VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

OPTIMIZACIJA MEHANSKE OBDELAVE IZDELKA IZ ALUMINIJEVE ZLITINE

Kandidat: Elvis Rajšp

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Strojništvo

Mentor predavatelj: dr. Darko Friščić

Mentor v podjetju: Dragan Gogić, mag. inž met. in mat.

Lektor: Petra Oblak, prof. slov. in ang.

Maribor, 2018

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Elvis Rajšp, sem avtor diplomskega dela z naslovom Optimizacija mehanske obdelave izdelka iz aluminijeve zlitine, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Darka Friščića.

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 lastne kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Ur. l. RS, 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/2013 in 56/2015); (v nadaljevanju ZASP), 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.

Destrnik, avgust 2018 Podpis študenta:

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju dr. Darku Friščiću za koristne informacije in napotke pri izdelavi diplomskega dela.

Hvala predstavnikom podjetja MLM, da so mi omogočili izdelavo naloge in uporabo internega gradiva.

Zahvaljujem se tudi mentorju v podjetju Draganu Gogiću mag. za koristne nasvete in pomoč.

POVZETEK

V diplomskem delu je prikazan postopek mehanske obdelave za izdelek iz aluminijeve zlitine, ki je namenjen serijski izdelavi. Prvi del naloge obsega teoretični del, v katerem so opisani tudi postopki, ki jih uporabljajo v podjetju MLM. Opisana sta stroja CNC – frezalni in stružnica, ki sta bila kasneje uporabljena tudi v praktičnem delu. Predstavljene so komponente oz. glavni deli, potrebni za delovanje stroja. Opisani so rezilni materiali, ki jih najpogosteje uporabljamo, navedeno je, za katere materiale jih potrebujemo. Opisana so tudi orodja za obdelavo, ki jih lahko obdelujemo na CNC-stroju – od vrtanja, grezenja ... Nato sledijo opisi vpenjalnih priprav, njihove prednosti za serijsko proizvodnjo, katere vrste poznamo in kako jih delimo; njihova raba v proizvodnih procesih ter podrobnejši opis načinov vpenjanja. To je pomembno predvsem za malo- ali velikoserijsko proizvodnjo. Sledi opis robotizacije, kje vse jo uporabljamo danes, katere vrste poznamo, navedene so tudi njene dobre in slabe lastnosti. Opisana je tudi napredna tehnologija v industrijski proizvodnji. Sledi opis proizvodnega procesa, zakaj je proizvodnjo sploh potrebno posodabljati. V tej točki so opisani načini izboljšanja proizvodnje in produktivnosti ter kakšna je sodobna proizvodnja z vso avtomatizacijo. Nato sledi opis proizvodnega procesa pred izboljšavo, kjer je predstavljen izdelek, kakšen je na videz, za kakšen namen ga potrebujemo in katere so njegove tehnične zahteve za mehansko obdelavo. Sledi predstavitev njegovega prejšnjega tehnološkega procesa mehanske obdelave – na katerem stroju smo ga obdelovali – od vpenjalnega sistema do obdelovalnega orodja ter produktivnosti. Vse je prikazano tudi v 3D-modelu prijemala –prvotni videz in nato videz obdelovanca v vpenjalnem sistemu. V zadnjem delu je predstavljena izboljšava na drugem CNC-frezalnem stroju, na novem vpenjalnem sistemu, na obdelovalnem orodju in z dodano robotizacijo, pri tem so opisane dodane posamezne komponente – zalogovnik, industrijski robot, robotska prijemala, ki so namensko prirejena za točno ta izdelek. Prikazana je tudi robotska celica, pri čemer je razviden postopek dela na nov način. Vse produktivnosti so izračunane in prikazane v tabelah ter grafih – za lažji pregled. Celoten proizvodni proces stremi k čim boljši produktivnosti in nižjim stroškom, kar je tudi predstavljeno v diplomskem delu.

Ključne besede: vpenjalna priprava, CNC-stroj, robot, obdelovalno orodje, produktivnost

ZUSAMMENFASSUNG

MACHINING PROCESS OPTIMIZATION OF CASTING ALUMUNIUM PIECE

In der Diplomarbeit wird die Bearbeitung eines Werkstückes aus Aluminiumlegierung beschrieben das für die industrielle Fertigung vorgesehen wird. Der erste Teil ist der theoretische Teil, in diesem werden die Abläufe beschrieben, die bei der Firma MLM benötigt werden. Das beginnt mit den Metallverarbeitungsmaschinen, Dreh- und Fräsmaschine CNC, die später auch im praktischen Teil benutzt wurden. Erläutert werden die Hauptteile und Komponenten der Maschinen, die den sicheren Lauf dieser Maschinen gewährleisten. Die Schneidewerkzeuge, die je nach Art des Materiales benutzt werden. Die verschiedenen Befestigungsvorrichtungen. Die Vorteile der Serienproduktion, welche verschiedene Arten es davon gibt, die Benutzung in der Produktion und die genaue Beschreibung für verschiedene Befestigungsarten. Danach folgt das Thema Robotics, für was man Roboter benötigt, welche Arten von Robotern es gibt und die Vor- und Nachteile. Beschrieben wird die Zukunftstechnologie für Industrieproduktionen. Es folgt der Entwicklungsprozess. Hier wird die Verbesserung der Produktion sowie die Zukunft mit Automatisierung beschrieben. Dann folgt die Beschreibung der Produktion vor der Verbesserung. Da geht es um das Produkt, um das Aussehen, um die Beschaffenheit, Einsetzung und Bearbeitung. Es folgt die Vorstellung früherer technischer Prozesse. Mit welchen Maschinen bearbeitet wurde von Befestigung bis Werkzeug. Entwicklung Alles wird in 3D-Model vorgestellt, vom anfänglichen Aussehen bis zum fertigen Produkt. Im letzen Teil wird die Verbesserung / Entwicklung an der zweiten CNC-Fräsmaschine, der Vorspanneinrichtung und an Werkzeugen vorgestellt. Sowie die zusätzliche Robotisierung in den einzelnen Komponenten wie Speicher, Industrieroboter und Programmierung. Gezeigt wird auch eine komplette Ausführung mit Robotern, wo man den ganzen Prozess betrachten kann. Für eine bessere Handhabung werden alle neuen Berechnungen in Tabellen und Grafiken aufgeführt. Die ganze Entwicklung (Verbesserung) dient zur Optimierung der Produktion sowie zur Senkung der Kosten. Diese Themen sind in der Diplomarbeit vorgestellt.

Stichwort: Klemmvorrichtungen, der CNC Maschinen, die Robot, Metallverarbeitungsmaschine, Produktivität

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 TEHNOLOGIJA OBDELAVE Z OBREZAVANJEM MATERIALA 12

2.1 PREDSTAVITEV PODJETJA MLM 12

2.2 NAMEN IZBOLJŠANJA PROCESA 14

2.3 NC- IN CNC-STROJI 14

2.3.1 NC-stroji 14

2.3.2 CNC-stroji 15

2.3.3 Zgradba CNC-STROJA 17

2.3.3.1 Pogonski del 18

2.3.3.2 Pomožni pogoni gibanja 19

2.3.3.3 Vodila 19

2.3.3.4 Glavno vreteno 19

2.3.3.5 Togost 20

2.3.3.6 Toplotna obremenitev 20

2.3.4 Obdelovalna orodja 21

2.3.4.1 Vrtalna orodja 23

2.3.4.2 Orodja za grezenja 23

2.3.4.3 Orodja za povrtavanja 24

2.3.4.4 Orodja za vrezovanje navojev 24

2.3.4.5 Orodja za rezkanje 24

2.3.4.6 Orodja za posnemanja 26

2.3.4.7 Orodja za žaganja 26

2.3.5 CNC-stružnica 27

2.3.5.1 Stružna orodja 27

2.3.6 Vrste rezalnega materiala 28

2.4 VPENJALNE PRIPRAVE 30

2.4.1 Njihova uporaba ima več prednosti 31
2.4.2 Delitev vpenjalnih priprav 31
2.4.2.1 Namenska vpenjalna priprava 32
2.4.2.2 Skupinske vpenjalne priprave: 33
2.4.2.3 Univerzalne vpenjalne priprave 33
2.4.2.4 Modularno vpenjanje 34
2.4.3 Elastični vpenjalni sistemi 34
2.5 ROBOT 35
2.5.1 Industrijski robot 36
2.5.2 Prijemala 37
2.5.2.1 Delitev prijemal 37
2.6 POSODABLJANJE PROCESA 38
2.6.1 Avtomatizacija 38
2.6.2 Sodobna proizvodnja 39
2.6.2.1 Proizvodnja in produktivnost 39
2.6.2.2 Obdelovalna celica 41
3 PROIZVODNI PROCES PRED IZBOLJŠAVO 42
3.1 PREDSTAVITEV IZDELKA 42
3.2 PREDVIDENA OBDELAVA IZDELKA 44
3.3 OBDELAVA NA CNC-STRUŽNICI EMAG 45
3.3.1 Produktivnost 46
4 IZVEDENA OPTIMIZACIJA 48
4.1 NAMENSKA VPENJALNA PRIPRAVA 48
4.2 OBDELOVALNO ORODJE 49
4.2.1 Prikaz obdelave orodja 49
4.3 OBDELAVA Z ROBOTOM 51
4.3.1 Robotska celica 51
4.3.2 Zalogovnik 52
4.3.3 Robotska prijemala 52
4.4 IZBOLJŠAVE PO OPTIMIZACIJI 53
4.4.1 Normirano število izdelkov za CNC – MILL: 53
4.4.2 Indeks produktivnosti 54

5 **SKLEP** **58**

6 **VIRI, LITERATURA** **60**

7 **PRILOGE** **62**

KAZALO SLIK

SLIKA 1: MLM 12
SLIKA 2: ULITEK 13
SLIKA 3: ORODJARSKO ORODJE ZA LITJE 13
SLIKA 4: NC-STROJ 15
SLIKA 5: CNC-STROJ 17
SLIKA 6: GLAVNO VRETENO NA ELEKTRIČNI POGON 20
SLIKA 7: PONAZORITEV VPENJANJA ORODJA 22
SLIKA 8: NAČINI OBDELAVE Z REZKALNIM ORODJEM 25
SLIKA 9: PRITRDITEV REZALNE PLOŠČICE 27
SLIKA 10: MIKROSTRUKTURNA KARBIDNA TRDINA 29
SLIKA 11: RAZDELITEV VPENJALNEGA SISTEMA 32
SLIKA 12: PRIMER NAMENSKEGA HIDRAVLIČNEGA VPENJALNEGA SISTEMA V MLM 33
SLIKA 13: INDUSTRIJSKI ROBOT KUKA 37
SLIKA 14: OBDELOVALNI CENTER 40
SLIKA 15: IZDELEK IZ ALUMINIJEVE ZLITINE 42
SLIKA 16: PRIMER UPORABE IZDELKA 43
SLIKA 17: PRIKAZ PROCESA V MEHANSKI OBDELAVI 43
SLIKA 18: PRIKAZ ENOSTRANSKE OBDELAVE 44
SLIKA 19: PREDVIDENA OBDELAVA IZDELKA 45
SLIKA 20: VPENJALNI SISTEM NA CNC – EMAG 45
SLIKA 21: VPENJALNA PRIPRAVA ZA DVA IZDELKA HKRATI 48
SLIKA 22: OBDELAVA POVRŠIN S PRVIM ORODJEM 50
SLIKA 23: OBDELANE POVRŠINE Z DRUGIM ORODJEM 50
SLIKA 24: ROBOTSKA CELICA 51
SLIKA 25: ZALOGOVNIK 52
SLIKA 26: ROBOTSKA PRIJEMALA 53

KAZALO TABEL

TABELA 1: PRODUKTIVNST NA CNC – EMAG 47
TABELA 2: PRIMERJAVA NORMIRANE OBDELAVE NA OBEH CNC-STROJIH 55

KAZALO GRAFIKONOV

GRAFIKON 1: PRIMERJAVA PORABLJENIH UR NA OBEH CNC-STROJIH……56
GRAFIKON 2: ZASEDENOST STROJA V ODSTOTKIH……..57

Okrajšave in kratice

CNC – Computer Numerical Control (računalniško numerično krmiljenje)

NC – Numerical Control (numerično krmiljenje)

PKD – polkristalni diamant

HSC – visokohitrostno struženje

1 UVOD

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Razvojni proces in tehnologija mehanske obdelave sta odvisna od konstrukcije izdelka. Ta mora predvidevati obstoječe možnosti tehnologije. Tehnologija mehanske obdelave določa izbor obdelovalnega orodja, ki je lahko namensko ali univerzalno, vrstnega reda obdelave, vpenjalnih priprav, pri čemer je glavno vprašanje, ali so kupčeva naročila za serijsko proizvodnjo ali posamični izdelek. Od tega je odvisna izbira vpenjalnih priprav – ali so namenske ali univerzalne; izbira CNC-stroja, načina programiranja, robotizacijske celice.

Optimalni proces mehanske obdelave in tehnologije privede do želenega cilja, kar je maksimalna produktivnost proizvodnje ter razbremenitev delavca. Cilj je tudi zmanjšanje števila delavcev, saj bo vgrajena robotska celica, ki bi morala zmanjšati število posluževalcev stroja.

V nalogi bom raziskoval problem optimizacije s spremembo dodane robotske celice, novega vpenjalnega sistema, ki bo lahko hkrati obdeloval dva izdelka, zmanjšanje števila obdelovalnih orodij in povečanje produktivnosti ter zmanjšanje stroškov. Raziskoval bom tudi problem na novem obdelovalnem stroju – iz stružnega na frezalnega. Nato bom primerjal produktivnost na prvem obdelovalnem stroju in kasneje po preselitvi na drugi obdelovalni stroj z robotsko celico.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Naloga ima namen raziskati, kako zagotoviti, da je izdelek narejen v najkrajšem času in največjem številu. Ni pomembno samo narediti izdelka v najkrajšem času, ampak mora biti ta tudi kakovosten ter mersko ustrezen. Izdelave izdelka ne sme ovirati noben drugi proces v proizvodnji ali ga celo poškodovati. V nevarnost ne sme spraviti nobenega delavca, ki poslužuje stroj.

Vse je potrebno optimizirati s pravilno tehnologijo obdelave z obdelovalnim orodjem, s pravilno izbiro industrijskega robota ter z vpenjalno pripravo, ki mora ustrezati izdelku ter robotu med delovnim procesom.

Osnovne trditve – hipoteze so:

H1: Z robotsko celico bo proces optimiziran, dvignila se bo produktivnost, stroški se bodo znižali.

H2: Robotska celica bo lahko implementirana tudi na drugih strojih v proizvodnem procesu mehanske obdelave.

H3: S povečanjem avtomatizacije se zmanjša vpliv človeškega faktorja na kakovost izdelka.

Vse optimizacije bodo morale delovati brezhibno za doseganje čim boljše produktivnosti, večjega števila izdelkov na časovno enoto, čim nižjih stroškov, manjšega števila posluževalcev stroja ter na koncu najpomembnejšega – razbremenitve delavca.

1.3 Predpostavke in omejitve

Omejitve, ki vplivajo na potek dela:

- omejitev na razpoložljivi del (strojni in programski)
- nekateri podatki so zaupne narave in so zgolj približne vrednosti

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

V diplomskem delu bom uporabil deskriptivno metodo in metodo kompilacije. Deskriptivno metodo bom uporabil v prvem, metodo kompilacije pa v drugem delu naloge.

- Deskriptivna metoda:
  To je študij domače in tuje literature, večino literature sem našel v podjetju ter v knjižnici.
- Metoda kompilacije:
  Primerjal sem praktično znanje oz. dokumentacijo s teoretičnim ali obratno. Vse to sem našel na spletu.
- Komparativna metoda:
  Z metodo primerjave sem primerjal produktivnost na prvem in potem še na drugem stroju.

2 TEHNOLOGIJA OBDELAVE Z OBREZAVANJEM MATERIALA

2.1 Predstavitev podjetja MLM

Diplomsko delo je bilo izdelano v sklopu podjetja MLM, ki je bilo ustanovljeno davnega leta 1924. V podjetju izdelujejo aluminijaste ulitke in odkovke bakrenih zlitin. Večji del proizvodnje je namenjen avtomobilski industriji, za podjetja, kot so Audi, VW, Škoda ... Podjetje ima certifikata za kakovost in zanesljivost ISO 9001 ter IATF 16949. Za ravnanje z okoljem so pridobili standard ISO 14001 in sistem upravljanja z energijo ISO 50001.

Slika 1: MLM

Vir: (MLM, Mariborska livarna Maribor, 2018)

Podjetje je razdeljeno na več oddelkov:

- mehanska obdelava
- tlačna livarna
- orodjarna
- kovanje izdelkov iz bakrenih zlitin in
- pakiranje in dodelava

V mehanski obdelavi ulitke obdelujejo glede na naročila, ki jih poda kupec. V proizvodnji uporabljajo veliko različnih rezkalnih CNC-strojev, ki se razlikujejo po nazivu – MAKINO, SW, CHIRON, in po oseh – tri-, štiri- ali petosni stroji, ter stružnice, kot sta EMAG in NAKAMURA, ki so tudi različne – dvovretenske ali enovretenske, ter stružnico EMAG.



Slika 2: Ulitek

Vir: (MLM, Mariborska livarna Maribor, 2018)

V tlačni livarni izdelujejo izdelke iz aluminijevih zlitin. Oddelek ima 13 avtomatiziranih livnih celic in štiri talilne peči, ki zmorejo vse do 5 ton taline na uro. Vedno bolj proizvodnjo avtomatizirajo, kar pomeni, da se ulitek zbrusi avtomatsko.

V orodjarni izdelujejo orodja za tlačno litje, orodja za kovanje in vpenjalne priprave. Izdelujejo jih za lastne potrebe in za zunanje naročnike. Na oddelku skrbijo, da orodja v podjetju redno vzdržujejo in obnavljajo po točno določenem času ali po številu obdelanih kosov na orodju. Imajo tudi 3D-modeliranje, konstruiranje orodij in seveda fizične obdelave orodij na CNC-rezkalnih strojih.



Slika 3: Orodjarsko orodje za litje

Vir: (MLM, Mariborska livarna Maribor, 2018)

Na oddelku kovanja izdelkov iz bakrenih zlitin lahko letno izdelajo okrog 2500 ton različnih odkovkov. Opravljajo različne obdelave – peskanje, poliranje, brušenje. Imajo devet kovaških stiskalnic za utopno kovanje, v velikosti do 400 ton.

Pakiranje in dodelava pomeni toplotno obdelavo, vibriranje ulitkov in peskanje. Kot pove že beseda pakiranje, tukaj izdelke tudi pripravijo za končno odpremo naročniku. Občasno tudi obdelujejo ulitke, npr. vrtanje navojev, izvrtin … (MLM, Mariborska livarna Maribor, 2018)

Glavni kupci so:

- Audi, Volkswagen, Škoda
- Wabco
- GKN
- Continental
- Contitech

2.2 Namen izboljšanja procesa

Namen izboljšanja je, da obdelovalni stroj naredi več kosov v čim krajšem času, pokaže se optimizacija dodane robotske celice. S tem skrajšamo čas in povečamo produktivnost obdelave ter znižamo stroške. Izračuni produktivnosti bodo prikazani pred dodano izboljšavo in po njej. Prikazani bodo tudi z grafom in s 3D-modelom robotske celice. S pravilno optimizacijo se znižajo stroški obdelave, produktivnost se poveča.

2.3 NC- in CNC-stroji

Začetek razvoja sega v devetnajsto stoletje, tedaj so se pokazale prve stopinje matematičnih procesov za izgradnjo procesov iz enostavnih logičnih korakov. Že leta 1958 so razvili prvi programski jezik za strojno programiranje v NC-jeziku. Danes uporabljamo CNC-stroje, ki so nadgradnja tedanjih NC. Krmilne enote so vedno manjše in zmogljivejše. (Otto, 2018)

2.3.1 NC-stroji

Oznaka NC je angleškega izvora in pomeni numerično krmilje. Pri takem stroju lahko program za obdelovalno orodje napišemo izven stroja. Na stroju popravki niso več možni. Za izvedbo nekega gibanja mora krmilnik poznati tehnološke parametre za podajalno in rezalno hitrost itn. S pomočjo povratnih informacij, ki jih dobi z merilnih mest v stroju, lahko spremlja dejansko

pozicijo. V primeru, da napačno vnesemo gib, ki je definiran izven njegovega območja, se stroj ustavi.

Njegova glavna naloga je prevajanje notranjih vhodnih podatkov o premikih in hitrosti, stroj pa nato na osnovi dobljenih informacij premika motorje za glavna in podajalna gibanja. Natančnost stroja je najbolj odvisna od hitrosti zaustavitve in zagonov motorjev, večja kot je zračnost, manjša je natančnost.



Slika 4: NC-stroj

Vir: (Mech4study, 2018)

Razvoj NC-strojev je pripomogel k velikemu napredku avtomatizacije. Z njimi so lahko začeli izračunavati pozicije orodij do veliko večje natančnosti kot z ročnimi in s hitrejšimi ciklusi časa. Vse pozicije orodij so shranili na luknjičaste papirnate kartice, ki jih je nato stroj bral in izračunaval pot orodja. Poti so izvedli servomotorji. (Otto, 2018)

2.3.2 CNC-stroji

Pomeni numerično krmiljenje s pomočjo računalnika. Ti stroji imajo h krmilni enoti prigrajen še računalnik, ki ima vgrajen spomin in si tako shrani program. Zaradi sodobnih mikroprocesorjev lahko s programom, ki je vnesen v stroj, dosežemo večje podajalne hitrosti in natančno pozicioniranje. Program lahko spreminjamo in večkrat uporabljamo, ne da bi ga

bilo potrebno na novo vnašati v stroj. Tudi mere orodij se vnesejo v CNC-krmilnik in se upoštevajo med avtomatskim delovanjem. Sodobni stroji omogočajo tudi simulacije, ne da bi stroj dejansko zagnali za obdelavo, s čimer prihranimo čas.

Krmilje prevaja in izvaja podatke o gibanju, obliki obdelovancev in parametrih odrezavanja. Uporablja več elektromotorjev za doseganje čim večje moči in hitrosti. Za spremembo vrtljajev se najpogosteje uporabi frekvenčni regulator. Ko dobi krmilnik vhodni podatek, se stroj ustrezno odzove, vklopi podajalni motor in se začne gibati. Istočasno se prenesejo podatki tudi do primerjalnika in ta poda vrednost oz. pozicijo, ki jo želimo doseči. Uporabljamo koordinate X, Y, Z.

Prednosti CNC:

- delo s podprogrami
- korekcije radijev rezalnih robov
- povezava krmilja s strojem
- višje vrste interpolacije

Na razvoj CNC-strojev je veliko vplivala znanost in tehnika. Z njimi se je razvilo še veliko drugih pomembnih programov – CAD računalniško načrtovanje proizvodov in industrijskih robotov ter avtomatsko vodenje proizvodnje. Glede na NC-stroje se je rezalna hitrost povečala vse do 12-krat, kljub temu pa se je natančnost obdelave zvišala in se še zvišuje.

Sodobni CNC-stroji, ki jih uporabljajo tudi v podjetju MLM, se od NC-strojev najbolj razlikujejo na naslednjih segmentih: pri vnašanju korekcij obdelovalnih orodij, avtomatski zamenjavi obdelovancev s pomočjo industrijskega robota ali manipulatorja, kontroli obrabljenih orodij in življenjski dobi orodja, ki jo poda proizvajalec, pri zlomu orodja, ki ga zazna senzor v stroju pri menjavi orodja, avtomatskem vpenjanju orodja v glavno vreteno, čiščenju orodja z zrakom ali s tekočino, pri avtomatskem kompenziranju orodja, ki je obrabljeno in se prilagaja na izdelek, simulaciji postopka obdelave, ki ga lahko vidimo na zaslonu pri stroju, ter tudi pri preventivnih pregledih stroja in rednem vzdrževanju. (Pavel Kaiba, 2000)



Slika 5: CNC-stroj

Vir: (Encrypted, 2018)

2.3.3 Zgradba CNC-STROJA

Za zelo natančno zgradbo stroja je potrebno tudi natančno konstruiranje. Pomembno ga je konstruirati tako, da je stroj tudi zelo sposoben oz. uporaben v proizvodnem procesu. Natančna izdelava stroja je prvi korak k temu, da bo potem tudi deloval izjemno natančno, kar se bo poznalo na obdelovancih.

Glavni deli stroja:

- glavni nosilni deli
- vodila
- krmilni elementi
- pogon ali motorski del
- deli za manipulacijo, če je to potrebno po dodatni avtomatizaciji ...

Stroji, ki obdelujejo surovce, morajo danes prenašati vedno večje rezalne sile in hitrosti. Kljub temu pa morajo še vedno ostati natančni in hitrejši od predhodnikov. Da se rezalne sile povečujejo, veliko pripomorejo vedno močnejši in hitrejši motorji. To je najbolj opazno na glavnem vretenu, kjer je vpeto orodje in mora med obdelavo prenašati vso silo. Izboljšali so se tudi vodila, ležaji ..., vse to vpliva na natančnost stroja, kar pa je skrito očem posluževalca stroja.

Vsak izdelani CNC-stroj mora ustrezati veljavnim predpisom, ki veljajo v Evropski uniji. Varnost je najpomembnejši dejavnik pri izgradnji stroja, saj se delavec oz. posluževalec stroja ne sme poškodovati, če stroj izpolnjuje vse varnostne ukrepe. Vplivi na okolico morajo biti čim manjši, med drugim glasnost stroja in prah, ki nastane med obdelavo surovcev. (Kranjc, 2018)

2.3.3.1 Pogonski del

Večina obdelovalnih strojev CNC poganjajo motorji na elektropogon. Glavni pogoni nam zagotavljajo določeno rezalno hitrost na glavnem vretenu, veliko hitrost premikanja in natančnost. Seveda potrebujejo vsi elektromotorji za reguliranje frekvenčni regulator. Hitrosti se od stroja do stroja zelo spreminjajo. Pri namenskih strojih je po navadi hitrost samo ena, ker je namenjen za točno določeno obdelavo, stroji, ki so večnamenski, pa imajo več različnih rezalnih hitrosti in premikanja. Glavne pogone lahko razdelimo na električne in hidravlične motorje. Hidravlične motorje uporabljamo pri majhnih nosilnostih teže in velikih pospeških. Za večjo natančnost in velike pospeške ter dolgo življenjsko dobo so boljši električni motorji. Te uporabljajo v MLM, in sicer zaradi njihovih dobrih lastnosti ter natančnosti.

Podajalni pogoni gibanja

Pogoni pri podajalnih gibanjih so po navadi asinhronski, in sicer zaradi možnosti doseganja velikih hitrosti gibanja ter takojšne ustavitve, ki traja nekaj milisekund. Vsi pogoni pri podajalnem gibanju morajo imeti veliko togost, veliko hitrost gibanja in možnost konstantne hitrosti gibanja. Ob vseh teh karakteristikah lahko dosežmo zelo natančno obdelavo.

Glavni pogon gibanja

Motorje lahko delimo na asinhronske, enosmerni tok in sinhronske. Asinhronski motorji se najpogosteje uporabljajo kot glavni pogon gibanja. So zelo lahki za vzdrževanje in imajo nizko ceno ter so natančni. Ti motorji imajo stator in rotor, ki ima trifazno navitje, vse to pa je priključeno preko drsnih obročev. S frekvenčnim pretvornikom nastavljamo vrtljaje elektromotorja. Pri sinhronskih motorjih je stator podoben asinhronskemu, ampak je nastavljanje vrtljajev zahtevnejše. Uporabljajo se večinoma pri industrijskih robotih. Za motorje pri enosmernem toku je potreben električni vir, ki ga lahko nastavimo na enosmerni tok. Imajo zelo veliko togost pri vrtenju in se pogosto uporabljajo tudi kot glavni motorji. So zelo preprosti za reguliranje in imajo dober tek (sinhroni). (Balič, 2000)

2.3.3.2 Pomožni pogoni gibanja

K pomožnim gibanjem spada menjavanje orodja, gibanje orodja in obdelovanca, menjava obdelovancev. Nekatera pomožna gibanja so vgrajena v sklopu glavnega gibanja, ampak to samo v primeru, če so CNC-stroji počasnejši ali te funkcije ne potrebujejo pogosto. Ločimo odvisna in neodvisna pomožna gibanja. Pri odvisnih pomožnih gibanjih je glavni pogon glavno sredstvo za prenos energije preko jermena na drugo komponento. Uporabljajo se za izdelavo navojev, zobnikov ... Neodvisna pomožna gibanja imajo to glavno lastnost, da imajo za vsako smer oz. os gibanja svoj pomožni pogon, s čimer pridobijo natančnost in hitrost gibanja. To velja predvsem za vse novejše CNC-stroje, da lahko zadostijo visokim zahtevam na mednarodnem trgu. Uporabljajo se elektromotorji, ampak so med seboj usklajeni z drugimi, da se lahko gibljejo po določeni koordinati. (Pavel Kaiba, 2000)

2.3.3.3 Vodila

Z vodili premikamo suporte ali mize. Najpogosteje se uporabljajo drsna vodila – zaradi dobrih lastnosti, kot so togost, majhna obraba in lahko vzdrževanje. Pri zelo počasnemu gibanju se velikokrat lahko zgodi, da so nenatančni – zaradi prevelikega trenja med površino, to lahko povzroči poškodbe na izdelku, ali ko tekočina zaradi počasnega gibanja ne pride med površino in se začne vodilo obrabljati. Da se izognemo tem trenjem, lahko uporabimo kotalna vodila, ki so sicer težja za vzdrževanje, a imajo večjo togost in natančnost obdelave. Vse skupaj mora biti zaščiteno v kletki, če hočemo doseči najboljše lastnosti.

Hidrodinamična vodila pa so primerna za izjemno težke obremenitve med obdelavo. Delujejo po načelu tlaka za olje v oljnem bazenu, ki je vedno konstanten med površinama, ki se ne stikata. To zagotavlja še večjo togost kot pri kotalnih vodilih. Zelo razširjena so v industriji saj so poceni, toga in natančna, izdelava je zelo preprosta. Zelo pomembna je čistoča vodil, saj lahko odrezki poškodujejo njihovo površino. Zaščitimo jih s trakovi, ki ščitijo pred majhnimi odrezki, ali s posebni elementi za zaščito. (Balič, 2000)

2.3.3.4 Glavno vreteno

Za glavno vreteno se uporabljajo motorji, vgrajeni na glavno vreteno, ali direktni pogoni, zaradi katerih imamo zelo dobre lastnosti profilov togosti. Z direktnim pogonom pridobimo pri zelo natančnih gibih in visoki dinamiki. Motorje, ki so neposredno vgrajeni na glavno vreteno, imenujemo tudi motorno vreteno. Slabost vgradnje na glavno vreteno je visoka temperatura. Nekoliko jo je mogoče odvesti s hladilnimi tekočinami. Motorji, ki so vgrajeni na vreteno, ne potrebujejo nobenih dodatnih jermenov za prenos, imajo lahko veliko vrtilno hitrost in večjo

hitrost pri zaganjanju, torej pospešek, ter imajo mirnejši tek kot ostali običajni motorji. (Pavel Kaiba, 2000)



Slika 6: Glavno vreteno na električni pogon

Vir: (Eamachine, 2018)

2.3.3.5 Togost

Eden izmed pomembnih dejavnikov je togost vseh delov, ki potem vplivajo na natančno obdelavo. Pri odrezovalnih strojih so vsi njihovi deli vnaprej dimenzionirani, saj lahko samo tako dosežejo optimalno togost. Ta ne sme biti nikoli premajhna. Togost je deformacija, ki nastaja pri obdelavi ob konstantni obremenitvi, pri čemer pride najbolj do izraza popustljivo ogrodje. Za CNC-stroje je potrebno čisto drugačno konstruiranje in izdelava, kot pri navadnih strojih, ker ne računamo sil pri obremenitvi, togosti pa so v veliko manjših tolerancah kot pri navadnih strojih. Vsi sodobno izdelani stroji stremijo k temu, da se lahko prilagajajo na posamično in serijsko proizvodnjo. Stroj mora biti izdelan hitro, poceni in natančno, da lahko konkurira na mednarodnem trgu. Danes izdeluje CNC-stroje zelo veliko različnih podjetij. (Balič, 2000)

2.3.3.6 Toplotna obremenitev

Toplotna obremenitev je pri CNC-strojih zelo pomembna, saj se že ob majhni spremembi temperature spremenijo tudi mere na obdelovancu. Spreminjanje temperature lahko povzroči nepravilno postavljen stroj, ki je izpostavljen soncu, temperatura sosednjih strojev (peči, pralni stroji ...). Tudi v notranjosti stroja se dogajajo spremembe temperature, in sicer zaradi trenja ležajev, menjalnika in motornih pogonov, ter v sami obdelavi, kjer so obdelovalno orodje in

izdelki. Da se izognemo večjim spremembam temperature in merskim problemom pri izdelku, lahko CNC-stroj izoliramo proti zunanjim vplivom, uredimo toplotno odvajanje ali hlajenje strojev na določeno temperaturo. (Kranjc, 2018)

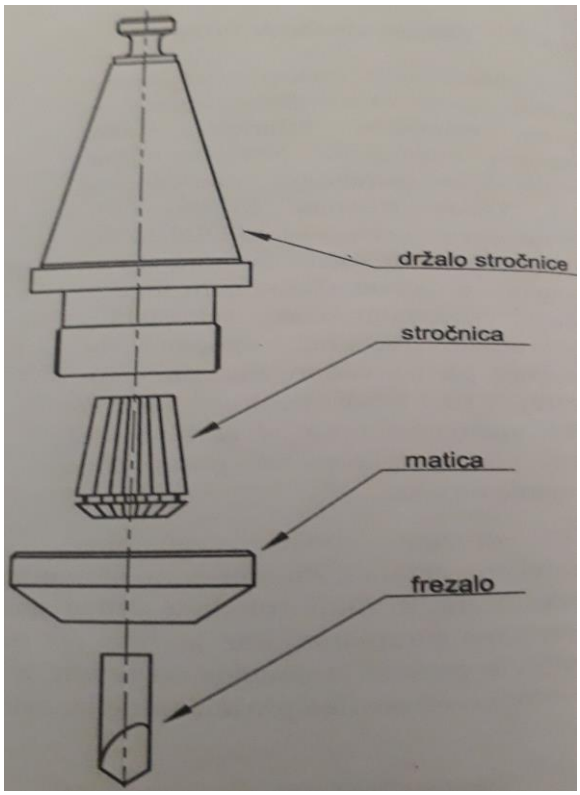
2.3.4 Obdelovalna orodja

V MLM uporabljajo za delo s CNC različna orodja z različnimi rezalnimi materiali.

Najpogosteje uporabljeni:

- PKD
- polkristalinični rezalni material
- oslojeni rezalni material
- hitrorezna jekla

Vsako orodje je treba pred pričetkom dela izmeriti in nastaviti. Vsako orodje se vpne v držalo orodja. Na frezalnih strojih se orodja nastavljajo glede na referenčno točko in končno točko vretena. Orodja se shranjujejo v zalogovniku v CNC-stroju in ko v programu pokličeš orodje, se to avtomatično prikliče iz zalogovnika. Sestavljeno je iz držala stročnice, stročnice, matice in obdelovalnega orodja.



Slika 7: Ponazoritev vpenjanja orodja

Vir: (Pavel Kaiba, 2000)

V podjetju MLM uporabljajo na CNC-strojih avtomatsko zamenjavo orodja, kar pomeni, da imajo skladišče z orodjem za avtomatično zamenjavo. S tem načinom se skrajšajo obdelovalni časi, ki pri velikih serijah pripomorejo k zmanjšanju stroškov obdelave. Zamenjava orodja se zgodi, ko manipulator vzame orodje iz skladišča v CNC-stroju in ga zamenja z orodjem v glavnem vretenu. Orodje, ki je bilo prej v glavnem vretenu, se vrne na točno določeno pozicijo, ki jo sami določimo v programu. Vsa orodja morajo biti v pravilnem tipu držala, ki ustreza stroju, na katerem poteka obdelava. Vsako orodje mora biti pravilno prednastavljeno na merske tolerance, ki so zahtevane za določeno obdelovanje obdelovanca.

V podjetju MLM imajo vsi CNC-frezalni stroji detekcijo zloma orodja. V primeru, da se zlomi del obdelovalnega orodja, stroj to zazna in se ustavi pred nadaljevanjem programa. Vsako obdelovalno orodje ima določeno število obdelav, temu pravimo obrabljenost rezalnega orodja. V CNC-stroj je vneseno število obdelav za določeno obdelovalno orodje in ko doseže to število, se pred nadaljevanjem izvajanja ustavi, orodje je potrebno nato zamenjati z rezervnim. S tem načinom je omogočena največja natančnost obdelave obdelovancev, da so v mejah zahtevane tolerance. (Balič, 2000)

2.3.4.1 Vrtalna orodja

Vrtalna orodja se veliko uporabljajo na CNC-strojih za točno pozicioniranje izvrtin na izdelku. Vsa rezila na orodju so enakomerno oz. enako razporejena na orodju, zato tvorijo enakomerno odrezavanje. V večini primerov je surovec pritrjen v delovnem območju stroja, kjer orodje uporablja vrtilno gibanje, ki lahko poteka v levo ali desno stran. Velikost odrezkov se spreminja samo v primeru spremembe vrtilne hitrosti in hitrosti gibanja obdelovalnega orodja.

Najbolj razširjeno vrtalno orodje v MLM je vijačni sveder. Ima najmanj dve rezili in zavit vijačni utor, pri katerem odvaja odrezke. Razlikujemo več načinov vrtanja – navadno, globoko in izrezovalno. Za kratke izvrtine uporabljamo mehansko pritrjene ploščice iz določene trdine. Imajo veliko dobrih lastnosti, kot so majhni stroški, povečana produktivnost s hitrejšim delovnim gibom in hitrejšo rezalno hitrostjo. Ploščice, ki so pritrjene v orodje, so lahko različnih oblik in jih lahko večkrat obrnemo ter s tem prihranimo čas in stroške proizvodnje.

Večina orodij v podjetju je narejena tako, da imajo enega ali več dovodov hladilne tekočine, odvisno od namena vrtanja in velikosti orodja. S tem dosegamo veliko boljše hlajenje orodja in posledično manjša tolerančna odstopanja. Imajo tudi druge prednosti, kot je odnašanje odrezkov iz izvrtine. Ploščice so večinoma izdelane za točno določen izdelek, s točno določeno obliko rezalne ploščice. Ploščice, ki jih uporabljajo za veliko število surovcev, so prevlečene tudi s trdimi prevlekami, kar veliko pripomore k daljši življenjski dobi ploščice.

Vrtalna orodja, ki jih uporabljamo za globoka vrtanja, imajo hladilno-mazalni sistem. Pri globokih vrtanjih nastajajo težave z odvajanjem odvečnih odrezkov, kar odpravimo prav s tem hladilno-mazalnim sistemom. Uporabimo visoki tlak, ki s tem odnaša odrezke iz izvrtine. Hladilni sistem deluje v notranjosti svedra oz. stene in vse to deluje pod visokim tlakom. Uporabljajo se enorezilna in dvorezilna orodja. (Kranjc, 2018)

2.3.4.2 Orodja za grezenja

Postopki grezenja so namenjeni širjenju že obstoječe luknje. Uporabljajo se večino tam, kjer so zelo zahtevne tolerančne meje. Preden se uporabi grezilno orodje, izvrtino izvrta že sveder, s tem orodjem jo potem brez velikih dodatkov vrtanja samo še izvrtamo točno na določeno tolerančno mejo. Poznamo več vrst grezenja – fino in grobo ter grezenje na točno določeno obliko.

Pri grobem grezenju uporabljamo večinoma navadne vijačne svedre, pri natančnejših izvrtinah pa uporabimo vijačna grezila. Ta imajo rezalni rob s kotom 120 stopinj. Pri čelnih steblastih grezilih je kot za 60 stopinj večji kot pri vijačnih grezilih. Uporabljamo jih za povrtavanje

vijačnih sedežev in finih grezenj. Vratno grezilo uporabljamo za poglabljanje izvrtin. Na zelo zahtevnih ulitkih se veliko uporabljajo posebne grezilne izvedbe, ki niso standardne in so narejene namensko za točno določeni surovec. (Balič, 2000)

2.3.4.3 Orodja za povrtavanja

Povrtavanje pomeni fino obdelavo določene izvrtine. Podobna so grezilnim orodjem, razlikujejo se po obliki. Ta orodja lahko dosegajo zelo kakovostno obdelavo, brez širjenja že obstoječe izvrtine. Ta metoda se večinoma uporablja pri obdelavi železnih ulitkov, kjer so zelo velike trdote – vse do 30 HRC.

Razlikujemo jih po načinu izdelave samih orodij. Izdelana so lahko v celoti ali imajo vstavljena rezila. Lahko so nastavljiva ali nenastavljiva, odvisno od tega, za kakšno obdelavo jih potrebujemo. Za grobo obdelavo so rezila naostrena oz. nazobčana, da nastajajo manjši in razdrobljeni odrezki, s čimer zmanjšamo silo, ki deluje na orodje ter surovec. (Balič, 2000)

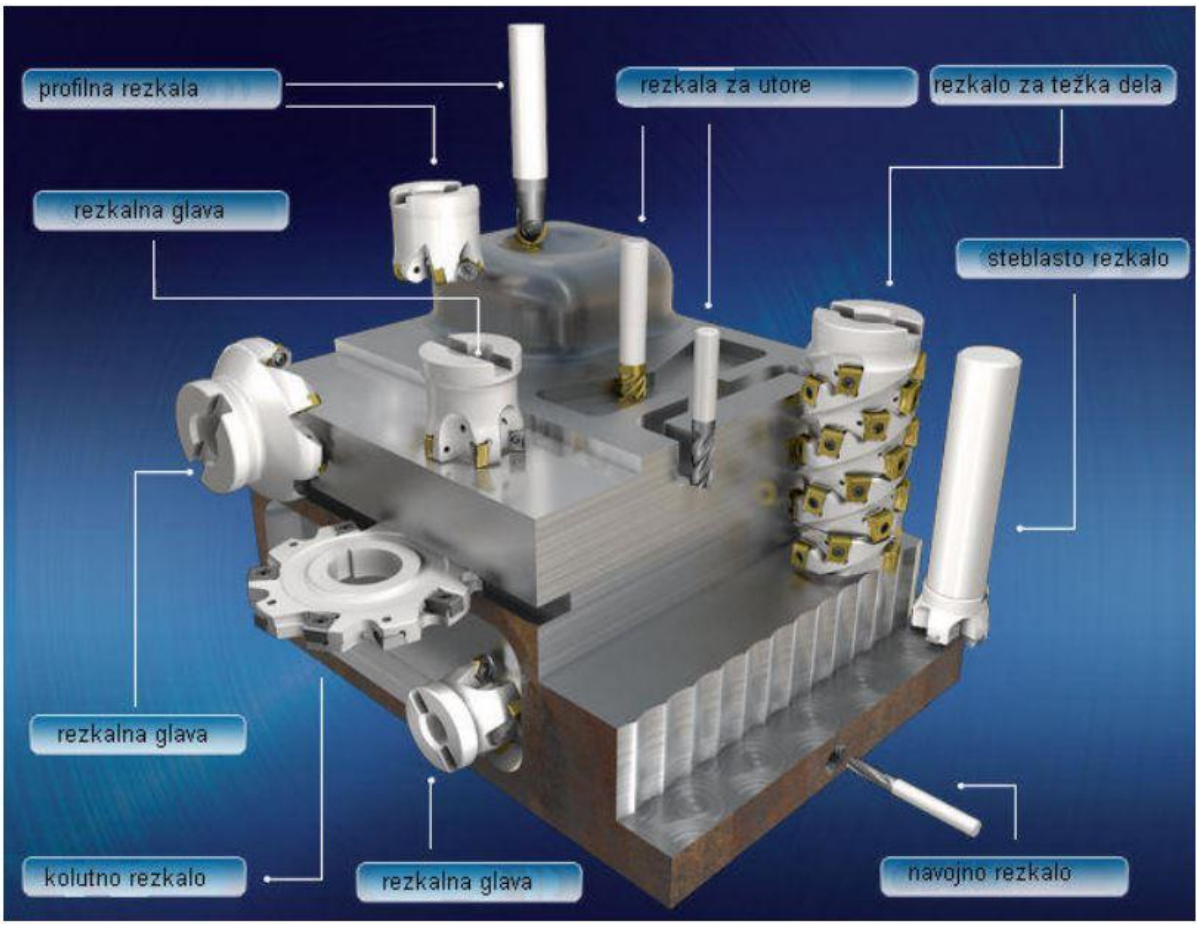
2.3.4.4 Orodja za vrezovanje navojev

Vrezovanje navojev se določa s korakom navoja in je podobna oblika povrtanja, kjer sta pomembna podajalna hitrost in globina rezanja, določena s korakom navoja. Ročni in strojni navojni sveder se razlikujeta predvsem po obliki držaja, načelo delovanja ostaja enako. Pri ročnem vrezovanju navoja se mora navojni sveder pomikati v smeri osi. Pri strojni obdelavi pa mora biti korak točno določen v programu, ki ga izvajamo. (Kranjc, 2018)

2.3.4.5 Orodja za rezkanje

To so orodja, ki so namenjena odrezovanju materiala in imajo na obodu več rezil. Reže jih vedno manj kot polovica. Glavno gibanje je rotacijsko. Orodje je pod velikim vplivom toplotnih in mehanskih obremenitev. Odrezek, ki ga odrezuje frezalno orodje, določimo sami, a ne več, kot je določeno z orodjem; debelina odrezka se lahko spreminja in s tem tudi toplotne ter mehanske sile.

Za čelno frezanje je značilno, da je rezalni rob lociran na čelni strani frezala. Čelno rezkanje uporabljamo za večje ravne površinske ploskve. Pri obodnem frezanju je rezalni rob lociran na obodnem frezalnem robu in je namenjen za manjše ravne površine. Poznamo več vrst smeri podajanja za frezanje, in sicer protismerno ter istosmerno. Spreminja se kot smeri podajanja – lahko je večji ali pa manjši od 90 stopinj.



Slika 8: Načini obdelave z rezkalnim orodjem

Vir: (Sts, 2018)

V podjetju MLM uporabljajo večinoma mehanske ploščice iz karbidnih trdin, ki so zamenljive. Frezalne ploščice, ki jih uporabljajo, so lahko zamenljive ali izdelane z orodjem v celoti. Odvisno od zahtevane natančnosti obdelave na surovcu, so ploščice razporejene tako, da je obremenitev orodja čim manjša, odrezki pa morajo imeti obliko vijačnice. (Kranjc, 2018)

Frezalna orodja:

- frezala za T-utore
- kotna frezala
- profilna frezala
- čelna frezala
- valjasta frezala ...

2.3.4.6 Orodja za posnemanja

Posnemanje je odrezavanje z več rezilnimi orodji. Postopek posnemanja je takšen, da so rezilne ploščice postavljene po vrsti, a po naraščajoči velikosti. Zelo pomembno je, da pri posnemanju ni podajalnega gibanja, zato glavno gibanje opravlja orodje. Vsako rezilo reže samo določen čas, saj so razporejena po velikosti.

Prednost posnemanja je produktivnost, primerno je za serijsko proizvodnjo, kakršna poteka v podjetju MLM, uporabljamo ga zaradi velike natančnosti orodja, zato ni potrebe po več različnih orodjih za dokončanje določene obdelave. Posnemanje je lahko notranje ali zunanje. Notranje posnemanje je na primer obdelava več utornih oblik in izdelava določenih okroglih lukenj. Pri zunanjem postopku se pojavi velika odrivna sila, zato je potrebno še dodatno vodilo za opiranje orodja. (Balič, 2000)

Pri posnemanju se odločimo za točno določeno obliko orodja, kajti končni izdelek posnemanja izdelka bo enak obliki orodja. Posnemovalno orodje ima tri skupine obdelovalnih zob:

- prva skupina je groba obdelava, obdelujejo toliko, kolikor dopušča sila orodja oz. trdnost zob
- druga skupina je fina obdelava, obdelajo zelo majhen del površine ostankov grobe obdelave
- tretja skupina so zobje, ki so poravnani enako in ne naraščajo več

2.3.4.7 Orodja za žaganja

Ta proces se večinoma uporablja za izdelovanje polizdelkov, kot so cevi in palice. Žaganje je predobdelava za naslednjo fazo. Krožno žaganje je podobno postopku obodnega frezanja, razlika je v tem, da ima žaga veliko manjših zob in je tanjša od frezalnega orodja ter odstranjuje zelo majhno količino materiala. Zobje žage za kovine režejo samo v eno smer. Pri obdelavah s težkimi kovinami imajo nekatere žage privarjene tudi segmente iz hitroreznega jekla ali karbidne trdine, prav ti nam omogočajo boljšo obdelavo, saj so temperaturno manj odvisni kot hitrorezna jekla, ki se hitreje segrevajo. Karbidna trdina ima tudi boljšo trdno obstojnost. (Otto, 2018)

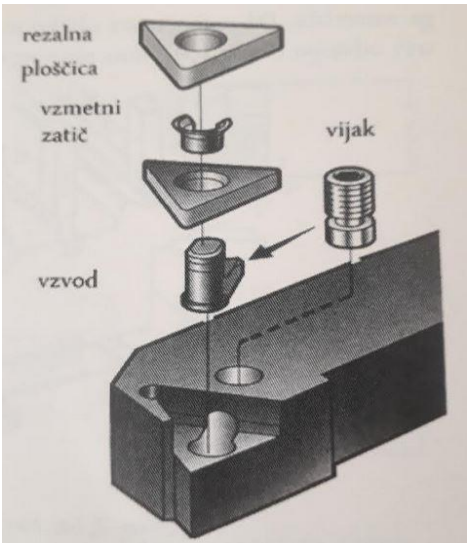
2.3.5 CNC-stružnica

Stružnica je obdelava cilindričnih oblik z enorezilnim orodjem. To je delovanje dveh gibov, vrtenje obdelovanca in podajalnega orodja. V določenih primerih je tudi obratno, kjer se orodje giblje okrog nepremičnega obdelovanca. Podajalna gibanja so izvedena vzdolž obdelovanca, s čimer povzročimo zmanjševanje premera obdelanca. Pri stružnicah sta potrebni le Z in X os. Rezalne ploščice so v obliki obračalnih ploščic veliko uporabnejše kot stružni noži. (Rajšp, 2018)

2.3.5.1 Stružna orodja

V podjetju ločijo rezila glede na obdelavo oz. postopek odrezavanja obdelovanca. Uporabljajo HSC-struženje, kar pomeni visoko stopnjo odrezavanja. Sestavljena so iz rezil PKD, karbidne trdine, različnih oslojenih materialov. Pritrjena so na držalo in na stroj. Poznamo več vrst orodij – od sestavljenega do neločljivo povezanega. Ploščice so v večini primerov večrezilne, zato jih zasukamo in lahko nadaljujemo z obdelavo. Razlikujemo jih po obliki in številu delovnih strani. Ločimo tehnološko in geometrijsko zanesljivost orodja.

- Tehnološka zanesljivost orodja pomeni, da še ne nastopi povečana obraba, merimo jo v efektivnem času uporabe orodja.
- Geometrijska zanesljivost pomeni nespremenjene izmere orodja in geometrijo med obdelavo. Če pride med obdelavo do spremembe geometrije orodja, se spremenijo tudi izmere obdelovanca. (Kranjc, 2018)



Slika 9: Pritrditev rezalne ploščice

Vir: (Kuzman, 2010)

2.3.6 Vrste rezalnega materiala

Odrezavanje materiala je zelo pomemben proces obdelave, odvisen je od oblike orodja, lahko ga natančno predpišemo s koti, obliko rezalnega roba, toleranco ... To je postopek, pri katerem se material mehanično odstrani od surovca v obliki odrezkov z obdelovalnim orodjem. Karbidne trdine po standardu ISO/R 513-1966 delimo v tri skupine, po katerih ločujemo njihove lastnosti, označene so z velikimi črkami P, M in K. Na obdelovalnem orodju lahko takoj razberemo za katero vrsto gre, in sicer:

P – velika toplotna obstojnost in majhna obraba, uporabljajo se pri železnih materialih

M – primerna za obdelavo jekel in odporna proti toploti

K – zelo majhna toplotna odpornost, uporabljajo se pri neželeznih materialih, kjer niso tako velike obdelovalne sile, posledično imajo zaradi tega odpornost proti obrabi

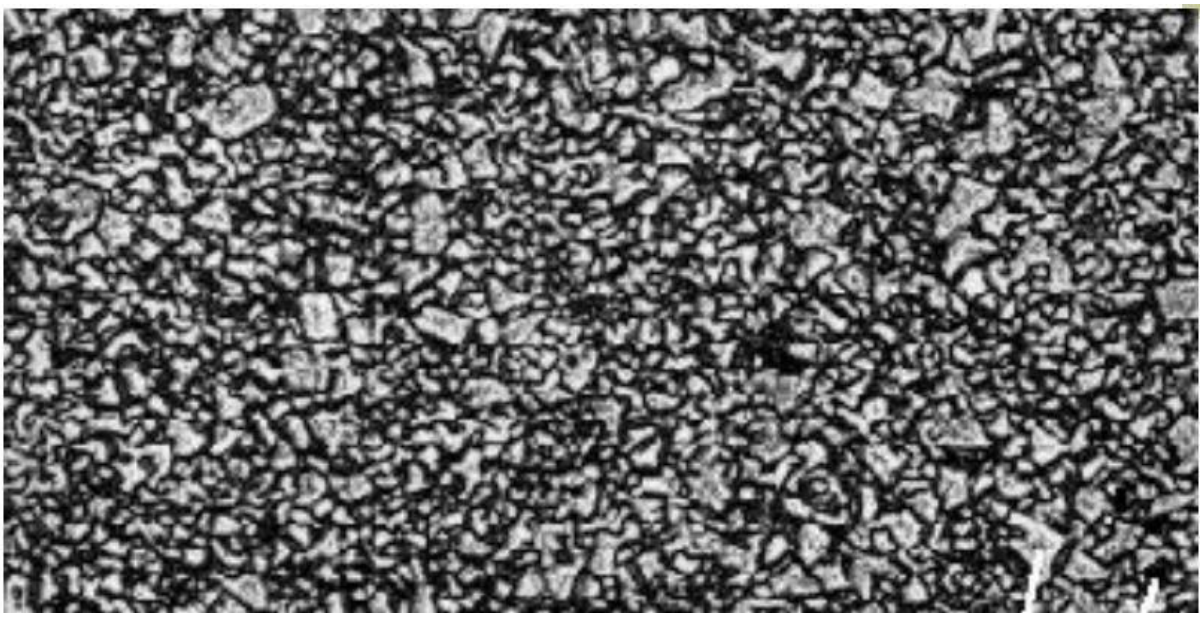
Rezalni materiali, ki jih uporabljamo v mehanski obdelavi, so:

Hitrorezna jekla: Po sestavi so hitrorezna jekla legirna jekla z veliko žilavostjo in trdnostjo rezalnih robov. Imajo veliko toplotno obstojnost, tudi več kot 550 stopinj. Slabost hitroreznih jekel je, da med fazo strjevanja izločajo karbide, kar se posledično opazi kasneje med obdelavo z obstojnostjo orodja. Za čim boljšo učinkovitost se izdelajo s sintranjem, kar posledično naredi orodje s še večjo žilavostjo, trdoto in z boljšim procesom kaljenja. Uporabljajo se za izdelavo navojnih lukenj, frezanje določeni oblik zobnikov ...

Karbidne trdine: Sestavljene so iz zelo trdnih karbidov, kot so Ti, Ta, Nb, Mo. Vsi ti karbidi imajo zelo visoko tališče in uporabljajo veziva iz železnih materialov – Co, posledično imajo s tem nižjo temperaturo pri taljenju. Karbidne trdine so sintrani materiali in povežejo krhke karbidne trdine v trdno celoto. Značilnost karbidnih trdin je povišana temperatura pri taljenju in odpornost pri mehanski obdelavi. S spreminjanem deležev karbidne trdine lahko občutno vplivamo na lastnosti orodja. Odvisno od tega, kateri material se obdeluje in od nameravane količine obdelave za proizvodnjo, se spreminja tudi struktura karbida.

- Titanov karbid ima tudi pri visokih temperaturah zelo visoko obrabno obstojnost, zato ga zelo veliko uporabljajo v serijskih proizvodnjah. Slabost pri titanovem karbidu je hitra nenadna lomljivost orodja.

- Z dodajanjem volframovega karbida dobimo veliko trdno vezavo in zelo ostre rezalne robove. Je tudi bolj odporen proti obrabi orodja, ima pa omejeno rezalno hitrost, saj ni odporen pri visokih temperaturah.
- Tantalov karbid se uporablja bolj poredko, in sicer pri izboljšanju titanove strukture, da je vezava čim bolj fina.



Slika 10: Mikrostrukturna karbidna trdina

Vir: (Ravne, 2018)

Različne prevleke za rezalne materiale: To pomeni, da nanašamo nekaj tisočink debelo plast na rezalna orodja. Prevleka je veliko trdnejša in nudi veliko boljšo obstojnost proti obrabi ter večjo natančnost med obdelavo. Na rezilno orodje lahko nanašamo materiale, kot so karbid, nitrid, kovin ... Vsi ti naneseni materiali se morajo odlično oprijemati osnovnega materiala in nuditi trdo površino ter dolgo obstojnost. Te prevleke so potrebne za velike serije izdelkov, kjer morajo nuditi dolgo obstojnost in natančnost pri veliki količini izdelanih izdelkov in kjer so tolerance na izdelku zelo majhne. Poznamo enoslojne in večslojne prevleke. Enoslojne se uporabljajo pri hitroreznih jeklih in karbidnih trdinah. Večslojne se nanašajo od 0.005 do 0.013 slojev. Uporabljajo se tudi na karbidnih trdinah in jih je mogoče uporabiti tudi z različnimi kombinacijami materialov.

Rezalna keramika: Keramika je že v osnovi zelo trd rezalni material. V osnovi je lahko izdelana iz oksidov, mešane in neoksidne keramike. Je zelo žilav material in ga lahko uporabljamo pri prekinjenih rezanjih, seveda z uporabo hladilne tekočine, da ne narašča temperatura. Ima zelo veliko odpornost proti obrabi. Ta material je zelo uporaben tudi pri frezanju z velikimi delovnimi pomiki, saj ima veliko trdoto.

Polkristalinični materiali: So zelo uporabni za težje obdelave izdelkov, ki imajo zlitine na osnovi titana ali niklja, ki izboljšajo mehanske lastnosti izdelka. Zelo trda materiala PKD in CBN spadata v skupino pokristaliničnih materialov, uporabljajo se za velike natančnosti pri rezalnih orodjih in za končno obdelavo izdelka na točno določeno mero, ki je zahtevana.

Polkristalični diamant: V MLM največ uporabljajo PKD, saj se odlično odrežejo pri zlitinah, kot je aluminij. PKD uporablja diamant kot rezilni material in ima zelo veliko trdoto, obstojnost proti obrabi ter posebno obliko rezila. Polkristalna ploščica je lahko sestavljena iz dveh plasti, pri čemer je sloj PKD nanesen na karbidno trdino. Pri enoslojnih ploščicah pa je v celoti polkristalični diamant. (Kuzman, 2010)

2.4 Vpenjalne priprave

Uporaba vpenjalnih priprav je namensko orientirana. Koristi se kažejo kot večstranskost, gospodarna uporaba, cenejša proizvodnja, boljši delovni pogoji, kakovost. Vpenjalna priprava je pomožno sredstvo v izdelovalnem postopku. Omogoča nam natančen izdelek in gospodarno proizvodnjo. Omogoča tudi skrajšanje rokov za tehnološko pripravo novih proizvodov. Pri CNC-tehniki je potrebno upoštevati uporabo fleksibilnih avtomatskih vpenjalnih priprav, ki so temelj sodobne proizvodnje.

V MLM zaradi visoke sile vpenjanja večinoma uporabljajo hidravlične vpenjalne priprave. Njihov namen je, da enega ali več obdelovancev držijo v določeni legi v obdelovalnem stroju in da ta pod silo obdelovalnega orodje ne premakne svoje pozicije. Zagotavljati mora natančnost mer in ponovljivost. To pomeni, da mora biti prvi kos enak tudi tisočemu obdelanemu. Proces konstruiranja poteka skozi štiri faze: planiranje vpenjalnega sistema, snovanje, konstruiranje in nato še izdelava.

2.4.1 Njihova uporaba ima več prednosti

Zagotavljanje kakovosti:

- doseganje natančnosti, ki je neodvisna od posluževalca
- zagotavljanje stalne kakovosti

Prihranek pri stroških:

- krajši izdelovalni čas
- prihranek pri delovnih operacijah
- nižji stroški izdelave
- prihranek pri obdelovalnem stroju

Izboljšanje delovnih pogojev:

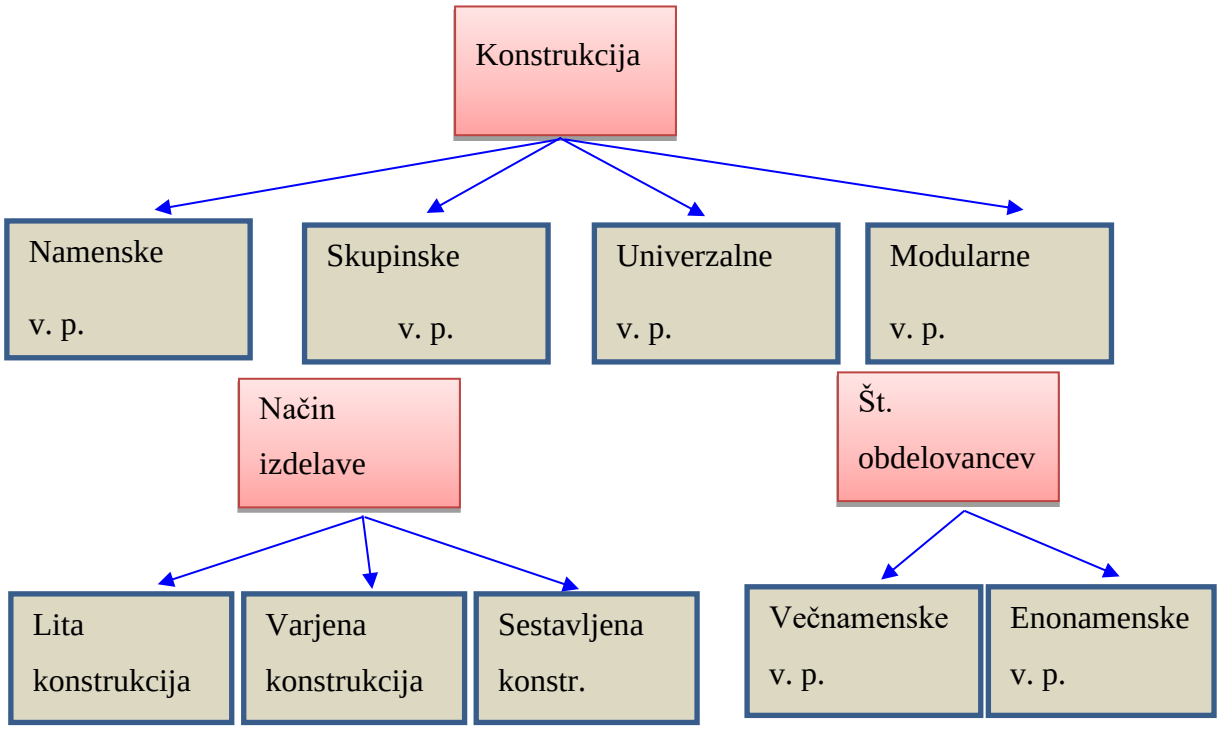
- zagotavljanje boljše ergonomičnosti delovnih sredstev
- preprečevanje večjih naporov
- preprečevanje oz. zmanjševanje tveganja za delovne nezgode

(Čuš, 2004)

2.4.2 Delitev vpenjalnih priprav

Uporabljamo jih lahko za več različnih namenov za izdelovanje serijskih izdelkov, pripomočkov za merjenje ali kot pomožno vpenjalo. Vpenjalne priprave so odvisne od konstrukcije, načina izdelave in števila obdelovancev.

V podjetju MLM uporabljajo vpenjalne sisteme, ki so večinoma namenske uporabe za določen izdelek in za večje število obdelovancev hkrati. Proizvodnja je serijska, zato je pomembna čim večja produktivnost. Dovoljene tolerance za vpenjalne sisteme so največ ± 0,01 mm odstopanja. To zagotovi visoko natančnost in kakovostno proizvodnjo. (Čuš, 2004)



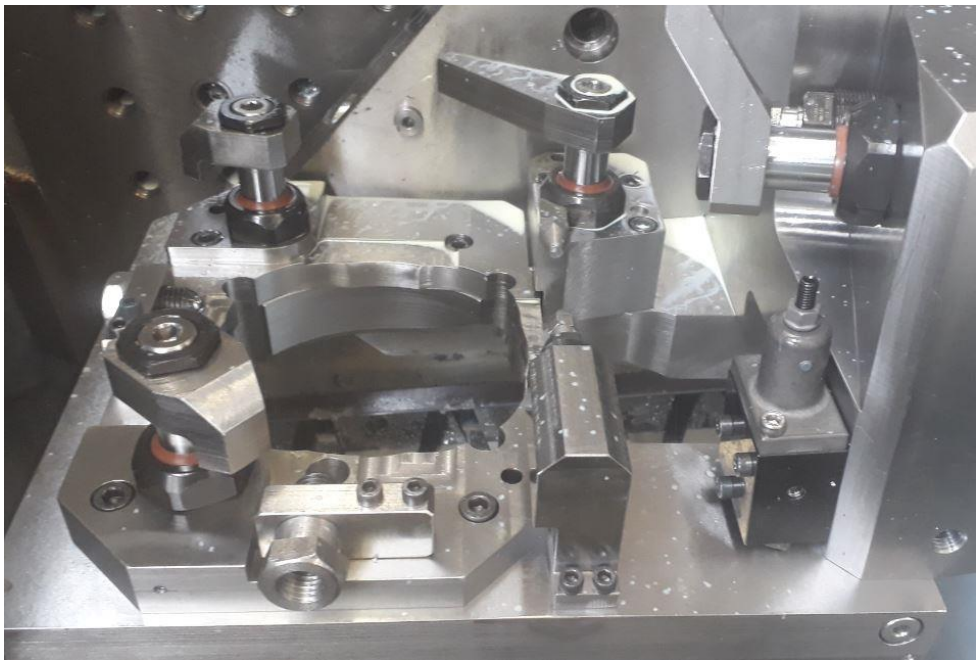
Slika 11: Razdelitev vpenjalnega sistema

Vir: (Rajšp, 2018)

2.4.2.1 Namenska vpenjalna priprava

Njena največja prepoznavnost je kompaktna izvedba, kar pomeni, da nima možnosti nastavljanja za drugi izdelek ali kakršno koli prilagajanje. Namenjena je točno določenemu izdelku, je namensko konstruirana za en izdelek ali delovno operacijo. Njena natančnost je vedno izdelana v mejah zanesljivosti stroja in ima zelo majhno verjetnost merske napake v konstruiranju.

Ker so izdelane namensko za določen izdelek, je tudi cena visoka, kar pomeni, da je proizvodnja s tem vpenjalnim sistemom mišljena za serijsko proizvodnjo. Za to vpenjalno pripravo se odločimo, ko imamo določene parametre natančnosti, normirano število izdelkov, potrjeno število naročenih izdelkov, predviden izdelovalni čas in predvideno število vpenjalnih priprav. (Balič, 2000)



Slika 12: Primer namenskega hidravličnega vpenjalnega sistema v MLM

Vir: (Rajšp, 2018)

2.4.2.2 Skupinske vpenjalne priprave:

V to skupino vpenjalnih priprav spadajo izdelki, ki imajo enake obdelovalne zahteve, podobno geometrijo izdelka. Imajo možnost rekonstruiranja, kar pomeni, da jih lahko uporabimo za podobne izdelke. Imajo veliko možnost prilaganja s pozicionirnimi in z vpenjalnimi elementi ..., so veliko cenejše od namenskih pripravnih sistemov, a so zaradi tega veliko manj natančne in toge. Niso primerne za velikoserijsko proizvodnjo, bolj se uporabljajo za posamične proizvode. Imajo zelo kratek čas za menjavanje vpenjalne priprave na drugi izdelek. Glavna značilnost je velika fleksibilnost na proces obdelave in gospodarnost pri majhnih serijah. (Kuzman, 2010)

2.4.2.3 Univerzalne vpenjalne priprave

Med univerzalne vpenjalne priprave se uvrščajo priprave, ki so sestavljive za več različnih izdelkov. Zaradi velikih možnosti nastavljanja so zelo toge in manj natančne od namenskih vpenjalnih priprav, ki jih uporabljajo v podjetju MLM. Sestavljamo lahko poljubne pozicije in so zelo fleksibilne. Najbolj primerne so na začetku serije, ko se naredijo vzorci, tako lahko vidimo morebitne pomanjkljivosti, ki jih kasneje odpravimo.

Najbolj prepoznavne so priprave z utornimi sistemi, kar pomeni, da jih lahko pozicioniramo po utornem sistemu. Tudi natančnost pri teh vpenjalnih pripravah je zelo visoka. V podjetju uporabljajo še vpenjalne priprave na izvrtine, ki so v nekem razmerju oddaljene od druge izvrtine in tako omogočajo več različnih načinov vpenjanja. Imajo zelo kratek čas izdelave za določen izdelek in veliko natančnost ter togost, kar se najbolje obnese pri izdelovanju vzorcev. (Kuzman, 2010)

2.4.2.4 Modularno vpenjanje

Pri tem vpenjalnim sistemom se uporabljajo različni moduli. Namenjeni so bolj za velike kose obdelovancev in imajo veliko natančnost. Uporabljajo se ne glede na število izdelanih kosov, ali so serije majhne ali velike. Zaradi svoje fleksibilnosti so zelo uporabni, ampak je s tem povezana tudi visoka cena izdelave takšnih vpenjalnih sistemov. (Čuš, 2004)

2.4.3 Elastični vpenjalni sistemi

V to skupino spadajo vzmetni vpenjalni elementi, elektro in pnevmatski vpenjalni elementi, ter tlačni medijski vpenjalni sistem.

Vpenjanje z vzmetnim vpenjalnim sistemom

Uporabljamo ga za vpenjanje obdelovancev in orodij. Najbolj razširjen je vzmetni vpenjalni element, dokler na obdelovanec ne delujejo prevelike sile obdelovalnega orodja. Teh vpenjalnih vzmeti je več različnih vrst – od nateznih, listnatih, torzijskih in krožnikastih.

Vpenjanje z elektro vpenjalnim sistemom

Načelo tega delovanja nam pove že ime samo, sistem deluje s pomočjo električnega toka. Električna polja ustvarjajo silo vpenjanja. Uporabljamo ga lahko vsepovsod – za intenzivna frezanja, vrtanja, struženja. Vpenjalna sila magneta je seveda odvisna od več različnih kriterijev, nekateri izmed teh so, da obdelovanec ne sme biti iz feromagnetnega materiala, z dodanimi legirnimi elementi kroma, nikelj zmanjša magnetno polje, odvisno je tudi od lege vpenjanja itn.

Vpenjanje s pnevmatskim vpenjalnim sistemom

Vedno več se jih odloča za ta vpenjalni sistem, ker je delo z njim hitrejše in manj naporno ter seveda omogoča avtomatizirano vpenjanje za veliko natančnost med obdelavo. Že pri tlaku 6 barov zagotavlja dobro vpenjanje, gredo pa sile vse do 30000 N. Regulacija hitrosti in vpenjanja na določeno silo je enostavna.

Vpenjanje s hidravličnim vpenjalnim sistemom

Hidravlični vpenjalni element se uporablja pri velikih silah vpenjanja. Konstrukcija je zelo kompaktna, delovno sredstvo hidravlike je olje, kar pomeni, da ni potrebno dodatno mazanje. Tukaj je največja natančnost vpenjanja.

Delimo jih na tri različne sisteme:

- čista hidravlika, izvor je hidravlična črpalka, ki ustvarja potreben in konstanten tlak
- pnevmo-hidravlika, tukaj je izvor energije mehanski
- mehansko-hidravlični sistem, izvor energije je komprimirani zrak (Čuš, 2004)

2.5 Robot

Njegove lastnosti so prilagajanje, fleksibilnost, reprogramiranje. Z njim lahko spreminjamo uporabo, saj ga že z majhnimi spremembami, kot so prijemala, lahko uporabimo za drugo nalogo. Vsak robot potrebuje svoj delovni prostor, ki mora biti ustrezno zaščiten za nemoteno delovanje. Delovni prostor je opredeljen z vsemi točkami v prostoru, ki jih lahko doseže vrh robota.

Robot je sestavljen iz treh glavnih delov:

- mehanski del (zavore, motorji, sklepi, segmenti, orodja, prijemala)
- senzorji (za pospešek, prijem, pomik, ožičenje ...)
- informacijski del (krmilnik, računalnik, programska oprema)

Najpogosteje določamo položaj in orientacijo s pomočjo Kartezijevega koordinatnega sistema. Glede na izhodišče določamo vrh robota v vrednostih v smereh x, y, z. Pri uporabi treh translatornih gibanj se vrh giblje po Kartezijevem koordinatnem sistemu. Industrijski roboti uporabljajo večinoma kombinirane zgradbe.

Zgradbo robota delimo na:

- kartezično (omogoča linearno gibanje v treh dimenzijah)
- cilindrično (uporablja se večinoma za točkovno varjenje)
- sferično (sestavljena je iz dveh rotacijskih in ene translacijske osi)
- kombinirano (vse osi so rotacijske, posnema človeške roke)
- scara (običajno se uporablja za operacije sestavljanja)

(Andro Glamnik, 2018)

2.5.1 Industrijski robot

Industrijski roboti so že uveljavljeni v vseh možnih procesih. Do razvoja industrijskih robotov je prišlo, da bi si olajšali delo. S pomočjo robota lahko v kratkem času opravimo več dela in povečamo produktivnost ter razbremenimo človeka. Pri določitvi tipa robota moramo razmišljati o izkoriščanju njegove mnogostranosti, kar pomeni, da lahko opravlja naloge, ki niso določene vnaprej. Glavni vzroki za industrijskega robota so:

- tehnični (zanesljivost, kakovost, hitrost, natančnost)
- sociološki (krajši delovni čas, boljši življenjski standard, vročina)
- ekonomski (večji dobiček, večja produktivnost, racionalizacija, pomanjkanje delovne sile)

(Manseur, 2007)



Slika 13: Industrijski robot KUKA

Vir: (Granta, 2018)

2.5.2 Prijemala

Poznamo hidravlični, pnevmatski in električni pogon prijemal. Najpogostejša so hidravlična in pnevmatska. Na robota lahko namestimo klešče, optične kamere, brizgalne šobe ..., uporabljamo jih lahko za različne namene. Opremljena so lahko s senzorji za pritisk, silo, moment, temperaturo. Delimo jih v dve osnovni skupini – prijemala s prsti in ostala prijemala. Prijemala imajo lahko več zunanjih in notranjih naleganj za čim boljšo pozicijo. (Manseur, 2007)

2.5.2.1 Delitev prijemal

Najpogosteje uporabljena prijemala so izdelana iz dveh ali več členkov. Določati jim moramo hitrost in smer prijemanja. Tista z več členki uporabimo takrat, ko želimo paralelno prijemanje prstov. Prijemala s prsti delimo na:

dvojna prijemala (možnost prijema dveh obdelovancev hkrati – obdelani in neobdelani kos)

prijemala za težka bremena (za težke predmete)

prijemala za vroče predmete (odporna proti vročini)

prijemala za krhke predmete (omejena sila prijemanja)

prijemala po načelu razširjanja (uporabna pri predmetih, ki imajo odprtino)

Obstajajo še vakuumska prijemala, ki se zelo pogosto uporabljajo za ravne, čiste obdelane površine. So zelo poceni in zanesljiva. Veliko se uporabljajo tudi magnetna prijemala, ki pa imajo slabost pri permanentnih magnetih – zaradi spuščanja.

V podjetju uporabljajo večinoma robote KUKA, njihovo število se vedno povečuje, saj so zanesljivi, hitrejši in cenejši od proizvodnje z delavci. Njihova naloga je, da razbremenijo preobremenjene delavce. Uporabljajo se za obdelave surovcev na CNC-strojih, kjer je velika serijska proizvodnja in mora obdelava potekati neprekinjeno. (Andro Glamnik, 2018)

2.6 Posodabljanje procesa

V podjetju MLM je zelo pomembno posodabljanje procesa predvsem na oddelku mehanske obdelave, kjer so visoke serije proizvodov. Zelo pomemben je čas obdelave, torej čim manj zastojev, manj obdelovalnih orodij in več namenskih, ki lahko obdelajo več različnih obdelav hkrati. Predvsem je pomembna čim večja avtomatizacija in obdelovalne celice, ki stremijo k čim večji robotizaciji, ki je veliko zanesljivejša od delavca, na dolgi rok pa pomeni manjši strošek ter kakovostnejšo obdelavo.

2.6.1 Avtomatizacija

Na avtomatizacijo v podjetju MLM vpliva tržišče, večje kot je povpraševanje po določenem izdelku, hitrejša mora biti proizvodnja, seveda pa tudi enako kakovostna, kot če bi izdelovali en sam izdelek. Obseg običajne proizvodnje se vedno bolj znižuje. Proizvodni izdelki so vedno zahtevnejši, zato se je treba prilagajati novi sodobni tehnologiji.

Razvoj avtomatizacije se je začel že leta 1948, ko se je zgodil prvi premik v razvoju avtomatizacije s stroji na vodno paro, ki so zamenjali delavca. Vse od takrat naprej stremi človeštvo k čim večji razbremenitvi človeka na nevarnih delovnih mestih in k čim hitrejši proizvodnji. Nekoč so bili proizvodni izdelki tudi velikoserijski, a niso imeli dodatnih sprememb na izdelkih, kot jih zahtevajo naročniki danes. Sedaj se proizvajajo vedno večje količine različnih izdelkov, ki zahtevajo med serijskimi obdelavami nenehne spremembe. Tudi življenjska doba se v današnjih časih krajša, saj se izdelki menjajo veliko prej, kot v prejšnjem stoletju. Dobavni roki so vse krajši, zato je treba proizvodnjo avtomatizirati in imeti stroje, ki lahko naredijo enako kakovostne izdelke v veliko krajšem času.

Prilagajanje na avtomatizacijo mora potekati postopoma – zaradi odvisnosti od tržišča oz. povpraševanja po tem izdelku. Seveda je odvisno tudi od finančnega stanja podjetja, če si je sposobno privoščiti avtomatizacijo proizvodnje. Čim večjo serijsko proizvodnjo imamo, tem nižja je cena izdelka. Zato se pri stopnji avtomatizacije vedno vprašamo, kako veliko serijsko količino potrebuje naročnik, kako zapletena je oblika obdelave in kakšna je velikost izdelka. (Borut Buchmeister, 2000)

2.6.2 Sodobna proizvodnja

V sodobnem času je proizvodnja odvisna od zahtevnosti izdelkov, ki pa so odvisni od njihovih sprememb, inovacij in prilagodljivosti na vse te razmere. Za sodobno obdelovanje izdelka so uporabe manipulatorjev, industrijskih robotov in transportnih storitev nekaj običajnega, če hoče biti podjetje konkurenčno drugim podjetjem.

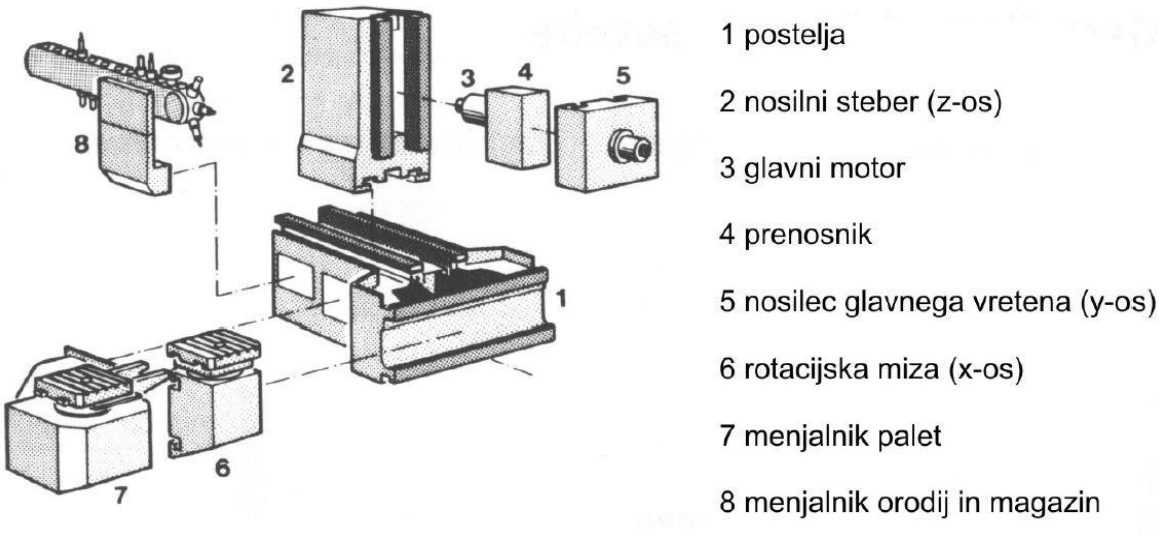
Na tržišču so zahteve postavljene zelo visoko – od krajše življenjske dobe izdelka do vedno večjega števila različnih izdelkov, cenejših in vedno kakovostnejših izdelkov. To so samo nekatere zahteve, ki jih mora podjetje MLM upoštevati, če hoče biti konkurenčno na mednarodnem trgu. Najpogostejše so spremembe naročnika zaradi velike konkurenčnosti na tržišču. Vedno je treba stremeti k temu, da se spremembe v proizvodnji zgodijo čim hitreje in da se čim hitreje prilagodijo naročnikovim zahtevam. V podjetju MLM obdelujejo tudi izdelke z maloserijskimi proizvodi, zato je zelo pomembna proizvodnja, hitro prilagodljiva na razmere. Pri tem si pomagajo z novejšimi CNC-stroji, ki uporabljajo merjenje obdelovanca v stroju in se mu prilagajajo na trenutno pozicijo. Meritve se izvajajo tudi med obdelovanjem obdelovanca v stroju na glavnem vretenu. Meritev sil rezanja poteka med obdelavo in obdelava na CNC-stroju se avtomatsko prekine, če je sila rezanja prevelika, kot je običajno na ostalih serijskih izdelkih. (Kuzman, 2010)

2.6.2.1 Proizvodnja in produktivnost

Sodobna tehnologija se mora prilagajati povečanju produktivnosti v proizvodnji. Da so v proizvodnji avtomatizirani sistemi, je potrebno posodobiti industrijske celice (robotizacija), obdelovalne celice, s čimer se povečuje produktivnost in zanesljivost proizvodnje ter stabilnost. Za tehnološke procese pri avtomatizaciji je najpomembnejša prilagodljivost na trenutne razmere v proizvodnji, ali se izdelek obdeluje ročno ali s pomočjo industrijskega robota.

Industrijski roboti najbolj razbremenijo človeka pri težkih opravilih, kjer je za opravljanje dela potrebna fizična moč.

Prilagodljivi sistemi obdelave se uporabljajo za več različnih vrst izdelkov – vrtanje, vrezovanje navojev in frezanje. Transport obdelovancev najpogosteje poteka s pomočjo palet, kjer jih nato prevzame manipulator ali robot pri avtomatizirani proizvodnji. Za največji izkoristek obdelovalnih strojev oz. proizvodnih sistemov je potrebno računalniško povezovanje vseh strojev. S tem pridobimo pri prilagodljivosti in pregledu nad proizvodnjo, kakovosti izdelka in zanesljivosti proizvodnje.



Slika 14: Obdelovalni center

Vir: (Študentski.net, 2018)

Nižji stroški in večja produktivnost, to sta dejavnika, ki zelo vplivata na uspešnost proizvodnega procesa. Samo pri standardnih avtomatiziranih linijah se je izplačala velika serijska proizvodnja, saj so bili neprilagodljivi za določene spremembe na izdelku med serijo. Čim krajši obdelovalni čas je ena izmed možnosti realizacije, s čimer posledično sprostimo kapacitete na obdelovalnem stroju. Proizvodnja mora biti čim bolj vitka, da se takoj transportira k naročniku in se ne obdelujejo velike zaloge. Za povečanje produktivnosti je potrebno izkoristiti vso obdelovalno opremo s čim manjšimi investicijskimi stroški.

Za realizacijo sodobne proizvodnje je potrebno nabaviti tak CNC-stroj, ki se bo lahko prilagodil proizvodnji za male in velike serije. V podjetju MLM tako postopoma uvajajo novo, sodobno tehnologijo s prilagodljivimi obdelovalnimi sistemi, ki vplivajo na produktivnost in kakovost

izdelkov ter konkurenčnost na mednarodnem tržišču. Tudi pri majhnih količinah enakih izdelkov se lahko v podjetju odločijo za prilagodljive obdelovalne centre in tako razširijo obdelavo izdelkov na več vrst.

V podjetju pri prilagodljivih obdelovalnih sistemih omogočajo produktivno obdelavo v velikih serijah in več – treh izmenah. Surovce lahko vnaprej vpenjajo na paleto, medtem ko obdelujejo drugo paleto, to je edini vpliv človeka pri prilagodljivih sistemih obdelave. (Borut Buchmeister, 2000)

2.6.2.2 Obdelovalna celica

Obdelovalne celice so sestavljene iz vsaj enega manipulatorja ali industrijskega robota, drugače jih lahko imenujemo tudi manipulacijski sistem. Med obdelavo pri uporabi manipulacijskega sistema prijema manipulator ali industrijski robot surovce in obdelovance iz vpenjalne priprave, prenaša obdelance do skladiščnega prostora in odvzema surovce iz prostora, namenjenega shranjevanju neobdelanih kosov. Nekatere obdelovalne celice so opremljene tudi z merilni stroji, ki jih postavi manipulacijski sistem v merilno pripravo in nato po izmerjenem izdelku odloži med dobre ter slabe izdelke. Vse najsodobnejše celice so opremljene tudi z računalniškimi sistemi, ki po meritvah izvajajo korekcije neposredno na CNC-stroj, in tako dobimo kakovostno ter zelo visoko produktivno proizvodnjo. Naloga delavca je, da mora kljub avtomatskemu delovanju celice zalagati zalogovnike ali skladišče s surovci ter odstranjevati obdelance. (Borut Buchmeister, 2000)

3 PROIZVODNI PROCES PRED IZBOLJŠAVO

3.1 Predstavitev izdelka

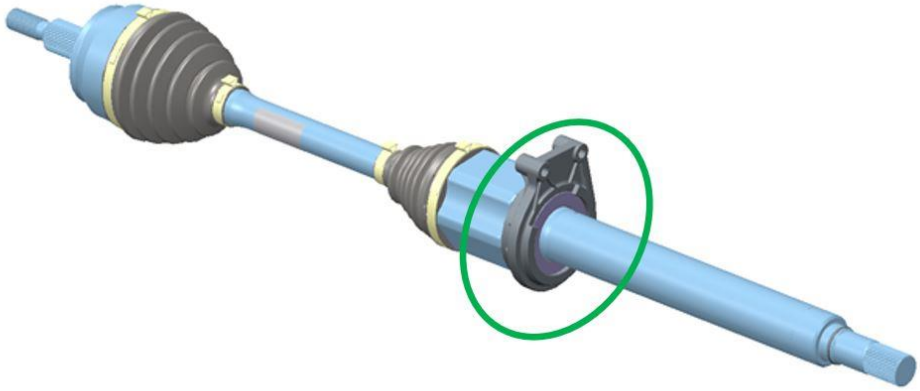
Surovec je narejen iz aluminijevega litja, ki vsebuje še 9 % silicija, 5 % bakra in 0,5 % železa. Narejen je po tehnološkem postopku, s čimer zadovolji kupčeve zahteve. Geometrijske tolerance pridobimo iz 3D-modela ali iz tehnološke risbe za izdelek. Pri dimenzijah, ki niso definirane s toleranco, veljajo odprte mere po standardih ISO 8015 in ISO 2768. Obdelovanec ne sme imeti nobenih ostrih površin in prisotnosti srhov. Omejena je tudi poroznost. Hrapavosti površin so standardizirane od DIN 4760 do 4764, DIN EN ISO 4287.



Slika 15: Izdelek iz aluminijeve zlitine

Vir: (Rajšp, 2018)

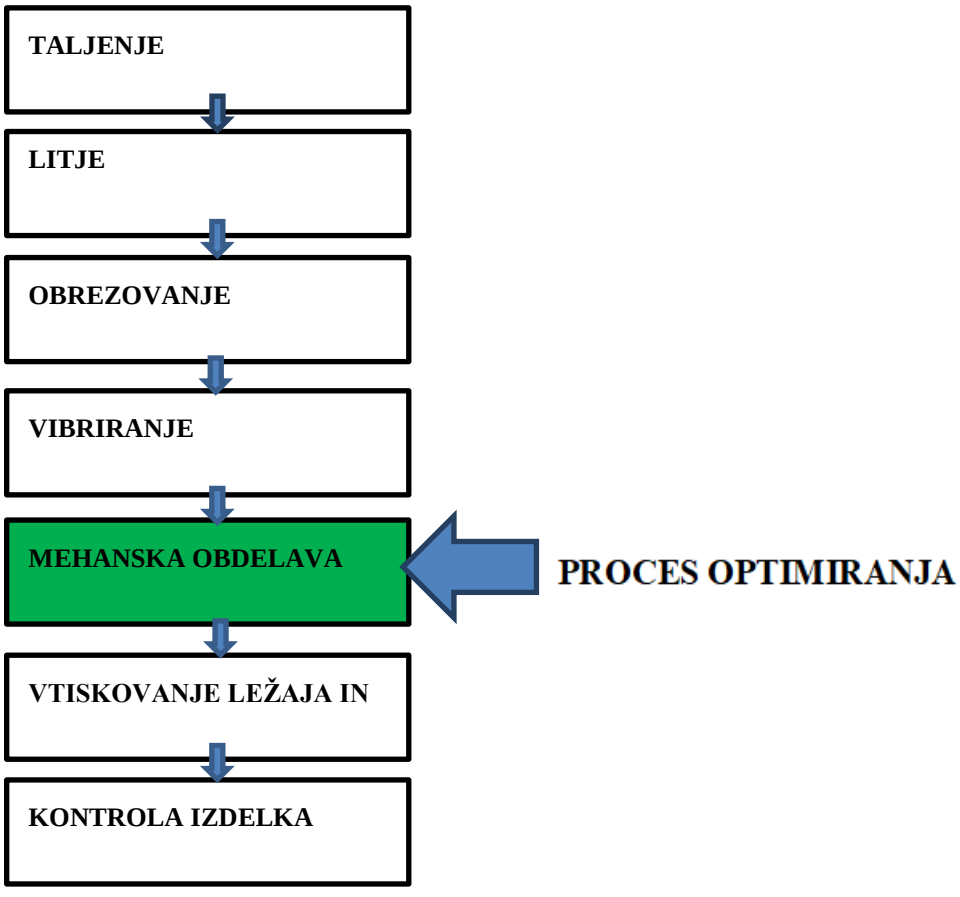
Neobdelani izdelek je težak 0,655 kg, medtem ko tehta obdelani 0,315 kg. Predvidena letna količina je 200.000 kosov. Izdelek ima po mehanski obdelavi še eno dodatno montažo, in sicer se vtiska ležaj s segerjevim obročem. Na tem mestu opravijo tudi vizualno kontrolo izdelka in ga zapakirajo za odpremo k naročniku.



Slika 16: Primer uporabe izdelka

Vir: (Rajšp, 2018)

Postopki procesa za izdelavo izdelka:



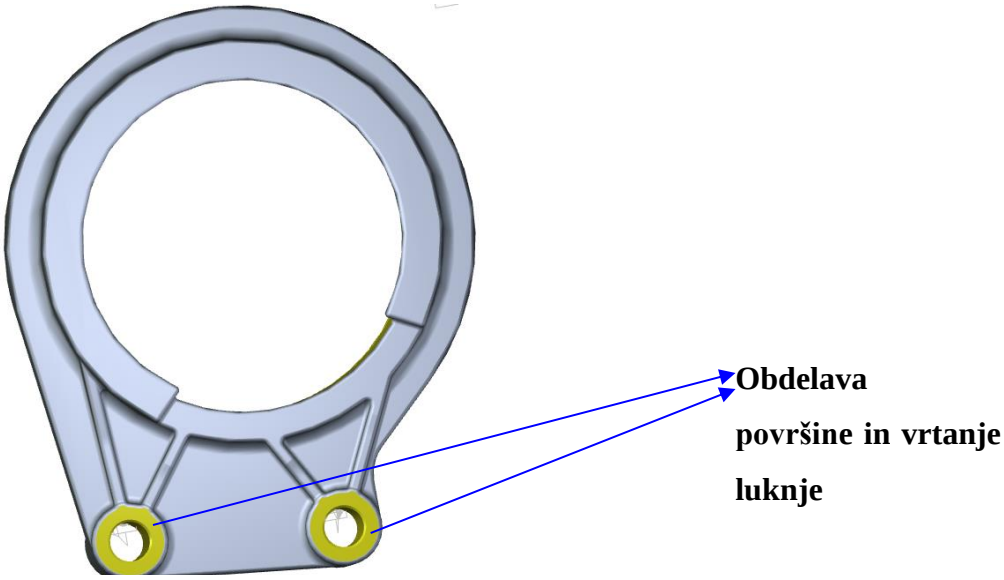
Slika 17: Prikaz procesa v mehanski obdelavi

Vir: (Rajšp, 2018)

Začetek izdelka se začne z vhodom novega materiala, pri katerem se pregleda pravilna kemijska sestava, nato gre na taljenje. Tam se pregleda temperatura taline, za kar so predpisana delovna navodila. Naslednji pomemben korak je litje, zelo pomembno je litje izdelkov na določeni temperaturi za taljenje, opravi se tudi kontrola izdelka. Nato sledi obrezavanje in vibriranje, kjer naredijo vzorce za pregled izdelka pred serijsko proizvodnjo. Pred mehansko obdelavo se morajo kosi temperirati in šele nato gredo na obdelavo. V tem primeru ima obdelovanec še dodatno montažo, in sicer vtiskovanje ležaja ter segerjevega obroča, nato sledi še kontrola izdelka ter skladiščenje za odpremo k naročniku.

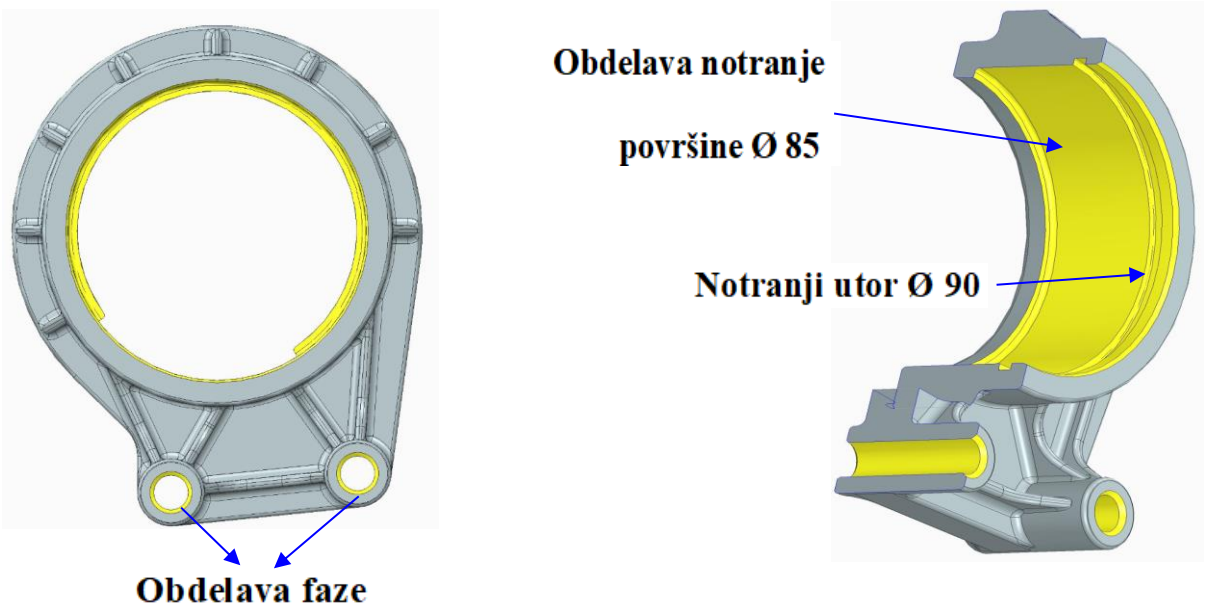
3.2 Predvidena obdelava izdelka

Obdelava izdelka je predvidena tako, da je pri obeh luknjah potrebna obdelava zunanje površine ter vrtanje luknje Ø 10. Obdelava je označena z rumeno barvo.



Slika 18: Prikaz enostranske obdelave
Vir: (Rajšp, 2018)

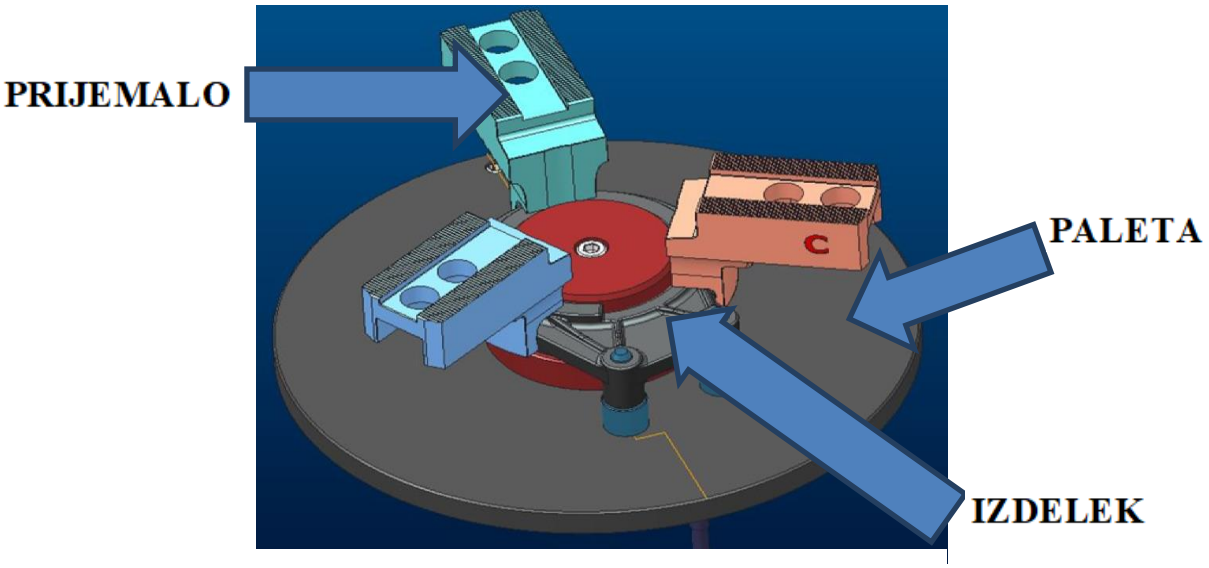
Sledi še obdelava izdelka z druge strani, na obeh luknjah je predvideno vrtanje in faza, obdelani notranji premer je Ø 85 in notranji utor Ø 90. Hrapavost površine je določena z Ra = 5. Na levi sliki sta označeni obe luknji, kjer se vidi faza, na desni sliki je prikazan prerez izdelka ter obdelana površina.



Slika 19: Predvidena obdelava izdelka
Vir: (Rajšp, 2018)

3.3 Obdelava na CNC-stružnici EMAG

Prva obdelava izdelka je potekala na stružnici EMAG. Uporablja krmilje Siemens in ima samodejno odvzemanje izdelkov ter odlaganje na transportni trak. Trak vsebuje osem palet, ki so bile namensko izdelane za ta izdelek. Posluževalec stroja nato odlaga surovce in odvzema obdelane izdelke, obdelava je avtomatska.



Slika 20: Vpenjalni sistem na CNC – EMAG

Vir: (Rajšp, 2018)

Izdelek je bil vpet s tremi prijemali, med katerimi je bila točno določena razdalja, da se je izdelek prilegal oz. da je pritisk z vseh treh strani enakomeren. Sila vpenjanja obdelovanca je bila 15 barov. Za obdelavo so bila uporabljena štiri obdelovalna orodja, in sicer sveder za vrtanje lukenj Ø 10, nož za struženje notranje površine za ležaj Ø 85, stružni nož za obdelavo notranjega utora Ø 90 in stružni nož za obdelavo površine pri luknji.

Čas obdelave enega kosa je 76 sekund

Število obdelanih kosov v sedmih urah in pol: 352 kosov

Število delavcev: 2 (en delavec poslužuje CNC-stroj, drugi vtiskuje ležaje in izvaja kontrolo)

3.3.1 Produktivnost

Produktivnost je rezultat med proizvedeno količino in vloženim delovnim časom. Povečanje produktivnosti je osnovna ekonomska zahteva vsakega podjetja. Odvisna je od tehnologije, znanja, sposobnosti delavcev, izkušenj ... Produktivnost se bo povečala, če se zmanjša čas obdelave ali če se poveča količina proizvodov.

Formula izračuna norme:

$$Pr = \frac{Q}{L}$$

kjer je:

Pr = produktivnost

Q = količina proizvodov

L = količina vloženega časa

Normirano število izdelkov za CNC – EMAG:

Izračun je izdelan za 7,5 ure, ker je treba od 8 ur odšteti 30 minut zaradi malice delavca.

Q = 352 kos, L = 7,5 ure

$$Pr = \frac{352kos}{7{,}5ure} = \mathbf{47\ kos}$$

Produktivnost na stružnici EMAG je bila normirana na 47 kosov na uro.

Izračun normiranega in dejanskega časa za CNC – EMAG:

$$Normirani\ čas = \frac{predvidena\ letna\ količina}{predvidena\ norma\ na\ uro} = \frac{200.000\ kos}{47\ kos} = 4.255\ ur$$

$$Dejanski\ čas = \frac{predvidena\ letna\ količina}{dejansko\ izdelanih\ kosov\ na\ uro} = \frac{200.000\ kos}{44\ kos} = 4.545\ ur$$

Tabela 1: Produktivnost na CNC – EMAG

Produktivnost	Predvidena letna količina	Norma na 7,5 ur	Norma na uro	Potreben čas na normo	Dejansko porabljen čas
CNC – EMAG	200.000 kos	352 kos	47 kos	4.255 ur	4545 ur

Vir: (Rajšp, 2018)

Indeks produktivnosti:

$$\text{Produktinost CNC} - \text{EMAG} = \frac{\text{potrebne norma ure}}{\text{dejansko porabljen čas}} = \frac{4.255\ \text{ur}}{4.545\ \text{ur}} = 0{,}94$$

Indeks produktivnosti na CNC – EMAG je 0,94 – zaradi večjega števila izmeta, kot so poškodbe na obdelanih kosih zaradi njihovega nepravilnega odlaganja. Manjši je vpliv človeškega faktorja, večji sta zanesljivost in kakovost, kar bo vidno v naslednjem poglavju.

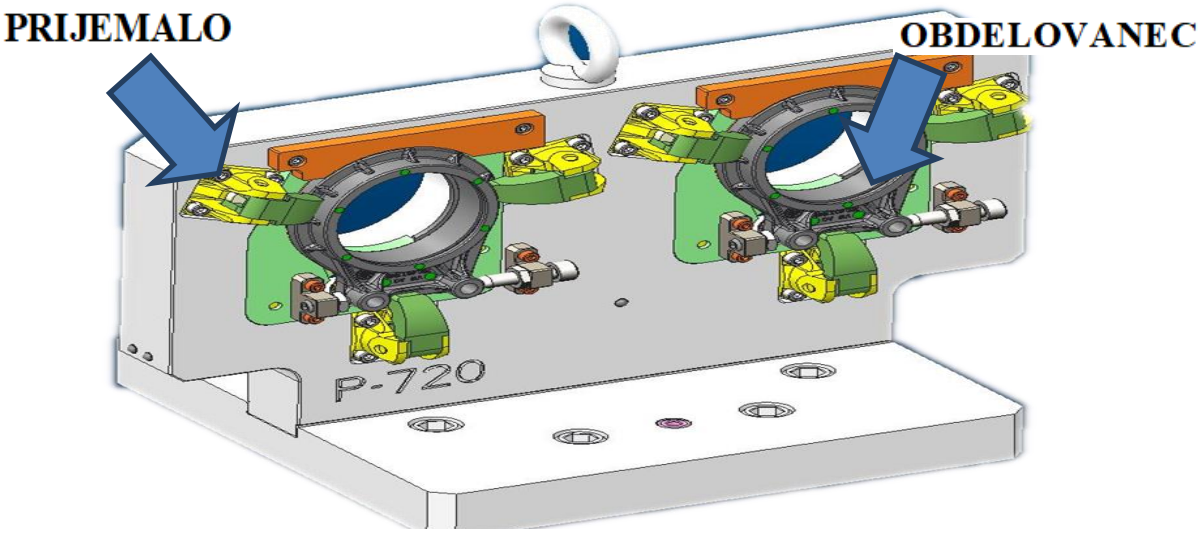
4 IZVEDENA OPTIMIZACIJA

Izvedena optimizacija je bila potrebna zaradi povečanja letne količine izdelkov in posledica tega je bila potreba po hitrejši obdelavi oz. večji produktivnosti. Rešitev je bil CNC-stroj CHIRON MILL. Za obdelavo na stroju so bili na novo konstruirani namenska vpenjalna priprava in namenska obdelovalna orodja ter robotizacija.

4.1 Namenska vpenjalna priprava

Namenska vpenjalna priprava je kompaktno zgrajena in posledično brez možnosti uporabe za nastavljanje. Uporablja se lahko samo za ta izdelek. Vpenjalna priprava je zgrajena s toleranco ± 0,01, kar pomeni, da je verjetnost napake zelo majhna. Seveda se napake seštevajo, odvisno od vpenjalnih priprav, napak stroja, obdelovalnega orodja in materiala obdelovanca. Vpenjalna priprava ima zelo dobre lastnosti, kot so natančnost, vibracije, togost, čas določenega izdelka.

Nova vpenjalna priprava je boljša v tem, da se lahko vpneta dva surovca naenkrat, kar zelo pripomore k boljši produktivnosti. Izdelek držijo tri prijemala na točno določeni poziciji, kar pomeni, da mora biti izdelek tudi po večkratnem vpetju še vedno na točno enaki poziciji kot pri prvem vpetju. Deluje na načelu hidravlike, tako da zmore veliko silo vpetja – vse do 130 barov, s čimer omogoča veliko natančnost med obdelavo.



Slika 21: Vpenjalna priprava za dva izdelka hkrati
Vir: (Rajšp, 2018)

Zunanja in notranja naleganja pripomorejo k čim boljši poziciji surovca. Na vpenjalni pripravi imamo dve naslonski točki za naleganje pri Ø 10. Za notranje naleganje je izvrtina, v kateri se nahaja surovec in pripomore k pravilni legi. Vedno pa moramo paziti, da ploskev orientiramo po koordinatnem sistemu.

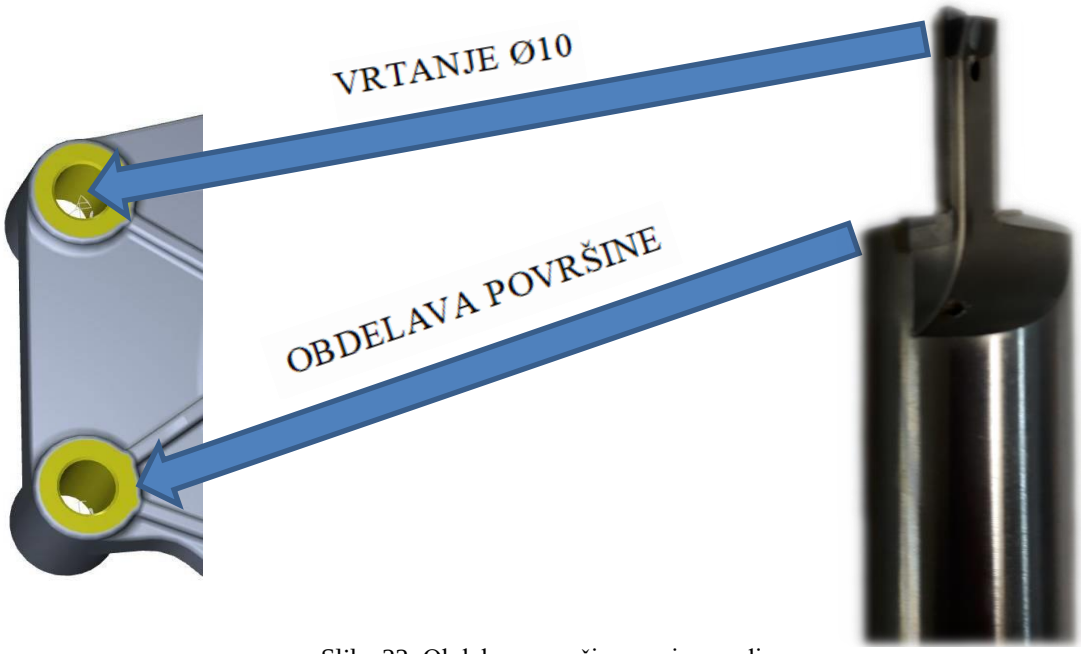
4.2 Obdelovalno orodje

Pri prejšnji mehanski obdelavi na CNC-stružnici so uporabljali štiri obdelovalna orodja, sedaj sta na CNC-frezalnem stroju dovolj le dve namenski obdelovalni orodji, kar bistveno skrajša cikel obdelave. Natančnost in učinkovitost orodja definiramo z rezalno hitrostjo, velikostjo pomika, s presekom in z volumnom odrezka. Vsako orodje pred uporabo izmerimo na merilnem stroju, s čimer preverimo, ali je v toleranci, ki je bila določena v tehnološki risbi. Izmerjena dolžina in presek orodja se vneseta v program na CNC-stroju. Menjava orodja je avtomatska iz zalogovnika z orodjem.

4.2.1 Prikaz obdelave orodja

Uporabljajo se PKD-ploščice, ker vsebujejo diamant in imajo zaradi tega večjo trdoto ter odpornost proti obrabi. Uporabne so dlje časa kot navadne ploščice – za vsaj 20 % več, pri hitrejšem ciklusu obdelave in večji natančnosti.

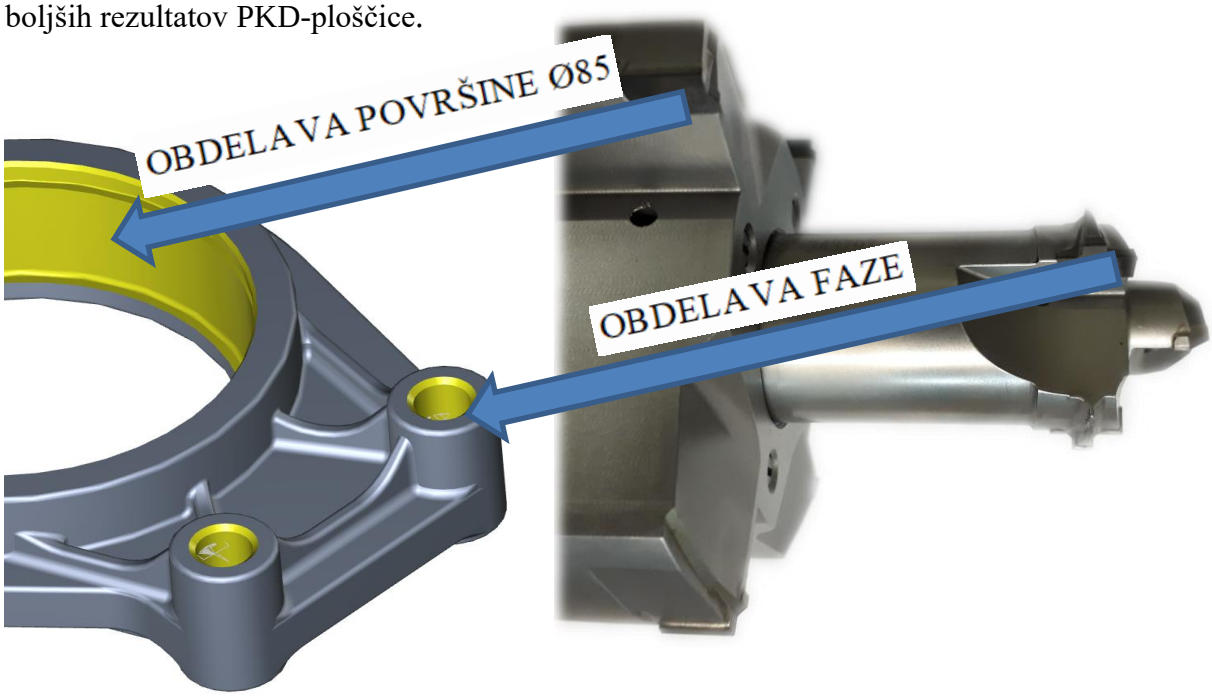
Prvo obdelovalno orodje izvrta luknjo Ø 10 in obdela površino pri luknji, vse to naredi v enem koraku.



Slika 22: Obdelava površin s prvim orodjem

Vir: (Rajšp, 2018)

Drugi korak je obdelovalno orodje, ki naredi Ø 85 in utor Ø 90. Nato se premakne na luknjo, kjer naredi še fazo. Orodje je nastavljivo po premeru, kar pomeni, da je možnost povečanja ali zmanjševanja premera na optimalno širino. Tudi pri tem orodju uporabljajo za doseganje čim boljših rezultatov PKD-ploščice.



Slika 23: Obdelane površine z drugim orodjem

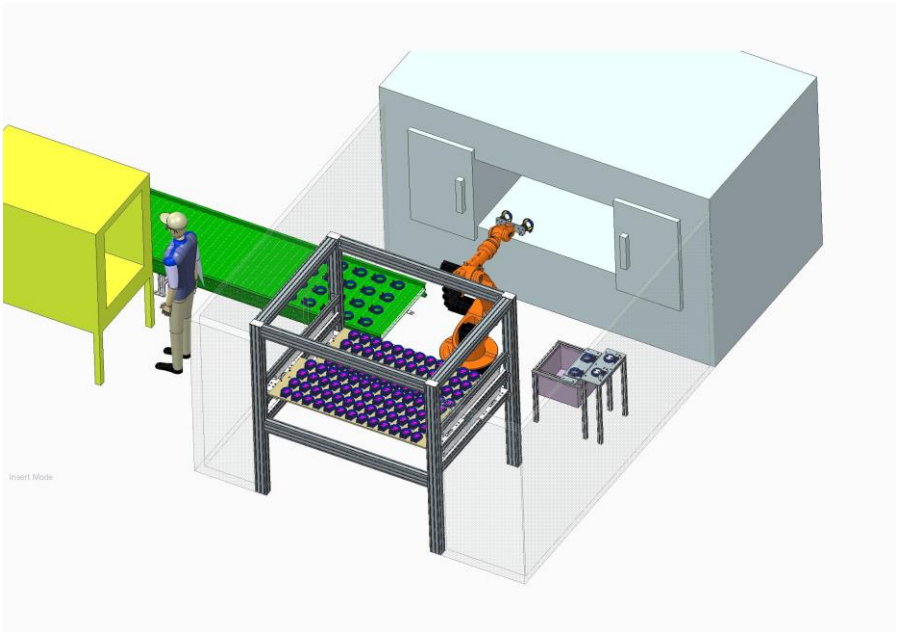
Vir: (Rajšp, 2018)

4.3 Obdelava z robotom

Za obdelavo na CNC-stroju bodo uporabljali robota KUKA KR15/2. Ustreza vsem merilom, da je dovolj natančen pri pozicioniranju obdelovancev, ima zanesljivo delovanje, povezavo s CNC-strojem ... Robot ima svoj delovni prostor, v katerem je omejeno gibanje, razen če je stroj ustavljen. Prijemalo je pritrjeno na zadnjo os robota in lahko dvigne dva izdelka naenkrat ter ju zelo natančno pozicionira v vpenjalno pripravo. Teža izdelka ni visoka, saj tehta komaj 0,655 kg oz. obdelan 0,315 kg, zato lahko robot dosega velike oddaljenosti težišča. Natančnost robota je podana v odstopanju milimetra do najdaljše osi robota.

4.3.1 Robotska celica

Prikazan je postopek mehanske obdelave na obdelovalnem CNC-stroju MILL, na spodnji strani je zalogovnik z neobdelanimi kosi, kamor jih zalaga posluževalec ležajev. Robot z namenskimi prijemali vpne dva neobdelana kosa in si ju pozicionira na točno določeno pozicijo. Nato ju robot odloži v vpenjalno pripravo v CNC-stroj in po mehanski obdelavi odstrani iz stroja, opere ter odloži na transportni trak za obdelane kose. Robot je za podjetje ekonomsko in tehnološko pomemben. Mogoče ga je programirati za različna opravila in ko neko opravilo konča, ga z lahkoto reprogramiramo za novo nalogo.

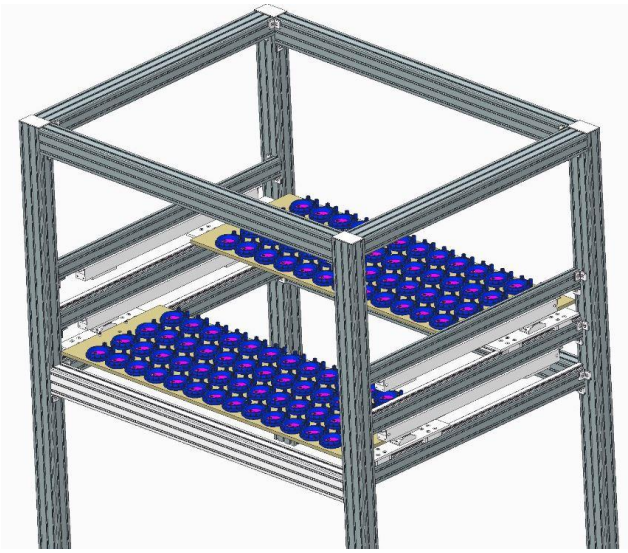


Slika 24: Robotska celica

Vir: (Rajšp, 2018)

4.3.2 Zalogovnik

Zalogovnik bo imel dve nalagalni polici za po 48 nastavkov, na katerih se bo lahko skupaj zbralo 96 neobdelanih kosov za robota. Posluževalec montaže ležajev bo imel nalogo oskrbovanja z neobdelanimi kosi ter odstranjevanja obdelanih kosov s traka.

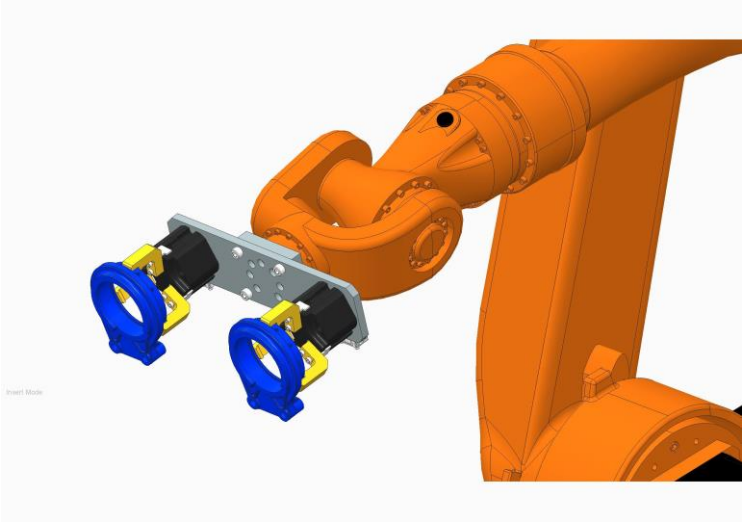


Slika 25: Zalogovnik

Vir: (Rajšp, 2018)

4.3.3 Robotska prijemala

Robotska prijemala so narejena namensko za ta izdelek. Načelo delovanja je, da robot izdelek s prijemali prime s tremi čeljustmi in ga stisne. Robotska prijemala so narejena z natančnostjo ± 0,01, kar pomeni visoko natančnost prijema. So vmesni člen med robotom in izdelkom. Pritrjena so na zadnji del robota, izvor sile prijema je izveden z električnim pogonom.



Slika 26: Robotska prijemala

Vir: (Rajšp, 2018)

4.4 Izboljšave po optimizaciji

Po optimizaciji se bo povečala produktivnost, zmanjšali se bodo tudi stroški obdelave, saj bo namesto posluževalca stroja delo opravljal robot, hitrejša obdelava pomeni tudi manj porabljenih delovnih ur na stroju in večjo produktivnost.

4.4.1 Normirano število izdelkov za CNC – MILL:

Predvideni cikel časa za obdelavo enega kosa: 60 sekund

Število obdelanih kosov v sedmih urah in pol: 450 kosov

Število delavcev: 1

Q = 450 kos

L = 7,5 ure

$$Pr = \frac{Q}{L}$$

$$Pr = \frac{450kos}{7{,}5ure} = \mathbf{60\ kos}$$

V 7,5 ure je obdelava normirana na 450 kosov, ker pa ima robot zalogovnik za 96 neobdelanih kosov, bo lahko deloval tudi med malico, kar pomeni, da lahko produktivnost računamo za celotnih 8 ur.

Pr = produktivnost za 8 ur: 60 kosov

L = količina vloženega časa: 8 ur

$$Q = \mathrm{Pr}\, x\, L$$

$$Q = 60\mathrm{kos}\, x\, 8ur = \mathbf{480\ kos}$$

Po optimizaciji na CNC-stroju MILL z novim vpenjalnim sistemom, obdelovalnim orodjem in robotom se je produktivnost od 352 normiranih kosov povečala na 480 kosov.

4.4.2 Indeks produktivnosti

Izračun normiranega in dejanskega časa za CNC – MILL:

$$Normiran\ čas = \frac{predvidena\ letna\ količina}{predividena\ norma\ na\ uro} = \frac{200.000\ kos}{60\ kos} = 3.333\ ur$$

$$Dejanski\ čas = \frac{predvidena\ letna\ količina}{dejansko\ izdelanih\ kosov\ na\ uro} = \frac{200.000\ kos}{59\ kos} = 3.389\ ur$$

Spodaj je izračun indeksa produktivnosti, kjer računamo ure, ki so bile normirane, in potem dejansko porabljen čas za te kose.

Normirano za izdelavo: 200.000 kosov

Letne normirane ure: 3.333 ur

Dejansko porabljen čas: 3.389 ur

$$\mathrm{CNC - MILL} = \frac{\text{potrebne norma ure}}{\text{dejansko porabljen čas}} = \frac{3.333\ \mathrm{ur}}{3.389\ \mathrm{ur}} = \mathbf{0,98}$$

Indeks produktivnosti na CNC – MILL je 0,98. V spodnji tabeli lahko vidimo primerjavo CNC-stružnice in CNC – MILL za več različnih kategorij.

Tabela 2: Primerjava normirane obdelave na obeh CNC-strojih

Produktivnost	Predvidena letna količina	Število normiranih kosov na uro	Potreben čas glede na normo	Dejansko potreben čas	Število delavcev	Indeks produktivnosti
Stružnica EMAG	200.000	47	4.255	4.545	2	0,94
CNC – MILL	200.000	60	3.333	3.389	1	0,98

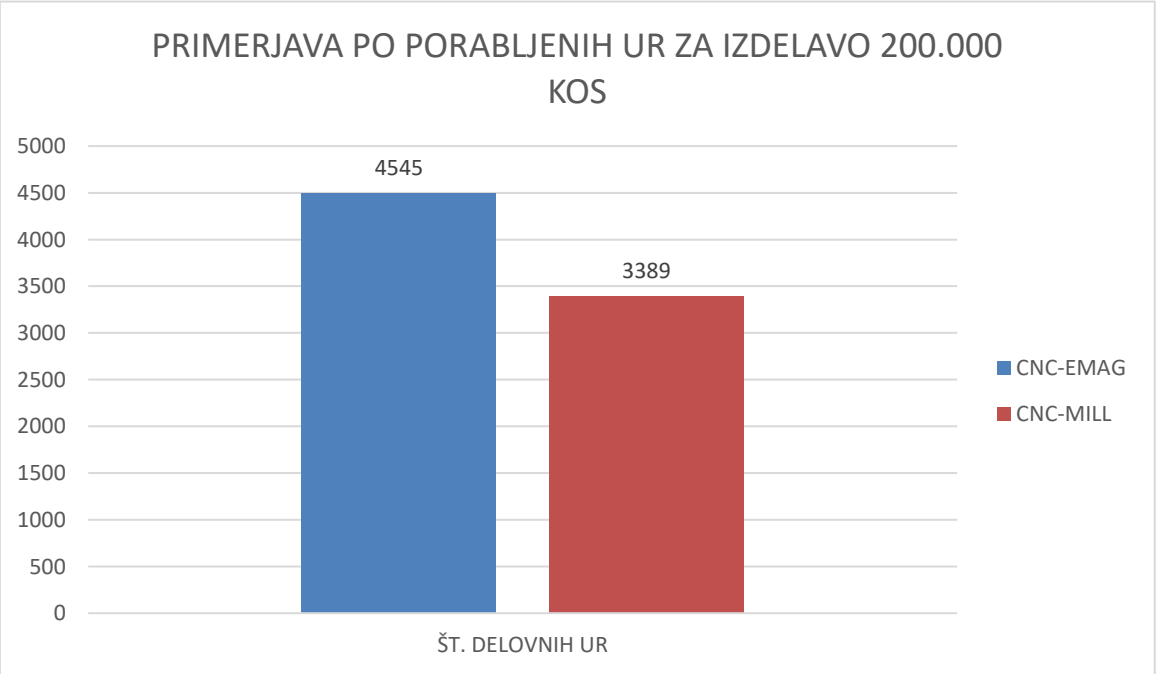
Vir: (Rajšp, 2018)

Povečala se ni samo produktivnost, ampak so se zmanjšali tudi stroški obdelave, prej sta bila potrebna dva delavca, sedaj potrebujemo samo enega, prej je bilo potrebnih 4.545 delovnih ur, sedaj le 3.389 ur. Na leto privarčujemo 1.156 ur za obdelavo na stroju, potreben je tudi en delavec manj.

$$\text{INDEKS PRODUKTIVNOSTI} = \frac{\text{CNC} - \text{EMAG}}{\text{CNC} - \text{MILL}} = \frac{0.94}{0{,}98}\text{x}100 = \mathbf{0,96}$$

Indeks produktivnosti nam pokaže, da se je dejanska produktivnost, glede na normirane ure na CNC – MILL, povečala za 4 %.

Na spodnji tabeli je prikazana primerjava na obeh delovnih strojih z dejanskimi porabljenimi urami, ki smo jih porabili za 200.000 obdelanih kosov na CNC – EMAG in potem na CNC – MILL. Razlika po optimizaciji je očitna. Privarčevali smo **1.156 ur**.



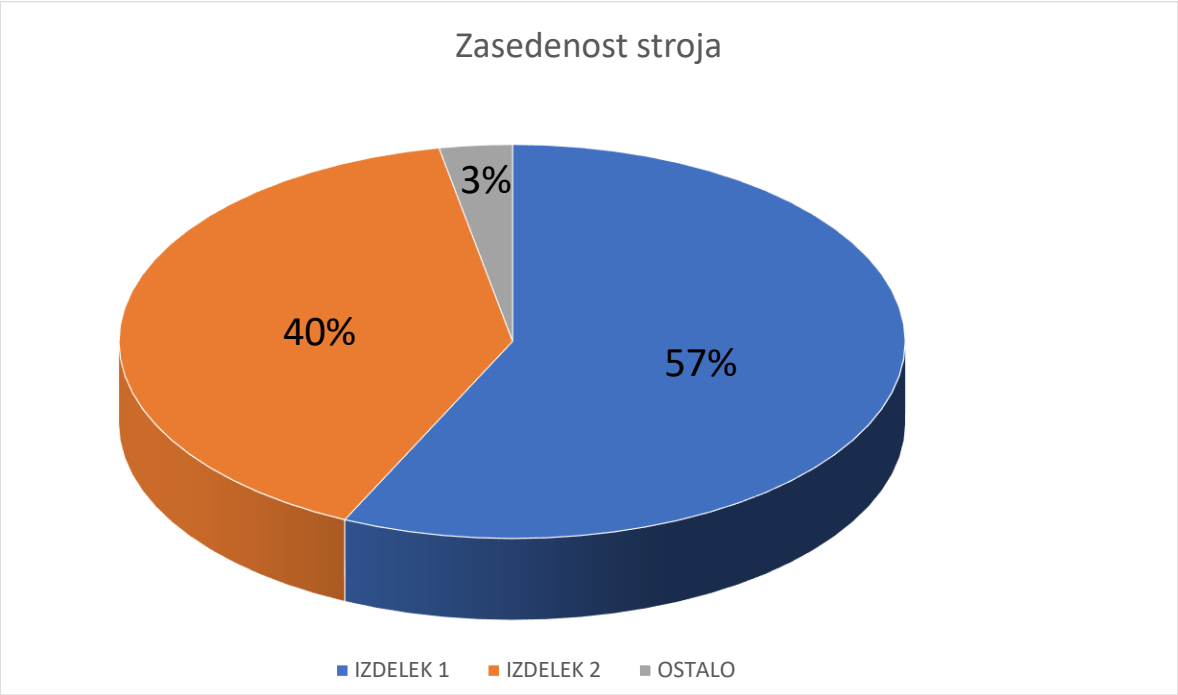
Grafikon 1: Primerjava porabljenih ur na obeh CNC-strojih

Vir: (Rajšp, 2018)

Zasedenost stroja na CNC – MILL:

Zasedenost stroja je zelo pomemben dejavnik, ob preveliki količini izdelkov na letni ravni kosov na zahtevo kupca ni mogoče obdelati pravočasno. Na CNC – MILL je ob 248 delovnih dneh v letu in triizmenskem delu na razpolago 5.952 ur. Zasedenost stroja na CNC –MILL za ta izdelek je 3.389 ur oz. 57 % zasedenost. Za drugi izdelek je namenjenih 2.409 ur obdelave na stroju oz. 40 %. Ostane še 3 % nezasedenosti stroja, ki je namenjena rednemu servisiranju, menjavi izdelkov na stroju, korekcijam ...

Zelo pomembno je nenehno dvigovanje produktivnosti na stroju, saj lahko potem v primeru povečanja količine izdelkov obdelujemo več kosov ali na stroju obdelujemo novi izdelek. V tem primeru je CNC – MILL popolnoma zaseden, so se pa zato sprostile kapacitete na CNC – EMAG, na katerem lahko sedaj obdelujemo novi izdelek.



Grafikon 2: Zasedenost stroja v odstotkih

Vir: (Rajšp, 2018)

5 SKLEP

Na začetku diplomskega dela sem predstavil podjetje MLM iz Maribora, njegove proizvodne oddelke, proizvodnjo in izdelke za njihove končne kupce. Podjetje je pridobilo tudi certifikate za kakovost in zanesljivost, ravnanje z okoljem ter sistem upravljanja z energijo.

Nato sem širše predstavil CNC-stroje, njihov namen uporabe, kje se uporabljajo in katere prednosti imajo CNC-stroji pred NC-stroji, njihov razvoj ter najpomembnejše vrste komponent, ki jih potrebuje stroj za delovanje ob visoki natančnosti in hitrih delovnih ter podajalnih gibanjih. Navajam, katere vrste orodij poznamo in jih uporabljamo v podjetju MLM ter kateri so najboljši materiali za aluminijeve zlitine in obdelovalna orodja, ki jih potrebujemo pri delu – za vrtanje, rezkanje. Opisane so tudi vpenjalne naprave, njihove prednosti in slabosti ter katere so najbolj uporabne pri tem izdelku, ki je opisan v diplomskem delu. Sledijo opisi industrijskih robotov, prikaz njihove uporabnosti in razdelitve ter sodobnih procesov, njihove avtomatizacije in produktivnosti v industrijskem procesu.

V nadaljevanju sem predstavil izdelavo izdelka na prvem stroju EMAG in njegova obdelovalna orodja, ki jih je bilo bistveno več kot pri naslednjem stroju, ter vpenjalni sistem in izračun produktivnosti, kar je prikazano v tabeli ter grafu. V nadaljevanju sledi predstavitev optimizacije vpenjalnega sistema, ki je bil narejena namenoma za ta izdelek, menjave CNC--stroja iz stružnega na frezalnega in robotske celice, kjer so opisani posamezni segmenti – zalogovnik, prijemala, industrijski robot ter njihovo delovanje. Temu sledi predstavitev produktivnosti pred optimizacijo in po njej, ponazorjena tudi z grafično primerjavo ter s tabelo.

Izdelek je bil predstavljen s 3D-modelom, kjer so ponazorjene tudi njegove obdelane površine in obdelovalna orodja, s katerimi je bil obdelan. Obdelovalna orodja so prikazana tudi grafično, na katerih površinah se izdelek obdeluje. Podane so vsebovane mere za izdelek in opisane tudi njihove tolerance, naveden je čas obdelave na stružnici ter obdelave na frezalnem stroju. Podane so tudi merske tolerance za orodje. Vsi računi so podani za oba stroja in njune indekse produktivnosti.

Hipoteze diplomskega dela:

H1: Z robotsko celico bo proces optimiziran, dvignila se bo produktivnost, stroški se bodo znižali.

Hipoteza ena je potrjena, saj se je povečalo število izdelkov na uro in zmanjšalo število posluževalcev stroja, kar je v diplomskem delu predstavljeno tudi grafično.

H2: Robotska celica bo lahko implementirana tudi na drugih strojih v proizvodnem procesu mehanske obdelave.

Druga hipoteza je potrjena, saj že potekajo aktivnosti za optimiziranje drugih proizvodnih izdelkov z robotsko celico.

H3: S povečanjem avtomatizacije se zmanjša vpliv človeškega faktorja na kakovost izdelka.

Hipoteza tri je delno potrjena, ker robotska celica deluje nemoteno in enako kakovostno za vsak izdelek. Zmanjšale so se poškodbe na izdelku, ker robotska roka deluje vedno z enako hitrostjo in močjo, izdelek pa prime z visoko natančnostjo. Še vedno pa je pri nastavljanju delovanja robota prisoten človeški vpliv.

Cilj, zastavljen v diplomskem delu – povečanje produktivnosti, optimiziranje proizvoda ter dodana robotske celica – je bil vsekakor dosežen, saj se je menjava stroja – iz CNC-stružnice EMAG na frezalni CNC-stroj MILL – izkazala za zelo produktivno. Z novo robotsko celico se je produktivnost obdelanih kosov povečala za petnajst izdelkov na uro, zmanjšalo se je število potrebnih delavcev – iz dveh na enega, učinkovitost se je v enem letu povečala za 1.156 delovnih ur za obdelavo enakega števila kosov. Glede na število normiranih ur in dejansko porabljen čas se je za štiri odstotke povečala tudi produktivnost, kar pomeni, da je pri obdelavi izdelka manj izmeta ter manj zastojev. Ob tem je treba upoštevati, da lahko stroj dela 8 delovnih ur, medtem ko je treba pri delavcu upoštevati tudi 30-minutni odmor za malico. Vse skupaj pomeni velik prihranek pri stroških ter razbremenitev delavcev, saj lahko robot deluje neprestano, deluje pa tudi zanesljivo ter kakovostno. Zasedenost stroja je zelo velika, in sicer 97-odstotna, zato ostaja glavni cilj povečati produktivnost ter obdržati doseženo kakovost in natančnost izdelave izdelka. Ob tem, da zmanjšamo zasedenost stroja, lahko namestimo tudi novi izdelek ali še povečamo količine obdelanih izdelkov na željo naročnika.

S tem lahko podjetje zadovolji želje svojega naročnika ali pridobi še nove, s tem pa je na trgu tudi bolj konkurenčno. Ne gre pa zanemariti tudi prihrankov pri delovnih urah in manjšem izmetu, višja je tudi kakovost izdelkov, obenem pa so pri svojem delu razbremenjeni tudi delavci, ki upravljajo s strojem.

6 VIRI, LITERATURA

Andro Glamnik, M. V. (12. julij 2018). *Robotika*. Pridobljeno iz http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/podrocje/Strukturni_skladi/Gradiva/MUNUS2/MUNUS2_116MHTRobotikaAVR.pdf

Balič, J. (2000). *Prilagodljivi obdelovalni sistemi.* Maribor: Fakulteta za strojništvo Maribor.

Borut Buchmeister, A. P. (2000). *Priprava proizvodnje.* Maribor: Fakulteta za strojništvo Maribor.

Čuš, F. (2004). *Vpenjalne priprav za procese odrezavanja.* Maribor: Fakulteta za strojništvo.

Eamachine. (9. avgust 2018). *Eamachine*. Pridobljeno iz http://si.eamachine.com/electric-machinery/high-speed-electric-cnc-spindle-motors.html

Encrypted. (8. avgust 2018). *Encrypted*. Pridobljeno iz https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQdeGefWkGG777SrY2gfiKhEMpZSsjOerqET_-Gjmo37Y0aoiko

Granta. (6. avgust 2018). *Granta*. Pridobljeno iz https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjFg7WnhI_dAhVSyKQKHZyaAeMQjRx6BAgBEAU&url=https%3A%2F%2Fwww.granta-automation.co.uk%2Flow-complexity-kuka-titan-1000-robot-6-axis&psig=AOvVaw2h72gJUD7un3JjIHTeuwGz

Granta-automation. (6. avgust 2018). *Granta*. Pridobljeno iz https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjFg7WnhI_dAhVSyKQKHZyaAeMQjRx6BAgBEAU&url=https%3A%2F%2Fwww.granta-automation.co.uk%2Flow-complexity-kuka-titan-1000-robot-6-axis&psig=AOvVaw2h72gJUD7un3JjIHTeuwGz

Kranjc, R. (15. Julij 2018). *priprava tehnologije struženja in rezkanja s programskim paketom EDGECAM za CNC stružnico z gnanimi orodji*. Pridobljeno iz https://dk.um.si/Dokument.php?id=108718

Kuzman, K. (2010). *Moderno proizvodnjo inženirstvo.* Grosuplje: Grafis Trade.

Manseur, R. (2007). *Robot modeling and kinematics.* Boston: Firewall Media.

Mech4study. (5. avgust 2018). *Mech4study*. Pridobljeno iz https://3.bp.blogspot.com/-ULh6wKqVEYU/WhHMSnRfBFI/AAAAAAAAC18/66aQj2uigpIvno2_lqVOv5N8OOvcGnNhQCLcBGAs/s1600/nc%2Bvs%2Bcnc.jpg

MLM. (20. julij 2018). *Mariborska livarna Maribor*. Pridobljeno iz http://www.mlm-mb.si

MLM. (10. avgust 2018). *Mariborska livarna Maribor*. Pridobljeno iz http://www.mlm-mb.si/images/programi/tlacna/tlacna1.jpg

MLM. (15. avgust 2018). *Mariborska livarna Maribor*. Pridobljeno iz http://www.mlm-mb.si/images/vsebine/orodjarna1.jpg

MLM. (10. avgust 2018). *Mariborska livarna Maribor*. Pridobljeno iz http://www.mlm-mb.si/images/banners/logo.png

Otto, A. (8. julij 2018). *Kako najhitreje do znanja programiranja CNC strojev*. Pridobljeno iz http://www.visjales-mb.org/download/PROGRAMIRANJE_CNC_STROJEV.pdf

Pavel Kaiba, B. V. (2000). *CNC odrezovalni stroji.* Ljubljana: Pami d.o.o.

Polh, P. (10. julij 2018). *Zasnova vpenjalnega mehanizma na CNC-stroju*. Pridobljeno iz http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/lesarstvo/dv1_polh_primoz.pdf

Rajšp, E. (2018). Lastni vir.

Ravne, V. š. (7. avgust 2018). *Višja šola Ravne*. Pridobljeno iz https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=2ahUKEwiu8d2GptbcAhXRIlAKHTS8DmUQjRx6BAgBEAQ&url=http%3A%2F%2Fvisjasolaravne.si%2Findex.php%2Fstrojniki%2Fgradiva-strojnistvo%2Fcategory%2F7-materiali%3Fdownload%3D65%3Akarbidne-trdine&

Sts. (5. avgust 2018). *Sts*. Pridobljeno iz http://www2.sts.si/arhiv/tehno/projekt2/r6.htm

Študentski.net. (5. avgust 2018). *Študentski.net*. Pridobljeno iz http://studentski.net/gradivo/vis_scv_ele_izs_vaj_elementi_fms_in_cim_tehnologije_01?r=1

7 PRILOGE

Priloga 1: Vpenjalna priprava za izdelek



Priloga 2: Robotska prijemala

