL ELEKTRODE	45
SLIKA 30: A – D: ORODJA ZA GRAFIT	46
SLIKA 31: ZAČETEK IZDELAVE ELEKTRODE	47
SLIKA 32: ELEKTRODA MED IZDELAVO.....	48
SLIKA 33: DOKONČANA ELEKTRODA	49
SLIKA 34: POTOPNA EROZIJA	51
SLIKA 35 A – B: VDI 3400	52
SLIKA 36: DELOVANJE 3D TISKALNIKA KOVIN	54
SLIKA 37: MERILEC HRPAVOSTI MAHR	55
SLIKA 38: GRAF HRPAVOSTI FINEGA ERODIRANJA.....	56
SLIKA 39: GRAF HRPAVOSTI FINEGA REZKANJA	56
SLIKA 40: OZNAČEN DEL IZDELANEGA UTORA	57
SLIKA 41: PRIMER UTORA.....	58
SLIKA 42: PRIMER ERODIRANE POVRŠINE	58
SLIKA 43: POIZKUSNI KOS	60
SLIKA 44: FINO POLIRANA POVRŠINA VZORCA.....	61
SLIKA 45: POŠKODOVANA PLAST - GROBA OBDELAVA	62
SLIKA 46: POŠKODOVANA PLAST - FINA OBDELAVA	62
SLIKA 47: TOOLOX 44 POD MIKROSKOPOM.....	64
SLIKA 48: JEDKANI TOOLOX 44.....	64
SLIKA 49: 1.2709, POD MIKROSKOPOM 1	66
SLIKA 50: 1.2709, POD MIKROSKOPOM 2	66
SLIKA 51: 1.2709, JEDKANO 1	67
SLIKA 52: 1.2709, JEDKANO 2	67
SLIKA 53: GRAF PRIMERJAVE ČASOV	69
SLIKA 54: SKUPNA CENA IZDELAVE.....	74

KAZALO TABEL

TABELA 1: ČAS IZDELAVE Z REZKANJEM	41
TABELA 2: ČAS REZKANJA Z UPORABO EROZIJE.....	44
TABELA 3: ČASA IZDELAVE ELEKTRODE.....	49
TABELA 4: OBNOVE ELEKTRODE	50
TABELA 5: VSEBNOST LEGIRANIH ELEMENTOV V MATERIALU 1.2709	53
TABELA 6: KEMIČNA SESTAVA TOOLOX 44.....	63
TABELA 7: KEMIJSKA SESTAVA 1.2709	65

1 UVOD

1.1 *Opis področja in opredelitev problema*

Vedno zahtevnejše oblike izdelkov narekujejo oblike gravur, ki jih je vedno težje izdelati. Ker kompleksne oblike zahtevajo svoj čas pri izdelavi livnih orodij, smo v podjetju kupili stroj za potopno erozijo, s katero bi si olajšali in pohitrili delo ter bi tako ostali konkurenčni. Do tedaj smo uporabljali samo tehnologijo rezkanja za izdelavo gravurnih delov orodij.

Novi stroj je od nas zahteval prilagoditev in učenje dela na stroju, saj še tega do takrat nismo uporabljali. Te tehnologije nismo poznali, zato smo ob nakupu pri proizvajalcu stroja tudi opravili izobraževanje o tej metodi dela in stroju. Vsekakor je teorijo spraviti v prakso velikokrat težje.

Z diplomsko nalogo bom poizkušal ugotoviti, če je kombinacija rezkanja in erodiranja hitrejša in cenejša od izdelave izključno z rezkanjem ter pri tem skušal napisati smernice za lažjo izbiro postopkov tehnologije, ko se bomo odločali za izbiro med erodiranjem ali ne.

Zanima me tudi, ali se lahko 3D tiskanje primerja z tema dvema tehnologijama v smislu stroškovnega in časovnega dela na danem primeru.

Poizkušal bom ovrednotiti, kako vplivajo te tri obdelave na površino izdelka.

Da bom lažje prišel do podatkov, ki jih bom uporabljal, bom delal na podlagi orodja za gravitacijsko litje ohišja toplotnega izmenjevalca, ki ga trenutno izdelujemo. Vsi podatki se bodo navezovali na to orodje.

1.2 *Namen, cilji in osnovne trditve*

Namen te naloge je oblikovati metodologijo dela in s tem dvigniti produktivnost izdelave ter optimizirati proizvodnjo.

Cilji, katere bi rad dosegel pri diplomski nalogi, so:

- se natančneje poučiti od tehnologiji potopnega erodiranja,
- raziskati 3D tiskanje kovin,
- poiskati podjetje, ki se ukvarja s 3D tiskanjem kovin v Sloveniji,
- preveriti vplive tehnologij na površino,
- primerjati obdelave.

1.3 Predpostavke in omejitve

Omejitev, na katero bom naletel, bo omejen vir literature o 3D tiskanju kovin, saj je tehnologija na trgu le kratek čas in je težje dostopna. Vsekakor bo tudi omejitev o varovanju podatkov v skupini Talum, zato v diplomskem delu ne bom navajal nekaterih ključnih podatkov, ampak bom podajal samo približke.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

Za izdelavo diplomske naloge bom uporabil naslednje metode raziskovanja:

- metodo deskripcije (opisovanje določenih pojmov, dejstev in pojavov),
- metodo kompikacije (uporaba izpiskov, citatov in navedb drugih avtorjev),
- primerjalno metodo (primerjava enakih ali podobnih dejstev ter ugotavljanje podobnosti in razlik med njimi),
- metodo dedukcije (logično sklepanje na temelju splošnih zaznav),
- metodo sinteze (oblikovanje zaključkov na osnovi lastnih spoznanj).

2 PREDSTAVITEV PODJETJA

Zgodovina o tovarni aluminija sega v leto 1942, ko je Trust Verinigte Aluminium Werke pričel z gradnjo tovarne glinice na obočju Dravskega polja. Zaradi bolnišnice in taborišča, ki je stalo na tem mestu med prvo svetovno vojno, je bilo območje na Strnišču že komunalno opremljeno ter je imelo v bližini povezavo z železniško progo. 70 % dela je bilo zaključenega že leta 1945, prvi objekt za elektrolizo pa je začel nastajati leta 1948. V njem bi naj letno pridobivali 10.000 ton aluminija. Po smrti Borisa Kidriča leta 1953 so tovarno in naselje Strnišče preimenovali v Tovarno glinice in aluminija Borisa Kidriča, naselje je dobilo ime Kidričevo. Boris Kidrič je bil eden vodilnih slovenskih in jugoslovanskih politikov .

Novembra leta 1954 je iz elektrolizne peči pritekel prvi aluminij, redna proizvodnja glinice in aluminija pa je stekla komaj leta 1955. Takrat so pričeli s 15.000 ton aluminija in 45.000 ton glinice na letni ravni.

Svoji proizvodnji so leta 1981-1982 še dodali proizvodnjo litja aluminijastega ozkega in širokega traku ter žice, naslednjo leto pa še proizvodnji rondelic in izparilnikov.

Z ukinitvijo stare elektrolize A in pridelavo metalurške glinice je tovarna leta 1992 želela pridobiti podobo moderne in okolju prijazne proizvodnje. V ta namen so simbolično zasadili prvo drevo na bivšo odlagališče rdečega blata ter se preimenovali v Talum.

S pridobivanjem certifikatov o kakovosti proizvodnje, uspešnosti, razvoju in usmeritvi okolju prijaznemu podjetju so leta 1996 v simbol temu podrli dotrajani dimnik, kateri je vzbudil veliko pozornosti.

Modernizacijo proizvodnje primarnega aluminija so z gradnjo elektrolizne hale C zaključili leta 2002. Leta 2003 je nastala livarna livarskih zlitin, kjer so začeli vedno bolj vključevati sekundarni aluminij.

Delovna enota Ulitki je nastala leta 2006, še isto leto so na gravitacijskem livnem stroju ulili prvi ulitek.

Tovarna je nadaljevala svojo pot k naravi prijaznemu pridobivanju aluminija in je zato zaprla elektrolizno halo B in skozi leta še zgradila talno sončno elektrarno z močjo 1MW in 120KW.

Do leta 2018 so dodatno zmanjšali porabo električne energije in dodali v svojo ponudbo aluminijaste drogeve s specifičnimi lastnostmi, zagnali so tudi tlačno litje aluminija.

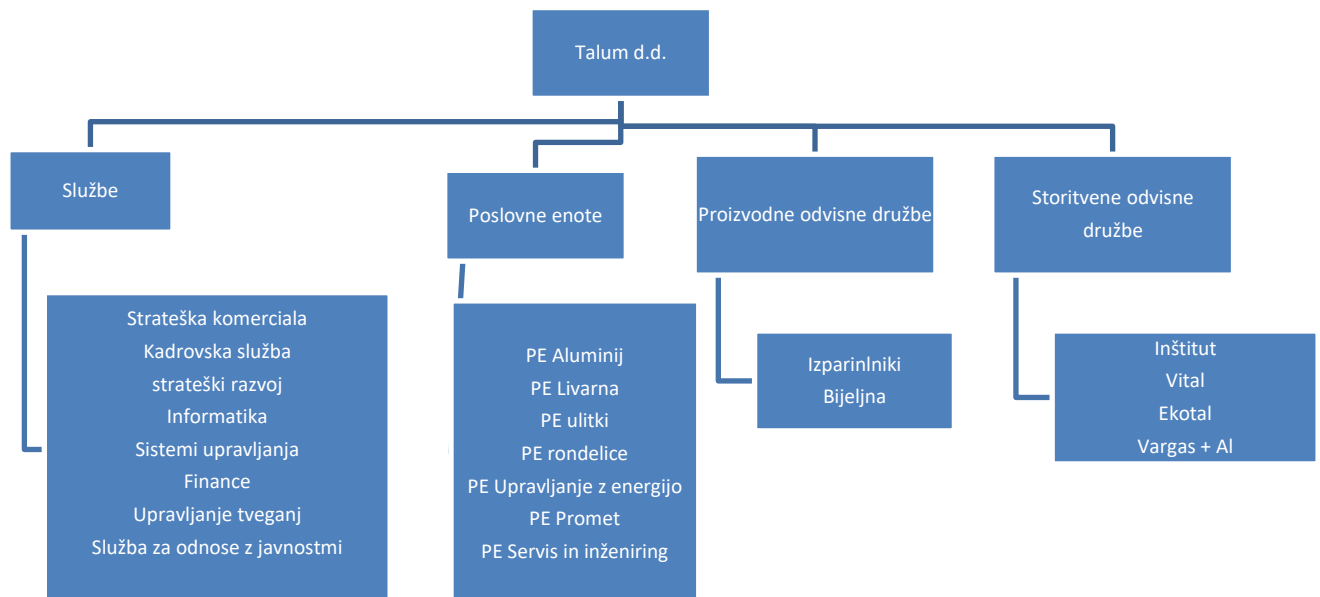
Talum je sodobno podjetje, ki s svojo inovativnostjo in povezanostjo med delavci deluje že več kot 70 let in je zaposlilo že več kot 10.000 ljudi. Trenutno nas je zaposlenih nekaj več kot 1400 in smo postali eden izmed desetih največjih izvoznikov v Sloveniji. Letno proizvedemo 50.000 ton primarnega aluminija in 110.000 ton ostalih izdelkov iz aluminija. V lasti skupine Talum d.d. je približno 100 ha površin in več kot 100.000 m² proizvodnih zgradb.

Skupina Talum si je zastavila vizijo o vitki, energijsko učinkoviti in okolju prijazni proizvodnji, s katero sodi v svetovnem merilu v ozek krog najučinkovitejših proizvajalcev elektroliznega aluminija in njegovih zlitin.

Na področju proizvodnje ulitkov niso uspešni samo na nizkotlačnem in gravitacijskem litju ampak so tudi vstopili na področje visokotlačnega litja, s proizvodnjo rondelic pa se uvrščajo med tehnološko najnaprednejše na svetu (Talum d.d., 2020).

2.1 Organizacija v podjetju

Podjetje je notranje organizirano kakor družba Talum d.d. s poslovnimi enotami in službami. Organizacijsko shemo podjetja Talum prikazuje slika 1.



Slika 1: Organizacija Taluma d.d

Vir: (Talum)

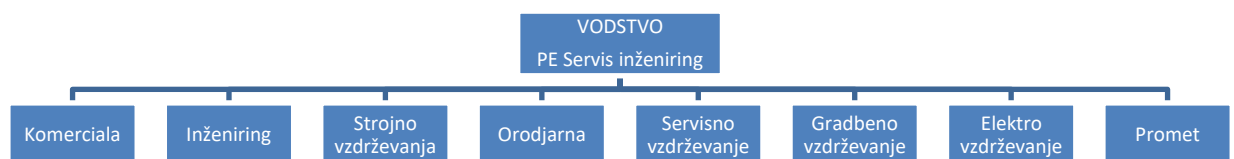
2.2 PE Servis inženiring

Poslovna enota servis inženiring se je začela razvijati leta 1954 zaradi potreb po servisnih in vzdrževalnih delih v matičnem podjetju Talum. Do današnjega dne se je poslovna enota razvijala in pridobivala kompetence in znanje s pomočjo visoko kvalificiranega kadra ter s tem postala sodobno podjetje s kakovostnimi in celovitimi rešitvami na področju servisiranja proizvodne opreme in inženiringa za industrijo. Svojo kvaliteto in znanje dokazujejo s certifikati:

- ISO 14001 (sistem ravnanja z okoljem),
- OHSAS 18001 (britanski standard za varnost in zdravje pri delu),
- ISO 9001 (mednarodni standard za vodenje kakovosti),
- EN 1090 (podlaga za CE pri označevanju elementov oziram sklopov jeklenih konstrukcij).

V poslovni enoti so razširili svoj nabor storitev in so dodali tudi strojogradnjo, izdelavo ognjevzdržnih obzidav, izdelavo raznih livnih orodij, postavitve robotskih celic in avtomatizacijo ter postavitev raznih robotskih celic za avtomatizacijo procesov.

V enoti so organizirani po shemi, ki jo prikazuje slika 2.



Slika 2: Organizacijska struktura PE Servis inženiring

Vir: (Talum interni)

2.2.1 Orodjarna

Orodjarna je ključni del proizvodnje, saj v njej nastajajo najpomembnejši deli za preostanek proizvodnje v podjetju. S pomočjo inovativnosti in visokega nivoja znanj vseh delavcev v orodjarni se razvijajo in izdelajo raznovrstna industrijska orodja ali izdelki. V pomoč uporabljajo najnovejše programske pakete v CAD/CAM računalniških programih. Izdelava teh orodij se vrši na različnih sodobnih obdelovalnih strojih.

2.2.2 Strojni park orodjarne

V naši orodjarni imamo določeno strojno opremo kot je razvidno iz slik 3 do 7:

- 6 rezkalnih CNC strojev od tega so štirje 5-osni in dva 3-osna,
- 2 CNC stružnici z gnanimi orodji,
- ploskovni brusilni stroj,
- brusilni stroj za krogelno brušenje,
- koordinatni brusilni stroj,
- žična erozija,
- potopna erozija,
- 6 klasičnih ročnih stružnic,
- 3 klasične ročne rezkalne stroje.



Slika 3: Stružnica

Vir: (Lasten vir)



Slika 4: Brusilni stroj

Vir: (Lasten vir)



Slika 5: 5-osni CNC rezkalni stroj

Vir: (Lasten vir)



Slika 6: Žična erozija

Vir: (Lasten vir)



Slika 7: Potopna erozija

Vir: (Lasten vir)



Slika 8: CNC stružnica

Vir: (Lasten vir)

2.2.3 Izdelki orodjarne

Orodjarna se večinoma ukvarja z izdelavo livnih orodij za litje aluminija in izsekovalnih orodij za rondelice. Med drugim izdelujemo tudi priprave za vpenjanje odlitkov za obdelavo, obrezovalna orodja, orodja za izdelavo peščenih jeder. Občasno izdelamo tudi kakšno orodje za brizganje plastike.

Izdelujemo 3 tipe orodij za litje aluminija:

- gravitacijsko kokilno litje,
- nizkotlačno lije – LPDC,
- tlačno litje.

Gravitacijsko kokilno litje – GTC

Pri tem procesu litja imamo dva različna postopka:

Klasično gravitacijsko litje pri katerem stroj miruje, talina steče v kokilo zaradi svoje lastne teže oz. gravitacije.

Druga opcija je nagibno gravitacijsko litje, pri katerem talino iz peči prenesemo v livno čašo, ki je na orodju. Simbolično sliko livnega stroja prikazuje slika 8. Ko se stroj zavrti za 90 stopinj, talina steče v gravurni del orodja. Na ta način talina aluminija kontrolirano steče v kokilo. Glede na zahtevnost odlitka lahko pri tej metodi uporabimo peščena jedra.



Slika 9: Livni stroj za gravitacijsko litje

Vir: (Talum, interni)

Nizkotlačno litje – LPDC

Kadar kupec zahteva visoke mehanske lastnosti odlitkov, običajno uporabljamo nizkotlačno livno metodo za mehansko zelo obremenjene dele (sliki 9, 10). Zaradi značilnosti postopka, ki ima daljše cikle z zahtevnejšo tehnologijo, se dvigne tudi cena odlitkov.

Litje poteka po principu izpodrivanja taline iz peči v kokilo po livnih ceveh, litje poteka od spodaj navzgor, saj tlak, ki je lahko maksimalno 1 bar, dovajamo na površino taline in jo izpodrivamo iz peči.



Slika 10: Livni stroj za nizkotlačno litje

Vir: (Talum, interni)

Tlačno litje

Visoke mehanske lastnosti in mikroporoznost lahko dosežemo s tlačnim litjem, ki nam omogoča avtomatiziran postopek litja z zelo kratkimi cikli litja, kateri nam posledično prinesejo veliko produktivnost. Ta postopek je primeren za veliko serijske, kompleksne produkte.

Aluminijeva talina pride v livno orodje pod pritiskom 500 do 1000 barov.



Slika 11: Livni stroji za tlačno litje

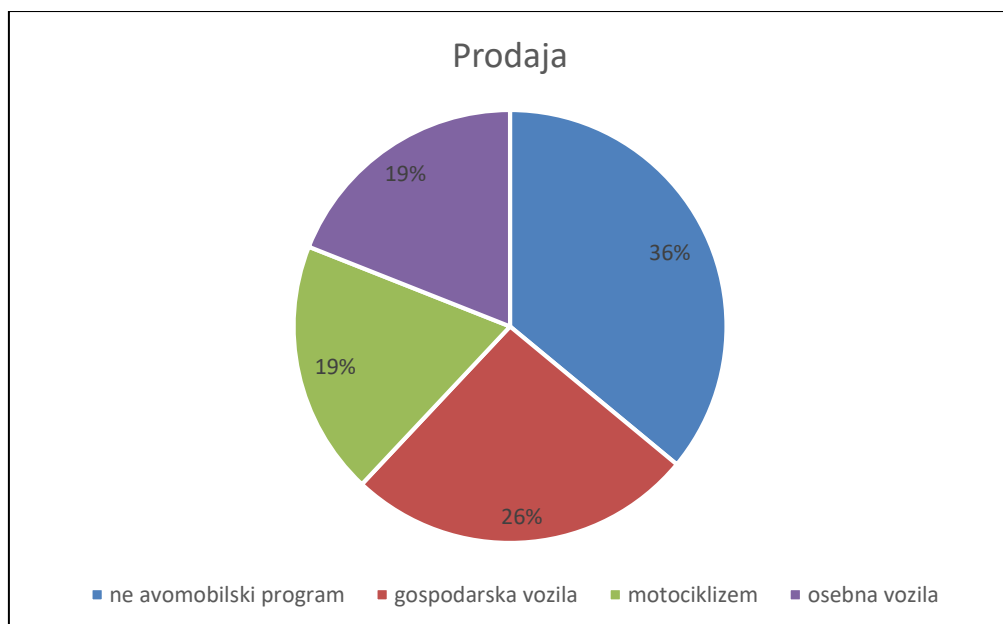
Vir: (Talum, interni)

2.3 PE Ulitki

Odkar je obrat leta 2006 nastal, se jim je s pomočjo inovativnosti in dobrega sodelovanja z delavci uspelo dobro uveljaviti na trgu. Svoja znanja so dokazali s sodelovanji z velikimi podjetji kot so BOSCH, KTM, Husqvarna, Samsung, Volkswagen, BMW, Porsche in mnogimi drugimi.

Njihov prodajni program je razdeljen na štiri večje segmente, kar je razvidno iz grafa na sliki 11:

- 36 % neavtomobilski program – sem spadajo izdelki kot so ohišja filtrov kompresorjev, tekalna kolesa žičnic, elektro ohišja in toplotni izmenjevalniki,
- 26 % avtomobilska industrija/gospodarska vozila – ohišja črpalk, stabilizatorji tresljajev in ohišja elektronike za tovorna vozila,
- 19 % motociklizem – oljna korita, pokrovi sklopke, pesta, nihajne vilice in nosilci sedeža,
- 19 % avtomobilska industrija/osebna vozila - ohišja črpalk, nosilci, konzole, ohišja baterij in stabilizatorji.



Slika 12: Prodaja PE Ulitki

Vir: (Talum)

2.3.1 Ključne proizvodne tehnologije

Aluminijeva talina

Talino (slika 12) pripravljamo v peči Marconi, katera tali z močjo 1-2 toni na uro, v njej pa lahko pripravimo od 2 do 3 tone taline. Aluminijasto zlitino pripeljemo v peč v trdi obliki, hlebčki ali palice. Če je potreba po večji količini, pripeljemo že pripravljeno talino iz hčerinske družbe Talum Livarna.

Pogosto uporabljene aluminijeve zlitine:

- AlSi7Mg0,3,
- AlSi7Mg0,7,
- AlSi8Cu3,
- AlSi10Mg,
- AlSi9Cu3,
- AlSi10MnMg,
- AlSi12Cu1.



Slika 13: Aluminijeva talina

Vir: (Talum)

Jedra COLDBOX

Nekaterih ulitkov zaradi svoje zahtevne oblike ni mogoče izdelati brez kombinacije litja in vstavljenega peščenega jedra ali več majhnih. Jedra se proizvajajo po postopku ColdBox, ki so namenjena izdelovanju votlih oblik v ulitkih po tehnologiji gravitacijskega in nagibnega litja ali nizekotlačnega litja.

Kremenčev pesek je osnovna surovina pri izdelavi jeder po tem postopku. Da dobimo določeno strukturo in trdoto jedra, uporabljamo aditive:

- eko poliuretanska smolo za sprijem peska oziroma vezivo,
- trietilamin, katalizator za utrjevanje oblike strukture,

Po končanem postopku izdelave jeder gredo jedra v skladišče, kjer se najmanj 24 ur sušijo pri nadzorovani temperaturi in vlažnosti zraka. Skladiščenje jeder v predpisani embalaži v času sušenja nam prikazuje slika 13.



Slika 14: Sušenje peščenih jeder

Vir: (Talum)

Litje aluminija

Aluminij lijejo po treh različnih postopkih:

- tlačno litje,
- nizkotlačno litje,
- kokilno litje.

Postopki so opisani v poglavju 2.2.1.

Finalizacija ulitkov

Po končanem litju moramo še ulitek obdelati. Glede na tehnologijo litja, velikosti serije in lastnosti ulitka izberemo metodo finalizacije.

Odlitkom je potrebno odstraniti livne korene, napajalnike ter srhe (slika 14). Ko uporabljamo pri litju peščeno jedro, je potrebno najprej odstraniti jedro, nato napajalnike in srhe.

Srhe in napajalnike odstranjujemo na robotiziranih linijah, kadar so serije manjše in se to ne izplača, se srhe in napajalnike odstrani na ročni žagi ali z ročnim brušenjem.

Peščena jedra odstranjujemo s pomočjo namenskih strojev. Stroji s kombinacijami udarjanja po napajalnikih, vrtanja in z vibriranjem mize odstranijo peščeno jedro.

Po končani finalizaciji gredo ulitki na peskanje, kjer odstranimo preostanke premazov, peska in male srhe. S tem dosežemo dekorativen videz površine in površino utrdimo.



Slika 15: Rezanje dolivkov

Vir: (Talum)

Termična obdelava

Za doseganje boljših mehanskih lastnosti ulitkov uporabljamo termično obdelavo po postopku T6, katera se tudi največ uporablja, saj z njo dosegamo najboljše mehanske lastnosti. Po željah kupcev lahko ulitke termično obdelamo tudi po metodi T4 in T5 v pečeh tipa, ki ga prikazuje slika 15.

Pri termični obdelavi aluminijastih ulitkov so zelo pomembni parametri procesa ter enakomerno delovanje peči. Po končani termični obdelavi se s pomočjo epruvet analizirajo mehanske lastnosti.



Slika 16: Peč za termično obdelavo

Vir: (Talum)

CNC obdelava

CNC obdelava ulitkov se izvaja na sodobnih obdelovalnih strojih. Izdelke mehansko obdelajo do te mere, da so pripravljeni za montažo pri kupcih (slika 16). Za obdelavo uporabljajo več različnih 4 ali 5-osnih CNC strojev različnih proizvajalcev, kot so DOOSAN, Mori seki, Lincon ...

V svojem repertoarju imajo tudi CNC stružnice, znamke DOOSAN in Puma.



Slika 17: Obdelava ulitkov

Vir: (Talum, interni)

Kontrola ulitkov

Konkurenčnost na trgu je visoka in le najboljša podjetja si zagotovijo redne kupce in zaupanje na trgu. Uspešnost podjetja sloni na kakovosti njenih izdelkov, zato družba Talum veliko vlaga v procese kakovosti in kontrole. Kontrolne tehnologije, ki jih družba Talum uporablja so:

- Spektrometrija,
- Termična analiza,
- 3D skeniranje,
- Mehanski preizkusi,
- Hrapavost površine,
- Mikroskopija,
- 3D meritve,
- RTG kontrola,
- CT kontrola.

3 TEHNOLOGIJE OBDELAVE KOVIN

Začetke obdelave materialov lahko zasledimo v kameni dobi, ko si je človek za različne potrebe in preživetje izdeloval razna orodja in orožja iz kamna, lesa ali kosti. Odkritje prvih kovin je bil naslednji velik napredek v zgodovini obdelovalnih tehnologij, saj so želje po novih orožjih gnale odkritja po novih tehnologijah obdelave tedanjih kovin. Vse do pojava uporabnega parnega stroja v 19. stoletju je bil les glavni obdelovalni material.

Z vpeljavo parnega stroja in kasneje elektro motorja se je začela tehnologija odrezovanja materiala še hitreje razvijati. Pojavile so se prve stružnice in frezalni stroji, na katere so s parnega stroja preko jermenov, gredi ali škripcev prenašali moč parnega stroja. Iznajdba križne podpore na stružnici je pomenila velik korak naprej v razvoju. Od takrat naprej ročno vodenje orodja ni bilo več potrebno, ampak je bilo pritrjeno in vodeno s podporo.

Razvijanje procesov pridobivanja in obdelave jekel za orodja se je pričelo v 18. stoletju. Takrat je bilo najboljše jeklo za rezilno orodje ogljikovo jeklo in ogljikovo orodno jeklo. Rezalna hitrost orodij iz teh materialov je bila manjša od 10m/min, njihova življenjska doba je bila zelo kratka. Dandanes uporabljamo materiale, ki prenesejo rezalne hitrosti približno med 150-200 m/min.

Mushetovo jeklo je bil prvi orodni material, kateri je bil podoben hitroreznemu jeklu. Nastal je slučajno z eksperimentiranjem z dodatki volframa in mangana, ki so ga nato ohlajali na zraku. Z dodajanjem legiranih elementov so dobivali boljša orodna jekla z rezalnimi hitrostmi okrog 10 m/min, s tem pa se je povečala tudi produktivnost.

Na razstavi v Parizu leta 1900 je Frederick Tylor predstavil prvo orodje iz HSS-High speed steel oz. hitro reznega jekla. Svoje iznajdbo je predstavil na samostojno gnani stružnici, na kateri je obdeloval ogljikovo jeklo s takšno hitrostjo, kot je še niso videli. Med odrezovanjem je bil rezalni rob rdeče barve, odrezki pa modre. Rezalna hitrost, katero je uporabil na predstavitvi, je bila 40 m/min s podajanjem 1,6 mm/vrt. in globino 4,8mm. S tem dogodkom je močno vplival na razvoj odrezovanja in ga tudi spremenil v znanost. Naredil je več kot 10.000 poizkusov, s tem pa se je pričelo obdobje obdelave s hitroreznim jeklom. Orodje je skrajšalo proces struženja, ki je pred tem trajal 100 minut na postopek, na 26 minut.

Z namenom, da bi odkrili še bolj učinkovite in kakovostne materiale, so pričeli z razvojem metalurgije in toplotne obdelave. Namen je bil povečanje obstojnosti orodij pri temperaturah višjih od 600°C. (Hamler, 2008)

Stelit oz. lita karbidna trdina se je pojavila v začetku 20. stoletja. Sestavljena je bila iz osnovnih elementov, kot so volfram, kobalt, krom. To je še dodatno zmanjšalo čas struženja na 15min.

Izdelava orodij iz karbidnih trdnin je z začetkom razvoja prašne metalurgije leta 1930 dodatno skrajšala čas obdelave na 6 min.

Z razvojem obdelovalnih materialov so se vzporedno tudi razvijali obdelovalni stroji in orodni sistemi. V sredini 20. stoletja so se začeli razvijati prvi NC in CNC stroji, s katerimi se je tudi začela doba računalnikov v tehnologiji odrezovanja.

3.1 Rezkanje

Rezkanje oz. frezanje je odrezovanje materiala po načelu klina, ki s površine obdelovanca odstranjuje posamezne dele materiala. Spada med nekontinuirane večrezilne postopke. Glavno gibanje (vrtenje) opravlja orodje, podajalna gibanja so lahko različna in so odvisna od tipov stroja:

- orodje opravlja vso podajalno gibanje,
- obdelovanec opravlja vso podajalno gibanje,
- orodje in obdelovanec naredita del podajalnega gibanja.

Število rezil, ki jih ima orodje, je odvisno od postopka obdelave, ki ga opravlja. Število rezil je lahko eno ali več, večinoma pa dve, štiri, šest ali več. Vedno reže samo en del rezil, ki ustvarjajo različno velike odrezke. Ločimo obodno in čelno frezanje, odvisno od strani dotika frezala z obdelovancem.

Smer vrtenja orodja v levo ali desno je odvisna od oblike orodja. Večino orodij je namenjenih za vrtenje v desno, kakšna specialna pa tudi v levo. Če vrtenju orodja dodamo še gibanje proti obdelovancu, lahko dobimo protismerno in istosmerno frezanje.

Istosmerno frezamo takrat, ko se orodje giblje v isti smeri, kakor se vrti. Protismerno pa ravno nasprotno, orodje se giblje proti smeri, v kateri se vrti.

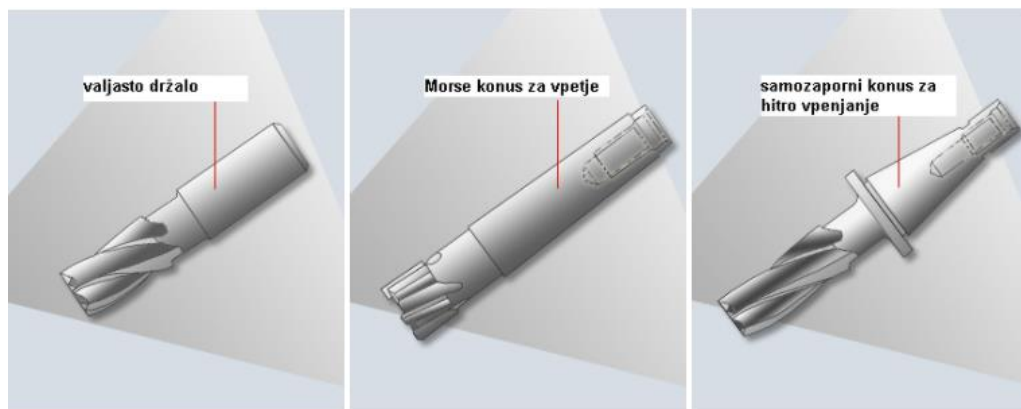
Vse kar damo na mizo rezkalnega stroja, moramo pred obdelavo močno in togo vpeti, da zmanjšamo vibracije in podajanje obdelovanca. Obdelovanci so lahko zelo različnih oblik, zato uporabljamo veliko različnih metod vpetja, glede na obliko in zahteve obdelovanca.

3.1.1 Orodja za rezkanje

Pri izdelavi komponent s postopki frezanja uporabljamo veliko različnih vrst orodij. Izbiro orodja določajo oblike kosov in način izdelave. Ta omogočajo podajalna gibanja v več smereh naenkrat, kar nam daje tudi možnost za izdelavo najrazličnejših oblik izdelkov. Geometrijska oblika frezala, način vpenjanja orodja in vrsta materiala rezalnega dela orodja so ena izmed pogostejših kategorij, po katerih jih lahko razdelimo.

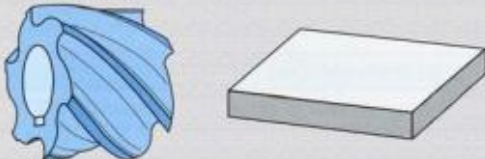
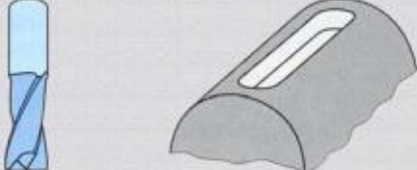
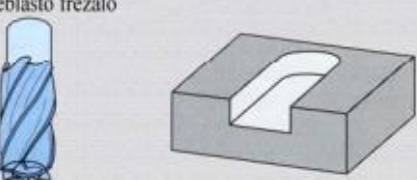
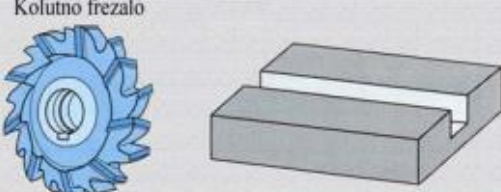
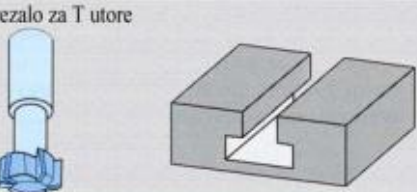
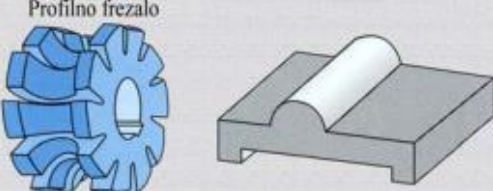
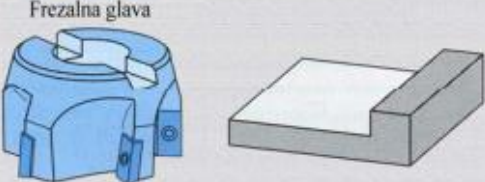
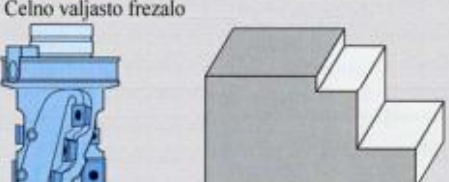
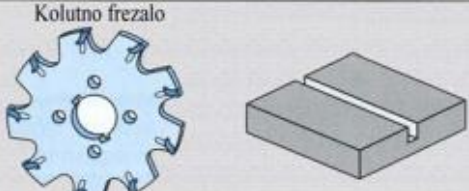
Vsa orodja moramo tudi nekako vpeti v stroj, da lahko z njimi delamo. Poznamo več različnih načinov vpenjanja, kot je to prikazano na sliki 17, primere orodij prikazuje slika 18. Najpogostejši načini so:

- nakrčevanje,
- morze konus,
- vpenjalne stročnice.



Slika 18: Primeri vpetij

Vir: ([Http://egradivo.ecnm.si/ODR/index.html](http://egradivo.ecnm.si/ODR/index.html))

	Natakljiva frezala	Stebelna frezala
HSS frezalo	Valjasta frezala 	Dvorezilno frezalo za utore 
	Čelno valjasto frezalo 	Stebelasto frezalo 
	Kolutno frezalo 	Frezalo za T utore 
	Profilno frezalo 	Frezalo za utore - latovičji rep 
Frezalo s karbidnimi trčinami	Frezalna glava 	Čelno valjasto frezalo 
	Kolutno frezalo 	Stebeljno frezalo 

Slika 19: Primeri orodij

Vir: (<http://egradivo.ecnm.si/ODR/index.html>)

3.1.2 Stroji za rezkanje

Od prve izvedbe rezkalnega stroja do danes je prišlo do mnogih izboljšav in napredka. Stroji so skozi zgodovino postajali hitrejši, natančnejši in prijaznejši za uporabo.

Najosnovnejši rezkalni stroji, ki jih dandanes še vedno uporabljamo, so klasični rezkalni stroji (slika 19). Ti se večinoma pomikajo samo po treh oseh v smereh X, Y in Z. Po potrebi lahko dodamo kakšno rotacijsko os v obliki delilnika, vrtljive mize ali nagiba orodja. Orodje poganja elektromotor, pomike pa upravljamo ročno ali s pomočjo elektromotorja preko prenosov.



Slika 20: Klasični rezkalni stroj

Vir: (Lasten vir)

Z razvojem računalniške tehnologije so se računalniki začeli vpeljevati k rezkalnim strojem in začeli so nastajati NC rezkalni stroji. Kratica NC pomeni numerično krmiljenje. S tem so lahko začeli izdelovati zahtevnejše komponente, ki jih do takrat ročno niso mogli.

S podajanjem številskih podatkov stroju, je le-ta podatke obdelal in jih prilagodil ter posredoval elementom stroja za premik po oseh.

NC rezkalni stroj je hitro nasledil CNC (computer numeric control) rezkalni stroj, ki je popolnoma voden s strani računalniškega krmilnika. Še vedno je odvisen od delavca, saj ta na stroju pripravi surovec, orodje in program po katerem dela.

Namen CNC strojev je izdelava najzahtevnejših oblik izdelkov, katerih človeška roka ne more izdelati. Vse to je potrebno narediti čim hitreje. To pomeni, da so ti stroji tudi zelo prilagodljivi s prehodi iz ene obdelave na drugo ter natančni in hitri. To jim daje zelo dobre lastnosti za uporabo avtomatizacije v serijskih proizvodnjah.



Slika 21: 5-osni CNC rezkalni stroj

Vir: (Lasten vir)

Imamo veliko različnih vrst in oblik CNC strojev (slika 20), katerih glavne značilnosti so:

- pozicija vretena (vertikalno, horizontalno),
- konstrukcija (portalna, posteljna, konzolna),
- vrsta delovne mize,
- število osi (3-osni, 4-osni, 5-osni).

3.2 Erozija

Odrezovanje po načelu klina ni edina obdelava, s katero lahko odstranjujemo material s površine obdelovanca. Poznamo tudi postopke, pri katerih konvencionalnega orodja sploh ni. To so postopki, ki odstranjujejo delce s površine obdelovanca s pomočjo kemične, toplotne ali električne energije. Dobri primeri takih postopkov so laser, plazma, kemično jedkanje in erozija.

Zanimivo je, da je prišlo do odkritja teh obdelovalnih postopkov ob iskanju novih metod, ki bi bile učinkovitejše od konvencionalne obdelave z odrezovanjem, ki ima zelo slab izkoristek. Odkrile so se nove metode, ki imajo dejansko še manjši izkoristek, ampak so se odprle nove možnosti obdelave. Do takrat je bilo praktično nemogoče zvrtati manjšo izvrtino v diamant ali karbidno trdino, z laserskimi žarki je to danes možno v izjemno kratkem času.

3.2.1 Osnove elektro erozijske obdelave

Elektro erozijska obdelava je način obdelave, pri kateri ni električni tok samo vir energije ampak je tudi sila, ki obdeluje kovino. V nasprotju z ostalimi konvencionalnimi načini pri tem postopku ni nobenih vmesnih mehaničnih posrednikov, kot so motorji, zobniki in podobno. Električno energijo dovajamo neposredno na obdelovanec.

Obdelava z iskrenjem je med vsemi postopki odnašanja materiala najbolj pomembna in razširjena v tehnološki proizvodnji, čeprav jo že pogosto nadomešča visokohitrostna obdelava. Na splošno se v orodjarstvu kombinira s postopki odrezovanja. (dr. mag. Marija Kisin, 2011)

Obdelovanec in orodje sta elektrodi, med katerima se več tisočkrat v sekundi pojavlja iskra oz. razelektritev, zaradi katere se delci uparijo od materiala. Pri tem nastajajo visoke temperature (6000-11000°C) in tlaki v zelo majhnem prostoru. To povzroča razpršitev materiala in nastanek kraterjev. Za obdelavo se vedno obrabljata obdelovanec in orodje. Premike vrši orodje z enakomernim spuščanjem, za katerimi sledijo odmiki. Tok je v obliki impulzov, katerih jakost, dolžino in frekvenco lahko poljubno spreminjamo. Celoten proces večinoma vršimo v neprevodni dielektrični raztopini, katere funkcija je odnašanje erodiranih delcev, hlajenje orodja in obdelovanca ter povečanje gostote energijskega toka med orodjem in obdelovancem. Značilne dielektrične tekočine so: petrolej, aromatska in silikonska olja.

Obdelava na teh strojih je lahko zelo natančna in se giblje nekje med 0,01 mm in 0,0025 mm. Površine je mogoče izdelati zrcalno gladke do absolutne površinske hrapavosti Ra 0,04 mikrometra.

Taka obdelava lahko traja več dni, zato se je večinoma ne poslužujemo in obdelujemo samo do površinske hrapavosti Ra 2 do 3 mikrometra. Ostalo se obdela s poliranjem. Kadar želimo izbrati določeno hrapavost, si pomagamo z etalonom VDI 3400.

Na površini se vedno ustvari značilen mat odsev kovine, kateri zavaja dejansko hrapavost, ki je veliko večja kot se zdi. Globina te plasti je odvisna od parametrov obdelave in se lahko giblje med 1-40 mikrometra. Ta plast je toplotno prizadeta in je trša od osnovnega materiala. Za daljšo življenjsko dobo orodij moramo to plast odstraniti.

Elektro erozijske stroje delimo v dve skupini:

- Žična elektro erozija (slika 21) – pretežno se uporablja za izreze različnih lukenj, matric, oblik ter prebijanje lukenj in podobno.



Slika 22: Žična erozija

Vir: (Lasten vir)

- Potopna elektro erozija – uporablja se za izdelavo zahtevnejših oblik v material ali za obdelavo zelo trdih materialov.

3.2.2 Elektroda

Pri potopni erozijski obdelavi je orodje elektroda. Ta elektroda je lahko iz različnih elektro prevodnih materialov, katere lahko z lahkoto obdelujemo ter ima ustrezno trdnostno lastnost, vsekakor pa ne sme biti predraga. V Talumu najpogosteje uporabljajo grafit, občasno tudi baker. Lahko bi uporabili tudi železo, ampak je izdelava elektrode zelo zamudna, obraba pa bi bila ogromna.

Železo v orodjarnah uporabljajo samo pri kakšnih tesnilnih površinah, kjer z obema polovicama tesnilnih površin erodirajo, da se poravnata ena drugo.

Oblika elektrode je vedno negativ končne oblike obdelovanca, ki je mersko zmanjšana. Za grob in hiter začetni odvzem materiala pripravimo od 0.3 mm do 0.7 mm manjše elektrode. Za fino obdelavo je elektroda manjša - med 0.2 mm do 0.3 mm.

Elektrode se dandanes večinoma izdelujejo na rezkalnih CNC strojih, ki so rahlo prilagojeni za hitre pomike in velike obrate vretena. Vsekakor pride prav tudi kakšno odsesavanje prahu, ki nastaja pri rezkanju grafita.

3.3 3D tiskanje kovin

3D tisk kovin je še dokaj nova tehnologija, ki se je komaj pričela uveljavljati na trgu kot ena izmed rešitev pri izdelavi zahtevnejših komponent. Preden je na trg prišlo 3D tiskanje, je bila na voljo le obdelava z odvzemanjem materiala. Sedaj imamo možnosti izdelave z dodajanjem materiala.

3D- tisk je izdelava tridimenzionalnih objektov z dodajanjem materiala po plasteh. Gre za računalniško voden postopek, kjer predmet izdelamo po 3D modelu, ki je zmodeliran v enem izmed CAD programov. Od konvencionalnih procesov se razlikuje po tem, da ni odstranjevanja materiala s struženjem, vrtanjem ali podobno, ampak gre za dodajanje. Pri nekaterih postopkih izdelave 3D tiskanja lahko porabimo samo toliko materiala, kolikor bo težak končni kos. To pomeni, da za izdelavo 50 g težkega modela, porabimo 50 g materiala.

Ta postopek se veliko uporablja za izdelavo:

- prototipov,
- nakita,
- dentalne medicine,
- medicinske postopke,
- industrijskega oblikovanja ...

Tiskamo lahko na več različnih načinov. Najbolj priljubljeni pa so:

- selektivno lasersko sintranje (SLS),
- stereolitografija (SLA),
- nalaganje krojenih plasti (LOM),
- ciljno nalaganje (FDM).

Po končanem tiskanju moramo izdelke še obdelati. Kaj je potrebno obdelati, pa je odvisno od uporabe tehnike tiskanja in lastnosti izdelka ter materiala, ki ga uporabljamo. Izdelke izdelane z laserskim sintranjem je potrebno še segreti, da odstranimo nakopičeno notranjo napetost ali jih obdelamo kemično, odstranimo nepotrebne dodatke, poliramo in podobno. (Huš, 2018)

4 TEHNOLOGIJA IZDELAVE ORODJA

Vsak kos lahko izdelamo na več različnih načinov in vsak izdelovalec izbere svoj postopek glede na svoja znanja, izkušnje in razpoložljivost strojev ter orodja, zato bo vse, kar sledi, zapisano na podlagi naših izkušenj in znanj v orodjarskem svetu. Nekateri podatki bodo rahlo zakriti ali pa bodo podani približki zaradi varovanja podatkov v skupini Talum d.d..

4.1 *Izdelava orodja s postopkom rezkanja*

Ob pridobitvi naročila za novo livno orodje se prične izdelava v ekipi konstrukcije. Tam izrišejo orodje, pripravijo koncepte, predvidijo, kako bo orodje izgledalo in delovalo in se s kupcem dogovorijo o vseh podrobnostih.

Koncept orodja in konstrukcija sta bistvena pri izpostavljenosti temperaturnim obremenitvam in pojavu napetosti med delovanjem. V veliko pomoč so nam računalniške simulacije, ki nam omogočajo vpogled v termo-mehanske procese v livnih orodjih. (Gogič, 2011)

Ko so vse podrobnosti dorečene in potrjene s strani kupca, načrte in 3D modele predajo tehnologom, da začnejo pripravljati postopke izdelave ter naročiti potrebno orodje in material za izdelavo.

Material, ki ga uporabljamo pri izdelavi teh orodij, je Toolox 44. To je jeklo v poboljšanem stanju in je primerno za strojegradnjo in orodjarstvo. Ima trdoto približno 44 HRC in 2 do 3 krat večjo žilavost od ostalih standardnih orodnih jekel v tem razredu trdote. Zaradi svojih odličnih obdelovalnih sposobnosti ga lahko takoj obdelujemo na končne mere brez nadaljnjih toplotnih obdelav. S tem si lahko močno dvignemo produktivnost pri izdelavi orodij. Še ena kvaliteta tega materiala je, da pri temperaturi 500°C ohrani 80% svoje prvotne trdote. Zaradi tega je Toolox 44 zelo uporaben pri izdelavi različnih livnih orodij.

Ti dve lastnosti sta tudi močno prispevali k temu, da smo zamenjali klasičen orodni material W. Nr. 1.2343 z Toolox 44. S tem smo zelo skrajšali stroške izdelave orodja in povečali njegovo obstojnost.

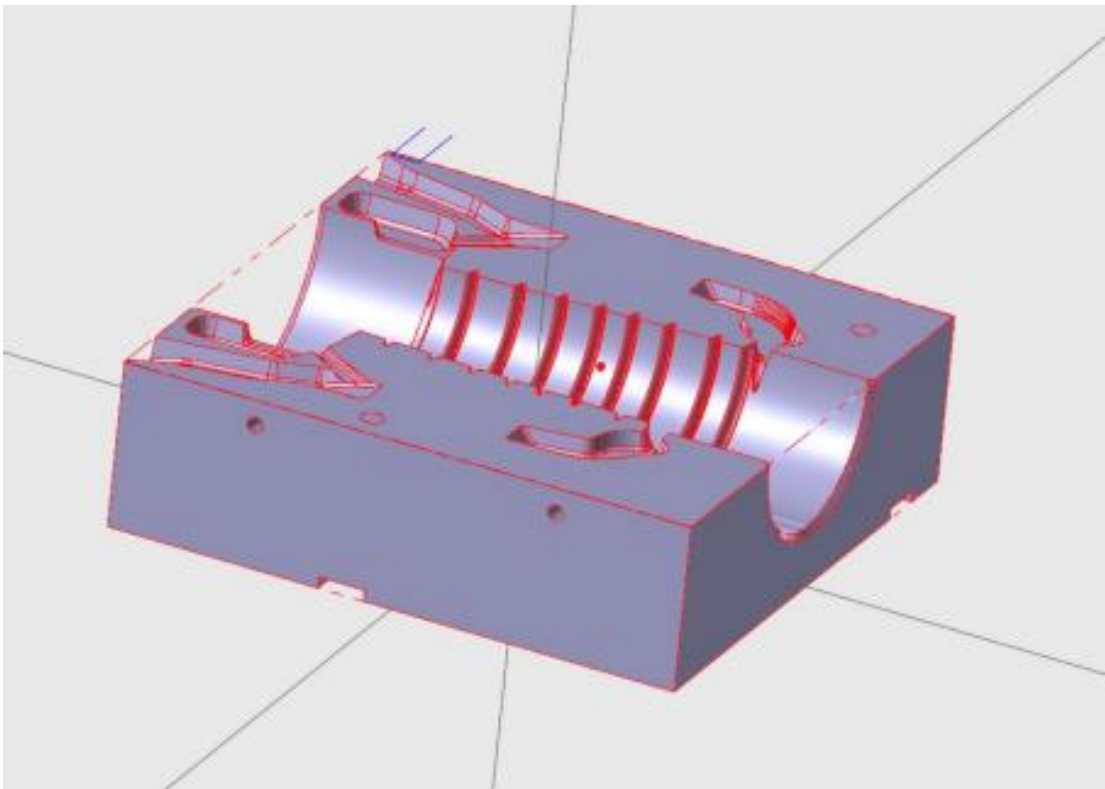
Če bi želeli še dodatno povečati obstojnost orodja, bi lahko še dodali kakšen dodaten nanos na površino orodja. Lahko bi izbrali med nitriranjem ali kakšno PVD prevleko. Nanosov se zaradi peskanja orodja ob vzdrževanju načeloma ne poslužujemo.

Z načrtovanjem lastnosti orodja delno opredelimo in zagotovimo življenjsko dobo orodja.

4.1.1 Potek izdelave

Izdelavo gravure (slika 22) pričnemo na spodnji strani gravure. Surovec vpnemo na CNC rezkalni stroj in ga obdelamo na zadnji strani. To pomeni, da zvrtnemo vse luknje, porezkamo navoje in žepe. Nato ga lahko obrnemo in ga vpnemo na namensko vpenjalno ploščo. Ta nam dovoljuje, da lahko gravuro obdelujemo z vseh ostalih strani. Od zgoraj, levo, desno, spredaj, zadaj.

Ker bom primerjal izdelavo gravurnega dela oz. 3D oblike, ne bom podrobneje opisoval izdelave ostalih delov orodja.



Slika 23: Gravura

Vir: (Lasten vir)

Ko imamo ostalo narejeno, začnemo z izdelavo gravure oziroma 3D oblike. Vse obdelave 3D oblik v našem podjetju programiramo v programu Mastercam. Ta program nam omogoča različne vrste in načine obdelav.

Na začetku izdelave želimo čim več materiala odstraniti v najkrajšem času, zato izberemo orodje z večjim premerom, ki še vseeno dovoljuje dokaj hitre pomike in zmerno globino rezkanja.

V tem primeru uporabljamo glavo (slika 23) proizvajalca Pokolm s premerom 35 mm. Delamo na dokaj velik dodatek, da nam ostane dovolj materiala še za naslednje obdelave. Primer trdo kovinskega rezkarja nam prikazuje slika 24.



Slika 24: Primer rezkalne glave

Vir: (Lasten vir)



Slika 25: Primer trdo kovinskega rezkarja

Vir: (Lasten vir)

Prva operacija obdelave traja 2 h 49 min po izračunu programa. Če želimo imeti dejanski čas, moramo dodati približno 20 % ali več časa, odvisno od zmožnosti stroja in zahtevnosti oblike. Do tega prihaja zaradi kompenzacij pomikov stroja, saj stroj ne zmore ves čas držati določene hitrosti pomika. Hitrost pomika pada vedno v radijih oz. takrat, ko se stroj ne premika po ravnih poteh.

Z nadaljnjimi operacijami vedno bolj zmanjšujemo premere orodij in se vedno bolj približujemo končni obliki gravure. Z manjšimi orodji se pojavi tudi problem vpetja. Obdelovati moramo globoko, temu primerno moramo tudi vpeti orodja. Manjši rezkarji, ki so primerni za ta način obdelave, 8 ali manj mm premera, imajo v ponudbi prodajalca, od katerega kupujemo, stebila dolga le 100 mm ali manj.

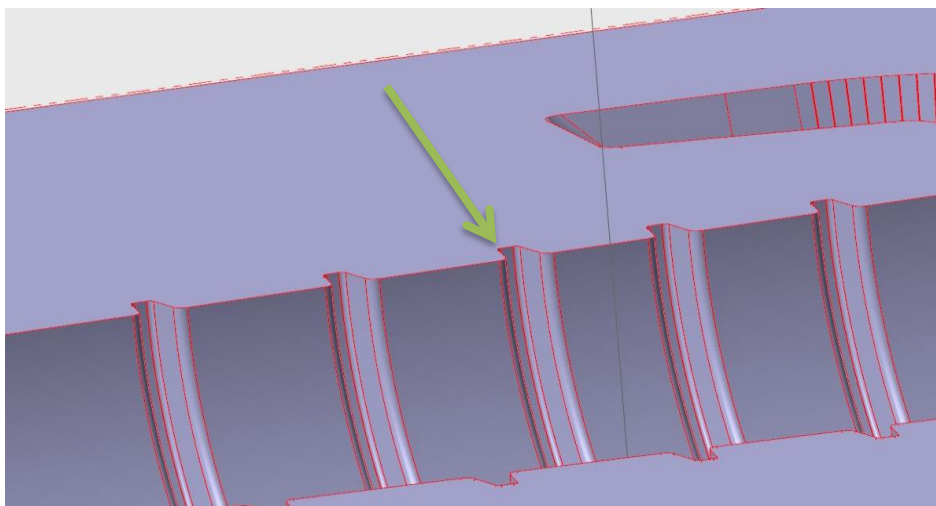
Zaradi tega moramo uporabljati daljša držala in bolj izpeto orodje. To pomeni manjšo togost orodja. Manjša togost orodja nas omejuje pri globini reza in hitrosti pomika orodja, če želimo doseči enako obdelovalno površino kot pri bolj vpetem orodju. Čas izdelave se poveča.



Slika 26: Krogelni rezkar - problematično orodje

Vir: (Lasten vir)

V našem primeru izdelujemo zelo tanke in globoke utorje, kar je tudi največja težava pri izdelavi tega livnega orodja. Imamo velike težave z obstojnostjo orodja (slika 25), saj se pojavijo velike vibracije, ki so posledica netokega vpetja. Rezultat tega je hitra poškodba rezilne površine. Težavo smo rešili tako, da smo pri obdelavi uporabili 2 seta enakih orodij za izdelavo utorov (slika 26). Vsak set izdela polovico reber na gravuri. S tem smo lahko skrajšali čas izdelave in zagotovili, da ne pride med izdelavo do lomov orodja in zastojev. Vsekakor moramo biti tudi pozorni na sprostitve orodij in dolžine izpetja orodja iz vpenjalnega trna, da orodje ali vpenjalni trn ne zadenejo v gravurni del ter ga poškodujejo. To nam dodatno otežuje proces izdelave.



Slika 27: Utor, ki predstavlja problem

Vir: (Lasten vir)

Zaporedna operacija	Ime orodja	Premjer (mm)	Število obratov (vrt/min)	Hitrost pomika (mm/min)	Globina reza (mm)	čas operacije (h:min)
1	Pokolm	35	2200	5500	0.6	2:49
2	Pokolm	20	4000	3000	0.3	2:59
3	Mitsubishi Toros	10	3500	2200	0.1	1:49
4	Mitsubishi Toros	6	2700	4000	0.1	1:10
5	Mitsubishi kugla	12	5000	1500	0.1	2:24
6	Mitsubishi kugla	6	16000	3000	0.2	0:30
7	Mitsubishi kugla	5	6000	2000	0,05	3:54
8	Mitsubishi kugla	4	6800	1500	0.03	20:15
9	Mitsubishi kugla	3	8000	1600	0.03	22:36
10	Pokolm	32	2500	2200	0.5	3:30
Čas izdelave						61:56

Tabela 1: Čas izdelave z rezkanjem

Vir: (Lasten vir)

Iz tabele 1 lahko razberemo, da bi izdelava 3D modela trajala skoraj 62 ur. Ker vemo, da vsi stroji izgubijo polni pomik v zavojih, se čas izdelave lahko poveča. Iz izkušenj predvidevamo, da se bo izdelava zavlekla ter bo trajala 120 ur oz. približno 5 dni. Največ časa izgubimo na utorih, kjer stroj močno zavira svoje gibanje zaradi neugodne oblike utora. V primeru skrhanega ali uničenega orodja je mogoče, da se izdelava podaljša celo za več dni.

Vsekakor moramo predvidevati, da površina v utorih ne bo idealna in lahko pričakujemo še kakšno dodatno ročno obdelavo s poliranjem ali brušenjem. To se nam začne pojavljati zaradi neugodnih kotov rezkanja v utorih in dobimo različne zareze ter prehode, katere moramo pobrusiti, da dobimo enakomerne površine in gladke prehode. Posledično to pomeni dodatno povečanje časa in večje stroške izdelave.

4.2 Izdelava s kombinacijo rezkanja in potopne erozije

Za izdelavo orodij s pomočjo erodiranja moramo v večini primerov obdelovance najprej pripraviti z rezkanjem. Izdelava samo z erodiranjem bi bila predraga in predolga, saj z erodiranjem ne moremo tako hitro odstranjevati in obdelovati kovine kakor z rezkanjem. Z rezkanjem najprej odstranimo čim več materiala in obdelamo vse lažje dostopne površine. Za erodiranje si pustimo samo utor, kateri nam predstavlja problem pri izdelavi.



Slika 28: Vpeta orodja

Vir: (Lasten vir)

Ti dve orodji (slika 27) nam predstavljata največji problem pri izdelavi, saj morata biti zelo izpeti. V primeru, ko teh problematičnih utorov ne izdelujemo z rezkanjem in jih erodiramo, se čas izdelave z rezkanjem veliko zmanjša.

Zaporedna operacija	Ime orodja	Premjer (mm)	Število obratov	Hitrost pomika (mm/min)	Globina reza (mm)	čas operacije (h:min)
1	Pokolm	35	2200	5500	0.6	2:49
2	Pokolm	20	4000	3000	0.3	2:59
3	Mitsubishi Toros	10	3500	2200	0.1	1:49
4	Mitsubishi Toros	6	2700	4000	0.1	1:10
5	Mitsubishi kugla	12	5000	1500	0.1	2:24
6	Mitsubishi kugla	6	16000	3000	0.2	0:30
7	Mitsubishi kugla	4	6800	1500	0.03	1:0
8	Mitsubishi kugla	3	8000	1600	0.03	0:20
9	Pokolm	32	2500	2200	0.5	3:30
Čas izdelave						14:45

Tabela 2: Čas rezkanja z uporabo erozije

Vir: (Lasten vir)

Iz tabele 2 lahko razberemo, da se čas rezkanja skrajša za približno 4 krat.

Pri izdelavi s kombinacijo rezkanja in potopne erozije se večji del izdelave ponovi. Izpusti se samo izdelava problematičnih utorov, ki jih tukaj izdelamo z erozijo.

Za to obdelavo potrebujemo elektrodo. Ker smo se odločili, da ne bomo z rezkanjem izdelovali reber toplotnega izmenjevalnika, moramo izdelati 2 elektrodi za erodiranje.

Največkrat uporabljamo grafitne elektrode, le redko bakrene. Grafit je namreč lažje obdelovati, je tudi cenejši, zato smo ga uporabili tudi v tem primeru.

Tudi grafit moramo nekako vpeti na stroj, zato najprej surovec grafita obdelamo z ene strani in ga pripravimo na vpetje v standardni vpenjalni sistem (slika 28), ki se uporablja na naši potopni eroziji.



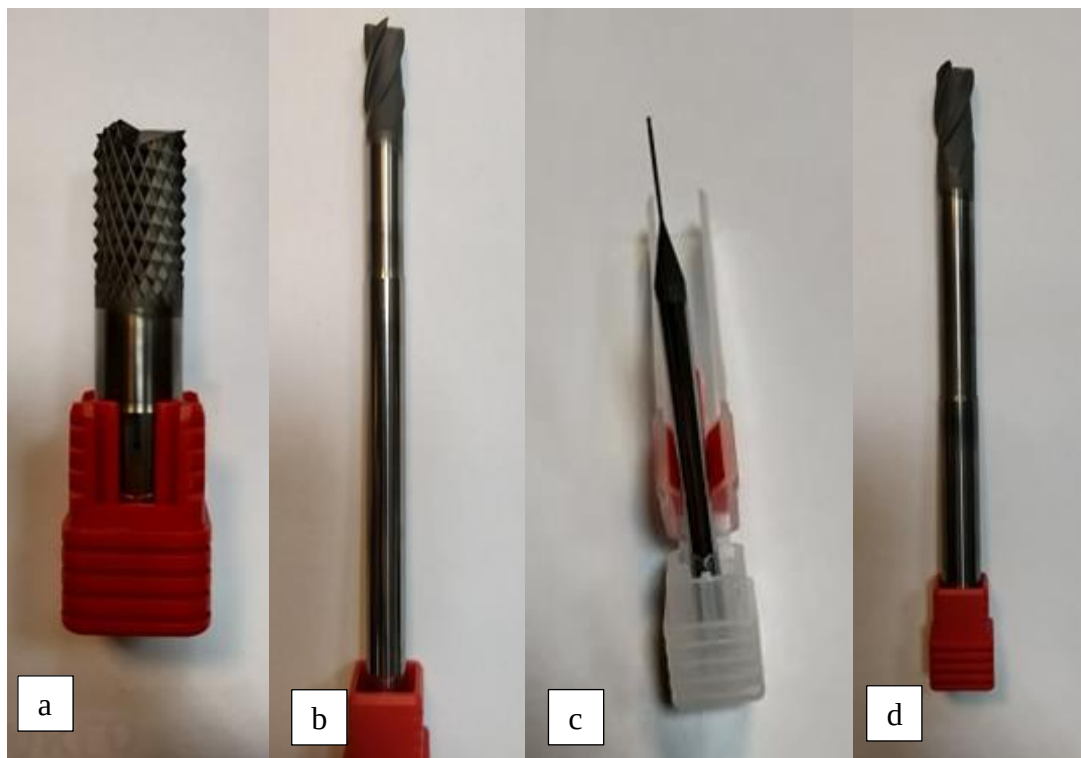
Slika 29: Vpenjalni del elektrode

Vir: (Lasten vir)

Obdelava grafita se razlikuje od obdelave ostalih kovin. Zaradi krhkosti materiala se na rezalni površini ne tvorijo odrezki, ampak se pred njo material lomi in nastaja prah. Zaradi tega orodje ne potrebuje velikih kanalov za odvod odrezkov in je posledično orodje tudi bolj togo. To pomaga pri izdelavi, saj lahko uporabimo veliko daljša orodja z enakimi premeri. Stroji, ki se uporabljajo za obdelavo grafita, morajo biti zaprti in opremljeni z dodatnim odsesavanjem prašnih delcev.

Zanj se uporabljajo namenski rezkarji, ki so večinoma prevlečeni z diamantnimi in PDK prevlekami, katerih debelina je samo 6-30 μm . (Prof. dr. Rüdiger, mag. Florian, & mag. Marjan, 2006)

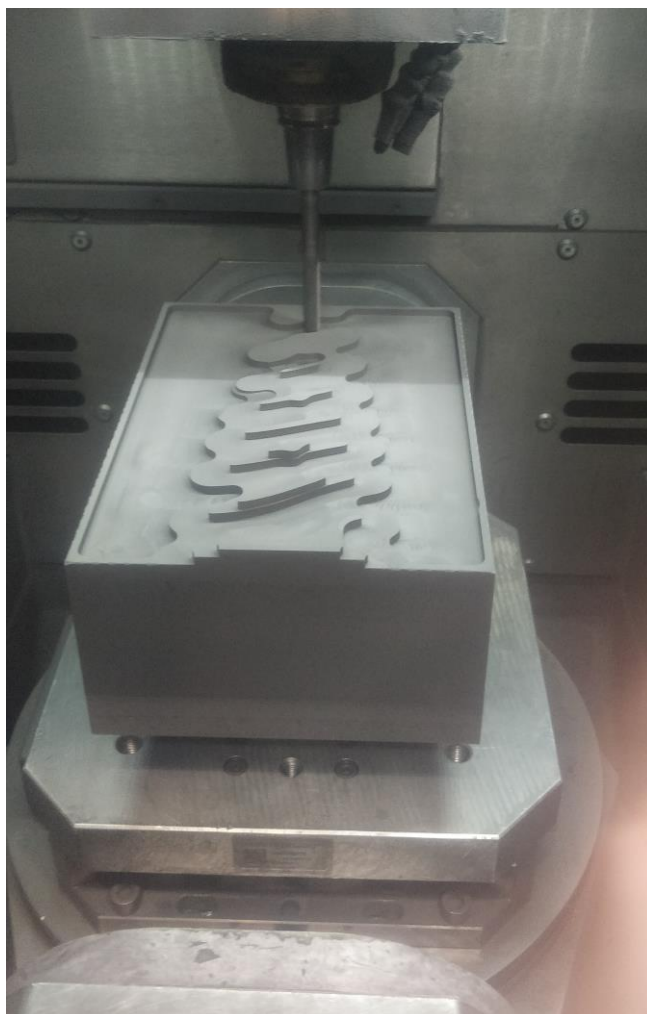
Te prevleke so potrebne zaradi visoke abrazivnosti, ki jo ima grafit. Karakteristična orodja prikazujejo slike 29 a do d.



Slika 30: a – d: Orodja za grafit

Vir: (Lasten vir)

Ko je grafit pripravljen za vpenjanje, ga lahko obrnemo in začnemo obdelovati z druge strani, kjer izdelamo 3D obliko, katero potrebujemo za erodiranje gravure (slika 30).



Slika 31: Začetek izdelave elektrode

Vir: (Lasten vir)

Kakor pri rezkanju kovin, ko vedno želimo na začetku odvzeti čim več materiala v najkrajšem možnem času, tudi sedaj zato začnemo z velikimi rezkarji in nadaljujemo proti manjšim. Začnemo z valjastim frezalom premera 12 mm, kateri ima diamantno prevleko. Lahko bi izbrali kakšno večjo frezalo do premera 16 mm, vendar zaradi oblike elektrode ne pridobimo veliko. Postoma manjšamo frezala, dokler ne pridemo do željene oblike elektrode.



Slika 32: Elektroda med izdelavo

Vir: (Lasten vir)

Pri izdelavi elektrode (slika 31) ni potrebno izdelovati zahtevnih utorov, ki so na gravurnem delu, saj je elektroda negativ gravure. To pomeni, da na elektrodi dejansko izdelujemo rebra.

Zaradi lastnosti grafita je izdelava teh reber zelo enostavna in hitra. Uporabljamo lahko dolga orodja, s katerimi z lahkoto pridemo do vseh skrajnih točk elektrode.

Seveda moramo postopek ponoviti še z drugo elektrodo, saj za erodiranje rabimo dve, razlika mora biti samo v tem, za koliko imata manjše mere. Za grobo erodiranje naredimo od 0,3 do 0,7 mm manjšo, za fino pa približno od 0.2 do 0.3 mm manjšo (slika 32).



Slika 33: Dokončana elektroda

Vir: (Lasten vir)

Zaporedna operacija	Ime orodja	Premjer (mm)	Število obratov	Hitrost pomika (mm/min)	Globina reza (mm)	čas operacije (h:min)
1	Grafitni rezkar	12	1500	8000	8.4	7:35
2	Grafitni rezkar	6	3000	16000	6	9:17
3	Grafitni rezkar	3	2000	25000	0.15	0:38
4	Grafitni rezkar	2	2700	4000	0.1	7:40
Čas izdelave						24:10

Tabela 3: Časa izdelave elektrode

Vir: (Lasten vir)

Za izdelavo ene elektrode potrebujemo minimalno 24 h in 10 min, če dodamo še pripravo in kompenzacijo stroja, se čas podaljša na približno 27 h. Ves ta čas še lahko podvojimo, saj za izdelavo gravure potrebujemo 2 elektrodi. Prikaz časov je razviden iz tabele 3.

Velika prednost pri delu z erodiranjem je obnova že obrabljenih elektrod. Ta proces zahteva veliko manj časa, saj lahko izpustimo velik del grobega rezkanja. Elektrodo samo obdelamo s finimi obdelovalnimi operacijami (tabela 4), katere nam dajo ponovno znane mere elektrode in njeno pravilno obliko.

Zaporedna operacija	Ime orodja	Premjer (mm)	Število obratov	Hitrost pomika (mm/min)	Globina reza (mm)	čas operacije (h:min)
1	Grafitni rezkar	6	2000	25000	0.15	0:38
2	Grafitni rezkar	2	2700	4000	0.1	7:40
Čas izdelave						8:18

Tabela 4: Obnove elektrode

Vir: (Lasten vir)

Ko imamo pripravljeno gravuro in elektrode, lahko začnemo z vpenjanjem in pripravljanjem gravure na stroju ter vstavljanje elektrode v stroj.



Slika 34: Potopna erozija

Vir: (Lasten vir)

V naši orodjarni uporabljamo potopno erozijo, znamke Ingersoll model gantry eagle 800, ki jo prikazuje slika 33, na katerega lahko damo obdelovance velikosti 760x1000x480 in teže do 2000 kg. Na stroj je vgrajen 60A generator, ki ima 19kVA navidezne moči. (OPS-Ingersoll GMBH, 2018)

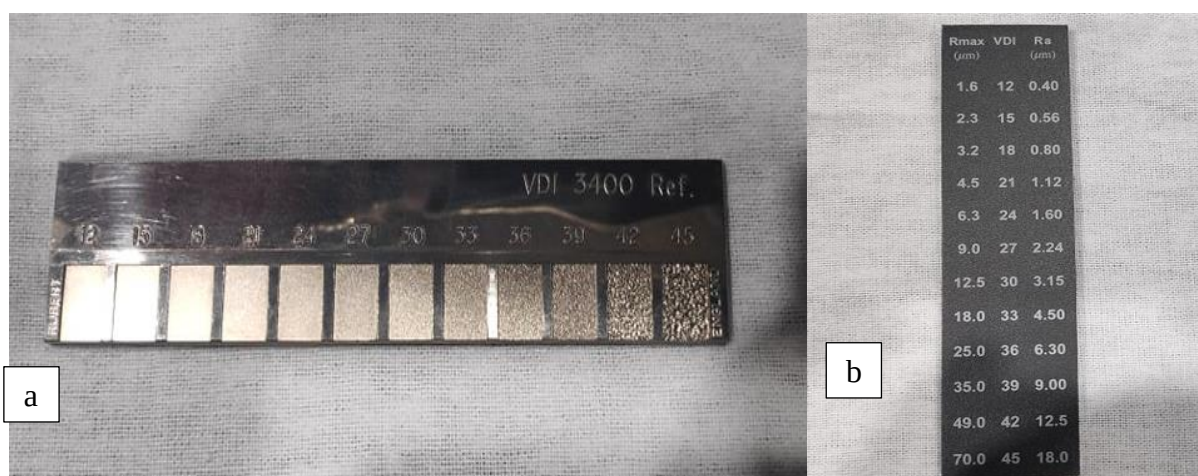
Izdelava oziroma erodiranje z grobim in finim erodiranjem traja približno 24 ur. Ta čas izdelave se lahko veliko razlikuje glede na hrapavost oz. kvaliteto površine, ki je želimo imeti.

Kvaliteta površine je odvisna od parametrov, s katerimi obdelujemo. Hrapavost površine je lahko v mejah med 0,02 do 16 μm . (Šircelj & Anton, 2011)

Hrapavosti površin nam določi kupec, vendar včasih na nekaterih mestih prilagodimo hrapavost, kjer predvidevamo, da bi lahko prišlo do zatikanja odlitka pri izmetavanju. Tam izberemo manjše hrapavosti.

Za lažjo izbiro obdelovalnega cikla si pri potopni eroziji pomagamo s tablicami VDI 3400. Ta tablica nam poda referenčne hrapavosti, katere smo pridobili s poizkušnji.

VDI – Vereine Deuscher Ingeniere, Združenje nemških inženirjev



Slika 35 a – b: VDI 3400

Vir: (Lasten vir)

Na sliki 34 a do b vidimo, kako se stopnja hrapavosti zmanjšuje od najbolj grobe obdelave do fine. Najbolj fino hrapavost, ki jo prikazuje tablica, lahko pridobimo samo z uporabo bakra kot elektrodo.

Na zadnji strani imamo tudi zapisane vrednosti hrapavosti vsake površine. Ta pripomoček nam zelo olajša delo, saj lahko vidimo in ocenimo, kakšno površino želimo imeti.

Za grobe obdelave izberemo VDI 45-42, za fino uporabimo nekje VDI 24-30.

4.3 Izdelava orodja s tehnologijo 3D tiskanja

Ker v naši orodjarni nimamo možnosti 3D tiskanja, sem za natančnejše podatke kontaktiral majhno podjetje Marsi group d.o.o. iz Slovenske vasi pri Jesenicah na Dolenjskem. S svojimi izkušnjami na tem področju so mi predstavili način in potek, kako bi se lahko teoretično izdelal tak izdelek.

Za izdelavo mojega izdelka so mi priporočali martenzitno jeklo MS1 po DIN standardu W.Nr. 1.2709, katerega sestavo nam prikazuje tabela 5. Material je primeren za različna livna orodja (npr. brizganje plastike, tlačno litje aluminija ...) zaradi svojih dobrih lastnosti enostavne kasnejše obdelave. Lahko ga utrdimo vse do približno 54 HRC in obenem obdrži visoko žilavost v kombinaciji z visoko vzdržljivostjo. Vsi materiali, ki se uporabljajo pri 3D tiskanju so v obliki kroglic velikih med 20-65 μm . Velikost kroglic določa hrapavost površine izdelka in njegovo natančnost.

Tabela 5: Vsebnost legiranih elementov v materialu 1.2709

Material:	Ni	Co	Mo	Ti
Min	17%	8,5%	4,5%	0,8%
Max	19%	10%	5,2%	1,2%

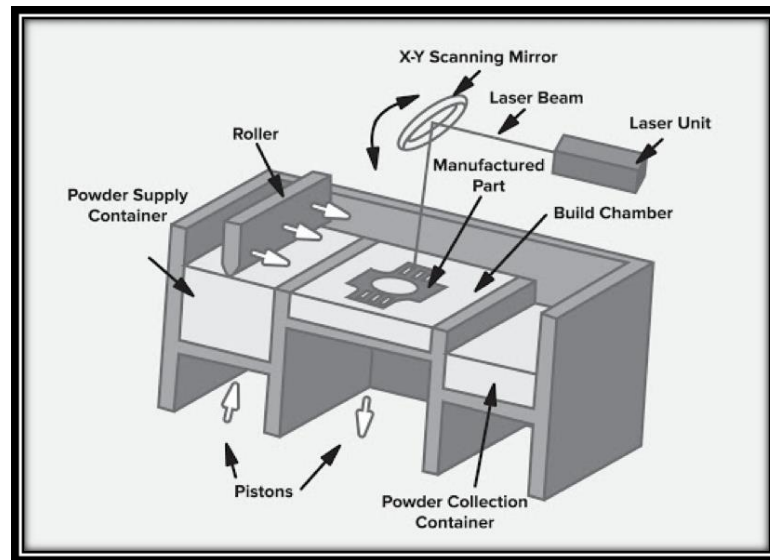
Vir: (Maris group d.o.o., 2020)

Za izdelavo mojega primera so mi priporočali tehnologijo neposrednega laserskega sintranja kovin – DMLS (slika 35). Gre za zelo podobno tehniko tiskanja, kot je tiskanje plastike po postopku SLS- selektivno lasersko sintranje.

Postopek poteka tako, da moramo model najprej razrezati v nivoje oziroma rezine, po katerih jih bomo postopoma tiskali. Za vsak nivo stroj na tanko posipa plast kovinskega prahu v velikosti 20-65 μm , nato laser s temperaturo sintranja od 1500 °C do nekje 1600 °C sprime samo tisti del prahu, katerega potrebujemo. Tako se plasti nalagajo, dokler ne pridemo do vrha našega izdelka.

Natančnost, ki jih lahko 3D tiskalnik kovin doseže, se giblje nekje med -0.1 in +0,1 mm. (Varotsis, 2020)

Počakati moramo, da se ohladi in lahko ga snamemo iz stroja. Višek neporabljenega prahu lahko ponovno uporabimo.



Slika 36: Delovanje 3D tiskalnika kovin

Vir: (Maris group d.o.o., 2020)

Po posvetu s tehnologi iz Podjetja Maris group d.o.o. smo prišli do zaključka, da se gravurnega dela orodja, ki ga uporabljam v svoji diplomski nalogi, ne izplača izdelovati. Stroški bi s tehnologijo DMLS bili, v primerjavi s konvencionalnimi tehnologijami, enormno visoki. Po tiskanju bi potrebovali še dodatno toplotno obdelavo in rezkanje, da bi dobili željeno kvaliteto površin.

Pri poglavju 6 zato ne bom omenjal 3D tiskanja kovin.

5 ANALIZA POVRŠIN OBDELANIH Z RAZLIČNIMI TEHNOLOGIJAMI

5.1 Površinska hrapavost

Hrapavost površine je celotnost nepravilnosti površine z razmeroma majhnimi koraki, ki navadno obsegajo nepravilnosti, ki jih povzročajo obdelovalni postopki ali drugi vplivi. (Kraut, Puhar, & Stropnik, 2002)

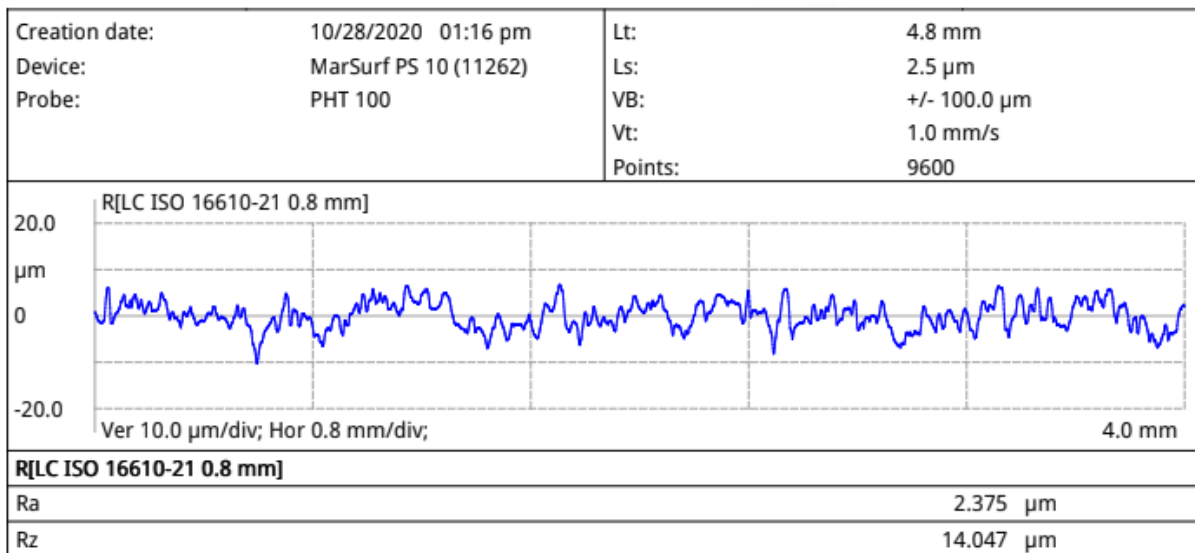
Površinska hrapavost je zelo pomembna pri izdelavi livnih orodij. Hrapavost zelo vpliva na izmet kosov iz livnega orodja. To pomeni, da se nam lahko v primeru pregrobe površine pojavijo težave s prijemanjem kosov in izmetov. Vsekakor tudi v končni fazi vpliva na izgled izdelkov.

Ker gravura izdelana s postopkom rezkanja in erodiranja deluje bolj gladka z nižjo hrapavostjo R_a , kakor gravura, ki je samo rezkana, sem na kosu, ki je iz enakega materiala kakor gravura, izdelal majhen del utora. Uporabil sem identične programe in orodja za izdelavo, kakor jih uporabljamo tudi za izdelave gravur. V surovec sem naredil veliko sprostitev, s katero sem odrezal polovico utora. Odrezati sem ga moral, saj z merilno iglo merilca hrapavosti nisem prišel zraven. Na istem surovcu sem dodal še obdelavo erodiranja, saj prav tako na erodiranih utorih ni dovolj prostora za izvajanje meritve. Za analizo hrapavosti sem uporabil merilec hrapavosti tipa Mahr, ki ga prikazuje slika 36. Rezultate meritev finega erodiranja prikazuje slika 37, rezkanja pa slika 38.



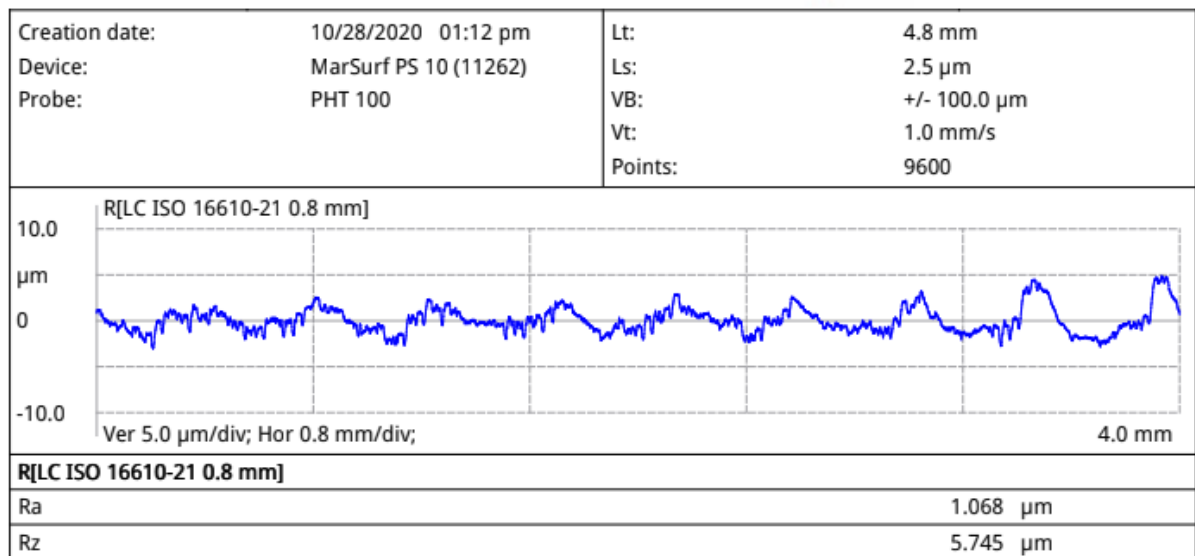
Slika 37: Merilec hrapavosti Mahr

Vir: (Lasten vir)



Slika 38: Graf hrapavosti finega erodiranja

Vir: (Lasten vir)



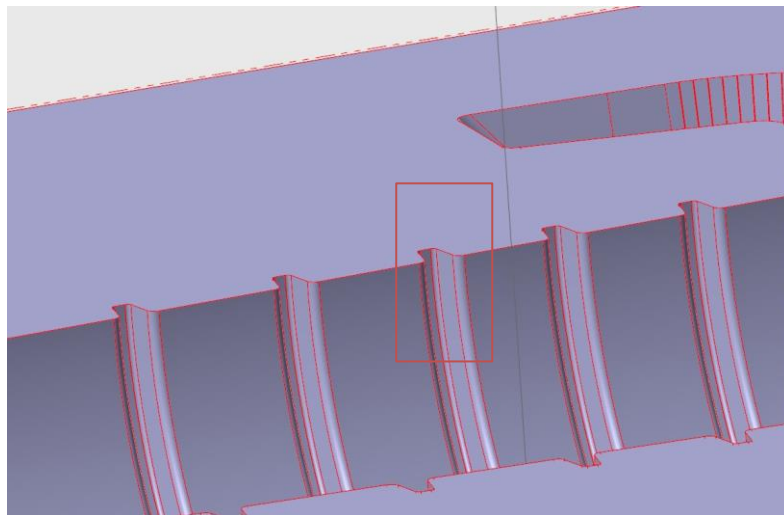
Slika 39: Graf hrapavosti finega rezkanja

Vir: (Lasten vir)

Na izgled in na dotik deluje erodirana površina bolj gladka in je tudi lepše obdelana.

Z merjenjem površinske hrapavosti sem ugotovil, da je rezkani utor na vrhu dejansko bolj gladek in ima manjšo površinsko hrapavost R_a kakor erodirana površina. Tega ne moremo zagotoviti za celotno gravuro ali nižje, kjer utor ni tako navpičen. Predvidevam, da se to zaradi močne obrabe orodja poslabša s časom. To privede do večjega odboja orodja in povečevanje hrapavosti ter netočnosti površine.

Na grafu lahko vidimo, da se tudi na kosu vidijo manjši valovi. Ti valovi se ne smejo videti na izdelku, saj se potem tudi prenesejo na odlitek. Čeprav ne vpliva na funkcionalnost odlitka, vplivajo na izgled izdelka in hrapavost, le-ta nam povzroča težave pri izmetu. Kupec noče imeti vidnih sledi obdelave na končnem odlitku, zato jih moramo na koncu zbrusiti ali spolirati. To nam lahko vzame kar nekaj časa zaradi nedostopnosti in majhnosti utorov (slika 39).



Slika 40: Označen del izdelanega utora

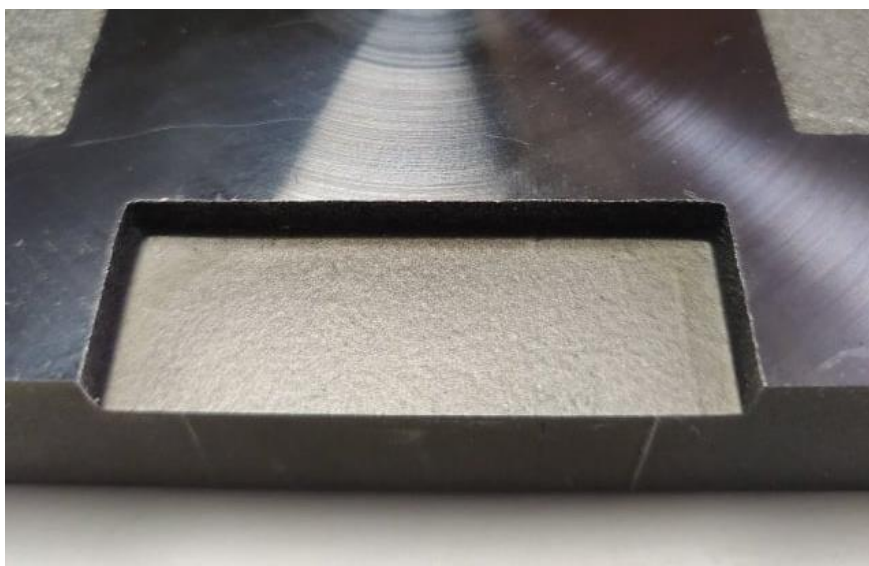
Vir: (Lasten vir)



Slika 41: Primer utora

Vir: (Lasten vir)

Na slike 40 lahko vidimo valove na površini, ki nastajajo ob rezkanju.



Slika 42: Primer erodirane površine

Vir: (Lasten vir)

Za merjene hrapavosti površine erodiranega utora sem v enak material zažgal poljubno obliko in jo izmeril z merilcem hrapavosti.

Površina deluje na otip in izgled bolj gladka, kakor z obdelavo rezkanja (slika 41). Merilec je pokazal obratno, namreč da ima ta površina R_a za $1,3 \mu\text{m}$ manjši. Nimamo nobenih ponavljajočih se izboklin ali vidnih postopkov obdelave, razen vidne spremembe barve obdelovalne površine.

To razliko v hrapavosti bi lahko z lahkoto odpravili z nastavitvami elektro erozijskega cikla izdelave. Čas izdelave bi se minimalno povečal.

3D tiskanega utora nisem meril, saj bi rezultati bili podobni kakor pri rezkanemu, kajti 3D tiskane izdelke moramo na koncu še vedno obdelati z rezkanjem.

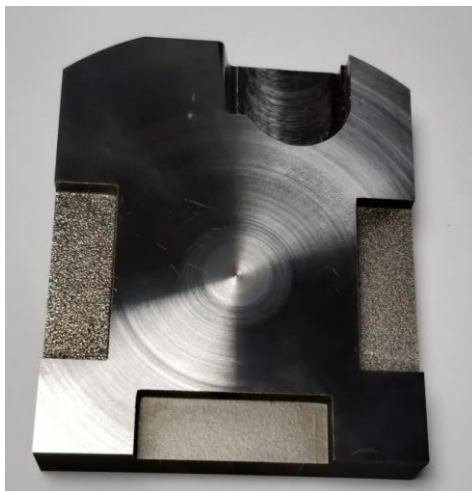
5.2 Mikrostruktura

Pri elektro erozijskih procesih obdelujemo direktno na površino s pomočjo električne energije. S tem obdelovalnim procesom se dodatno pojavi tudi veliko toplote in sicer nekje med 6000-11000°C.

To vpliva tudi na mikrostrukturo površine in posledično na lastnosti materiala in njegovo življenjsko dobo. Na površini nastane toplotno prizadeti sloj materiala, ki postane trši, kot je bil prej. Debelina tega sloja se lahko giblje med 1-40 μm in je odvisna od parametrov.

5.2.1 Toplotni vpliv erozije

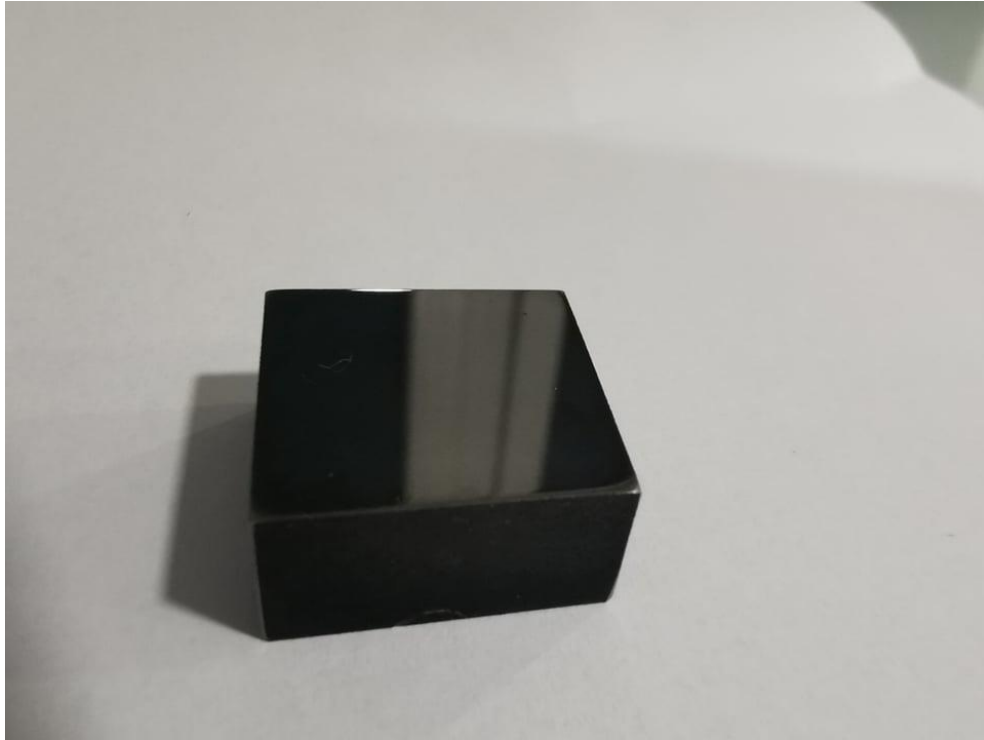
Poizkusa sem se lotil s kosom enakega materiala (slika 42), kakor ga uporabljamo za gravuro (Toolox 44) in ga pripravil na poljubne mere ter vanj naredil 3 različne utorje z grobo, fino ter vmesno obdelavo.



Slika 43: Poizkusni kos

Vir: (Lasten vir)

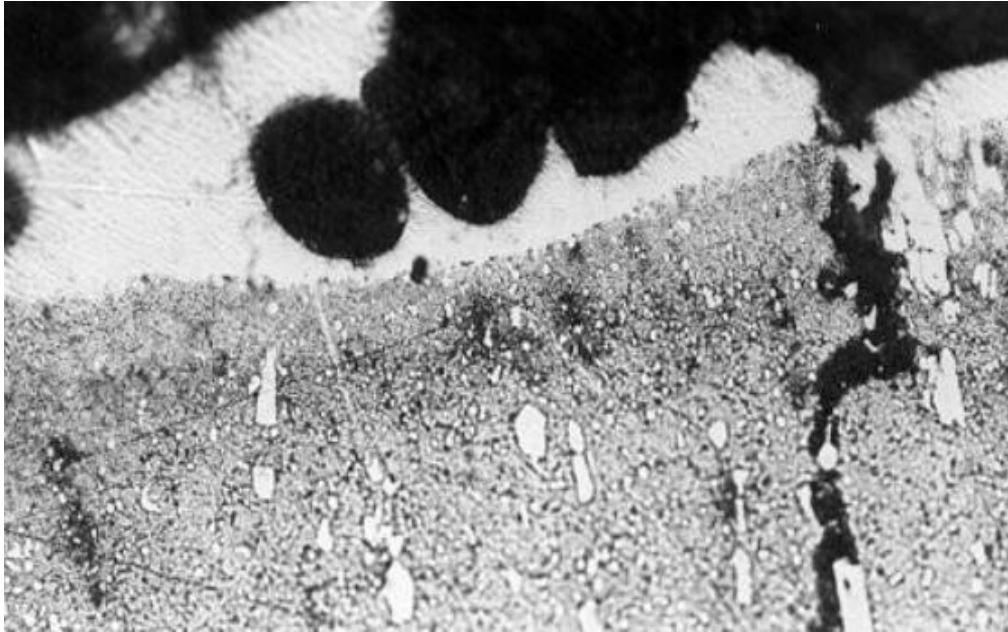
Nato sem na vseh treh utorih odrezal primerno velik kos za mikroskop, kjer bi pogledal vpliv erozije na površino. Pripravljene kose sem še zelo fino spoliral, kar je razvidno iz slike 43.



Slika 44: Fino polirana površina vzorca

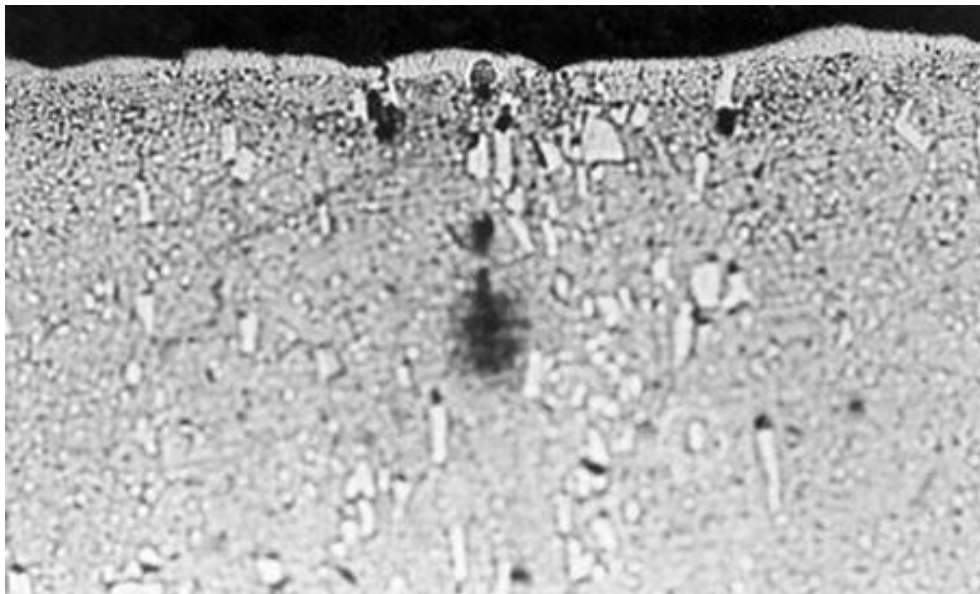
Vir: (Lasten vir)

Žal mi poškodovane plasti zaradi obdelave z elektro erozijo ni uspelo posneti. Nisem imel na voljo takšnega mikroskopa, s katerim bi se to videlo, zato prilagam nekaj slik, katere sem našel na splet. Slika 44 nam prikazuje poškodovano plast po grobi obdelavi, slika 45 pa poškodovano obliko plasti po fini obdelavi.



Slika 45: Poškodovana plast - groba obdelava

Vir: (https://studentski.net/gradivo/vis_scv_meh_tpr_sno_odrezavanje_elektroerozija_01)



Slika 46: Poškodovana plast - fina obdelava

Vir: (https://studentski.net/gradivo/vis_scv_meh_tpr_sno_odrezavanje_elektroerozija_01)

Na sliki se vidi, kako elektro erozijski proces obdelave ustvari razpoke na robu obdelovanca. Za dolgo življenjsko dobo orodja je priporočljivo to plast odstraniti s poliranjem ali brušenjem.

5.2.2 Homogenost materialov

Za dolgo življenjsko dobo livnega orodja z visoko toplotno prevodnostjo in obrabno obstojnostjo potrebujemo kar se le da homogene in čiste materiale. Z mikroskopom sem preveril, če lahko primerjamo klasično izdelano orodje iz Toolx 44 z neklasičnim izdelovalnim postopkom 3D tiskanja.

5.2.2.1 Toolox 44

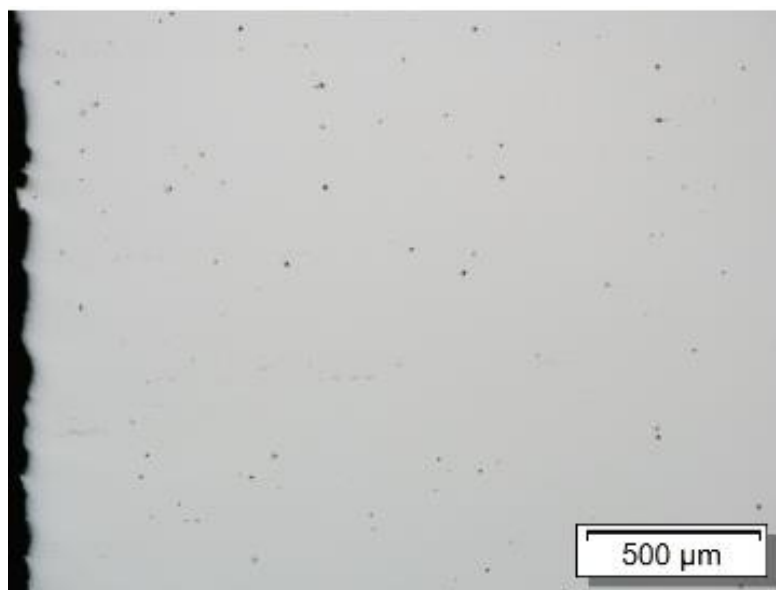
Za veliko večino orodij za litje uporabljamo Toolox 44. To je sodobno kaljeno orodno jeklo, zasnovano tako, da ima veliko trdnost, nizke zaostale napetosti ter zelo dobro dimenzijsko stabilnost. Kemično sestavo materiala nam prikazuje tabela 6.

Kemična sestava	Toolox 44
C	0.32%
Si	0.6-1.1%
Mn	0.8%
P	Makismalno 0.010%
S	Maksimalno 0.002%
Cr	1.35%
Mo	0.80%
V	0.14%
Ni	Max 1.0%

Tabela 6: Kemična sestava Toolox 44

Vir: (Damatech d.o.o., 2020)

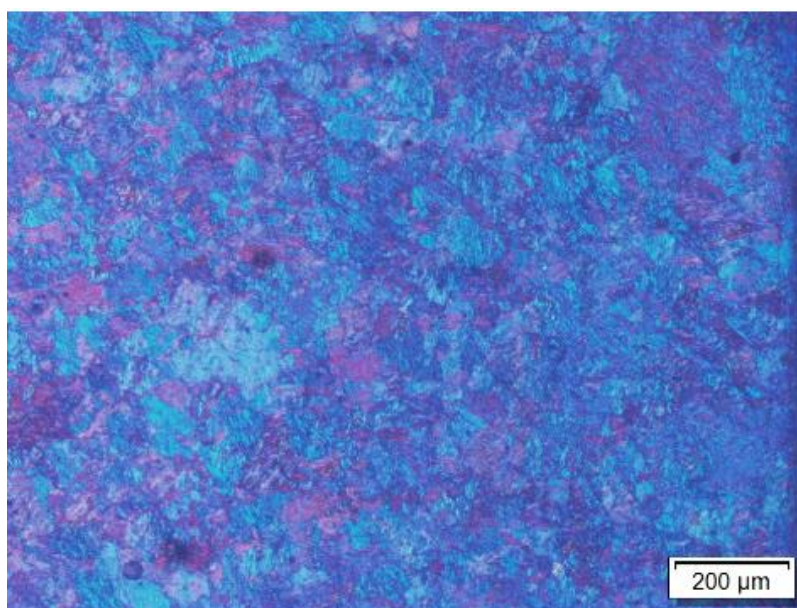
Temeljna zamisel Tooloxa je zagotoviti kaljeno in pripravljeno jeklo s preizkušenimi in zagotovljenimi fizikalnimi lastnostmi. Z majhnim deležem C in zelo visoko hitrostjo hlajenja se doseže izdelava jekla, ki je dva do trikrat trše od primerljivih jekel podobne trdote. Visoka trdota v kombinaciji z odlično žilavostjo zagotavlja manjšo obrabo orodja in visoko stopnjo trdnosti, ko je orodje v uporabi. To izjemno podaljša življenjsko dobo orodja ali stroja.



Slika 47: Toolox 44 pod mikroskopom

Vir: (Lasten vir)

Na slikah 46 in 47 vidimo homogeno mikrostrukturo, kjer vidimo nizko raven vključkov.



Slika 48: Jedkani Toolox 44

Vir: (Lasten vir)

Po jedkanju in večji povečavi prav tako vidimo nizko raven vključkov.

1.2709 Maraging jeklo

Če bi se odločili za izdelavo orodja s postopkom 3D tiskanja, bi izbrali material 1.2709.

Maraging jeklo 1.2709 je martenzitno jeklo za staranje. Je predhodno legirano jeklo z visoko trdnostjo. Za to vrsto jekla je značilno, da ima zelo dobre mehanske lastnosti in da je s standardno toplotno obdelavo možno doseči izredno dobro kombinacijo mehanskih lastnosti.

Ključne prednosti:

- visoka trdnost
- visoka trdota
- dobra odpornost na visoke temperature.

Maraging jekla, katerih kemično sestavo vidimo v tabeli 7, so posebna vrsta maloogljiknih ultra trdih jekel, pri katerih za trdnost ni odgovoren C ampak izločanje intermetalnih faz. Izdelali so ga v letu 1950.

Material:	Ni	Co	Mo	Ti	C
Min	17%	8,5%	4,5%	0,8%	0
Max	19%	10%	5,2%	1,2%	>0,03

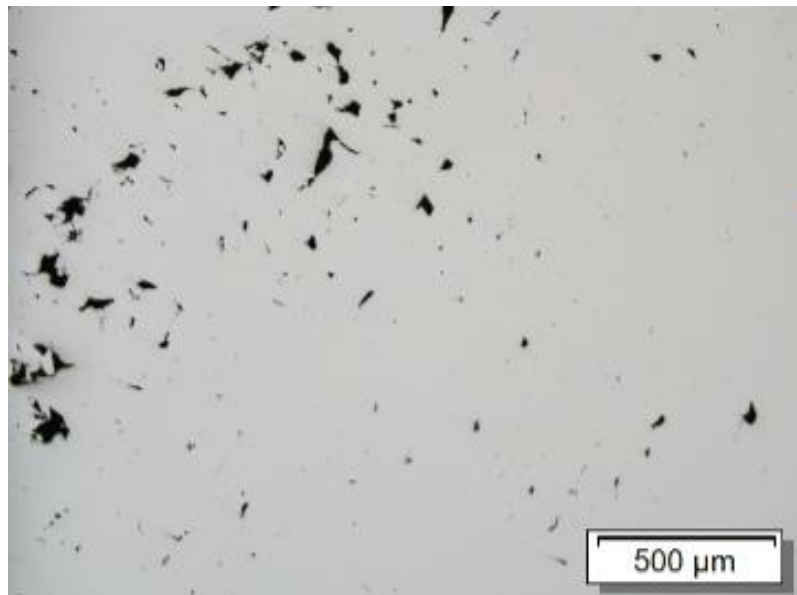
Tabela 7: Kemijska sestava 1.2709

Vir: (MARSI GROUP d.o.o.)

Maraging jekla moramo toplotno obdelati po strokovnih zahtevah:

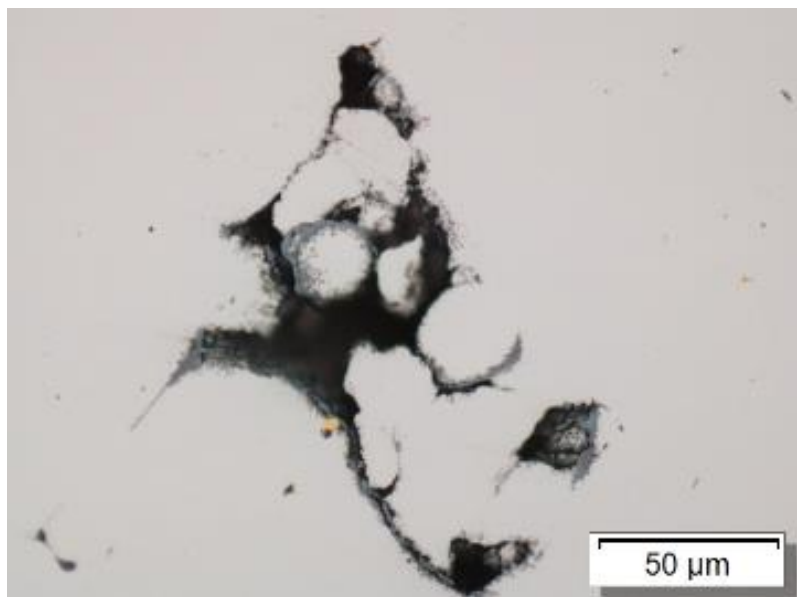
- Raztopno žarjenje ($T=1040\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Kaljenje → martenzit (brez austenita),
- Staranje ($T= 480^{\circ}\text{C} - 620^{\circ}\text{C}$)

Za primerjanje homogenosti materialov mi je podjetje Marsi d.o.o. poslalo 3D tiskani košček, katerega sem toplotno obdelal in pripravil površino, da sem lahko primerjal strukturo s Toolox 44, katere mikroskopski pregled nam prikazujeta sliki 48 in 49.



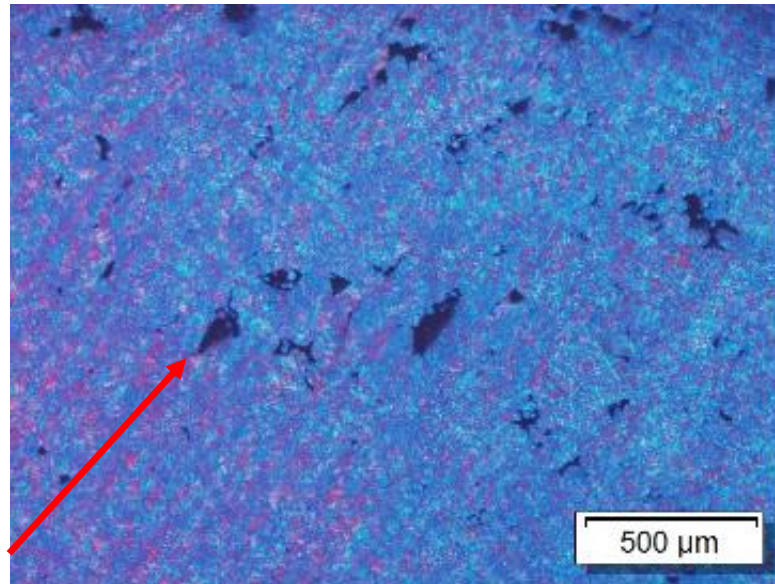
Slika 49: 1.2709, pod mikroskopom 1

Vir: (Lasten vir)



Slika 50: 1.2709, pod mikroskopom 2

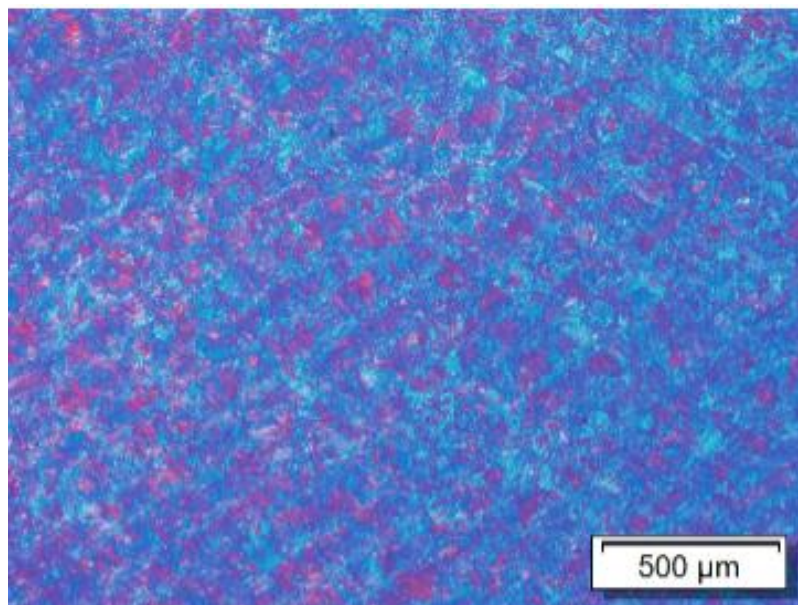
Vir: (Lasten vir)



Slika 51: 1.2709, jedkano 1

Vir: (Lasten vir)

Ob robovih najdemo veliko nekovinskih vključkov, predvsem oksidov, kar mu daje zelo nehomogeno strukturo.



Slika 52: 1.2709, jedkano 2

Vir: (Lasten vir)

Na sredini surovca najdemo zelo lepo homogeno strukturo, skoraj brez primesi. Iz tega lahko razberemo, da 3D tiskani kosi potrebujejo nadaljnjo obdelavo rezkanja, brušenja ..., da odstranimo to nehomogeno plast materiala.

6 PRIMERJAVA REZULTATOV

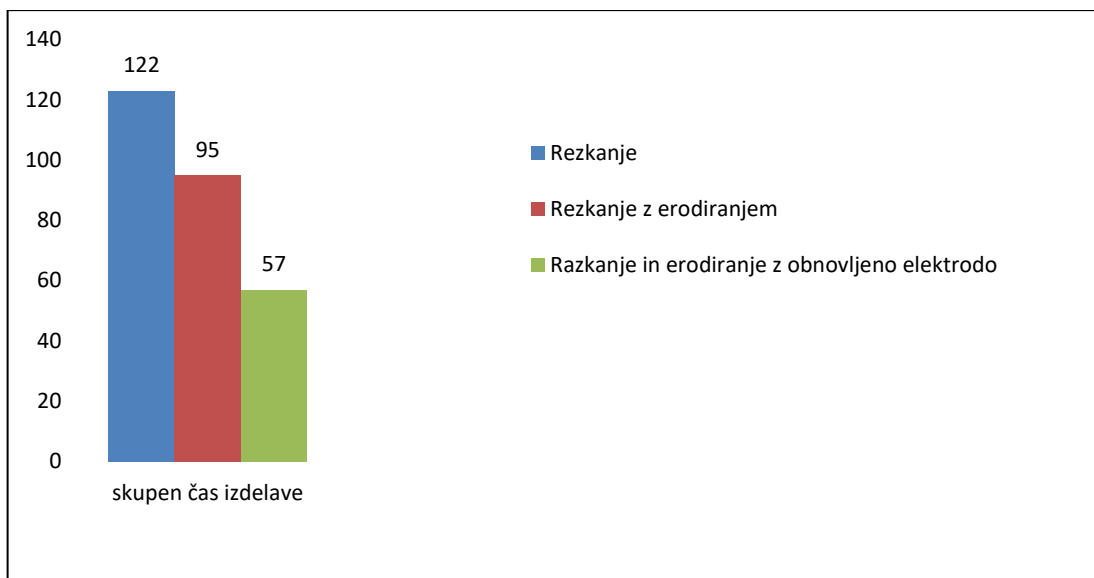
V tem poglavju bom primerjal čase izdelave na različne načine. Ker sem že v prejšnjih poglavjih opisoval samo eno polovico gravure, bom tudi tukaj naredil izračune in primerjave samo za eno polovico, saj je druga polovica zelo podobna in lahko samo vse podvojimo in prenesemo nanjo.

6.1 Časovna primerjava

Operacija	Rezkanje	Rezkanje z erodiranjem	Rezkanje in erodiranje z obnovljeno elektrodo
Rezkanje gravure	121h	16h	16h
Izdelava elektrod	0h	54h	0h
Erodiranje	0h	24h	24h
Ročna obdelava	2h	1h	1h
Obnova elektrod	0h	0h	16h
Skupaj:	122h	95h	57h

Tabela 8: Primerjalna tabela časov

Vir: (Lasten vir)



Slika 53: Graf primerjave časov

Vir: (Lasten vir)

Iz tabele 8 in grafa na sliki 52 je razvidno, da je čas izdelave elektrode veliko večji od same obnove elektrode. Tukaj lahko mnogo prihranimo, saj lahko elektrode obnovimo tudi do 8-krat. Potrebno je poudariti, da lahko v praksi elektrode vzporedno izdelujemo na drugih strojih in nam to ne vpliva na končni termin. Torej takrat, ko si pripravljamo gravuro na erodiranje, si že lahko na drugem stroju pripravljamo prvo elektrodo. Vsekakor je ta čas pomemben za izračun stroškov.

Razberemo lahko, da je čas izdelave veliko hitrejši v kombinaciji z erodiranjem. Čas prihranimo še posebej, če moramo izdelati več enakih kosov ali orodij in lahko uporabljamo obnovljene elektrode.

6.2 Finančni vidik

Orodja, ki jih potrebujemo, imajo pomembno vlogo pri ceni izdelave. V tabeli 9 je prikazana cena orodja, ki ga potrebujemo za izdelavo gravure samo z rezkanjem.

Ime orodja	Premer (mm)	Količina	Cena (€)
Pokolm	35	1	145
Pokolm	32	1	138
Pokolm	20	1	120
Mitsubishi Toros	10	1	123
Mitsubishi Toros	6	1	71
Mitsubishi kugla	12	1	278
Mitsubishi kugla	6	1	98
Mitsubishi kugla	4	2	170
Mitsubishi kugla	3	2	170
Skupaj			1313

Tabela 9: Cena orodja za rezkanje

Vir: (Lasten vir)

Iz tabele razberemo, da za izdelavo ene gravure porabimo orodja za 1313 EUR. Vsekakor lahko nekaj od teh ponovno uporabimo, največkrat so to glave. Zaradi zahtevnosti oblike livnega orodja in obrabe orodja vedno vzamemo nove trde kovinske rezkarje. To naredimo preventivno, saj bi lahko izgubili veliko časa ter uničili še druga orodja, če bi prišlo do loma prvega orodja, lom bi se veržno nadaljeval po ostalih orodjih. S tem bi si samo še povečevali stroške in zamaknili končni termin.

Ime orodja	Premier (mm)	Količina		Cena (€)
Pokolm	35	1		145
Pokolm	32	1		138
Pokolm	20	1		120
Mitsubishi Toros	10	1		123
Mitsubishi Toros	6	1		71
Mitsubishi kugla	12	1		278
Mitsubishi kugla	6	1		98
Mitsubishi kugla	4	1		85
Mitsubishi kugla	3	1		85
Grafitni rezkar	12	1		190
Grafitni rezkar	6	1		101
Grafitni rezkar	3	1		98
Grafitni rezkar	2	1		70
Grafit za elektrodo	/	2		800
Skupaj				2402

Tabela 10: Cene orodja za rezkanje in erodiranje

Vir: (Lasten vir)

Tabela 10, v kateri imamo prikazano orodja za izdelavo gravure z rezkanjem in erodiranjem, prikazuje, da porabimo za orodja nekoliko več denarja. Ta orodja v tem primeru opravljajo veliko krajše cikle in ostanejo veliko bolj ohranjena, zato še jih lahko uporabimo pri naslednjem livnem orodju. Kadar pa bomo izdelovali orodje in ne rabimo več izdelovati nove elektrode, staro samo obnovimo. Tako bomo zraven časa prihranili še na orodju, saj za obnovo uporabimo 3 orodja manj in nas obnova stane z vidika orodja samo 1314 EUR (tabela 11). S tem pa se približamo prejšnji tabeli 9, v kateri smo izračunali stroške v višini 1313 EUR.

Ime orodja	Premier (mm)	Količina	Cena (€)
Pokolm	35	1	145
Pokolm	32	1	138
Pokolm	20	1	120
Mitsubishi Toros	10	1	123
Mitsubishi Toros	6	1	71
Mitsubishi kugla	12	1	278
Mitsubishi kugla	6	1	98
Mitsubishi kugla	4	1	85
Mitsubishi kugla	3	1	85
Grafitni rezkar	6	1	101
Grafitni rezkar	2	1	70
Skupaj			1314

Tabela 11: Cena orodja za izdelavo z obnovljenimi elektrodami

Vir: (Lasten vir)

Znesek orodja se pri izdelavi gravure z obnovljenimi elektrodami krepko zmanjša. Vso orodje, ki ga uporabimo pri takšnem načinu izdelave, je manj iztrošeno zaradi krajših obdelovalnih ciklov in ostane dovolj ohranjeno za naslednjo kokilo.

Vsekakor pa orodje ni edini strošek izdelave orodja. Dodati še moramo ostale stroške:

- elektrika,
- amortizacija stroja,
- delavec,
- emulzija,
- stisnjen zrak,
- ostalo.

Za lažji izračun bom vse to strnil v eno ceno. Tako tudi v našem podjetju zaračunavajo s skupkom vseh stroškov na uro. Ti stroški tudi varirajo glede na stroj, na katerem se vrši izdelava:

- 3 osni CNC rezkalni stroj – 35 EUR/h,
- 5 osni CNC rezkalni stroj – 38 EUR/h,
- potopna erozija- 33 EUR/h.

Ker je oblika gravure tako zahtevna, se za izdelavo uporabljajo 5-osni CNC rezkalni stroji in potopna erozija.

	Čas rezkanja(h)	Čas erodiranja (h)	Cena (€)
Rezkanje	120	0	4560
Rezkanje z potopno erozijo	71	24	3490
Rezkanje in potopna erozija z obnovljeno elektrodo	56	24	2920

Tabela 12: Cena izdelave glede na čas izdelave

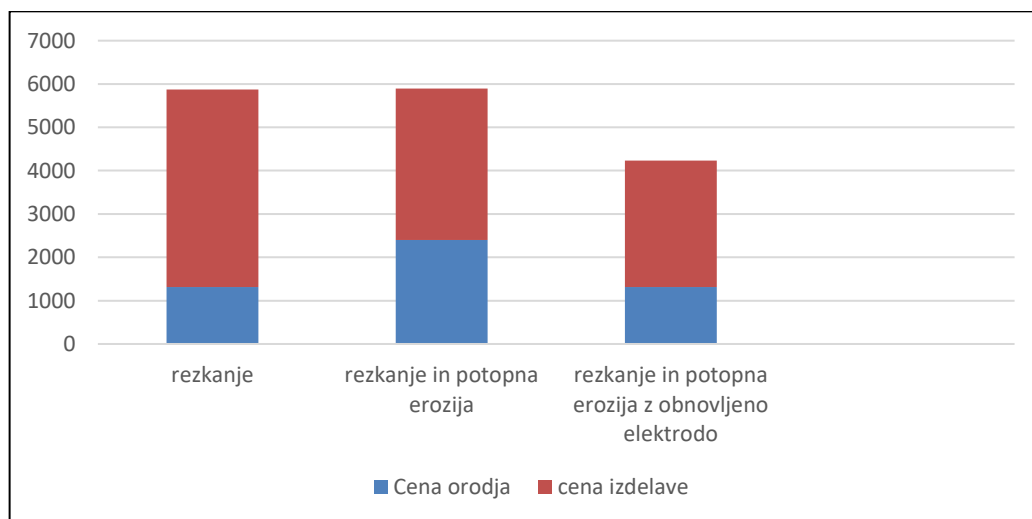
Vir: (Lasten vir)

Iz tabele 13 je razviden povzetek in primerljivost stroškov po posameznih operacijah, ki je tudi ponazorjen z grafom na sliki 51.

	Cena orodja (€)	Cena izdelave (€)	Skupaj (€)
Rezkanje	1313	4560	5873
Rezkanje z potopno erozijo	2402	3490	5892
Rezkanje in potopna erozija z obnovljeno elektrodo	1314	2920	4234

Tabela 13: Skupna cena izdelave

Vir: (Lasten vir)



Slika 54: Skupna cena izdelave

Vir: (Lasten vir)

Čeprav sta ceni izdelave s samim rezkanjem in v kombinaciji rezkanja ter erodiranja zelo podobni, vseeno lahko veliko pridobimo pri času z erodiranjem in s tem lahko prej izdelamo orodja ter postavljamo krajše roke in smo obenem bolj konkurenčni. Pri izdelavi z obnovljenimi elektrodami za erozijo pridobimo na času in ceni izdelave.

7 SKLEP

V dobi velike konkurence in hitrega razvoja tehnologij mora vsaka orodjarna, ki želi biti konkurenčna na trgu, hitro slediti vsem trendom in se prilagajati trgu. Ne le s strojnimi parkom in orodjem temveč tudi s programsko opremo, ki daje dobro podporo za delo z obdelovalnimi stroji. Z dobro podprto in učinkovito programsko opremo lahko v orodjarni privarčujemo veliko časa. Z njo lahko simuliramo veliko različnih situacij, kot so lastnosti načrtovanega izdelka, toplotne spremembe, potek litja, skrčke, čas izdelave, oblika izdelka po izdelavi ...

S simulacijami se lahko v naprej pripravimo na različne težave, ki bi lahko nastopile in jih že pred samo izdelavo izdelka saniramo oziroma odpravimo.

Zaradi teh konstrukcijskih težav je lahko izdelava orodja včasih veliko težja, zato je zelo pomembno tesno sodelovanje izkušenih tehnologov, kateri svetujejo in pomagajo konstruktorjem pri načrtovanju orodja, da se izognemo morebitnim težavam pri izdelavi. Tehnologi namreč najboljše poznajo, česa je njihov strojni park zmožen in kako kakšen kos izdelati. Le z dobro medsebojno komunikacijo konstruktorjev, tehnologov in ostalih delavcev dosežemo izdelavo orodij in pri tem ne pride do zastojev in težav pri izdelavi.

Pravilno izbiranje tehnologij izdelave je ključnega pomena za hitro, natančno in učinkovito izdelavo izdelka, s katerim smo lahko konkurenčni na trgu. Vsak tehnološki postopek izdelave ima namreč svoje prednosti in slabosti, z izbiro različnih postopkov izdelave lahko slabosti enega postopka izničimo z dobrimi lastnostmi drugega. Tako lahko na primer kombiniramo rezkanje in potopno erodiranje. Z rezkanjem si naredimo grob približek izdelka, z erodiranjem ga samo še zaključimo na končno obliko, kar sem tudi raziskoval v diplomskem delu.

Ob zaključku diplomskega dela sem spoznal, da je izbira potopnega erodiranja zelo odvisna od oblike, oziroma zahtevnosti izdelka. Bolj kot je oblika kompleksna, težje jo bomo porezkali in se bo bolj izplačalo erodiranje. Na stopnjo težavnosti izdelave samo z rezkanjem najbolj vplivajo kakšni globoki žepi, majhni radiji, ostri koti in podobno.

Ugotovil sem, da ob izdelavi enega gravurnega dela ne dobimo velike cenovne razlike med rezkanjem in rezkanjem v kombinaciji z erozijo. Razliko vidimo potem v kakovosti površin in času izdelave.

Samo rezkanje nam vzame veliko časa pri izdelavi majhnih in globokih utorov, katere moramo delati zelo počasi in z dolgimi orodji. Čas izdelave najbolj naraste zaradi kompenzacije gibanja stroja v teh utorih, saj se ta ne more premikati s konstanto hitrostjo.

Pri izdelavi orodja z rezkanjem in potopno erozijo ne bi pridobili veliko časa, če delamo operacije zaporedno. Prihranek je, v mojem primeru, znašal samo 30 ur. Če izberemo vzporedno izdelavo, lahko na enem stroju izdelujemo orodje ter istočasno elektrode na drugem stroju. Tako prihranimo ogromno časa in dosežemo krajše roke izdelave.

Kadar vemo, da bomo izdelovali večkrat enako orodje, se lahko poslužujemo obnove elektrod za erodiranje, kar nam še dodatno prihrani čas izdelave ter zmanjša porabo orodja za izdelavo.

Zaključil sem, da se postopek erodiranja vsekakor splača uporabljati, še zlasti takrat, kadar imamo kompleksne oblike izdelkov, za katere bi porabili ogromno sredstev, da bi jih lahko izdelali. Ko imamo več enakih izdelkov, se njena uporabnost samo še povečuje.

K tema dvema tehnološkima procesoma sem dodal tudi 3D tiskanje kovin, vendar zaradi visokih stroškov izdelave izdelkov tehnološki proces sploh ni primerljiv z ostalima dvema. Potrebuje svoj material, ki potrebuje dodatne toplotne obdelave in še dodatno obdelavo, da dobimo potrebne hrapavosti in odstranimo nečistoče na robovih 3d tiskane kovine. Za izdelavo po postopku rezkanja ali erodiranja lahko uporabimo material, ki po izdelavi oblike več ne potrebuje toplotne obdelave.

Zaradi visokih stroškov se 3D tiskanje kovin uporablja samo za najzahtevnejše izdelke v naši panogi izdelave livnih orodij. Z optimizacijo in zmanjševanjem stroškov 3D tiskanja se bo tudi ta tehnološki proces vedno bolj uveljavljal v vseh orodjarnah, tudi v naši, kjer izdelujemo večinoma livna orodja in mogoče kdaj v prihodnosti prevzel mesto CNC rezkalnega stroja v orodjarnah kot glavni stroj za izdelavo.

8 VIRI, LITERATURA

Damatech d.o.o. (2020). *Poboljšana jekla toolox*. Pridobljeno iz Damatech: <https://www.damatech.com/sl/Poboljsana-jekla/Toolox>

dr. mag. Marija Kisin, U. d. (2011). *Tehnologija*. Ljubljana: Zavod IRC.

Gogič, D. (2011). Izdelava in vzdrževanje livarskih orodij za kokolno litje. *IRT 3000*, 38-41.

Hamler, T. (2008). *Analiza sodobnih postopkov odrezavan*. Pridobljeno iz DKUM: <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=10117>

Huš, M. (30. 10 2018). *Monitor*. Pridobljeno iz Monitor, Mladina časopisno podjetje d. d.: <https://www.monitor.si/clanek/kako-natisniti-kovine/187996/>

Kraut, B., Puhar, J., & Stropnik, J. (2002). *Krautov strojniški priročnik: 14. slovenska izdaja - predelana*. Ljubljana: Litterapicta. Pridobljeno iz <http://www.talum.si/>.

Maris group d.o.o. (2020). Pridobljeno iz spletno mesto podjetja Marsi Group: <https://marsi.at/>

OPS-Ingersoll GMBH. (2018). *Gebrauchsanweisung*. BURBACH.

Prof. dr. Rüdiger, H., mag. Florian, K., & mag. Marjan, D. (2006). Strategije in orodja za uspešno obdelavo. *IRT3000*, 27-29. Pridobljeno iz <http://www.vpenjalnisistemi.com/pdf/Strategije%20in%20orodja%20za%20uspe%C5%A1no%20obdelavo.pdf>

Šircelj, D. u., & Anton, D. u. (2011). *Tehnologija*. Ljubljana: Zavod IRC.

Talum d.d. (2020). *Talum d.d.* Pridobljeno iz <http://www.talum.si/index.html>

Varotsis, A. B. (2020). *3D HUBS*. Pridobljeno iz <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-metal-3d-printing/>