

# Alatni strojevi za obradu odvajanjem čestica - osvrt na tehnologiju gradnje

---

Kranjčec, Ivica

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:061650>

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

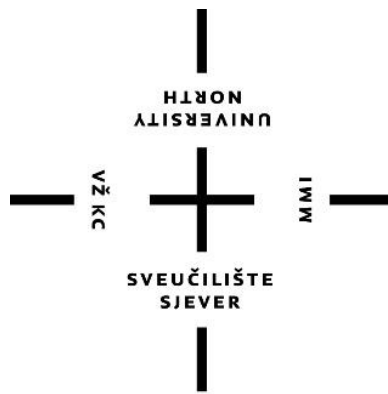
Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-31**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





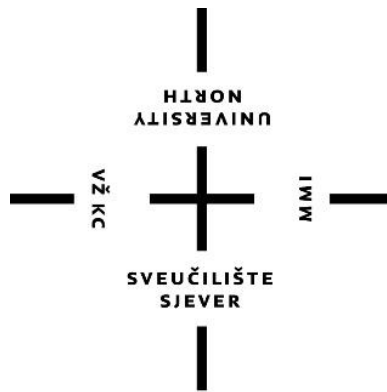
# Sveučilište Sjever

Završni rad br. 218/PS/2017

## **Alatni strojevi za obradu odvajanjem čestica - osvrt na tehnologiju gradnje**

Ivica Kranjčec, 0070/336





# Sveučilište Sjever

Završni rad br. 218/PS/2017

## **Alatni strojevi za obradu odvajanjem čestica - osvrt na tehnologiju gradnje**

### **Student**

Ivica Kranjčec, 0070/336

### **Mentor**

Antun Stoić, prof. dr. sc.

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za strojarstvo		
PRISTUPNIK	Ivica Kranjčec	MATIČNI BROJ	0070/336
DATUM	29.06.2017.	KOLEGIJ	Alatni strojevi
NASLOV RADA	Alatni strojevi za obradu odvajanjem čestica - osvrt na tehnologiju gradnje		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Machine tools for chip removal processes - end view on building technology		
MENTOR	prof.dr.sc. Antun Stoić	ZVANJE	redoviti profesor u TZ
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. prof.dr.sc. Živko Kondić, redoviti profesor		
	2. prof.dr.sc. Antun Stoić, red.prof. u TZ		
	3. Marko Horvat, dipl.ing., predavač		
	4. mr. sc. Zlatko Botak viši predavač		
	5. _____		

## Zadatak završnog rada

BROJ	218/PS/2017
OPIS	U završnom radu potrebno je definirati zahtjeve koji se postavljaju na konstrukciju i izradu alatnog stroja. Pregled materijala koji se koriste u izradi alatnih strojeva i zahtjevi za materijale. Elementi alatnih strojeva-prijenosnici i pogonski sustavi stroja-Servo motori,KNV. Postupak izrade CNC glodalice - lijevanje , postupci OOČ , postupci toplinske obrade funkcionalnih površina. Montaža: sastavljanje dijelova stroja . Podešavanje i prilagodba stroja.

ZADATAK URUČEN

10.07.2017.



POTPIS MENTORA

pa  
C

## **ZAHVALA:**

Želim se zahvaliti svim zaposlenicima poduzeća ITAS – Prvomajska d.d. , Ivanec, na suradnji i pomoći oko realizacije ovog rada.

Veliko hvala svim nastavnicima Sveučilišta Sjever na pruženima savjetima i znanju tokom studija.

Posebna hvala mentoru prof. dr. sc. Antunu Stoiću, na utrošenom vremenu i korisnim savjetima.

Također hvala mojoj obitelji i svima koji su bili uz mene za vrijeme studiranja.

## **SAŽETAK**

Naslov „Alatni strojevi za obradu odvajanjem čestica – osvrt na tehnologiju gradnje“, već dobrim dijelom opisuje tematiku kojom se ovaj rad bavi. Radom je obrađena grupa alatnih strojeva za obradu materijala odvajanjem čestica, sa svojim prednostima i nedostacima. Strojevi su podijeljeni u grupe obzirom na način obrade, konstrukcijsku izvedbu, primjenu u proizvodnji itd.

Također su definirani zahtjevi koji se postavljaju na konstrukciju i izradu alatnih strojeva, sa opisima elemenata i sklopova koji čine konstrukciju stroja. Kroz rad su opisani postupci ručnih i strojnih obrada s osvrtom na tehnologiju izrade i proizvodnju dijelova alatnih strojeva.

Veći dio rada baziran je na praktičnim primjerima iz proizvodnje, u tvornici alatnih strojeva; ITAS – Prvomajska, Ivanec, koji su upotpunjeni teorijskim pojašnjenjima i opisima, čiji je sadržaj potkrijepljen relevantnom stručnom literaturom korištenom za izradu rada.

Postupci toplinske obrade i lijevanje nezaobilazni su u procesu gradnje alatnih strojeva, a u skladu s tim neki od tih postupaka u radu su i opisani.

Završni rad prikazuje i proces sklapanja, te podešavanja suvremenog alatnog stroja, prema važećim normama.

**KLJUČNE RIJEČI:** stroj, obrada, proizvodnja, pogon, prigon, konstrukcija, vretenište, gibanje.

**ABSTRACT:**

The title „Machine tools for chip removal processes – end view on building technology”, very well describes subject of this paper. The work involves a group of machine tools for the chip removal processes, also their advantages and disadvantages. The machines are divided into groups in terms of processing, constructional design, application in production, etc.

Analysis which applies requirements in construction and manufacture of machine tools is given by this work. Also, overview of machine elements and machine tool assembly is made.

Through this paper, a description of manual and machining processes was made, with an reference on technology of machine tool parts manufacturing.

Significant part of this paper is based on practical examples from the production, of machine tool factory ITAS - PRVOMAJSKA, Ivanec, complemented by theoretical explanations and descriptions, which are supported by the relevant professional literature used to write this work.

Heat treating and casting processes cannot be avoided when it comes to machine tool construction, given that, some of that processes are described in the paper.

The paper also shows the process of assembling and adjusting the modern machine tool, in accordance with the applicable norms.

**KEYWORDS:** machine, manufacturing, production, drive assembly, construction, headstock assembly, motion.



## Popis korištenih kratica

NC	<i>Numerical Control</i>	<i>Numerička kontrola,</i>
CNC	<i>Computer Numerical Control</i>	<i>Numerička kontrola potpomognuta računalom,</i>
DNC	<i>Direct Numerical Control</i>	<i>Direktno numeričko upravljanje,</i>
FMS	<i>Flexible Manufacturing System</i>	<i>Fleksibilno upravljanje proizvodnjom,</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>	<i>Projektiranje i konstrukcija pomoću računala,</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>	<i>Računalom potpomognuta proizvodnja,</i>
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i>	<i>Proizvodnja integrirana računalom ,</i>
CAPP	<i>Computer Aided Process Planning</i>	<i>Projektiranje procesa pomoću računala,</i>
AS	<i>Alatni stroj,</i>	
FER	<i>Fakultet elektrotehnike i računalstva,</i>	
TEP	<i>Tvornica električnih proizvoda,</i>	
MINA	<i>Modularni industrijski numerički automat,</i>	
OOČ	<i>Obrada odvajanjem čestica,</i>	
$v_c$	<i>Brzina rezanja,</i>	
$v_f$	<i>Posmična brzina,</i>	
$a_p$	<i>Dubina rezanja,</i>	
DIN	<i>Njemački institut za normiranje,</i>	
F	<i>Sila,</i>	
Fe	<i>Željezo,</i>	
C	<i>Ugljik,</i>	
SL	<i>Sivi lijev,</i>	
NL	<i>Nodularni lijev,</i>	
A	<i>Istezljivost,</i>	
$R_m$	<i>Vlačna čvrstoća,</i>	
E	<i>Modul elastičnosti,</i>	
KNV	<i>Kuglično navojno vreteno,</i>	
HRC	<i>Tvrdoća prema Rockwellu,</i>	
ITAS	<i>Ivanečka tvornica alatnih strojeva,</i>	
SK	<i>Strmi konus.</i>	

## Popis slika:

SLIKA 2.1: PROIZVODNJA ALATNIH STROJEVA U SVIJETU (1980.-2014.) [3] .....	2
SLIKA 2.2: RAZVOJ OBRADNIH I PROIZVODNIH SUSTAVA [4] .....	3
SLIKA 2.3: UNUTRAŠNOST RADIONICE TVORNICE „BRAĆE ŠEVČIK“ [6] .....	5
SLIKA 2.4: NUMERIČKI UPRAVLJANA GLODALICA „AG-400 CNC“, PROIZVODNJA PRVOMAJSKA TAS – ZAGREB .....	6
SLIKA 2.5: RAČUNALO „MINA“ .....	6
SLIKA 3.1: OSNOVNA GIBANJA ALATA I OBRATKA [12].....	9
SLIKA 4.1: PODJELA POSTUPAKA PROIZVODNJE PREMA DIN 8580 .....	11
SLIKA 5.1: UNIVERZALNI TOKARSKI STROJ.....	12
SLIKA 5.2: POPREČNI PRESJEK SKLOPA UZDUŽNOG SUPORTA .....	14
SLIKA 5.3: SKLOP KONJIĆA TOKARSKOG STROJA.....	15
SLIKA 5.4: OSNOVNA KONSTRUKCIJA CNC TOKARILICE .....	16
SLIKA 5.5: OSNOVNE OPERACIJE TOKARENJA.....	16
SLIKA 5.6: TIPIČNI IZGLED POVRŠINA OBRADENIH OPERACIJAMA GLODANJA [24].....	17
SLIKA 5.7: UNIVERZALNA ALATNA GLODALICA.....	18
SLIKA 5.8: RADNI STOL GLODALICE .....	18
SLIKA 5.9: STEZNI ELEMENTI ZA PRITEZANJE OBRATKA NA RADNOM STOLU GLODALICE.....	18
SLIKA 5.10: PROTUSMJERNI I ISTOSMJERNI SMJER GLODANJA.....	19
SLIKA 5.11: OSNOVNE OBRADNE I ALATI NA BUŠILICI[10] .....	20
SLIKA 5.12:PORTALNO BRUŠENJE KLIZNIH STAZA KRIŽNOG SUPORTA (LIJEVO), .....	21
SLIKA 5.13: PORTALNO (DUGOHODNO) BLANJANJE PRITEZNE PLOHE RADNOG STOLA GLODALICE.....	22
SLIKA 5.14: PRINCIP OBRADNE IGLOM ZA PROVLAČENJE I OBLICI PROFILA KOJI NASTAJU OBRADOM PROVLAČENJA.....	23
SLIKA 5.15: STROJ ZA PROVLAČENJE .....	23
SLIKA 5.16: STROJ ZA ODVALNO GLODANJE ZUPČANIK A PFAUTER POSTUPKOM .....	24
SLIKA 7.1: DEFORMACIJE USLIJED DJELOVANJA SILE KOD OTVORENE I ZATVORENE KONSTRUKCIJE AS.....	28
SLIKA 7.2: OSNOVNI OBLICI POSTOLJA ALATNIH STROJEVA.....	29
SLIKA 7.3: (A) LIJEVANA I (B) ZAVARENA IZVEDBA POSTOLJA STROJA.....	31
SLIKA 7.4: MODUL ELASTIČNOSTI I FAKTOR PRIGUŠENJA ZA POJEDINI MATERIJAL (TABLICA I DIJAGRAM) [18].....	31
SLIKA 7.5: UOBIČAJENE IZVEDBE GLAVNOG POGONA [19].....	32
SLIKA 7.6: PRIGON KOD KLASIČNIH ALATNIH STROJEVA [18] .....	33
SLIKA 7.8: DIREKTNI POGON S KONTINUIRANOM PROMJENOM OKRETAJA GL. VRETENA [20].....	34
SLIKA 7.9: POSMIČNI PRIGON CNC STROJEVA [19] .....	34
SLIKA 7.10: TRAPEZNO NAVOJNO VRETENO S MATICOM ZA PONIŠTENJE ZRAČNOSTI.....	35
SLIKA 7.11: KUGLIČNO NAVOJNO VRETENO „Z“ OSI .....	36
SLIKA 7.12: IZGLED MATICE KNV U PRESJEKU .....	36
SLIKA 7.13: IZVEDBA PREDNAPREZANJA SA DVODIJELNOM MATICOM KNV [18] .....	36

SLIKA 7.14: PRIMJER ULEŽIŠTENJA GLAVNOG VRETENA KOMBINACIJOM LEŽAJEVA [25].....	37
SLIKA 7.15: ŠUPLJE VRETENO ULEŽIŠTENO S PREDNJE I STRAŽNJE STRANE [25] .....	37
SLIKA 7.16: KOMBINACIJE UGRADNJE KUGLIČNIH LEŽAJEVA [15].....	38
SLIKA 7.17: VRETENIŠTE UNIVERZALNOG TOKARSKOG STROJA .....	39
SLIKA 7.18: TARNA VIŠELAMELNA SPOJKA S MEHANIČKIM UKLJUČIVANJEM.....	39
SLIKA 7.19 : VRETENIŠTE CNC GLODALICE.....	40
SLIKA 7.20: FUNKCIJA KLIZNIH POVRŠINA VODILICA STROJA (KLIZNE VODILICE) [17].....	41
SLIKA 7.21: OSNOVNI OBLICI KLIZNIH VODILICA [25].....	42
SLIKA 7.22: KOMBINACIJA DVA TIPA VODILICA SUPORTA CNC GLODALICE .....	42
SLIKA 7.23: KOMPENZACIJSKE KLINASTE LETVE ZA PODEŠAVANJE ZRAČNOSTI IZMEĐU VODILICA AS.....	42
SLIKA 7.24:NAČINI PREDNAPREZANJA VODILICA KORIŠTENJEM KOMPENZACIJSKE I VODEĆE LETVE.....	43
SLIKA 7.25: KRIŽNI SUPORT I PRIZMATIČNA IZVEDBA STUPA CNC GLODALICE SA DETALJEM KANALA .....	44
SLIKA 7.26: STRIBECK KRIVULJA [20].....	44
SLIKA 7.27: KLIZNE HIDROSTATSKE VODILICE [20] .....	45
SLIKA 7.28: KOTRLJAJUĆA VODILICA SA OZNAČENIM DIJELOVIMA [17] .....	45
SLIKA 8.1: OPERACIJE RUČNE OBRADJE NA UZDUŽNOM KLIZAČU STROJA.....	46
SLIKA 8.2: GRECANJE KLIZNIH POVRŠINA; KLIZAČA STROJA I VODEĆIH LETVI.....	47
SLIKA 8.3: GRECALO SA OŠTRICOM OD TVRDOG METALA.....	48
SLIKA 8.4: PRAVILAN SMJER GRECANJA POVRŠINA [24].....	48
SLIKA 8.5: NOSIVA POVRŠINA NAKON GRECANJA [24].....	48
SLIKA 8.6: SMJESA ZA TUŠIRANJE („TUŠ“).....	49
SLIKA 8.7: „TUŠIRANA SLIKA“ POVRŠINE.....	49
SLIKA 8.8: TRAGOV I OBRADJE NAKON GRECANJA („ŠARE“) .....	49
SLIKA 8.9: PRIBOR ZA OZNAČAVANJE METALNIH DIJELOVA.....	49
SLIKA 8.10: ODLJEVAK VRETENIŠTA STROJA IZ SL NA STOLU ZA OZNAČAVANJE .....	50
SLIKA 8.11: OZNAČENE LINIJE ZA OBRADU NA ODLJEVKU IZ SL .....	50
SLIKA 9.1: ODLJEVCI NOSIVIH DIJELOVA KONSTRUKCIJE ALATNOG STROJA .....	51
SLIKA 10.1: INDUKCIJSKO KALJENJE VODILICA STROJA (LIJEVO), IZGLED KALJENE POVRŠINE (DESNO).....	52
SLIKA 10.2: HLAĐENJE STUPA STROJA U OTVORENOJ PEĆI NAKON NORMALIZACIJSKOG ŽARENJA.....	53
SLIKA 11.1: MONTIRANJE I PODEŠAVANJE VERTIKALNOG KNV.....	55
SLIKA 11.2: KRIŽNI SUPORT SA MONTIRANIM KLIZAČEM UZDUŽNE OSI STROJA .....	56
SLIKA 11.3: STROJ SA POSTAVLJENIM VRETENIŠTEM, RADNIM STOLOM I KRIŽNIM SUPORTOM.....	56
SLIKA 11.4: POSTAVLJANJE VERTIKALNE ZAKRETNE RADNE GLAVE (LIJEVO), SPREMNIK ULJA SA CRPKOM (DESNO).....	57
SLIKA 11.5: SKLOPOVI GLAVNOG PRIGONA .....	58
SLIKA 11.6 :IZVEDBA GLAVNOG I POSMIČNOG PRIGONA CNC GLODALICE.....	58
SLIKA 11.7: CNC GLODALICA SA UPRAVLJAČKOM JEDINICOM STROJA.....	62

## Sadržaj:

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. RAZVOJ ALATNIH STROJEVA KROZ POVIJEST .....</b>	<b>2</b>
2.1 AUTOMATIZACIJA ALATNIH STROJEVA I SUVREMENA PROIZVODNJA.....	3
2.2 PROIZVODNJA ALATNIH STROJEVA U HRVATSKOJ .....	5
<b>3. PROIZVODNJA I OBRADA ODVAJANJEM ČESTICA.....</b>	<b>7</b>
3.1 OBRADA ODVAJANJEM ČESTICA .....	8
3.2 GIBANJA U OBRADI ODVAJANJEM ČESTICA: .....	9
<b>4. PODJELA ALATNIH STROJEVA .....</b>	<b>10</b>
4.1 GRUPE ALATNIH STROJEVA .....	10
4.2 PODJELA POSTUPAKA PROIZVODNJE PREMA DIN 8580.....	11
<b>5. ALATNI STROJEVI ZA OBRADU ODVAJANJEM ČESTICA.....</b>	<b>12</b>
5.1 TOKARILICE.....	12
5.2 GLODALICE .....	17
5.3 BUŠILICE .....	20
5.4 STROJEVI ZA BRUŠENJE – BRUSILICE.....	21
5.5 BLANJALICE I STROJEVI ZA PROVLAČENJE.....	22
5.6 STROJEVI ZA IZRADU OZUBLJENJA .....	24
5.7 PILE.....	24
<b>6. ZAHTJEVI KOD KONSTRUKCIJE I IZRADE ALATNIH STROJEVA.....</b>	<b>25</b>
<b>7. ELEMENTI I SKLOPOVI ALATNIH STROJEVA .....</b>	<b>27</b>
7.1 POSTOLJA ALATNIH STROJEVA.....	28
▪ POSTOLJA IZ SIVOG LIJEVA: .....	29
▪ POSTOLJA IZ MINERALNOG LIJEVA: .....	31
▪ ZAVARENA IZVEDBA POSTOLJA STROJA.....	31
7.2 POGON I PRIGON ALATNIH STROJEVA .....	32
7.3 TRAPEZNO NAVOJNO VRETENO .....	35
7.4 KUGLIČNO NAVOJNO VRETENO .....	36
7.5 VRETIŠTE STROJA I SKLOP GLAVNOG VRETENA.....	37
▪ VRETIŠTE UNIVERZALNOG TOKARSKOG STROJA: .....	39
▪ VRETIŠTE CNC GLODALICE.....	40
7.6 VODILICE STROJA.....	41
▪ KLIZNE VODILICE.....	41
▪ KOTRLJAJUĆE VODILICE .....	45

<b>8. RUČNE OBRADJE / DORADE U PROIZVODNJI .....</b>	<b>46</b>
8.1 OBRADA OŠTRIH RUBOVA (RUČNA DORADA) .....	46
8.2 GRECANJE / TUŠIRANJE POVRŠINA.....	47
▪ POSTUPAK GRECANJA.....	48
▪ TUŠIRANJE I KONTROLA POVRŠINA [23]: .....	48
8.3 OZNAČAVANJE (USMJERAVANJE) SMJERA OBRADJE NA ODLJEVCIMA .....	49
<b>9. LIJEVANJE DIJELOVA STROJA .....</b>	<b>51</b>
<b>10. TOPLINSKA OBRADA DIJELOVA STROJA .....</b>	<b>52</b>
<b>11. SASTAVLJANJE DIJELOVA STROJA, PRILAGODBA I PODEŠAVANJE STROJA .....</b>	<b>54</b>
11.1 SKLAPANJE I PODEŠAVANJE PO MODULIMA STROJA: .....	55
11.2 GLAVNI I POSMIČNI PRIGON STROJA.....	58
11.3 PRILAGODBA I PODEŠAVANJE STROJA.....	59
11.4 PREUZIMANJE STROJA .....	62
<b>12. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>63</b>
<b>13. KORIŠTENA LITERATURA:.....</b>	<b>64</b>

## **1. Uvod**

Ljudi su stoljećima obrađivali razne materijale ručnim postupcima i alatima, korištenjem isključivo vlastite ili životinjske snage za rad ili su iskorištavali snagu vode i vjetra za pokretanje strojeva i raznih mehanizama koji su im olakšavali rad. Međutim, na taj način moglo se postići jako malo, uz veliki utrošak snage, vremena i resursa. Potaknut tim problemom, usko vezanim za njegov opstanak, čovjek traži načine da si olakša rad, odnosno da postane efikasniji i produktivniji u poslu koji obavlja.

Upravo težnja za boljim uvjetima života, kroz olakšavanje čovjekova rada, dovodi do prve industrijske revolucije i izuma parnog stroja, čije otkriće postaje prekretnica u načinu obrade materijala i izradi dijelova, a pojam „proizvodnja“ dobiva svoje značenje u pravom smislu te riječi. U takvom ozračju nastaju i prvi alatni strojevi, čiji ubrzani razvoj dovodi do razvitka moderne proizvodnje i svih elemenata nužnih za funkcioniranje proizvodnje, a koji traje još i danas.

Povijest i razvoj alatnih strojeva u Hrvatskoj i u svijetu, te njihova automatizacija opisani su na samom početku rada. Nakon toga slijedi dio vezan za samu proizvodnju odvajanjem čestica, s osvrtom na značajke (mogućnosti i ograničenja), takve vrste proizvodnje.

U ovom radu prikazani su alatni strojevi za obradu odvajanjem čestica, odnosno grupe strojeva koji se najčešće koriste u industrijskoj proizvodnji, radne značajke strojeva, sa opisima nekih sklopova i načinom gibanja za pojedinu vrstu stroja. U prvom dijelu, razmatraju se pretežno konvencionalno upravljani strojevi. Razlog je sličnost dvije grupe strojeva (klasičnih i CNC strojeva), prema njihovim modulima – sklopovima, od kojih su građeni, ali i obliku konstrukcije i funkcije koju trebaju zadovoljiti. Fotografije i primjeri iz prakse prikazuju izradu dijelova alatnog stroja, čije je sklapanje i podešavanje detaljno opisano u praktičnom dijelu rada.

Sklopovi alatnih strojeva sastavni su dio arhitekture alatnih strojeva, a njihova izvedba pojedinačno ključna je za funkcioniranje stroja kao cjeline. Nakon razrade svakog pojedinog sklopa stroja, dobiva se ideja, kako stroj treba funkcionirati, te koja je problematika kod izrade, odnosno koji su zahtjevi kod konstrukcije takve vrste stroja. Ručne obrade i dorade, sastavni su dio procesa proizvodnje alatnih strojeva, a u radu su opisane one najvažnije.

Postupak lijevanja kao način proizvodnje glomaznih dijelova strojeva, sa primjerima lijevanih konstrukcija, opisan je u drugom dijelu rada, zajedno sa pregledom nekih toplinskih obrada korištenih u izradi CNC glodalice.

Sklapanje i podešavanje dijelova stroja zahtjevniji je posao koji zahtjeva iskustvo i pozornost ljudi koji rade ovaj posao, a geometrijski odnosi pojedinih nepokretnih i pokretnih dijelova strogo su regulirani normama koje propisuju uvjete i odnose u sklapanju i preuzimanju alatnih strojeva.

## 2. Razvoj alatnih strojeva kroz povijest

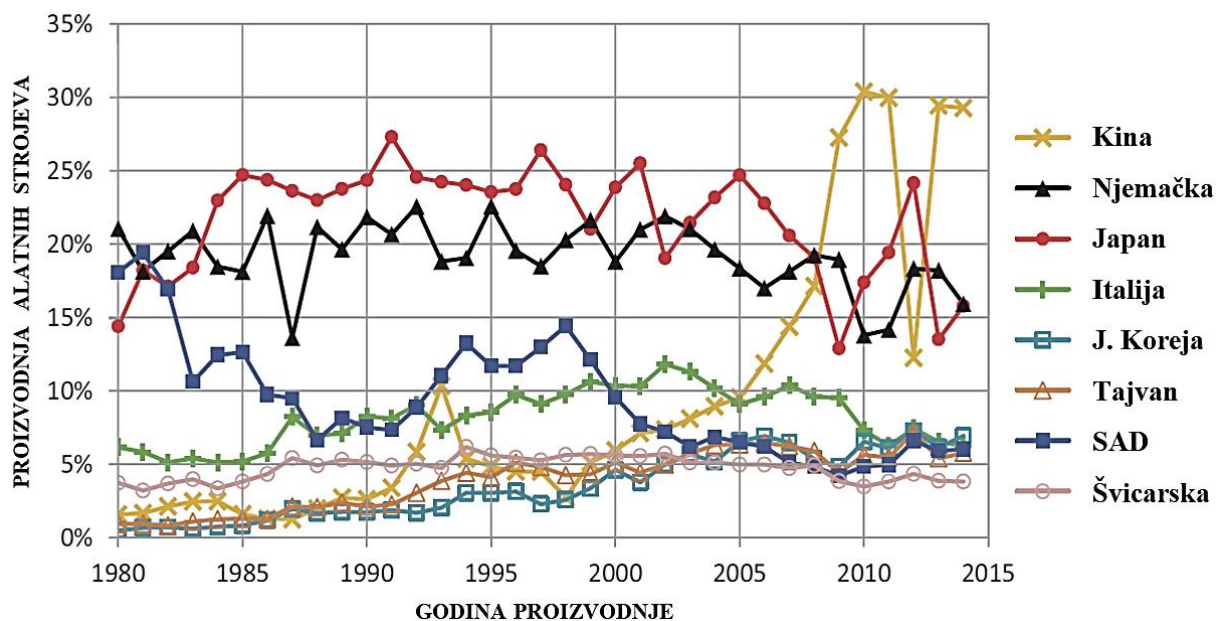
Alatni strojevi nastali su tijekom prve industrijske revolucije, a parni stroj postao je glavna pokretačka snaga, pa je time omogućen neslućen razvoj industrijske proizvodnje [1].

Prije industrijske revolucije materijal se obrađivao uglavnom ručno ili se za pogon jednostavnih strojeva koristila energija iz prirodnih izvora. Izumom parnoga stroja dobiven je siguran i pokretan izvor mehaničke energije za pogon strojeva. Kasnije se u tu svrhu upotrebljavaju elektromotori.

Tijekom 18. i 19. st. konstruirana je većina jednostavnih alatnih strojeva. Krajem 19. st. alatni su strojevi postali temelj za masovnu proizvodnju i za razvoj industrijskog društva. Tijekom 20. st. uvedena su mnoga poboljšanja, osobito glede veće proizvodnosti i točnosti obradbe te u elektroničkom upravljanju i automatizaciji proizvodnje.

Razvijaju se različite vrste nekonvencionalnih postupaka obradbe, temeljenih na elektrokemijskim i ultrazvučnim osnovama. Posebno je važan razvoj visokobrzinske obradbe i visoko dinamičkih alatnih strojeva, kojima se vrijeme obradbe može smanjiti 5 do 10 puta [2].

Na slici 2.1, prikazani je udio proizvodnje alatnih strojeva u svijetu, od 1980. godine do 2014.



Slika 2.1: Proizvodnja alatnih strojeva u svijetu (1980.-2014.) [3]

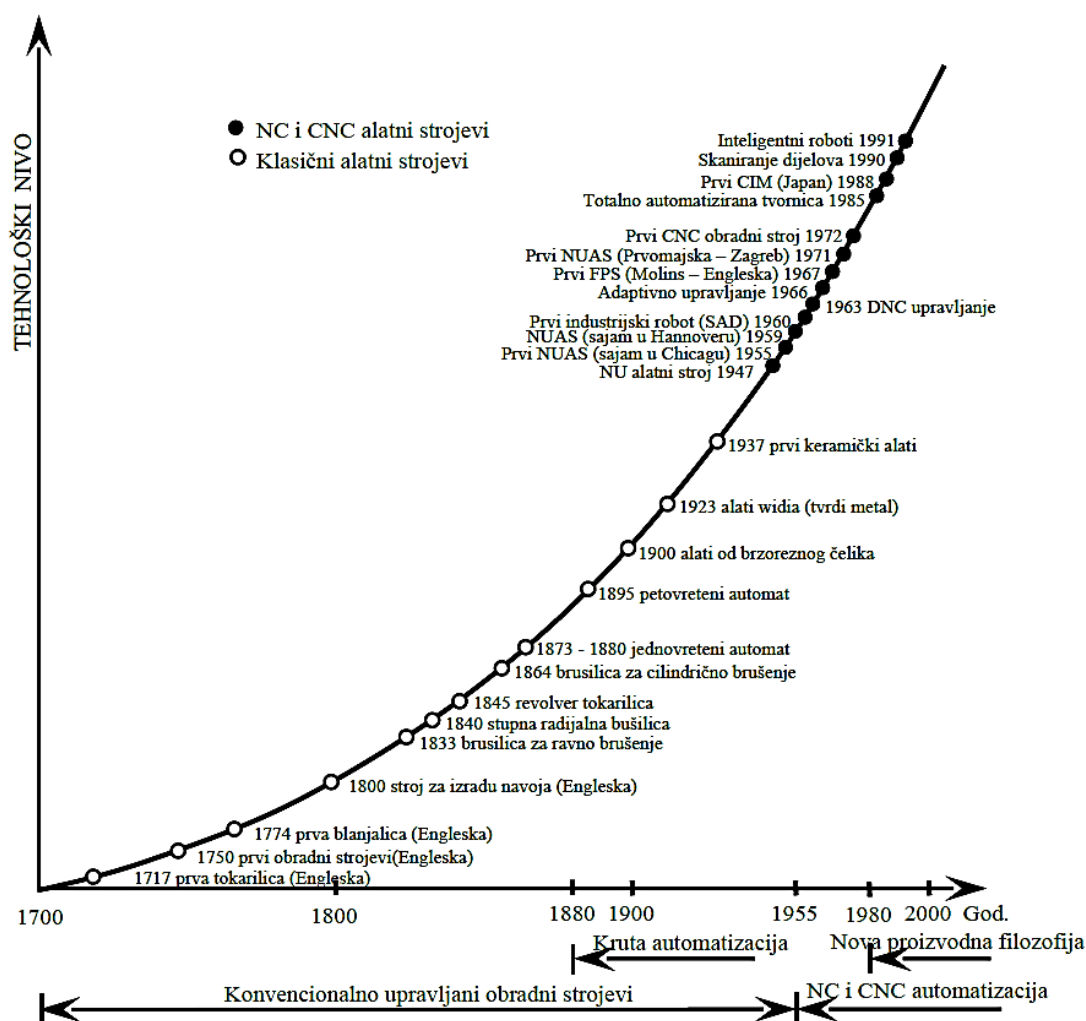
## 2.1 Automatizacija alatnih strojeva i suvremena proizvodnja

Automatizacija alatnih strojeva započela je relativno rano, i to uglavnom u upravljanju brzinom rezanja, posmakom i izmjenom različitih vrsta alata. U početku su rješenja bila mehanička, ali nakon 1950., osobito od 1960., razvijali su se tzv. NC alatni strojevi (eng. Numerical Control), tj. numerički upravljani strojevi, dakle upravljani bušenim vrpcama, karticama ili magnetskim vrpcama, koje prema utvrđenom kodu aktiviraju sustav releja i servomehanizama, tako da su pojedini dijelovi procesa automatizirani. Međutim, ti su strojevi bili slabije fleksibilnosti.

Od 1970. u upravljanju alatnim strojevima upotrebljavaju se miniračunala ili mikroračunala.

To su tzv. CNC alatni strojevi (engl. Computer Numerical Control). Ti se strojevi mogu vrlo lako prilagoditi za različite radnje jednostavnijom promjenom programa. Upravljački je dio jednostavniji, jeftiniji, održavanje je lakše pa je izradak točniji i ekonomski isplativiji.

DNC sustav (engl. Direct Numerical Control), obuhvaća nekoliko spregnutih CNC alatnih strojeva vođenih većim središnjim računalom. Razvoj obradnih i proizvodnih sustava kroz povijest prikazana je na slici 2.2.



Slika 2.2: Razvoj obradnih i proizvodnih sustava [4]



Suvremeni, CNC alatni strojevi imaju adaptivno upravljanje (povratnu spregu), kojim se štite stroj i alat od mogućeg oštećenja i postiže veća proizvodnost. Tako se, npr., zakretni moment glavne osovine posebnim servo uređajem održava unutar zadanih parametara [1].

Daljnijim razvojem automatizacije alatnih strojeva nastaju tzv. obradni centri, najčešće glodalice s automatskom izmjenom alata i obratka, te s nekoliko osi upravljanja. Obradak se može obraditi u jednom stezanju, bez potrebe premještanja na drugi alatni stroj.

Fleksibilni proizvodni sustav (eng. *Flexible Manufacturing System*, FMS), sastoji se od više proizvodnih jedinica, a povezan je s uređajem za automatsko rukovanje materijalom preko središnjega računala. Osnovna mu je značajka, što promjena vrste izratka ne zahtijeva zaustavljanje proizvodnje. Proizvodnja je jeftina i pri izradbi vrlo malih količina proizvoda.

U suvremenome pristupu CNC alatnim strojevima ujedanju se funkcije konstrukcije i proizvodnje. To je tzv. CAD/CAM (eng. *Computer Aided Design / Computer Aided Manufacture*) koncepcija, u kojoj se već prilikom konstruiranja analizira i proizvodnja, pa se odmah izrađuje i program obradbe za CNC stroj.

Računalno povezivanje svih funkcija proizvodnje (engl. *Computer Integrated Manufacturing*, CIM), omogućit će razvoj automatizirane tvornice. Razvoj obradnih i proizvodnih sustava prikazan je na slici 2.2.

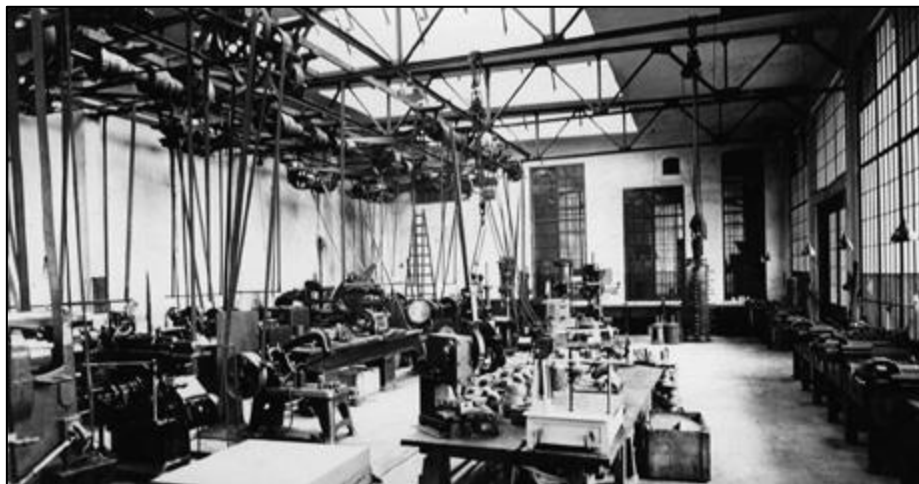
Tablica 2.1 prikazuje zastupljenost pojedinog tipa stroja u proizvodnji, izraženo u postocima.

<u>Tip alatnog stroja:</u>	<u>Postotak:</u>
<i>Tokarilice i automati</i>	34
<i>Brusilice</i>	30
<i>Glodalice</i>	15
<i>Bušilice</i>	10
<i>Blanjalice i strojevi za provlačenje</i>	4
<i>Ostali strojevi</i>	7

**Tablica 2.1: Zastupljenost strojeva u proizvodnji prema tipu stroja [5]**

## **2.2 Proizvodnja alatnih strojeva u Hrvatskoj**

Hrvatska ima dugogodišnju tradiciju u gradnji alatnih strojeva. Prva tvornica alatnih strojeva osnovana je u Zagrebu 1922. godine kao, „Metalska radionica Braće Ševčik“, (slika 2.3). U toj tvornici su 1936.g. izrađeni prvi alatni strojevi, a 1937. godine, započeta je serijska proizvodnja tokarilica.



*Slika 2.3: Unutrašnjost radionice tvornice „Braće Ševčik“ [6]*

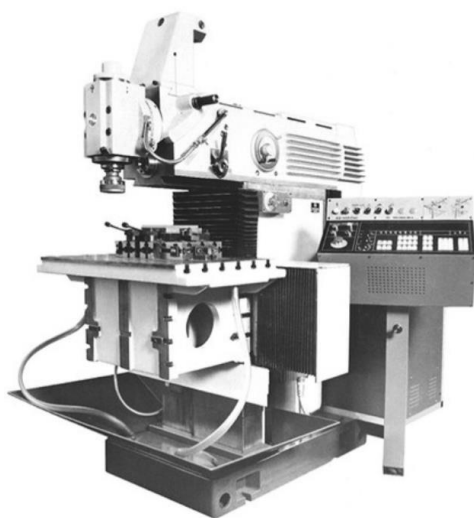
Nakon drugog svjetskog rata, stručnjaci i radnici te tvornice prelaze u novoosnovanu tvornicu alatnih strojeva: „Prvomajska“, koja je ubrzo postala najvećom takvom tvornicom u regiji. U skladu sa svjetskim razvojem strojeva, Prvomajska je 1963. godine proizvela prvi programirani stroj, a 1969. godine prvi NC stroj. Godine 1982. godine u toj je tvornici razvijena prva vlastita upravljačka naprava, a 1986. godine i prvi laserski NC stroj, za rezanje lima i tokarski obradni centar s robotom [1].

Ubrzo je zagrebačka „Prvomajska“, postala rasadnikom novih tvornica alatnih strojeva u Hrvatskoj, ali i šire; u Vojvodini, Makedoniji i Bosni i Hercegovini. Šezdesetih godina prošloga stoljeća, gašenjem ugljenokopa u Hrvatskoj, razvijaju se nove tvornice AS, u Raši, Ivancu, Golubovcu, Čakovcu, Kutini i Splitu. Zagrebačka prvomajska, na novonastale tvornice, prenijela je svoje znanje, organizirala proizvodnju, uvela nove sustave proizvodnje i osposobila kadrove za rad. Osnivanjem instituta za alatne strojeve u Zagrebu i odgovarajućih službi, sa stalnom suradnjom i fluktuacijom kadrova sa Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Fakulteta elektrotehnike i računarstva i Ekonomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, omogućen je uspješan razvoj ovog područja. Godine 1961., osnovana je tvornica specijalnih alatnih strojeva „SAS-Zadar“, koja se razvila iz tvornice šivaćih strojeva „Bagat“. Godine 1965., Prvomajska utemeljuje, sa svojim Švicarskim partnerom prvo proizvodno-montažno poduzeće “Macmon AG”, koje i danas djeluje i radi u Njemačkoj, kao “Macmon Werkzeugmaschinen GmbH”.

Prva nacionalna meksička tvornica alatnih strojeva “*Fanamher SA*”, osnovana u mjestu *San Luis Potosi*, bila je djelo zagrebačkih stručnjaka, kroz prenijeto znanje, tehnologiju i organizaciju proizvodnje. Ovim potezom zagrebačka tvornica AS potvrdila je svoju sposobnost za nastup na međunarodnom tržištu i to upravo u zemljama koje su vodeći svjetski proizvođači AS.

Prvi stroj s numeričkim upravljanjem primijenjen je u američkoj industriji 1956. godine, a prvi stroj s numeričkim upravljanjem (horizontalna bušilica *Scharmann*), uspješno je stavljen u upotrebu krajem 1969. godine u tvornici “*Prvomajska*”. Već 1971. godine na prvoj izložbi alatnih strojeva „*BIAM 71*“, u Zagrebu, izložena je prva glodalica s numeričkim upravljanjem *G301 NC*, razvijena i proizvedena u “*Prvomajskoj*”. Postojali su i raniji pokušaji, pa je u tek osnovanom Institutu za alatne strojeve u Zagrebu 1959. godine izrađen prototip tokarilice upravljane uz pomoć magnetske memorije. Do industrijske proizvodnje te tokarilice nije vjerojatno došlo zbog slabo razvijene elektronske industrije u svijetu i kod nas. No istraživanja i razvoj bili su poticaj za brzo prihvaćanje proizvodnje numerički upravljanih AS [2]. Početkom osamdesetih godina prošlog stoljeća, počela je proizvodnja obradnih centara, a na kraju i fleksibilnih proizvodnih sustava, koji se rabe u automobilskoj i zrakoplovnoj industriji. Prvi fleksibilni obradni sustav postavljen je u “*Prvomajskoj*” sredinom 1987. godine, za proizvodnju dijelova za potrebe zagrebačke industrije, no isto tako iskorišten je za znanstvena istraživanja fleksibilne automatizacije.

U sklopu tog programa razvoja fleksibilne automatizacije, važno je da je 1982. godine razvijen i izrađen prototip računala za vođenje (vlastiti razvoj “*Prvomajska*” – FER), a 1986. godine počela je industrijska proizvodnja računala *MINA* (modularni industrijski numerički automat – slika 2.5), u suradnji “*Prvomajska*” – FER – TEP – N. Tesla, no njegova je proizvodnja prekinuta. nakon 1989. g. [1]. Na slici 2.4 prikazana je numerički upravljana glodalica proizvodnje „*Prvomajska TAS Zagreb*“.



**Slika 2.4: Numerički upravljana glodalica „AG-400 CNC“, proizvodnja Prvomajska TAS Zagreb**



**Slika 2.5: Računalo „MINA“**

### **3. Proizvodnja i obrada odvajanjem čestica**

Proizvodnja je danas nezamisliva kao tradicionalna, korištenjem isključivo ručnog rada i alata za ručni rad. Takav način obrade dugotrajan je i preskup. Nemoguće je ostvariti serijsku i masovnu proizvodnju, napraviti proizvod i konkurirati na tržištu, bez pomoći strojeva.

U suvremenom proizvodnom ciklusu proizvodnje strojeva, alata i opreme, neizbježno je korištenje strojeva za proizvodnju koji koriste alate (alatni strojevi). Osnovni zadatak alatnih strojeva je zamjena ljudskog rada, uz bitno uvećanu točnost, produktivnost i ekonomičnost. Služe za obradu dijelova iz različitih materijala, a specifični su po tome, jer mogu proizvesti i održavati sami sebe.

Obrada materijala, definira se kao promjena oblika, dimenzija ili svojstva materijala, u cilju daljnje eksploatacije, a dijeli se na ručnu i strojnu obradu [7]. Da se nekom materijalu da konačan oblik, odnosno da se obradi, postoji više načina.

Obrade kojima se nekim alatom odvajaju čestice operacijama rezanja sa obrađivane površine, npr.: tokarenjem, glodanjem, blanjanjem, turpijanjem, rezanjem, itd., nazivaju se obrade odvajanjem čestica materijala. A one se pak dijele na obrade definiranom i nedefiniranom oštricom alata.

Obrade gdje se materijal prerađuje operacijama: kovanja, valjanja, lijevanja, izvlačenja, istiskivanja, prešanjem, itd. svrstavaju se u skupinu obrada bez odvajanja čestica, a zasniva se na plastičnoj deformaciji proizvoda ili poluproizvoda.

Postoji i slučaj, gdje je potrebno materijale spajati, nekim od postupaka spajanja: npr.: zavarivanjem, lemljenjem, zakivanjem, itd. Materijali se međusobno spajaju, rastavljivim i nerastavljivim postupcima spajanja.

Kod obrada djelovanjem topline (toplinska obrada), predmet se namjerno podvrgava temperaturno-vremenskim ciklusima kako bi se postigla željena mikrostruktura, a time i željena (mehanička, fizička i kemijska) svojstva [8].

Tako se npr.: čelik obrađuje kaljenjem, popuštanjem, žarenjem, cementiranjem, nitriranjem, itd.

Slijedi osnovna podjela postupaka obrade materijala [9]:

- Obrada bez odvajanja čestica materijala
- Obrada odvajanjem čestica materijala
- Obrada sastavljanjem
- Toplinska obrada

### **3.1 Obrada odvajanjem čestica**

Strojevi koji rade odvajanjem čestica materijala, poznati su pod nazivom alatni strojevi ili strojevi za obrađivanje. Pod tim nazivom, podrazumijevaju se i strojevi kojima nije osnovna zadaća skidanje strugotine. U daljnjem tekstu rada, fokus će biti na strojeve za OOČ, a pod alatnim strojem podrazumijevat će se takvi strojevi.

Obrada odvajanjem čestica, postupak je promjene oblika predmeta, mehaničkim odvajanjem materijala, gdje dolazi do smanjenja volumena obratka. Zbog djelovanja reznog sredstva (alata), sa jednom ili više oštrica, čiji je osnovni oblik klin. Glavna zadaća mu je razdvajanje materijala i odvajanje čestica materijala [7].

Neke od prednosti obrade odvajanjem čestica, u odnosu na ostale vrste obrade: [7]:

- postizanje visoke točnosti i preciznosti dimenzija i kvalitete obrađene površine, često bez potrebe za naknadnim obradama,
- najbolji, često jedini način da se pravilno oblikuju oštri rubovi, ravne površine, te unutarnji i vanjski profili,
- moguće je obrađivati gotovo sve vrste tehničkih materijala,
- jedini način preoblikovanja toplinski obrađenih i krtih materijala,
- moguća obrada izrazito komplicirane geometrije,
- moguće obrade jako malih i jako velikih predmeta,
- pri odvajanju, promjena strukture materijala obratka je neznatna (samo tanki sloj),
- proces se može automatizirati,
- ekonomična i produktivna obrada za maloserijsku i pojedinačnu vrstu proizvodnje,

Nedostaci obrade odvajanjem čestica su:

- stvaranje odvojene čestice, što predstavlja proizvodni otpad (ili sekundarnu sirovinu za neku drugu proizvodnju),
- za izradu jednog elementa obratka (tolerirani provrti, utori,...), potrebno je više obradnih postupaka i često više raznovrsnih alatnih strojeva i alata,
- neki dijelovi zahtijevaju primjenu CNC strojeva i komplicirano programiranje,
- alatni strojevi i potreba za rukovanjem alatima i obratcima zahtijevaju dosta prostora,
- na mikroklimu jako utječu obradni procesi (toplina, buka, rashladne tekućine, ulja, ...),
- visoki udio pomoćnih i pripremno-završnih vremena (tehnološko vrijeme je često manje od 2 % ukupnog vremena protoka pozicije).

Kod svih postupaka obrade rezanjem moraju se ispuniti određeni zahtjevi [10]:

- Djelovanje otpora materijala na alat mora biti što manji
- Vijek trajanja alata treba biti što duži
- Obradena površina mora biti u zahtijevanoj kvaliteti
- Vrijeme obrade mora biti što kraće

### 3.2 Gibanja u obradi odvajanjem čestica:

Neki postupci obrade mogu se razlikovati po tome izvodi li alat, obradak ili oboje glavno ili pomoćno gibanje. U obradi odvajanjem čestica, na AS postoje dva osnovna gibanja: glavno i pomoćno gibanje. U pomoćno gibanje spadaju još i posmično, te dostavno gibanje.

Gibanja kod obrade na AS dijele se na [17]:

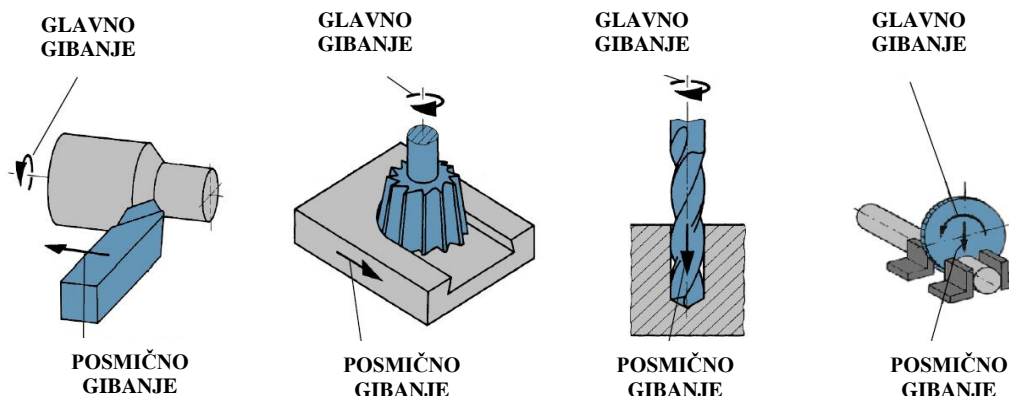
Glavno gibanje (G): izvodi se brzinom rezanja ( $v_c$ ), to je ono gibanje alata ili obratka zaslužno za odvajanje čestica materijala. Pri tom gibanju troši se najveći dio snage na AS, a može biti: kružno ili pravocrtno, te kontinuirano i diskontinuirano.

Posmično gibanje (P) – izvodi se posmičnom brzinom ( $v_f$ ) i služi za održavanje kontakta između predmeta obrade i alata, može biti kružno i pravocrtno, te kontinuirano i diskontinuirano.

Dostavno gibanje (D) - dostavnim gibanjem zauzima se dubina rezanja ( $a_p$ ), dovodi alat i obradak u zahvat i odmiče nakon obavljene obrade.

Dok je glavno gibanje kontinuirano (neprekidno) , pomoćno gibanje može biti s prekidima (npr.: automatski posmak kod tokarilice...) ili periodično u određenim intervalima (gibanje kod blanjalice). Ova dva gibanja uvijek postoje u obradi odvajanjem čestica [11].

Glavno gibanje može biti kružno (rotacijsko) ili pravocrtno (translacijsko). Pomoćno gibanje je najčešće pravocrtno, međutim kod nekih strojeva je ono kružno. Glavno i pomoćno gibanje može vršiti alat ili predmet obrade, što zavisi od konstrukcije stroja.



Slika 3.1: Osnovna gibanja alata i obratka [12]

## **4. Podjela alatnih strojeva**

### **4.1 Grupe alatnih strojeva**

Postoji puno vrsta alatnih strojeva, različitih izvedba, konstrukcije i namjene, a podijeljeni su u grupe radi lakšeg proučavanja [11].

Prema konstrukciji i načinu rada AS dijele se na:

- Jednostavne alatne strojeve
- Univerzalne alatne strojeve
- Specijalne alatne strojeve
- Automatske alatne strojeve
- CNC i numerički upravljane alatne strojeve

Alatni strojevi dijele se obzirom na njihovu veličinu i težinu, na lake i teške, a proizvodnja, u kojoj se koriste na tešku i laku strojnu obradu. Ova podjela je nekad izvedena prema stvarnoj težini stroja, a najčešće je izvedena prema masi odvojenih čestica u jedinici vremena.

Laki strojevi odvajaju manju količinu čestica i rabe se tipično za finu obradu, dok teški, odvajaju veću količinu strugotine i koriste se kod grubih obrada. Prema kvaliteti obrade, dijele se na obične (normalne) i precizne alatne strojeve. Prema brzini rada, dijele se na sporohodne i brzohodne strojeve.

Prema vrsti glavnog gibanja, dijele se na :

- alatne strojeve s kružnim (rotacijskim) glavnim gibanjem,
- strojeve s pravocrtnim glavnim gibanjem.

Prema položaju radnog vretena, mogu biti:

- horizontalni AS,
- vertikalni AS.

Prema vrsti obrade, AS dijele se na [11]:

- tokarilice,
- glodalice,
- bušilice,
- brusilice i strojeve za glačanje,
- blanjalice i strojeve za provlačenje,
- strojeve za izradu ozubljenja,
- pile,
- strojeve za izradu navoja,
- strojevi za graviranje.

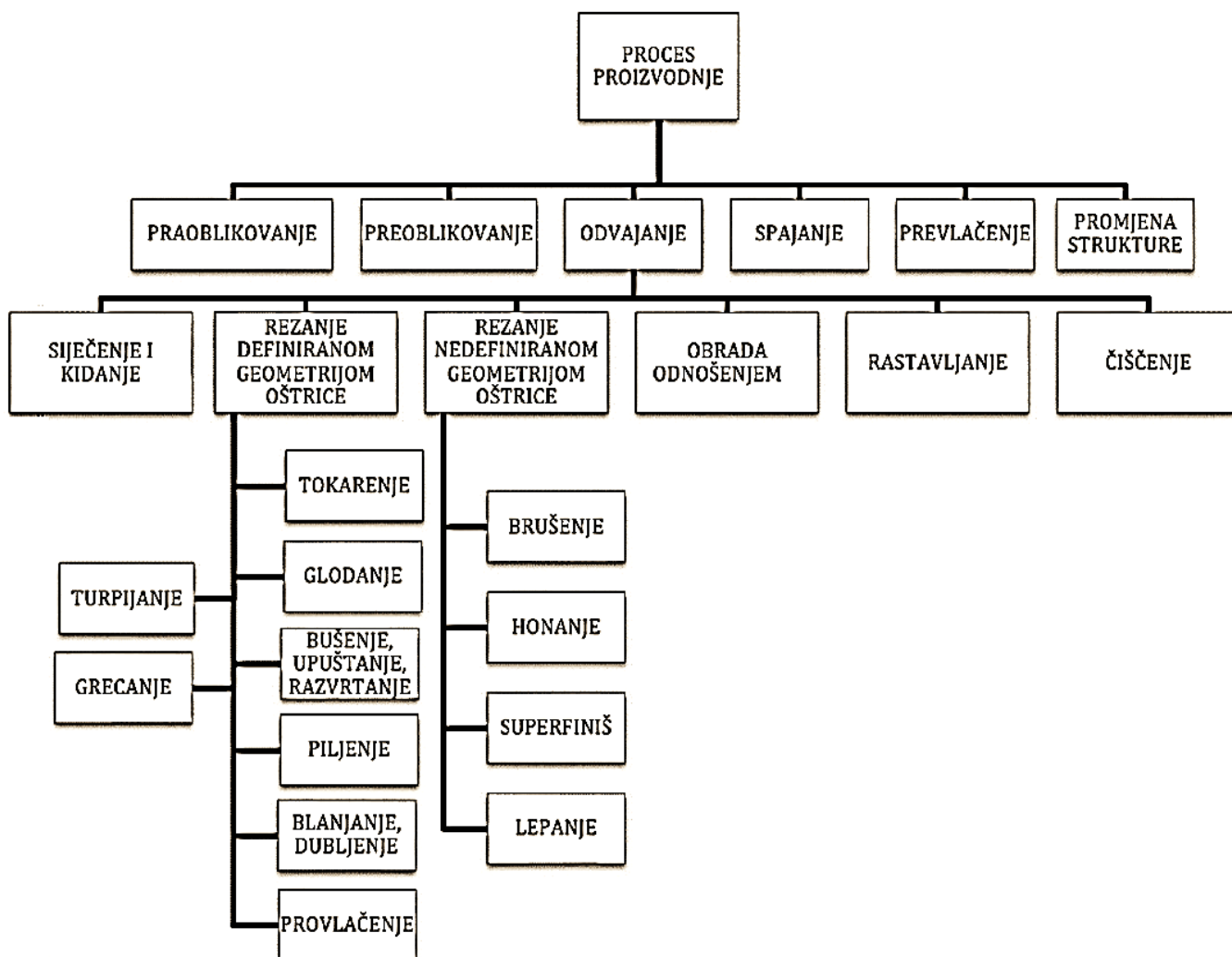
S obzirom na vrstu gibanja alata i obratka, postoje uglavnom tri slučaja [11]:

- Predmet obrade obavlja glavno gibanje, a alat pomoćno gibanje (tokarilica, dugohodna blanjalica).
- Alat obavlja glavno gibanje a predmet obrade pomoćno gibanje (glodalica, kratkohodna blanjalica)
- Alat obavlja i glavno i pomoćno gibanje (bušilica, blanjalica za obradu većih predmeta)

#### 4.2 Podjela postupaka proizvodnje prema DIN 8580

Na slici 4.1 prikazana je podjela procesa proizvodnje prema njemačkoj normi DIN 8580. U radu će biti razmatrani strojevi sa definiranom i neki strojevi sa nedefiniranom geometrijom oštrice alata.

Turpijanje i grecanje svrstavaju se u ručne obrade. Kod strojnih obrada tokarenja, glodanja, bušenja i piljenja glavno gibanje je kružno, a kod blanjanja, provlačenja i dubljenja pravocrtno.



Slika 4.1: Podjela postupaka proizvodnje prema DIN 8580



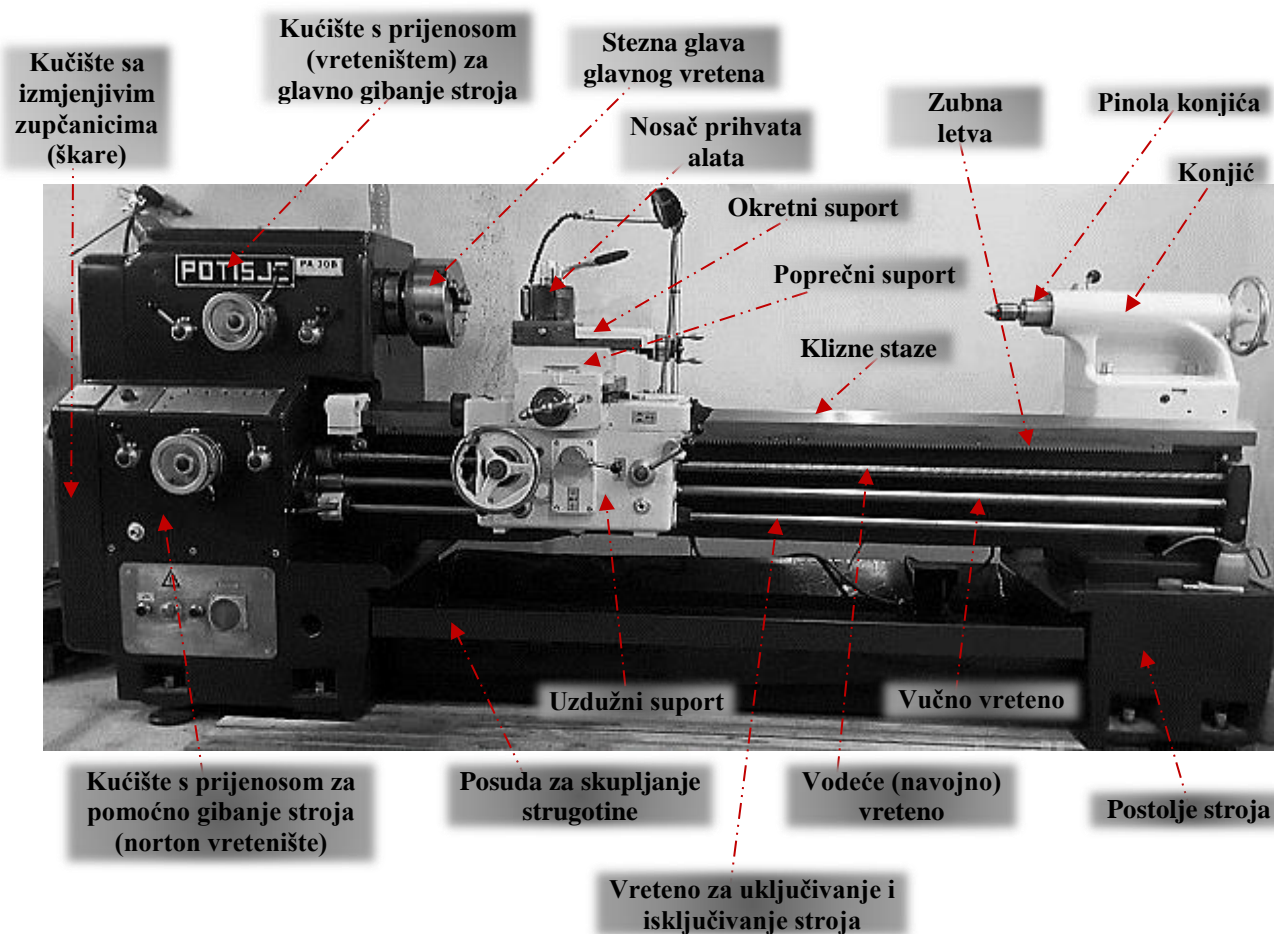
## 5. Alatni strojevi za obradu odvajanjem čestica

### 5.1 Tokarilice

Tokarilice su najčešće korišteni alatni strojevi u obradi odvajanjem čestica, s najraznovrsnijom primjenom i mogućnostima obrade u proizvodnji. Predmet obrade na tokarilici steže se u steznu glavu („amerikaner“), koja je učvršćena na glavno vreteno stroja i rotira zajedno s njim, ili između dva šiljka, pri čemu se jedan šiljak nalazi u steznoj glavi, a drugi se postavlja u konjić stroja.

Glavni zadatak tokarskog stroja odvajanje je čestica materijala reznim alatom (nožem), sa jednom oštricom. Obradom na tokarskom stroju dobivaju se osno simetrični predmeti, kružnog poprečnog presjeka. Pri takvoj obradi predmet obrade izvodi glavno kružno gibanje, dok se alat stegnut u držač noža giba zajedno sa suportom stroja i vrši pomoćno pravocrtno gibanje.

Pomoćno gibanje noža ovisno je o glavnom gibanju i obavlja se kontinuirano. Za jedan okret glavnog vretena nož se pomakne za određeni korak, takvo gibanje naziva se posmak stroja i mjeri se u mm/okretaju.



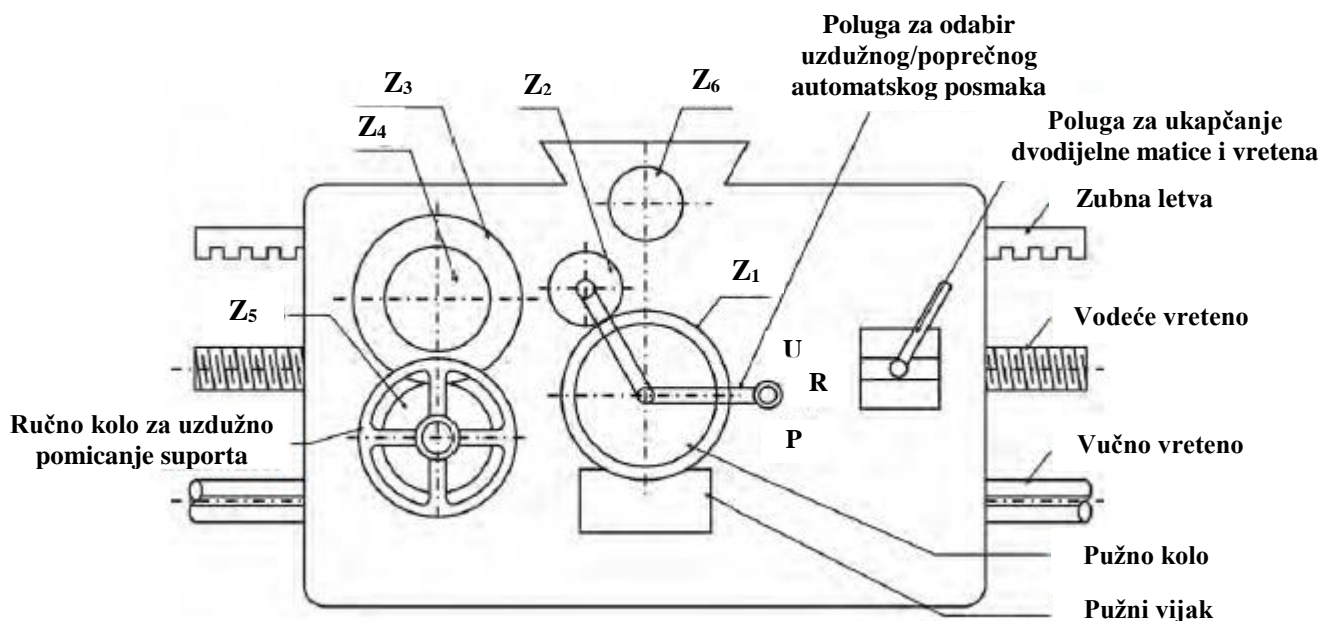
Slika 5.1: Univerzalni tokarski stroj

Od klasičnih strojeva za OOČ najviše se koriste univerzalni tokarski strojevi (slika 5.1).

U suvremenoj proizvodnji klasične strojeve sve više zamjenjuju visokoproduktivni CNC strojevi.

U nastavku je opisana uloga pojedinih elemenata i sklopova univerzalnog tokarskog stroja prikazanog na slici 5.1, te način ostvarivanja automatskog posmaka na stroju:

- Kućište s prijenosom za glavno gibanje omogućava izbor brojeva okretaja glavnog vretena, a ostvaruje se spregom parova zupčanika.
- Kućište s prijenosom za pomoćno gibanje dobiva pogon od glavnog vretena stroja i prenosi ga na uzdužni suport preko vodećeg (navojnog) ili vučnog vretena.
- Vučno vreteno kod svih tokarilica služi za prijenos gibanja sa norton uređaja na uzdužni suport, gdje se pomoću puža i pužnog vijka uzdužni i poprečni suport gibaju automatskim posmakom. Kada je vučno ili vodeće vreteno ukopčano, promjenom smjera vrtnje glavnog vretena, suport se primiče ili odmiče od kućišta gl. vretena stroja. Povećanjem brzine vrtnje glavnog vretena povećava se i brzina gibanja suporta.
- Vodeće (navojno) vreteno služi za vođenje uzdužnog suporta kod tokarenja navoja. Vodeće vreteno ima trapezni navoj po cijeloj svojoj radnoj duljini. Ukapčanje uzdužnog suporta i vodećeg vretena ostvaruje se preko dvodijelne matice, djelovanjem na polugu za ukapčanje vretena i matice (slika 5.3).
- Uzdužni suport ujedno je i nosač poprečnog i okretnog suporta, na kojem je montiran nosač noža za učvršćivanje prihvata alata. Uzdužni suport leži na kliznim stazama (vodilicama) pričvršćenim/integriranim za postolje stroja i paralelan je sa osi glavnog vretena i konjića.
- Poprečni suport se giba okomito na os glavnog vretena i klizi po poprečnim kliznim stazama uzdužnog suporta. Za podešavanje zračnosti između elemenata u relativnom gibanju (pokretnog i nepokretnog dijela suporta), koriste se kompenzacijske klinaste letve.
- Okretni suport pričvršćen je vijcima na poprečni suport, ima kružnu milimetarsku podjelu, i može se rotirati. Zaokretanjem okretnog suporta moguće je tokarenje konusa.
- Izmjenjivi zupčanici služe za odabir metričkog ili colnog koraka kod tokarenja navoja.
- Nosač prihvata alata služi za učvršćivanje prihvata noža, a može biti obični ili brzoizmjenjivi. U prihvat noža postavlja se odgovarajući nož i učvršćuje vijcima.
- Zubna letva u kombinaciji za vučnim vretenom omogućava gibanje uzdužnog suporta. Okretanjem ručnog kola uzdužnog suporta, okreće se zupčanik koji je povezan sa zubnom letvom i vrši se gibanje uzdužnog suporta. Spregom pužnog prijenosnika i zupčanika ozubljenog sa zubnom letvom uključuje se automatski uzdužni posmak.



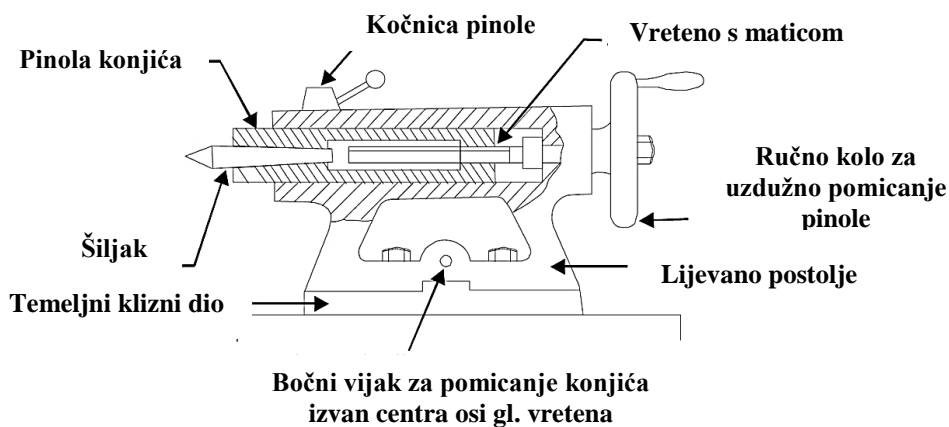
Slika 5.2: Poprečni presjek sklopa uzdužnog suporta

Na slici 5.2 prikazan je poprečni presjek sklopa uzdužnog suporta tokarskog stroja. Okretni moment se prenosi sa kućišta za prijenos pomoćnog gibanja (norton vreteništa), preko ozubljenih zupčanih parova (slogova), na vučno i navojno vreteno. Pužni vijak vezan je sa vučnim vretenom preko usadnog klina, koji je usađen u utor za klin izrađenim uzduž cijelog radnog dijela vučnog vretena i uzduž pužnog vijka (spoj glavine i vratila). Na taj način ostvaruje se pretvorba kružnog gibanja vučnog vretena i pužnog prijenosnika, u pravocrtno gibanje suporta stroja.

Pužni vijak ozubljen je sa pužnim kolom. Na istom vratilu nalazi se zupčanik (Z<sub>1</sub>). Veći zupčanik Z<sub>1</sub> ozubljen je sa manjim (Z<sub>2</sub>), a vezani su zajedno polugom kako je prikazano na slici 5.2.

Položaj zupčanika (Z<sub>4</sub>) fiksiran je tako da uvijek bude u zahvatu sa zubnom letvom stroja. Zupčanik (Z<sub>3</sub>) na istom je vratilu kao i (Z<sub>4</sub>). Zupčanik (Z<sub>3</sub>) ozubljen je sa zupčanicom koji je dio vratila na kojem se nalazi ručno kolo za pomicanje uzdužnog suporta. Zupčanicima (Z<sub>3</sub>) i (Z<sub>5</sub>) uvijek su u zahvatu.

Zupčanik (Z<sub>6</sub>) fiksiran je za poprečno vratilo sa trapeznim navojem pomoću kojeg se ostvaruje gibanje poprečnog suporta. Polugu za odabir uzdužnog/poprečnog smjera automatskog posmaka moguće je pozicionirati u tri položaja. U neutralnom položaju (R), (slika 5.2), automatski posmaci su isključeni, moguće je ručno pomicanje suporta u poprečnom i uzdužnom smjeru. U položaju poluge (U), ozubljeni su zupčanicima (Z<sub>2</sub>) i (Z<sub>4</sub>), suport se automatskim posmakom pomiče u uzdužnom smjeru. Pomicanjem poluge u položaj (P), zupčanicima (Z<sub>2</sub>) i (Z<sub>6</sub>) su u zahvatu, a poprečni suport giba se automatskim posmakom.

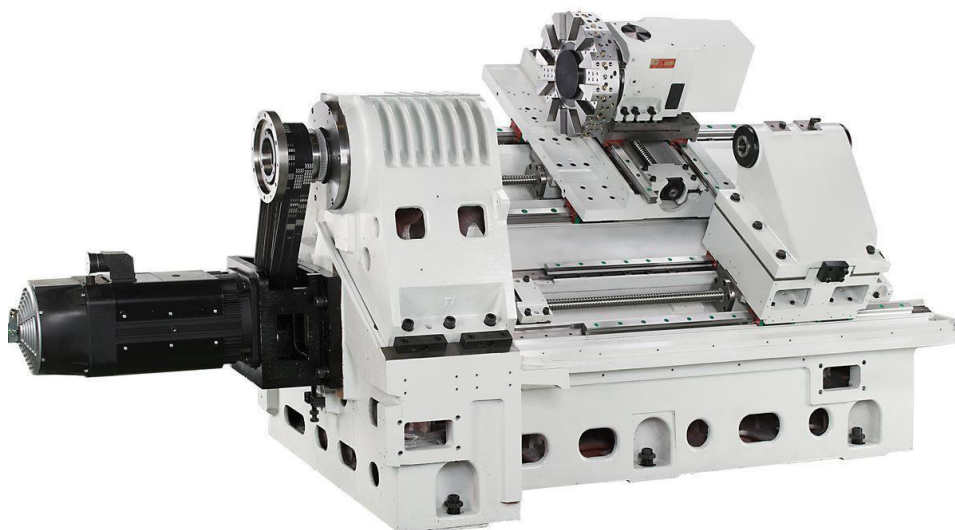


Slika 5.3: Sklop konjića tokarskog stroja [13]

- Konjić (slika 5.3) služi za držanje pribora sa konusnim prihvatom, npr. šiljaka, koji služe za podupiranje dugih obratka, steznih glava za prihvat svrdla, reznih alata sa konusnom drškom, npr. svrdla, razvrtača itd. Konjić se vijcima preko poluge može učvrstiti za krevet tokarskog stroja i osigurati od pomicanja. Uzdužno je pomičan po kliznim stazama stroja. Pinola konjića ima morse konus za prihvat alata sa konusnom drškom. Kod izrade konusa, konjić se može zamaknuti van osi gl vretena stroja, okretanjem bočnog vijka.
- Klizne staze (vodilice) služe za nošenje, vođenje i gibanje pokretnih i nepokretnih dijelova stroja; uzdužnog suporta, konjića, nepokretne linete, te raznih pribora.
- Osnovne značajke tokarskog stroja:
  - maksimalna duljina između šiljaka, visina šiljaka, najveći mogući promjer koji se može obraditi, snaga stroja, maksimalna brzina okretanja glavnog vretena itd.

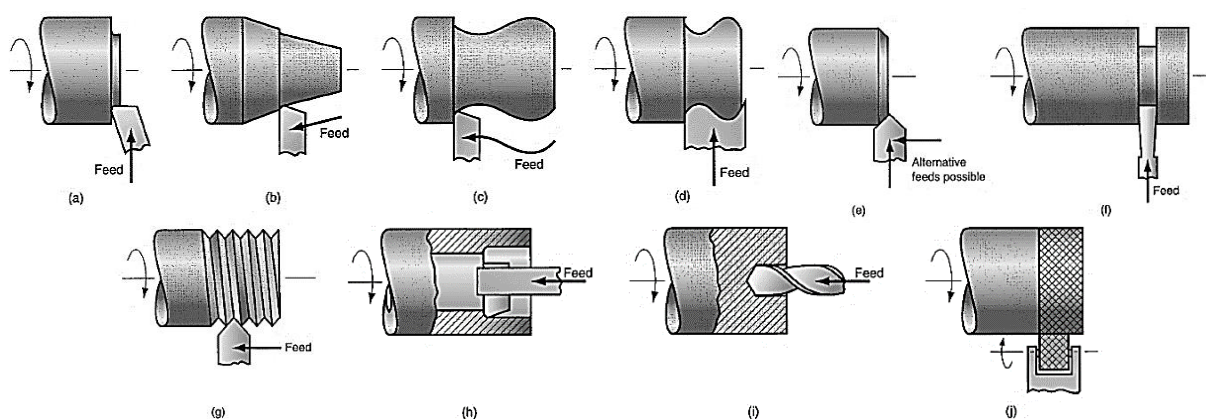
Prema konstrukciji i glavnim svojstvima, tokarilice se dijele na [3]:

- Tokarilice sa šiljcima (obične i univerzalne tokarilice)
- Čeone tokarilice
- Vertikalne (karusel) tokarilice
- Revolverske tokarilice
- Višerezne tokarilice
- Kopirne tokarilice
- Poluautomati i automati
- Tokarilice specijalne namjene
- CNC tokarilice



Slika 5.4: Osnovna konstrukcija CNC tokarilice

Kod CNC tokarilica najčešća je nešto drugačija, nagnuta krevetna izvedba postolja stroja. Ugrađena su kuglična navojna vretena i kuglične vodilice za brže i točnije pozicioniranje, dodana je upravljačka jedinica stroju, te magazin alata za automatsku izmjenu alat. Upotrebom servo motora, moguća je nestupnjevana promjena broja okretaja glavnog vretena, time je smanjen prostor potreban za vretenište stroja. Hidrauličko ili pneumatsko zatezanje američanske glave i konjića omogućuje bržu izmjenu obratka. Na slici 5.4 prikazana je osnovna konstrukcija CNC tokarilice bez šasije i upravljačke jedinice. Sklopovi (moduli) razvijeni su od osnovne izvedbe klasične tokarilice. Modularnim pristupom gradnji AS zadržana su osnovna obilježja klasične tokarilice, koja su uvelike unaprijeđena i poboljšana, te prilagođena novom tipu stroja.



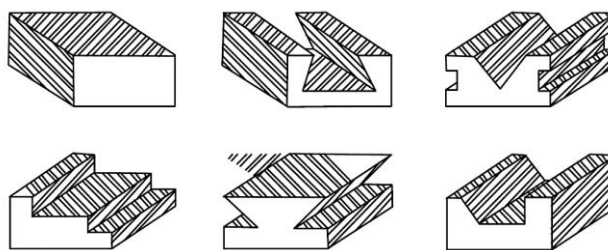
Slika 5.5: Osnovne operacije tokarenja

Na slici 5.5 prikazane su osnovne operacije tokarenja: a) čeonu tokarenje, b) tokarenje konusa, c) konturno tokarenje, d) kopirno tokarenje, e) tokarenje kosine, f) odrezivanje, g) tokarenje navoja, h) proširivanje provrta, i) bušenje, j) renderiranje (rovašenje).

## 5.2 Glodalice

Glodalice su alatni strojevi za obradu odvajanjem čestica. Kod obrade na glodalici, alat (npr. glodalo, svrdlo..), ima više reznih oštrica i vrši glavno kružno gibanje, a predmet obrade pomoćno pravocrtno gibanje. Alat je učvršćen u prihvat u konusnom drškom koja se učvršćuje u glavno vreteno stroja. Na glodalicu može biti montiran jedan ili više alata istovremeno, koji mogu simultano vršiti obradu. Stoga je primjena glodalica veoma česta u proizvodnji. Prihvati alatnih strojeva su standardizirani.

Glodalice se koriste za izradu ravnih površina, kontura, raznih kosina, okruglih oblika, glodanje vanjskih i unutarnjih navoja itd. U novije vrijeme zbog veće produktivnosti i točnosti, glodalice su gotovo zamijenile kratkohodne i dugohodne blanjalice. Na slici 5.6 prikazan je osnovni izgled nekih od površina dobivenim operacijama glodanja.



*Slika 5.6: Tipični izgled površina obrađenih operacijama glodanja [24]*

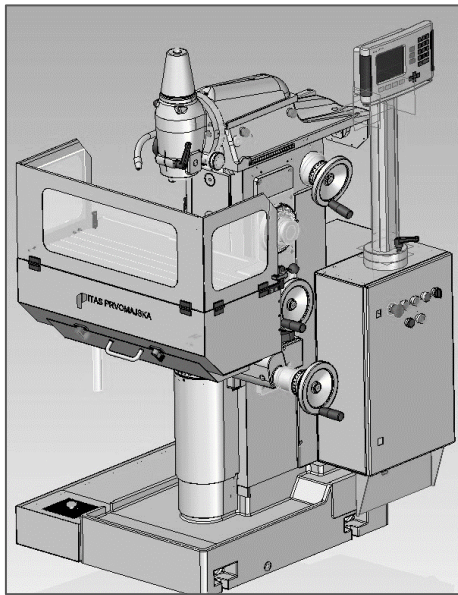
Obradak mora biti učvršćen na stolu glodalice i osiguran od pomicanja za cijelo vrijeme trajanja obrade. Osiguranje od pomicanja kod obrade na glodalici postiže se na nekoliko načina; stezanjem obratka zatezačima na stol glodalice ili u napravu, stezanjem u čeljusti škripca, u čeljusti stezne glave ili čeljusti stezne glave diobenog aparata, te pomoću konusnog trna između šiljaka.

Vrste glodalica prema izvedbi i položaju radnog vretena:

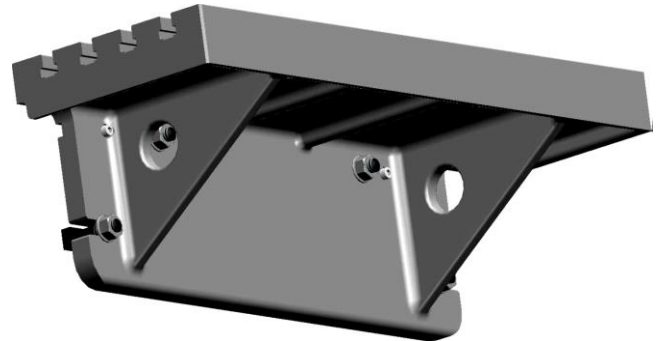
- vertikalne glodalice,
- horizontalne glodalice,
- univerzalne glodalice,
- portalne glodalice,
- specijalne glodalice.

Glodalice mogu biti izvedene sa numeričkim upravljanjem ili sa ugrađenim mjernim letvama i numeričkim pokazivačem pozicije, kao kod glodalice na slici 5.7.

Kroz ovaj rad detaljno je obrađena CNC glodalica, te opisani najbitniji elementi i sklopovi stroja, kao i proces podešavanja, prilagodbe i sklapanja stroja (montaže).



Slika 5.7: Univerzalna glodalica

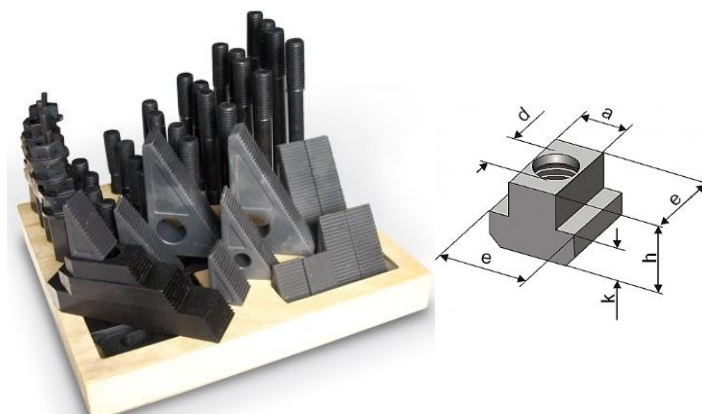


Slika 5.8: Radni stol glodalice

Na slici 5.7 prikazana je univerzalna alatna glodalica sa ugrađenim mjernim letvama po X,Y i Z osima, za precizno pozicioniranje i numeričkim uređajem za prikazivanje trenutnog položaja. Glodalica ima zakretnu glavu sa nonius podjelom za izradu kosih površina, te mogućnost postavljanja prihvaća alata i obrade u horizontalnom smjeru.

Slika 5.8 prikazuje radni stol glodalice kojeg je moguće skidati, može se montirati npr. nagibni stol za obradu raznih kosina i specijalnih pozicija.

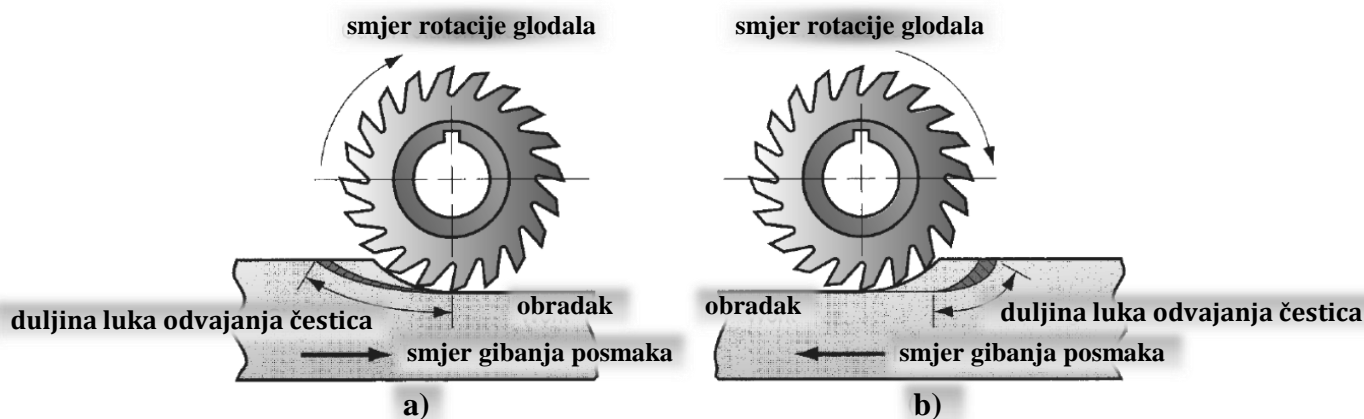
Kao standardni pribor glodalica, koriste se diobeni aparati sa podupiračem, strojni škripci raznih veličina, stezne glave itd. U T-utore radnog stola umeću se posebno izrađeni T-vijci ili T-matice pomoću kojih se u kombinaciji sa zatezačima i podupiračima učvršćuju elementi na radni stol glodalice.



Slika 5.9: Stezni elementi za pritezanje obratka na radnom stolu glodalice

Postoje dva načina glodanja obzirom na rotaciju glodala i gibanje posmaka, a to su:

- protusmjerno glodanje, (slika 5.10, a),
- istosmjerno glodanje, (slika 5.10 b).



Slika 5.10: Protusmjerni i istosmjerni smjer glodanja

Kod protusmjernog glodanja, odvajanje čestica materijala odvija se na način da alat (glodalo), rotira u suprotnom smjeru od kretanja posmaka (obratka).

Kod takvog načina obrade debljina odvojene čestice materijala je najmanja na ulazu alata u obradak, a najveća na izlazu. Rezultat takvog gibanja je promjenjiva vrijednost reznih sila, od minimalnih vrijednosti na početku obrade do maksimalnih na završetku.

Nedostatak takve obrade postizanje je lošije kvalitete obrađene površine i mogućnost izvlačenja obratka iz stezne naprave.

Istosmjernim glodanjem, oštrice rotirajućeg alata okreću se u smjeru kretanja posmaka, glodalo se „penje“ po obratku. Volumen odvojenih čestica materijala najveći je na početku obrade, te se postepeno smanjuje. Takvim tipom obrade ostvaruje se manje trenje između oštrice alata i materijala koji se obrađuje, a samim time i manje generirane topline.

Sve to povoljno utječe na rezne karakteristike oštrice, te produljuje njezin vijek trajanja i kvalitetu obrađene površine, koja je bolja nego u slučaju protusmjernog glodanja.

Kod istosmjernog glodanja, nešto je manja potrebna snaga, jer se smjer posmaka ne suprotstavlja oštricama alata (oblik klina). [13]



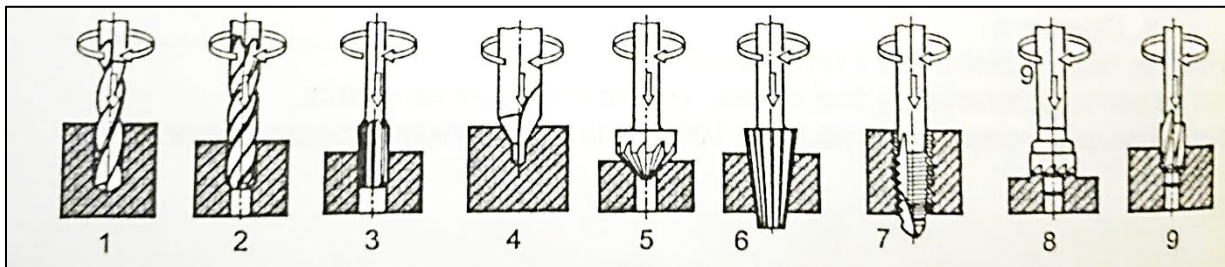
### 5.3 Bušilice

Bušilice su alatni strojevi za obradu odvajanjem čestica koje koriste alat za bušenje novih i modifikaciju postojećih provrta cilindričnog oblika. Za bušenje provrta koriste se svrdla, a najviše su u uporabi spiralna svrdla. Glavno gibanje je kružno i izvodi ga alat. Pomoćno pravocрно gibanje u smjeru osi rotacije također izvodi alat. Obradak je učvršćen na stolu i miruje.

Vrste bušilica prema konstrukcijskoj izvedbi:

- stolne i stolno-stupne bušilice,
- stupne bušilice,
- radijalne bušilice,
- koordinatne bušilice,
- agregatne bušilice,
- redne bušilice,
- horizontalne bušilice,
- viševretene bušilice.

Na bušilicama se osim zabušivanja i izrade novih provrta bušenjem, mogu izvoditi i druge operacije obrade postojećih provrta. Osnovne operacije na bušilicama prikazane su na slici 5.11.



Slika 5.11: Osnovne obrade i alati na bušilici [10]

1. bušenje,
2. proširivanje ( prethodi operaciji razvrtanja),
3. razvrtanje,
4. zabušivanje,
5. upuštanje provrta (konusno),
6. razvrtanje konusa,
7. urezivanje navoja,
8. vanjsko (ravno) upuštanje,
9. upuštanje provrta (ravno).

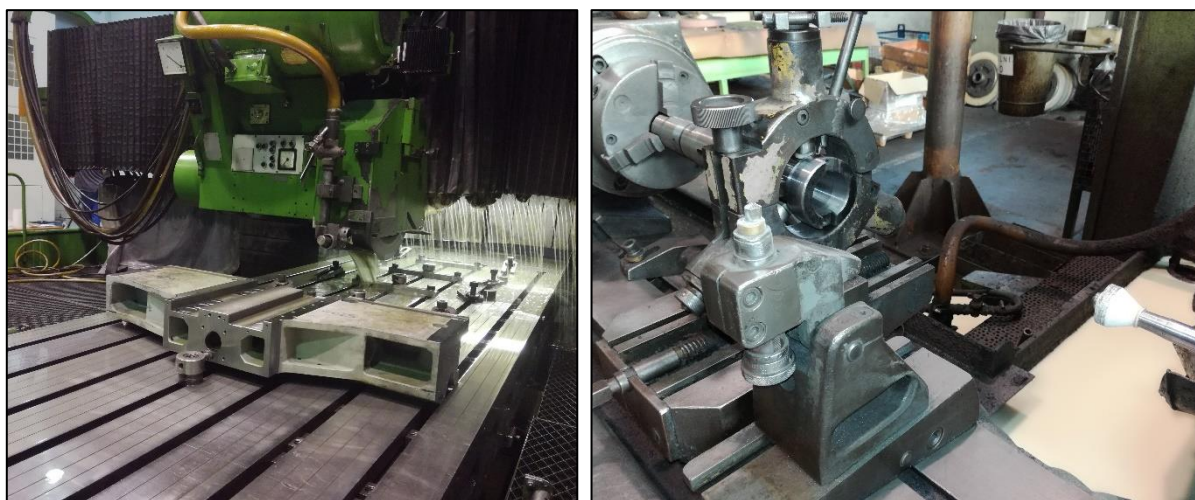
#### **5.4 Strojevi za brušenje – brusilice**

Brusilice su alatni strojevi za finu obradu odvajanjem čestica. Alat je brusna ploča, nedefinirane geometrije rezne oštrice. Brus kao alat za brušenje je višerezan, sastavljen od mnogo međusobno spojenih brusnih zrnaca od prirodnog ili umjetnog brusnog sredstva. Brušenjem se odvajaju čestice vrlo male debljine, jer se u zahvatu istodobno nalazi mnogo oštrica. Ovisno o mnogo faktora koji uvjetuju proces brušenja, čestice se odvajaju rezanjem i trenjem. Teži se da u procesu brušenja prevladava odvajanje čestica rezanjem, jer su tada sile brušenja manje, pa je i kvaliteta brušene površine bolja [28]. Gibanja alata i obratka kod obrade brušenjem ovise o alatnom stroju na kojem se vrši obrada, te geometriji površine koja se obrađuje, odnosno elementu koji se brusi.

Strojevi za brušenje prema namjeni i konstrukciji mogu biti [11]:

- brusilice za ravno brušenje (plansko brušenje),
- brusilice za vanjsko okruglo brušenje ( sa šiljcima i bez šiljaka),
- brusilice za unutarnje okruglo brušenje,
- brusilice za cilindre,
- brusilice za čeonu brušenje,
- specijalne brusilice za fino brušenje ili glačanje (honanje, lepanje, superfiniš, poliranje),
- brusilice specijalne namjene,
- portalne brusilice

Kod svih obrada brušenja, alat obavlja glavno kružno gibanje, a obradak sporedno. Sporedno gibanje može biti pravocrtno, kružno ili složeno od kružnog i pravocrtnog gibanja obratka i/ili alata. Na slici 5.12 – lijevo, prikazano je brušenje vertikalnih kliznih staza križnog suporta stroja, na portalnoj brusilici, lijevo je prikazano brušenje unutarnjeg konusa vratila radnog vretena stroja.



*Slika 5.12: Portalno brušenje kliznih staza križnog suporta (lijevo),  
brušenje konusa vratila radnog vretena CNC glodalice (desno)*

### **5.5 Blanjalice i strojevi za provlačenje**

Blanjalice su alatni strojevi za obradu odvajanjem čestica. Koriste se za obradu ravnih vodoravnih, okomitih i kosih površina, te različitih prizmatičnih oblika, npr. utora, kanala, vodilica itd.

Alati kod blanjanja slični su kao kod tokarenja. Blanjanjem se postiže isti efekt obrade kao kod tokarenja, samo što je radijus zakrivljenosti obrađivane površine beskonačan (ravna ploha).

U suvremenoj proizvodnji, glodalice su zamijenile blanjalice, kao brži i produktivniji strojevi.

Osnovna podjela blanjalice:

- kratkohodna blanjalice – glavno gibanje izvodi alata, a pomoćno obradak ,
- dugohodna blanjalice – glavno gibanje izvodi obradak (stol), a sporedno alat,
- vertikalna blanjalice (dubilica) – glavno gibanje izvodi alat, a sporedno obradak

Prednosti blanjalice [24]:

- rad je relativno točniji nego kod glodalica,
- alati su jednostavni i relativno jeftini (slični tokarskim noževima),
- strojevi su jednostavni i pregledni.

Nedostaci blanjalice [24]:

- strugotina se skida samo kod hoda naprijed, povratnim hodom stroj ne obrađuje, time se povećava vrijeme izrade proizvoda,
- oštrica noža traje kraće nego kod glodala na glodalici,
- uslijed ubrzanja masa kod velikih brzina kretanja, stroj ponekad trese.

Na slici 5.13 prikazano je dugohodno blanjanje pritezne plohe radnog stola glodalice, na portalnoj glodalici.



*Slika 5.13: Portalno (dugohodno) blanjanje pritezne plohe radnog stola glodalice*

Provlačenje je visokoproduktivan i precizan postupak obrade odvajanjem čestica kojim se izrađuju pravilni i nepravilni oblici. Obično se primjenjuje za obradu provrta, utora, žlijebova i drugih profilnih oblika. Obrada se izvodi na alatnim strojevima, provlakačicama. Glavno gibanje je kontinuirano pravocrtno i izvodi ga alat (igla za provlačenje). Posmičnog gibanja nema. Ako se provlači zavojnica onda je glavno gibanje složeno od translacije i rotacije alata. Kod obrade dubokih provrta i spirala u provrtima, ovaj postupak je nezamjenjiv [7].



*Slika 5.14: Princip obrade iglom za provlačenje (lijevo), neki od oblika profila koji nastaju obradom provlačenja (desno)*



*Slika 5.15: Stroj za provlačenje*

## 5.6 Strojevi za izradu ozubljenja

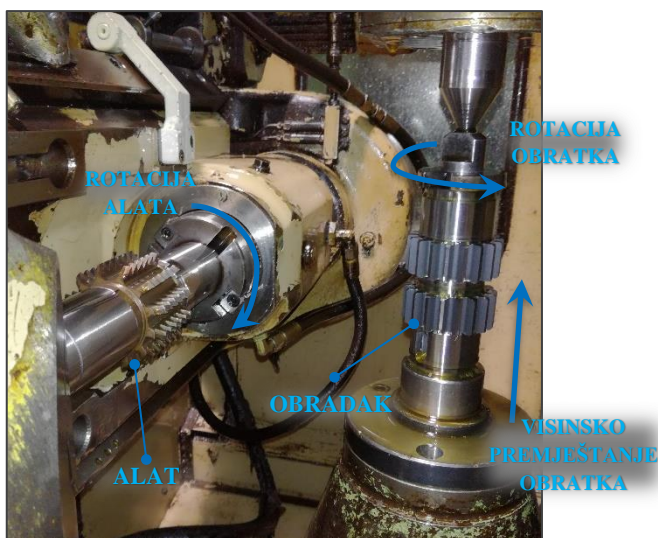
Strojevi za izradu ozubljenja mogu se prema [18], podijeliti na:

- strojeve za obradu cilindričnih zupčanika (s ravnim i kosim zubima),
- strojeve za obradu stožnih zupčanika (s ravnim, kosim i zakrivljenim zubima).

Postupci izrade ozubljenja mogu se podijeliti na:

- obradu profilnim alatima,
- obradu odvalnim postupkom.

Za serijsku i masovnu proizvodnju zupčanika koriste se specijalni strojevi koji rade na principu relativnog kotrljanja između alata i obratka. Način obrade relativnim kotrljanjem osigurava visoku točnost izrade, bolju kvalitetu u odnosu na ostale postupke, te visoku produktivnost procesa. Obrada se vrši na strojevima tipa „Pfauter“, korištenjem odvalnog glodala kao reznog alata. Na slici 5.16 prikazan je Pfauter postupak odvalnog glodanja. Strjeljicama su označena gibanja alata i obratka, za vrijeme trajanja obrade.



Slika 5.16: Stroj za odvalno glodanje zupčanika Pfauter postupkom

## 5.7 Pile

Pile za metal su alatni strojevi za rezanje profila različitih oblika i veličina, na dimenzije prikladne za obradu na strojevima. Najčešće su to dugački šipkasti profili koji su predugi da bi se obrađivali strojevima za OOČ.

Postoje različite izvedbe strojnih pila za rezanje metala, a u praksi se najčešće koriste:

- tračne pile (vertikalne i horizontalne),
- okvirne pile,
- cirkulari.

## **6. Zahtjevi kod konstrukcije i izrade alatnih strojeva**

Strojevi za obradu metala odvajanjem (alatni strojevi), karakterizirani su visokom točnošću obrade, u odnosu na strojeve za oblikovanje. U usporedbi sa strojevima za obradu deformiranjem (npr. kovanjem..), koji su ekonomičniji za velikoserijsku proizvodnju, strojevi za obradu odvajanjem se koriste za relativno manje serije.

Za uspješan razvoj, konstrukciju i proizvodnju alatnih strojeva, neophodno je poznavati temeljna inženjerska znanja [5]:

1. Potrebno je poznavati samu mehaniku (kinematiku) procesa obrade, kako bi se mogla procijeniti veličina i smjer sile rezanja, da se iste mogle kontrolirati u procesu obrade,
2. Poznavanje obradivosti materijala koji se koriste u strojogradnji,
3. Poznavati svojstva materijala koji se koriste za izradu elemenata strojeva,
4. Dobro poznavati sa tehnološkog aspekta i sa stajališta ekonomičnosti procese strojne obrade, neophodne za izradu strojnih dijelova, ,
5. Trajnost (postojanost u različitim uvjetima) i svojstva različitih materijala za gradnju AS,
6. Poznavati inženjerske principe ekonomične proizvodnje.

Proizvodnost AS može se mjeriti obzirom na količinu proizvedenih komada u jedinici vremena, po volumenu odvojenog materijala u jedinici vremena ili obzirom na specifičnu brzinu rezanja po jedinici utrošene energije [5].

Stupanj iskorištenja AS moguće je povećati na način da se:

- Poveća broj okretaja i posmak,
- Poveća instalirana snaga stroja,
- Koristi više alata istovremeno ili obradom većeg broja obratka istovremeno i obradom maksimalnog broja površina u jednom stezanju,
- Povećanje posmične brzine kod neproizvodnih kretnji alata (primicanje i odmicanje alata),
- Povećanje stupnja automatizacije AS i korištenje agregata i priključaka,
- Korištenje suvremenog NC i CNC upravljanja,
- Prilagoditi proces obrade s obzirom na materijal obratka, kompleksnost izrade, zahtijevanu točnost i površinsku hrapavost,
- Koristiti stege i naprave koje će omogućiti stezanje i obradu komada u najmanjem mogućem vremenu.

Alatni strojevi konstruirani su i prilagođeni tako da postignu najveću moguću produktivnost i da zadrže propisanu točnost i kvalitetu obrade, tijekom čitavog radnog vijeka.

Međutim, kako bi ti zahtjevi mogli biti ispunjeni, svaki strojni element treba biti dizajniran i izveden da bude što krući, a da pritom zadovoljava zahtjeve čvrstoće.

Alatni stroj mora imati i odgovarajuću stabilnost, te zadovoljiti slijedeće osnovne zahtjeve [5]:

- Imati visoku statičku krutost dijelova stroja, osobito postolja, raznih spojeva i vretena,
- Vibracije u radu stroja treba svesti na minimum,
- Imati adekvatnu mogućnost prigušenja vibracija (zavisi od materijala postolja),
- Postizanje velikih posmičnih brzina i brzina vrtnje – zavisi o pogonu i prigonu stroja,
- Minimalno trošenje pokretnih dijelova (npr. kliznih površina),
- Utjecaj topline na promjenu dimenzija strojnih elemenata treba biti sveden na minimum,
- Trebaju biti ostvareni niski troškovi: projektiranja (razvoja), održavanja, popravaka i općenito troškova proizvodnje.

Jedna od najvažnijih zadaća alatnog stroja držanje je obratka u stegnutom položaju za cijelo vrijeme trajanja obrade, prihvat alata, te ostvarivanje relativnog gibanja oštrice alata kako bi se postigla zahtijevana geometrija i točnost obratka.

Stroj treba raditi mirno, bez trzaja i potresa. Mirniji rad stroja osigurava točniju obradu.

Slijedeći elementi sastavni su dijelovi alatnog stroja:

- Građa stroja koja se sastoji od postolja, stupa ili okvira,
- Vodilice i prihvat alata,
- Sklop vreteništa stroja sa ležajevima vretena,
- Pogonske jedinice stroja,
- Elementi za prihvat alata i obratka,
- Upravljačka jedinica stroja,
- Temelj stroja.

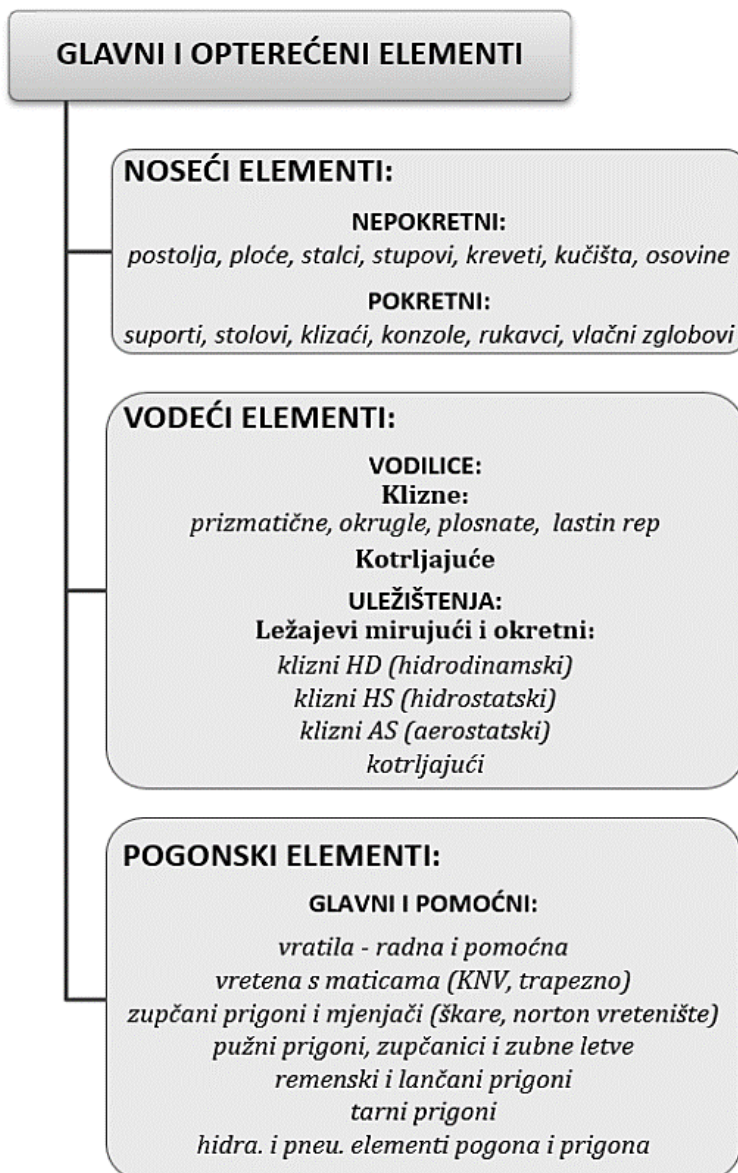
Naprezanje koje se javlja u radu stroja i za vrijeme obrade, može dovesti do deformacija stroja ili obratka.

Glavni razlozi pojave naprezanja na alatnim strojevima su slijedeći:

- Zbog statičkog opterećenja stroja kojeg izaziva vlastita težina stroja i njegovih dijelova
- Dinamičkog opterećenja, izazvanog dijelovima stroja koji rotiraju ili su u gibanju
- Sila rezanja, nastala usljed odvajanja čestica materijala

## 7. Elementi i sklopovi alatnih strojeva

Podjela konstrukcijskih elemenata alatnih strojeva po funkciji, namjeni i vrsti [15]:



Glavni sklopovi alatnih strojeva:

- Postolje AS
- Pogon stroja za glavno i pomoćno (posmično/dostavno) gibanje
- Vretenište stroja i sklop glavnog vretena
- Pribor za prihvat alata i obratka
- Vodilice
- Radni stol (kod glodalica, bušilica, blanjalica...)
- Upravljačka jedinica stroja (NC, CNC strojevi)



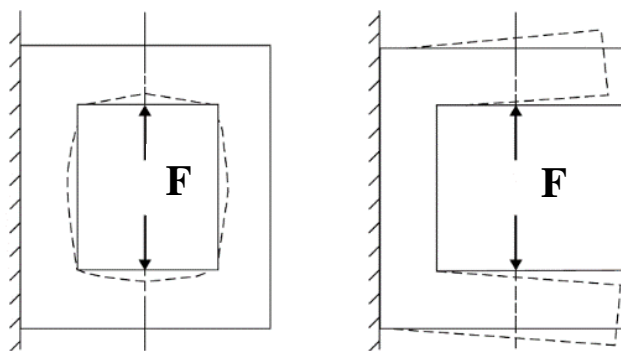
## 7.1 Postolja alatnih strojeva

Glavna zadaća postolja AS:

- prihvat svih pokretnih i nepokretnih dijelova stroja (vretena, stupova i elemenata upravljanja), osiguranje stabilnosti i točnosti procesa obrade,
- prihvat opterećenja (sila, momenata, masa), prigušenje vibracija i njihov prijenos na temelj stroja, prijenos topline.

Prema obliku konstrukcije, postolja mogu biti:

- otvorenog tipa – manja je krutost AS, bolja pristupačnost postavljanja alata i obratka; primjer stupnih (konzolnih) izvedbi stroja (slika 7.1, desno),
- zatvorenog tipa – veća je krutost stroja (precizniji stroj); portalna izvedba (slika 7.1, lijevo).



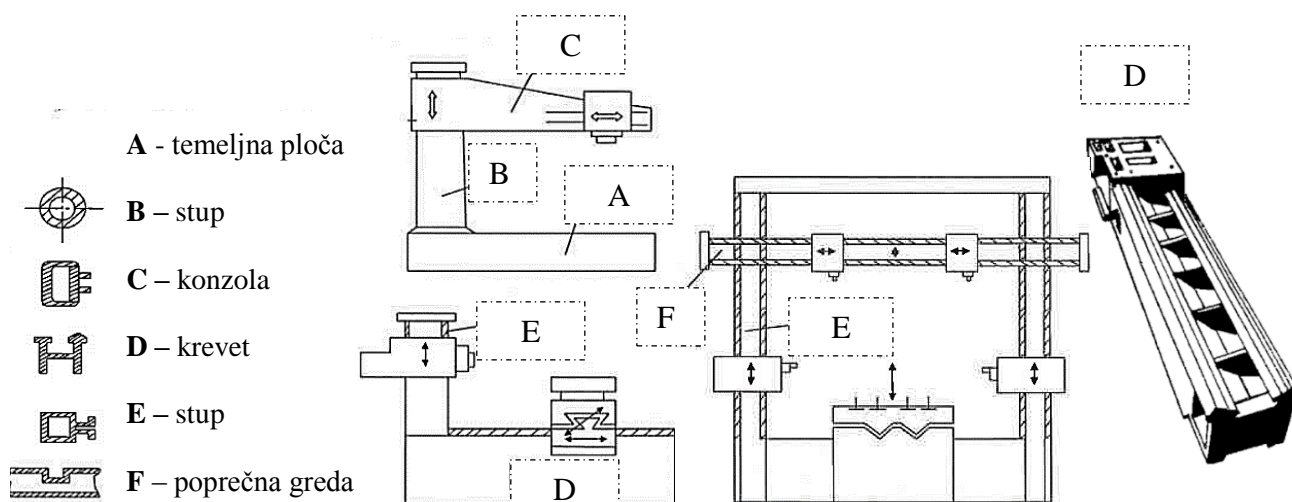
Slika 7.1: Deformacije uslijed djelovanja sile kod otvorene i zatvorene konstrukcije AS

Najčešći materijali i izvedbe postolja AS:

- lijevana izvedba (sivi lijev, mineralni lijev), (slika 7.3 – a),
- zavarena čelična konstrukcija,
- kombinacija – zavarena čelična konstrukcija sa kompozitnom ispunom.

Oblici (dijelovi) postolja AS (slika 7.2):

- A – temeljna ploča – primjena kod bušilica i manjih glodalica za prihvat stupa, može se koristiti kao rezervoar za SHIP,
- B – stupovi – mogu biti okrugli ili prizmatični, primjena kod bušilica i manjih glodalica
- C – konzola – kod radijalnih bušilica, za prihvat vreteništa,
- D – krevet – primjena kod tokarilica, za prihvat suporta stroja, konjića i lineta, kosa izvedba koristi se kod gradnje CNC strojeva – olakšano odvođenje odvojene čestice,
- F – poprečna greda – kod portalne izvedbe AS, povezuje dva stupa, daje krutost stroju i služi za prihvat vreteništa glodaćih glava.



Slika 7.2: Osnovni oblici postolja alatnih strojeva

▪ **Postolja iz sivog lijeva:**

Sivi lijev se dobiva pretaljivanjem sivog sirovog željeza i stare lomljevine čelika i lijeva u kupolci. Veći dio ugljika izdvaja se u obliku listića (lamela) grafitu, a manji dio u cementitu tako da je prijelom presjeka sive boje.

Sivi lijev je Fe – legura s više od 2% C koja je kristalizirala mješovito ( u primarnoj i prvom dijelu sekundarne kristalizacije stabilno , a u drugom dijelu sekundarne kristalizacije metastabilno).

Kako je kod čistih Fe-C legura stabilna kristalizacija moguća samo uz vrlo sporo hlađenje (vrijeme ohlađivanja teži u beskonačnost), to je za tehničke svrhe nužno da se leguri doda neki element koji forsira grafitizaciju, tako da se grafit postigne i uz konačnu brzinu hlađenja. To je kod sivog lijeva silicij [16].

Svojstva sivog lijeva [16]:

Postolja alatnih strojeva najčešće se izrađuju iz sivog lijeva, stoga su u nastavku dana detaljna svojstva, primjena i postupci toplinske obrade koji se primjenjuju kod postolja iz SL.

Tehnološka svojstva:

- mogu se lijevati odljevci svih masivnosti,
- proizvodnja je jednostavna i jeftina nego kod drugih ljevova,
- livljivost je vrlo dobra , linearno sakupljanje iznosi 1%,
- relativno nisko talište,
- dobra je rezljivost (obrdivost OOC),
- slaba je zavarljivost radi niske istežljivosti i visokog postotka C.

Mehanička svojstva SL:

- relativno niska vlačna čvrstoća,
- visoka tlačna čvrstoća – oko 3 do 4 puta veća od  $R_m$ ,
- vrlo niska istezljivost,  $A < 1 \%$ ,
- slaba žilavost,
- promjenjiv modul elastičnosti  $E = 60\ 000 \dots 155\ 000\ \text{N/mm}^2$ , što je viša  $R_m$ , to je viši  $E$ . Što je elastičnost viša, lijev je kvalitetniji.

Ostala svojstva:

- dobra ležišna ( antifriksijska ) svojstva – grafit podmazuje i kod nestanka podmazivanja,
- vrlo dobra sposobnost prigušenja vibracija,
- bubrenje (porast obujma) pri povišenim temperaturama ( $> 400^\circ\text{C}$ ),
- oporan na atmosferilije, zbog povišenog udjela Si.

Primjena sivog lijeva je raširena za odljevke svih masivnosti, npr:

- postolja alatnih strojeva,
- kućišta motora i reduktora,
- košuljice cilindra, stapovi i prsteni stapova,
- klizni ležajevi,
- radijatorski članci,
- dijelovi poljoprivrednih strojeva...

Sivi lijev u gradnji AS:

- skup model i kalup - koristi se za serijsku proizvodnju postolja AS
- na mjestima vijčanih spojeva, lijev se treba popustiti
- poslije lijevanja postolje se obvezno podvrgava postupku žarenja ili starenja

Toplinska obrada sklopova stroja iz SL:

Postupkom starenja smanjuje se 50 % unutarnjih napetosti po godini, što je sporo i skupo. Umjesto toga koristi se postupak žarenja.

Zagrijavanjem komada brzinom od  $30^\circ\text{C/h}$  do temperature  $500^\circ\text{C}$ , zatim hlađenjem brzinom  $10^\circ\text{C/h}$ , do temperature  $580^\circ\text{C/h}$ , i držanje u peći 38 sati. Nakon toga hlađenje brzinom  $10^\circ\text{C/h}$  do temperature  $380^\circ\text{C}$ , i konačno, hlađenje na sobnu temperaturu brzinom  $15^\circ\text{C/h}$ .

Rezultat takvog postupka žarenja je 5% zaostalih unutarnjih napetosti [17].

Osnovni postupci toplinske obrade prema [16] jesu:

- žarenje za smanjenje zaostalih naprezanja: 350...650°C
- meko žarenje (ferezitizacija): 650...825°C
- normalizacija: 800...950°C
- poboljšavanje: 800...900/ulje/popuštanje pri 200...600°C

▪ **Postolja iz mineralnog lijeva:**

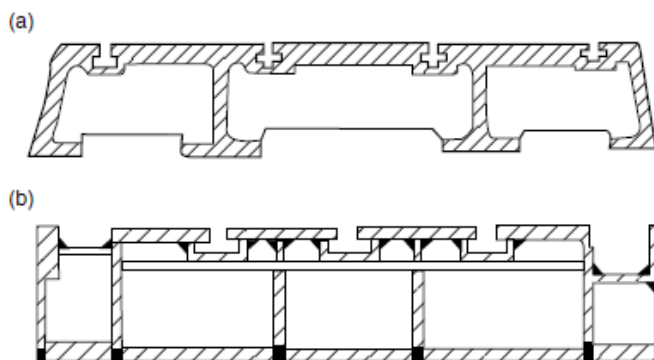
Mineralni lijev je kompozit od plastične mase i kamena. Prednost ove izvedbe je manja specifična masa, stroj je lakši i bolje prigušuje vibracije, sporiji je prijenos topline, a time i manje linearno istežanje. Mineralni lijev se primjenjuje za skupe visokobrzinske strojeve [17].

▪ **Zavarena izvedba postolja stroja**

Postolje AS može biti zavarena čelična konstrukcija (slika 7.3 – b), sa ispunom od nekog kompozita, keramike, mineralnog lijeva (polimernog betona), epoxy granita.

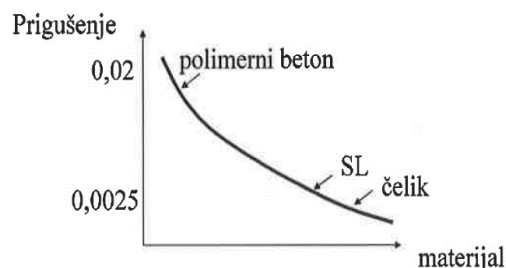
Ispune imaju ulogu prigušenja vibracija. Zavarena čelična izvedba koristi se kod pojedinačnih postolja, prototipa ili specijalnih alatnih strojeva. Postolje nakon zavarivanja treba obvezno žariti da se smanje zaostala naprezanja u materijalu, nastala unosom topline postupcima zavarivanja.

U tablici (slika 7.4, lijevo) dane su vrijednosti modula elastičnosti i faktora prigušenja materijala koji se koriste kod izrade postolja AS.



Slika 7.3: (a) Lijevana i (b) zavarena izvedba postolja stroja

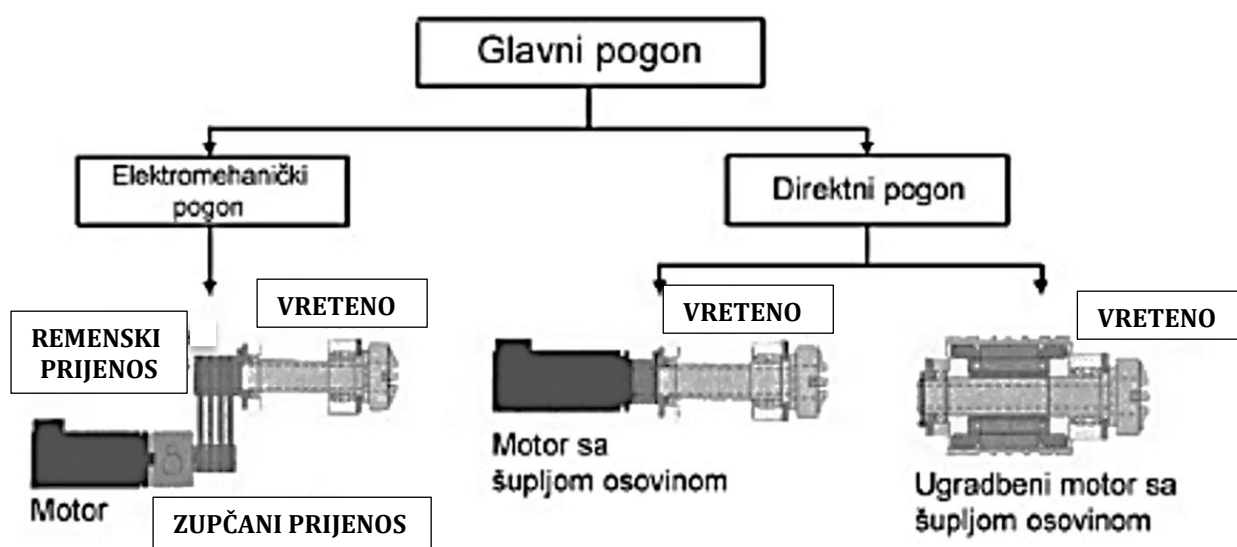
	Modul elastičnosti MPa	Faktor prigušenja
SL	85 000	0,0045
NL	175 000	0,0037
čelik	210 000	0,0025
beton	30 000	0,028
Polimerni beton	40 000	0,02



Slika 7.4: Modul elastičnosti i faktor prigušenja za pojedini materijal (tablica i dijagram) [18]

## 7.2 Pogon i prigon alatnih strojeva

Konstrukcija glavnog pogona može biti izvedena na više načina (slika 7.5). Klasična izvedba glavnog pogona (indirektni pogon), sastoji se od motora s kućištem koji je spojen s glavnim vretenom preko jednostupanjkog ili višestupanjskog (zupčanog i/ili remenskog) prijenosnika. Prednost kod ovakve izvedbe je u tome što je motor priključen s vanjske strane (montiran na nosač) te je toplinski odvojen od prostora za obradu i glavnog vretena stroja [19]. Kao alternativa remenskim, zupčanim i prijenosnicima s kugličnim navojnim vretenom razvili su se učinkoviti integrirani direktni pogoni glavnog vretena i elektromotora, tzv. motorvretena. To je elektromotor čije je vreteno ujedno i glavno vreteno stroja [19].



Slika 7.5: Uobičajene izvedbe glavnog pogona [19]

Pogonski sustavi dijele se na sustave za glavno i pomoćno gibanje, a prema izvedbi mogu biti direktni i indirektni pogoni. Uloga pogonskih sustava za glavno gibanje jest da osigura momente i brzine rezanja kojim se ostvaruje proces obrade odvajanjem čestica. Sastoje se od pogonskog elektromotora, prigona i vreteništa za glavno kružno gibanje [20].

Pogonski sustav za glavno translacijsko gibanje, čine pogonski elektromotor i prigon sa mehanizmom za pretvaranje rotacijskog gibanja u translacijsko. S druge strane, pogonski sustavi sa prigonom pomoćnog gibanja daju brzine gibanja i momente za održavanje procesa obrade (posmaka). Motor kao pretvornik energije pruža potrebnu mehaničku energiju za gibanje i zadržavanje položaja. Uz sam motor ugrađuju se još i dodatni ugradbeni elementi npr. kočnica, davač položaja, spojka pogonskog, integrirana zaštita od preopterećenja itd. Prigon predstavlja jedan od osnovnih sklopova kod konstrukcije alatnih strojeva. Dijele se na prigone za glavno i pomoćno gibanje, a njima se ostvaruju rotacijska (kružna) i translacijska (pravocrtna) gibanja [20].

Prigon glavnog gibanja mora ostvariti gibanje AS kojim se formira odvojena čestica, brzinom rezanja ( $V_c$ ).

Izraz za brzinu rezanja glasi:

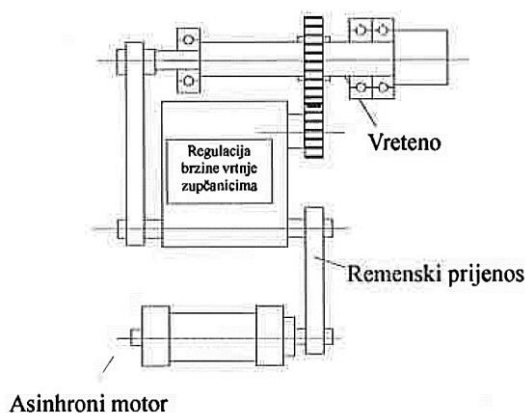
$$v_c = D * \pi * n,$$

pri čemu je:

$D$  – promjer obratka ili alata , [mm]

$n$  – broj okretaja, [ $\text{min}^{-1}$ ]

Iz formule je vidljivo, da brzina rezanja zavisi o broju okretaja. Promjena broja okretaja može biti stupnjevana ili kontinuirana (bezstepena), a na isti način izvedeni su i prigoni kod alatnih strojeva.



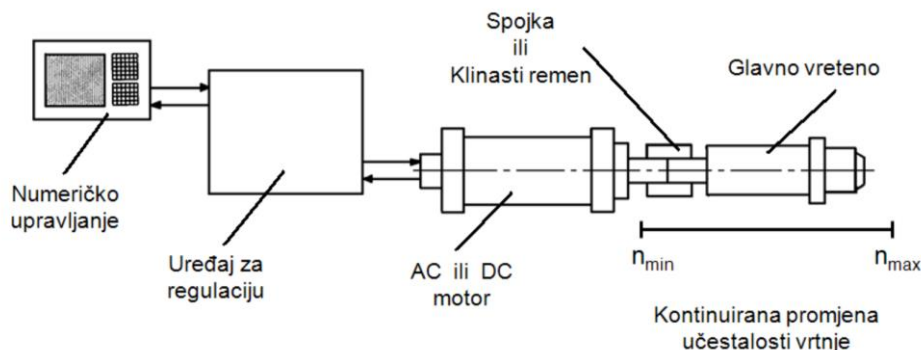
Slika 7.6: Prigon kod klasičnih alatnih strojeva [18]

Kod klasičnih AS koristi se najčešće prigon sa zupčastim prijenosnicima (slika 7.6), gdje se regulacija brzine vrtnje ostvaruje spregom parova zupčanika (slika 7.7). Kod stupnjevane promjene broj okretaja radno vreteno stroja treba zastaviti. Na slici 7.7 prikazan je dio prigona za glavno gibanje univerzalnog tokarskog stroja. Sklop pogonskog vratila i spojke služi za ukapčanje i iskapčanje gl. vretena. Kombinacijom zupčanika u zahvatu i sklopa lamelarne spojke, moguća je stupnjevana promjena broja okretaja i promjena smjera vrtnje gl. vretena stroja.



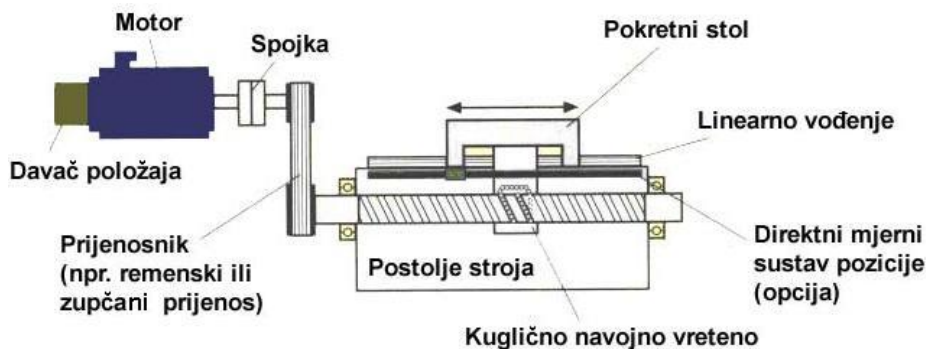
Slika 7.7: Prijenosnici glavnog prigona univerzalnog tokarskog stroja

Kontinuiranom (nestupnjevanom) promjenom broja okretaja (slika 7.8), lako se ostvaruje bilo koja vrijednost broja okretaja u radu stroja. Moguće je postići konstantnu brzinu rezanja, a time i bolju kvalitetu obrađene površine. Kontinuirana promjena broja okretaja karakteristična je za NC i CNC alatne strojeve.



Slika 7.8: Direktni pogon s kontinuiranom promjenom okretaja gl. vretena [20]

Prigon pomoćnog gibanja obradnog stroja omogućava kontinuirano odvijanje procesa obrade odvajanjem čestica. U pomoćna gibanja spadaju posmično i dostavno gibanje, a najčešće ostvaruju translacijsko gibanje. Obje vrste gibanja ostvaruju se istim prigronom. Posmično gibanje je dominantna vrsta gibanja na stroju, pa pod pojmom posmičnog prigrona možemo podrazumijevati da se radi o pomoćnom gibanju.



Slika 7.9: Posmični prigon CNC strojeva [19]

Posmični prigon (slika 7.9), sastoji se od [18]:

- POGONA – istosmjerni ili izmjenični servo motor ili koračni motor,
- PRIJENOSNIKA – zupčanika, remena, spojki..,
- IZVRŠNIH ELEMENATA – suporta sa KNV i dvodjelnom maticom ili suporta sa vučnim i navojnim trapeznim vretnom,
- UPRAVLJAČKI SUSTAV: senzori, mjerne letve, kontroleri

### **7.3 Trapezno navojno vreteno**

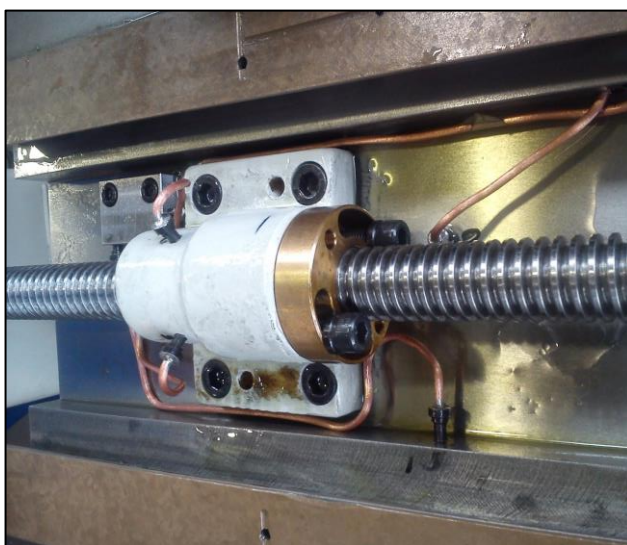
Stupnjevana i kontinuirana promjena okretaja kod posmičnih prigona koristi se za promjenu brzine posmičnog gibanja. Stupnjevanu promjena okretaja ostvaruju klasični, a kontinuiranu numerički upravljanih strojeva. Kod posmičnih prigona za pravocrtno gibanje, stroj mora imati uređaj za pretvaranje kružnog, u pravocrtno gibanje, npr. puž i pužno kolo kod klasične izvedbe stroja ili kuglično navojno vreteno sa remenskim prijenosom, kod CNC strojeva.

Takvo gibanje potrebno je za pravocrtno gibanje elemenata alatnog stroja, npr. stola ili suporta stroja. Kod gradnje klasičnih strojeva ugrađuje se trapezno navojno vreteno (slika 7.10), dok se kod strojeva koji traže veću preciznost i brzine pozicioniranja, kao što su to visokobrzinski CNC strojevi, koriste kuglična navojna vretena (slika 7.11). Oba tipa vretena koriste dvodijelne matice za poništavanje zračnosti (zazora), međutim razlikuju se u izvedbi (slika 7.10 – brončana matica i slika 7.11 – izgled dvodijelne matice KNV).

Trapezna navojna vretena s maticom (slika 7.9), elementi su strojeva za pretvaranje rotacijskog gibanja u pravocrtno. Pravocrtno gibanje potrebno je za ostvarivanje posmaka kod obrade odvajanjem čestica.

Koriste se kod gradnje klasičnih alatnih strojeva, međutim primjenjuje se i za pogon transportnih sustava. Nedostatak trapeznog navojnog vretena s maticom, je manja efikasnost i veće radijalno opterećenje na vreteno. Također nakon nekog vremena matica i vreteno se istroše i dolazi do pojave zazora između matice i vretena [21].

Za poništenje zazora matica se izrađuje iz dva dijela ili na način da se omogući prednaprezanje matice (brončana matica na slici 7.10).



*Slika 7.10: Trapezno navojno vreteno s maticom za poništenje zračnosti*

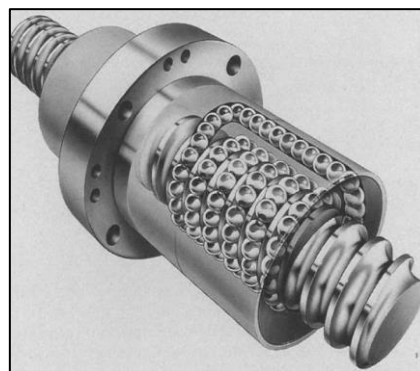


## 7.4 Kuglično navojno vreteno

Elementi strojeva koji se koriste za pretvorbu rotacijskog gibanja elektromotora u translacijsko gibanje sklopova alatnih strojeva, npr. suporta, klizača, itd., kod preciznih strojeva, su kuglična navojna vretena. Takva vretena razlikuju se od trapeznih, po specijalnoj izvedbi vretena i matice sa recirkulacijskim valjnim elementima (slika 7.12). Slika 7.10 prikazuje kuglično navojno vreteno „Z“ osi, CNC glodalice. Gibanjem (kotrljanjem) dvodijelne matice, sa valjnim tijelima, po vretenu ostvaruje se trenje kotrljanja. Trenje kotrljanja manje je od trenja klizanja, specifičnog tipa trenja kod trapeznih vretena.



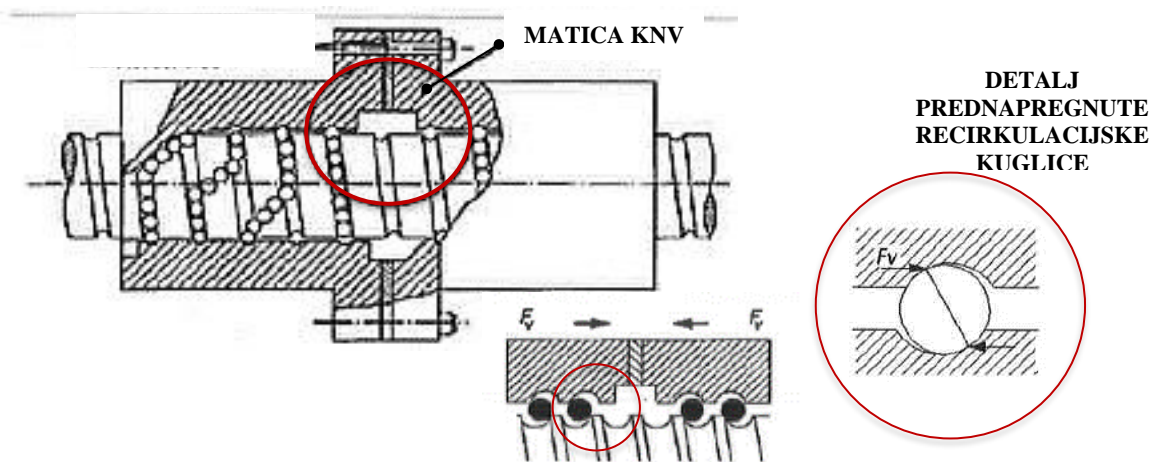
Slika 7.11: Kuglično navojno vreteno „Z“ osi



Slika 7.12: Izgled matice KNV u presjeku

Sposobnost ubrzanja pogona s KNV gotovo je neovisna o linearno pokretnoj masi i određuje se uglavnom preko koraka uspona i momenata inercije motora i vretena. Danas se pomoću viskodinamičkih kugličnih navojnih vretena postižu brzine od oko 80 m/min. Kuglice se izrađuju najčešće iz čelika, a koriste se i keramičke kuglice. Keramičke kuglice se koriste kod vrlo preciznih strojeva kao i kod strojeva gdje je potrebno ostvariti velike brzine i ubrzanja [21].

Na slici 7.13 prikazan je način na koji se ostvaruje prednaprezanje dvodijelnom maticom KNV. Priljubljuvanjem dva dijela matice, stlaču se kuglice na bok zaobljenog žlijeba navoja vretena (detalj slike), time se anulira zračnost između vretena i kotrljajućih elemenata (kuglica).



Slika 7.13: Izvedba prednaprezanja sa dvodijelnom maticom KNV [18]

## 7.5 Vretenište stroja i sklop glavnog vretena

Vreteno je motorom pogonjeno vratilo, koje pozicionira i prenosi snagu s motora na alat ili drži (vrši prihvat obratka). Ostvaruje glavno rotacijsko gibanje. Pogon alatnog stroja može biti izveden kao direktni, npr. korištenjem motorvretena, ili indirektni, korištenjem prijenosnika.

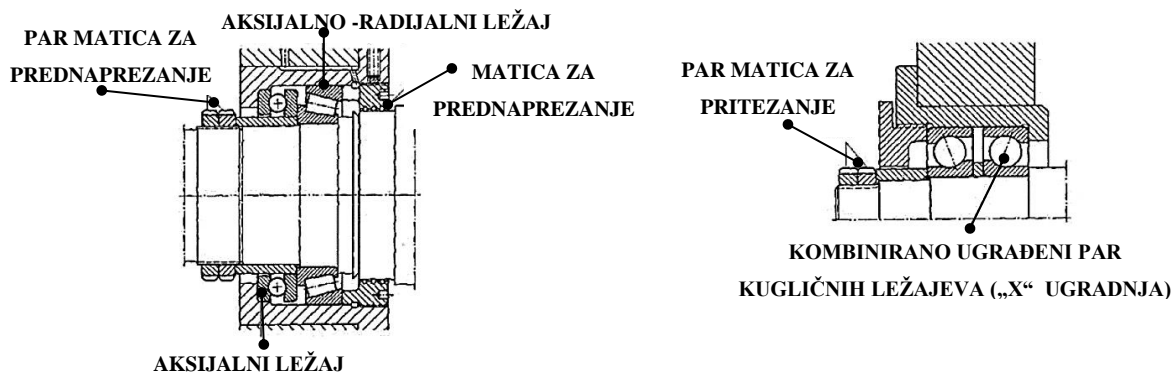
Glavni dijelovi vreteništa AS [18]:

1. vreteno,
2. ležaj (uležištenje)
3. kućište (okvir)
4. spojka
5. pogonski motor

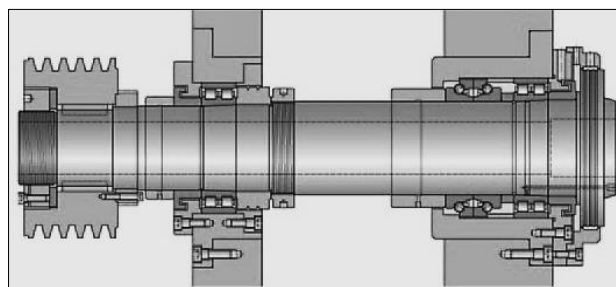
Zadatak vreteništa glavnog vretena [18]:

- ostvariti glavno gibanje (pogon određene snage)
- osigurati što manje vibracija, pravilnim uležištenjem / prednaprežanjem (slika 7.14)
- osigurati odgovarajući prihvat alata ili obratka
- preuzeti sile /opterećenje na vreteno

Uležištenje glavnog vretena izvedeno je sa dva ležaja, odnosno kombinacijom ležajeva na prednjoj i stražnjoj strani vretena (slika 7.15). Stražnji ležaj je radijalni, dok je prednji radijalno – aksijalni i treba biti 10-20 % jači od stražnjega.



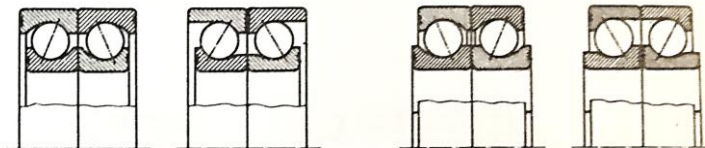
Slika 7.14: Primjer uležištenja glavnog vretena kombinacijom ležajeva [25]



Slika 7.15: Šuplje vreteno uležišteno s prednje i stražnje strane [25]

Za uležištenje glavnih vretena prema [18], upotrebljavaju se:

- Kotrljajući ležajevi – Koriste se u preko 95% slučajeva. Valjna tijela imaju oblik : kuglica, valjčića, iglica, bačvica, stošca. Ugradnja kugličnih ležajeva može biti izvedena u parovima (slogovima). Koriste se tzv. „O“ i „X“ kombinacije ugradnje (slika 7.16).



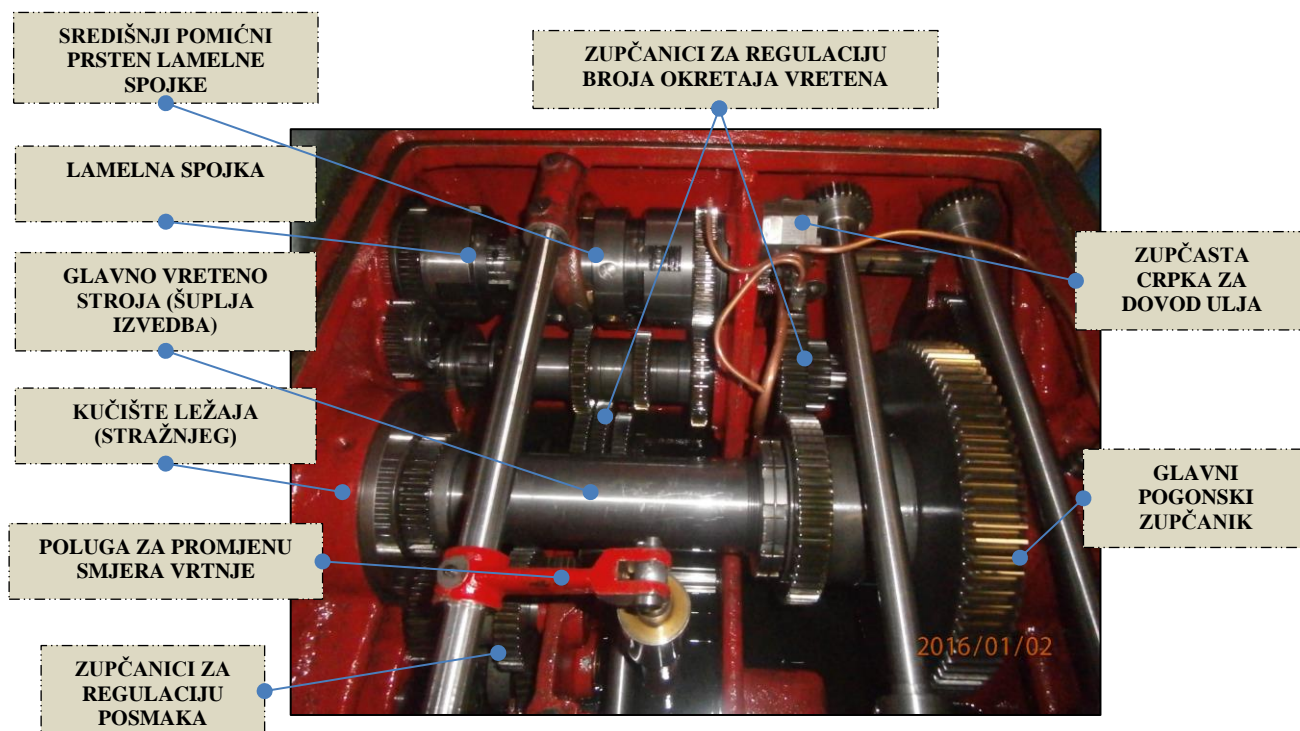
Slika 7.16: Kombinacije ugradnje kugličnih ležajeva [15]

- Hidrostatički ležajevi – U kućištu glavnog vretena postoje uljne kade ili džepovi. Ulje pod pritiskom dovodi se iz uljnih kada do vretena, gdje se glavno vreteno prije rotacije odvoji od kućišta glavnog vretena. Gl. vreteno pliva u ulju, čime se ostvaruje tekuće trenje. Za hidrostatičke ležajeve specifična je velika krutost, te velika preciznost vođenja vretena. Takvi ležajevi su trajni i jeftino je održavanje. Primjenjuju se kod velikih strojeva. Nedostatak je veliko zagrijavanje.
- Hidrodinamički ležajevi – Uslijed rotacije vretena stvara se uljni film. Na početku rotacije dolazi do pojave suhog trenja, nakon toga mješovitog pa tekućeg. Koriste se kod starijih strojeva. Osiguravaju veliko prigušenje , te miran rad. Kritično je pokretanje vretena (zbog suhog trenja – nema podmazivanja) i zaustavljanje.
- Aerostatički ležajevi – Umjesto ulja koristi se zrak. Primjenjuju se kod visokobrzinskih strojeva manjih snaga, a princip rada sličan je kao kod hidrostatskih ležajeva. Zrak odvoji glavno vreteno od kućišta prije početka rotacije.
- Magnetni ležajevi – Elektronika za ovu izvedbu ležajeva je skupa. Magnetno uležištenje za brzine vrtnje preko  $50\ 000\ \text{min}^{-1}$ . Senzori mjere magnetsko polje i mijenjanju ga na način da osiguraju stalnu zračnost između kućišta i glavnog vretena.

Zahtjevi za ležajeve [18]:

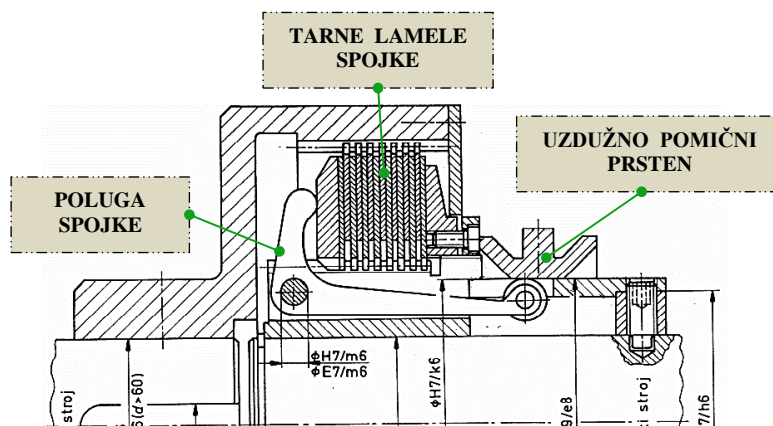
- Povoljno trenje
- Mali gubici
- Mala zagrijavanja
- Mogućnost hlađenja
- Malo trošenje
- Dugi vijek trajanja
- Visoka točnost vrtnje

▪ Vretenište univerzalnog tokarskog stroja:



Slika 7.17: Vretenište univerzalnog tokarskog stroja

Na slici 7.17 prikazano je vretenište univerzalnog tokarskog stroja sa šupljim glavnim vretenom. Vretena na tokarilicama, rade se šuplja da bi bio moguć prihvat dugog šipkastog materijala u steznu glavu i da se smanji sama masa vratila. Polugom za promjenu smjera vrtnje (slika 7.17), djeluje se na klinasto vratilo. Okretanjem klinastog vratila sa žlijebovima, pomiče se središnji prsten tarne lamelne spojke (slika 7.18). Na pločaste lamele spojke djeluje se pritiskom poluge koja se aktivira središnjim uzdužno pomičnim cilindričnim dijelom – prstenom (slika 7.18). Spojka koja je do tad slobodno rotirala prenosi okretni moment preko zupčanika na glavno vreteno. Na taj način ostvaruje se vrtnja glavnog vretena, a u kombinaciji sa parovima (slogovima) zupčanika mijenja se smjer vrtnje glavnog vretena.



Slika 7.18: Tarna višelamelna spojka s mehaničkim uključivanjem

▪ **Vretenište CNC glodalice**



*Slika 7.19 : Vretenište CNC glodalice*

Na slici 7.19 prikazano je kućište sa sklopom glavnog vretena CNC glodalice. Kućište vreteništa obrađeno je postupcima OOC iz odljevka iz sivog lijeva (slika 8.10, poglavlje o označavanju odljevaka). Na kućištu su integrirane ( lijevane i obrađene zajedno s obratkom), klizne hidrodinamske vodilice. Vodilice vreteništa se nakon grube obrade OOC normalizacijski žare, i potom se vodilice indukcijski kale. Nakon toplinske obrade, klizne staze i kućište vreteništa bruse se na portalnoj brusilici. Nakon obrade OOC, unutarnji dio kućišta se lakira.

Vretenište glodalice sadrži parove zupčanika, sklop kandžaste spojke, te vratilo radnog vretena sa konusom prihвата alata SK 40. Vreteno je na prednjoj i stražnjoj strani uležišteno kugličnim ležajevima, a podmazivanje je izvedeno uljem. Na kućištu vreteništa uležišteno je horizontalno radno vreteno za horizontalno postavljanje alata.

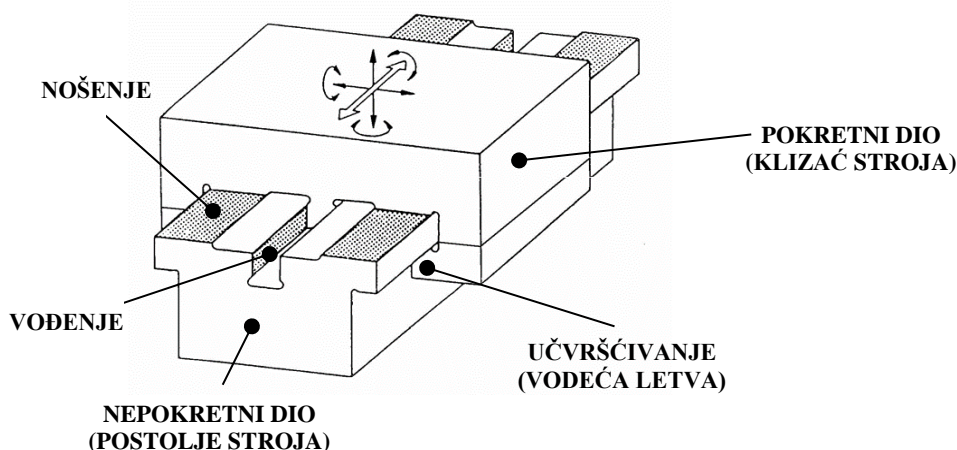
Uloga kandžaste spojke neposredno iznad horizontalnog radnog vretena jest prenošenje okretnog momenta na zakretnu vertikalnu radnu glavu stroja, koja se postavlja na stroj. Mogućnošću postavljanja i skidanja vertikalne radne glave, ostvarive su obrade i prihvat alata u vertikalnom i horizontalnom smjeru.

Kućište vreteništa postavlja se na klizne vodilice stupa glodalice. Podešavanje i osiguranje gibanja u smjeru klizanja (jedan stupanj slobode), osigurava se kompenzacijskim i vodećim letvama. Kompenzacijske i vodeće letve prethodno se grecaju i tuširaju, te se pripasuju kliznim vodilicama stroja. Pogon glavnog vretena izveden je pomoću trofaznog izmjeničnog motora. Prijenos snage sa motora na glavno vreteno ostvaruje se preko remena i zupčaste remenice.

## 7.6 Vodilice stroja

Osnovna uloga vodilica stroja povezivanje je nepokretnih i pokretnih dijelova obradnog stroja. Na način da osigura jedan stupanj slobode gibanje pokretnog dijela. Pokretni dio može biti klizač ili suport (zavisi o vrsti stroja). Nepokretni dio je postolja stroja, koje može biti različite izvedbe. Funkcionalne površine vodilica imaju trostruku zadaću (slika 7.20):

- Nošenja
- Vođenja
- Učvršćivanja



Slika 7.20: Funkcija kliznih površina vodilica stroja (klizne vodilice) [17]

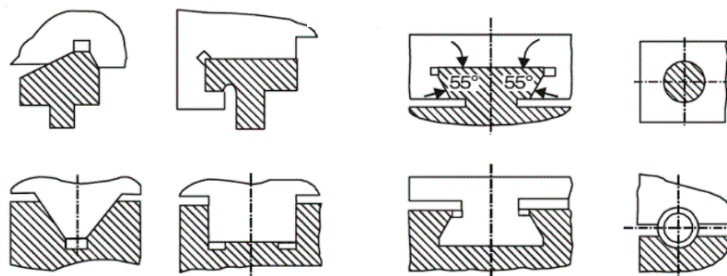
Osnovna podjela vodilica :

- Klizne vodilice – mogu biti hidrodinamičke i hidrostatske
- Kotrljajuće vodilice

Kod kliznih vodilica ostvaruje se trenje klizanja i koriste se za manje brzine gibanja. Kod kotrljajućih vodilica, zahvaljujući specijalnoj izvedbi sa kotrljajućim tijelima, gibanjem se razvija trenje kotrljanja. Kod kotrljajućih vodilica ostvaruje se trenje kotrljanja. Trenje kotrljanja manje je od trenja klizanja, pa su manji gubici, a moguća su brža pozicioniranja alata i/ili obratka.

### ▪ Klizne vodilice

Osnovni oblici kliznih vodilica prikazani su na slici 7.21. Tipični oblici vodilica su: prizmatični („V“ oblik), plosnati (ravni), oblik klina (lastin rep), okrugli (cilindrični). Na alatnim strojevima, vodilice se izvode najčešće u kombinacijama, kao na slici 7.22. Za poništavanje zračnosti između stacionarnih i pokretnih kliznih vodilica koriste se kompenzacijske letve prethodno fino obrađene ručnom operacijom grecanja (slika 7.23). Vodilice na postolja stroja mogu biti pričvršćene mehaničkim putem, zavarene ili integrirane (lijevane i obrađene zajedno s postoljem – slučaj kod CNC glodalice obrađene u ovom radu).



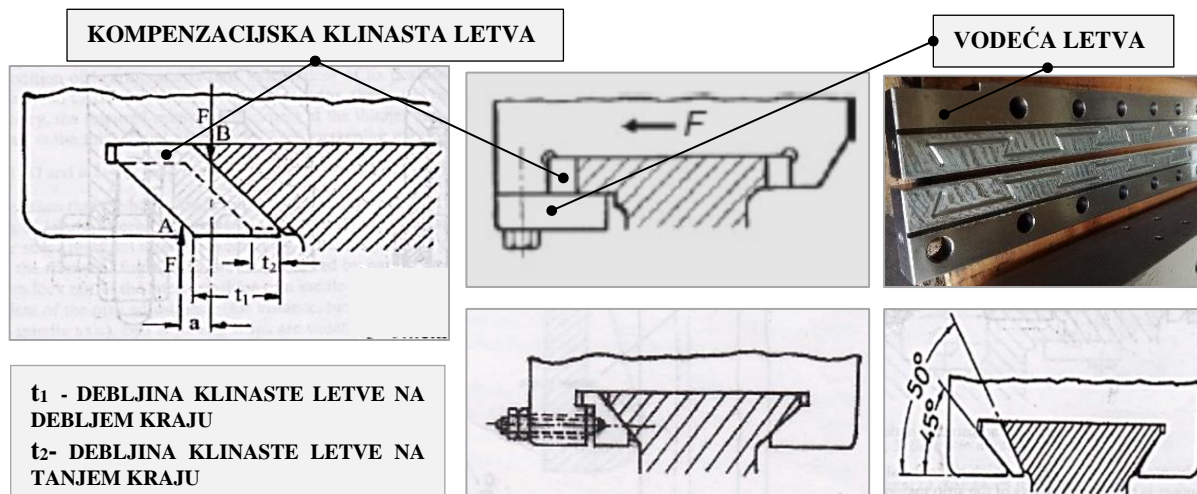
Slika 7.21: Osnovni oblici kliznih vodilica [25]



Slika 7.22: Kombinacija dva tipa vodilica suporta CNC glodalice (lijevo),  
Slika 7.23: Kompenzacijske klinaste letve za podešavanje zračnosti između vodilica AS (desno)

Pokretni dio ( klizač ) i nepokretni dio ( postolja ), ne izrađuju se da bočne površine klizača i postolja međusobno nasjedaju u uskim tolerancijama. Za podešavanje zračnosti na bočnim površinama vodilica koriste se kompenzacijske letve, dok se za učvršćivanje za postolja koriste vodeće letve (slika 7.24). Neki od načina prednaprezanja i poništavanja zračnosti prikazani su na slici 7.24. Zračnost se provjerava listićima za kontrolu zračnosti, mjernim satovima, pomoću komparatora ili jednostavnom provjerom lakoće kretanja klizača.

Prednaprezanje kompenzacijskim letvama vrši se na više načina, a razlikuje se zavisno o tipu vodilica i letvi. Da bi se osigurao pravilan odnos između alata i obratka , zračnost između kliznih staza mora biti minimalna, uz uvjet da se klizač lako pokreće. Letve se pritežu i pripasuju vodilicama stroja grecanjem, uzastopnim smanjivanjem zračnosti. Postupak se ponavlja tako dugo dok se ne postigne spoj (spreg vodilica i kompenzacijskih letvi), koji će omogućiti lako klizanje vodilica uz minimalno trenje, bez trzaja tijekom zaustavljanja i pokretanja pokretnog dijela stroja. Proces iziskuje dosta vremena, te iskusnu i kvalificiranu radnu snagu za rad. Vodilice se nakon strojne obrade glodanja, blanjanja, bušenja, itd. obrađuju toplinskom obradom. Funkcionalne površine podvrgavaju se postupku indukcijskog površinskog kaljenja. Zahtjev za tvrdoćom površine je približno 55 HRC (tvrdoća prema Rockwellovoj ljestvici tvrdoće). Nakon toplinske obrade kaljenja, klizne površine imaju potrebnu čvrstoću, tvrdoću i dinamičku izdržljivost, koja osigurava manje trošenje vodilica, odnosno duži vijek trajanja.



Slika 7.24: Načini prednaprežanja vodilica korištenjem kompenzacijske i vodeće letve

Kompenzacijske letve izrađene su sa određenim nagibom. Oblika su klina i služe za poništavanje zračnosti između kliznog i nepokretnog dijela vodilica stroja (slika 7.24). Vodeće letve su ravne i paralelne sa kliznom ravninom, a uloga im je učvršćivanje kliznih vodilica.

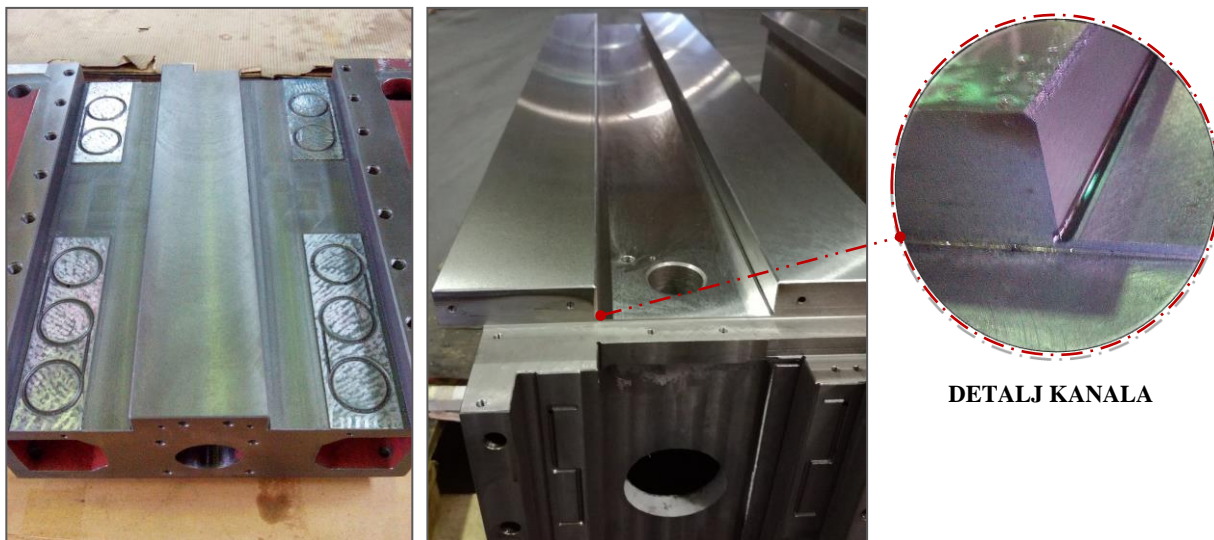
Vodilice trebaju osigurati ravnomjeran kontakt i međusobno nalijeganje površina postolja i klizača, stoga je vodilice potrebno obraditi postupcima fine obrade. Najčešći takav postupak je brušenje. Na slici 7.25, prikazane su klizne hidrodinamske vodilice. Pokretni dio je u ovom slučaju suport CNC glodalice (slika 7.25 - lijevo), a nepokretni dio po kojem klizi je stup stroja (slika 7.25 - desno). Stup se postavlja i učvršćuje na obrađeno postolje stroja iz SL (temeljnu ploču).

Nakon brušenja, na fino obrađenoj površini preostaje mali broj mikroneravnina i mikroudubljenja, koji se ponašaju kao spremnici u kojima se zadržava ulje. Veće neravnine daju veće spremnike ulja, ali je manja površina nalijeganja i veće trošenje, manje neravnine daju lošije podmazivanje, stoga je potrebno naći optimalne odnose [22]. Da bi se izbjeglo međusobno „sljepljivanje“ fino obrađenih površina, te poremećaja normalnog podmazivanja, a u konačnici i pokretanje kliznih elemenata, klizne površine pokretnog dijela (križni suport, slika 7.25 – lijevo) tuširaju se i grecaju. Suport klizi po kliznim vodilicama stupa. Vodilice stupa su toplinskom obradom indukcijskog kaljenja otvrdnute i naknadno fino brušene, dok klizne površine suporta ostaju u početnom neotvrdnutom („mekom“) stanju. Križni suport i stup stroja izrađeni su iz sivog lijeva.

Kada se klizna površina tušira i greca, nalijeganje kliznih staza klizača i vodilica postolja ostvaruje se na mnoštvu malih grecanih kontaktnih površina. Mnogo „kontaktnih površina“ zajedno čine površinu kliznih staza stroja (slika 8.5, poglavlje o ručnim postupcima obrade). Klizna ploha obrađena grecanjem pridonosi raznošenju ulja po cijeloj površini vodilica stupa.

Površine u relativnom gibanju moraju se podmazivati, kako bi se smanjilo trenje. Povećano trenje uzrokuje ubrzano trošenje vodilica stroja. Da bi efekt podmazivanja bio veći, na kliznim površinama pokretnog dijela, rade se uljni kanali (slika 7.25 - lijevo). Kanalima se raznosi ulje po cijeloj dužini kliznih površina stupa stroja (slika 7.25 - desno).





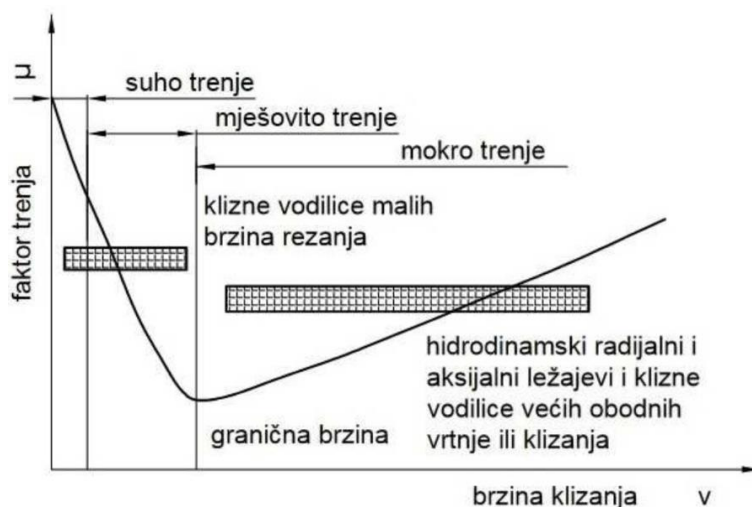
Slika 7.25: Križni suport (lijevo) i prizmatična izvedba stupa CNC glodalice (desno), sa detaljem kanala

Na slici 7.25 prikazan je detalj kanala vodilica, koji se izrađuje blanjanjem, a radi se zbog lakšeg brušenja kliznih površina, odnosno da se omogući pristup oštrici brusa na mjestima gdje se sastaju dvije susjedne plohe (bridu). Najčešće korišteni materijal za izradu kliznih vodilica i klizača kod klasičnih strojeva je sivi ljev. SL lako se lijeva i obrađuje postupcima OOC, ima visoku tlačnu čvrstoću i niz drugih već spomenutih povoljnih svojstava.

- Hidrodinamičke vodilice:

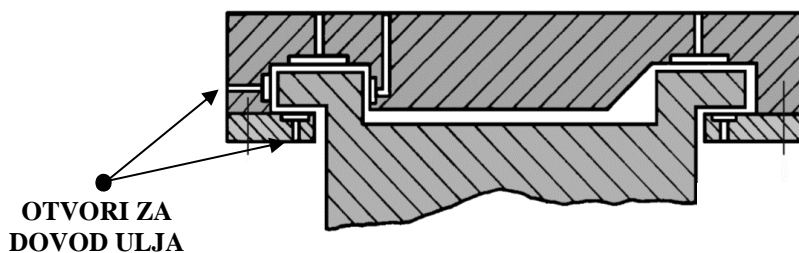
Kod hidrodinamičkog podmazivanja, stvara se nosivi uljni film među kliznim površinama.

Značajke kliznih hidrodinamičkih vodilica prikazane su Stribeckovom krivuljom (slika 7.26), po kojoj je trenje funkcija brzine. U početku kretanja postoji suho trenje (trenje mirovanja), koje s povećanjem trenja prelazi u polusuho (trenje mirovanja), a nakon toga, kod granične brzine u tekuće trenje [20].



Slika 7.26: Stribeck krivulja [20]

- Hidrostatske vodilice:

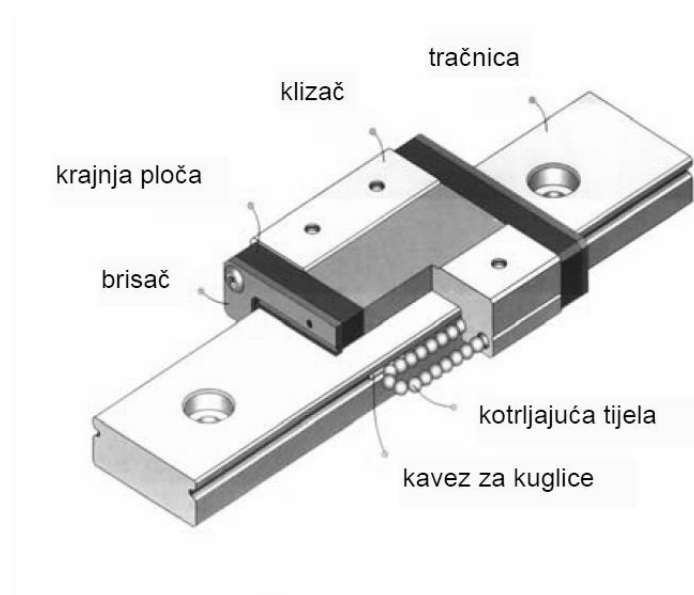


Slika 7.27: Klizne hidrostatske vodilice [20]

Kod hidrostatskih vodilica klizač pliva na uljnom filmu, gdje se ostvaruje tekuće trenje. Prije samog gibanja, klizač se odiže od postolja (slika 7.27). Koristi se kod većih strojeva. Karakteristika im je visoka trajnost, a kod pravilne izvedbe praktički nema trošenja kliznih elemenata. Klizač klizi po uljnom filmu, stoga postoji tekuće trenje. Ako se prekine dovod ulja, može doći do zaribavanja.

- Kotrljajuće vodilice

Kotrljajuće vodilice (slika 7.28), ostvaruju trenje kotrljanja, koje je manje od trenje klizanja, pa su i manji gubici energije, nego kod kliznih vodilica. Manje su mase, te je omogućeno brže pozicioniranje. Moguća je brza i jednostavna ugradnja, a kotrljajuće vodilice dostupne su kao gotovi kupovni elementi. Kotrljajuće vodilice pričvršćuju se na postolja stroja mehaničkim putem (vijcima).



Slika 7.28: Kotrljajuća vodilica sa označenim dijelovima [17]

## 8. Ručne obrade / dorade u proizvodnji

### 8.1 Obrada oštih rubova (ručna dorada)

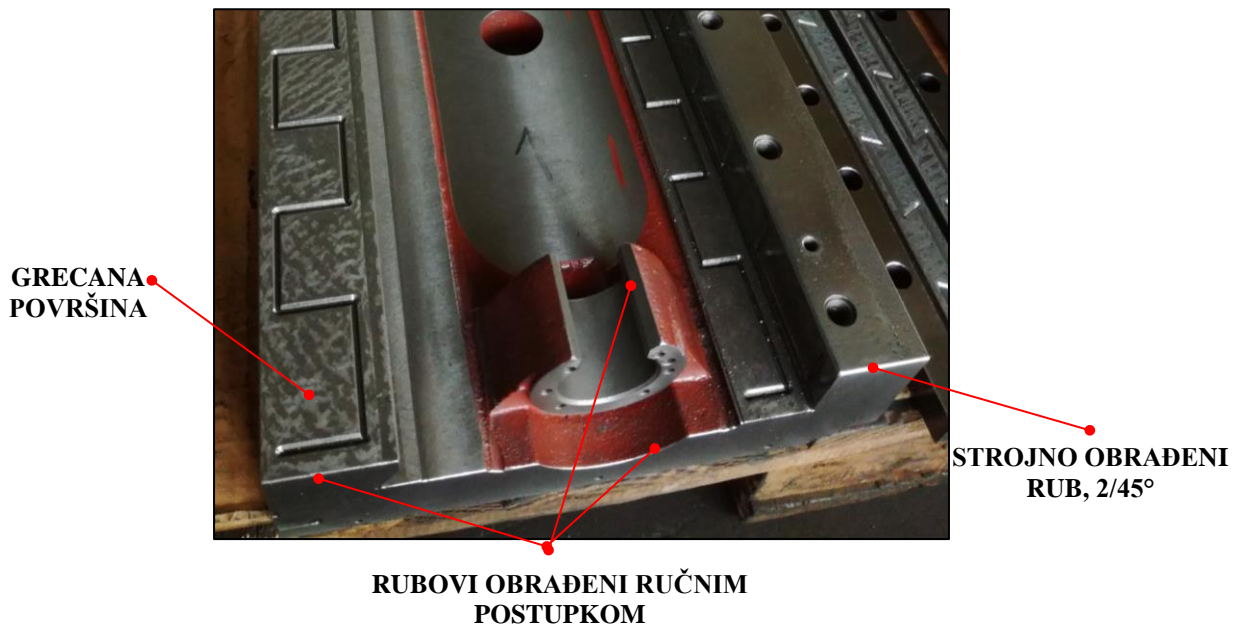
Osnovna ručna obrada u proizvodnji dijelova stroja obrada je oštih rubova na elementima koji su obrađeni nekim od postupaka OOČ. Obrada oštih rubova vrši se ručnim alatom npr. turpijama, te pneumatskim i električnim alatima (ravna brusilica – „bijaks“), koji na sebi imaju montirani odgovarajući rezni alat. Obrada se nekad vrši na jednostavnim strojevima za tu namjenu.

Rubovi se obrađuju na gotovim pozicijama (slika 8.1), koje nije bilo moguće obraditi standardnim alatima na stroju u istom stezanju ili sama obrada na AS ne bi bila isplativa.

Oštre rubove potrebno je ponekad obraditi između dvije faze obrade na stroju, npr. u slučaju kad obradak treba u sljedećoj operaciji prihvatiti u steznu napravu ili učvrstiti na steznu površinu.

U tom slučaju srh koji nastaje nakon odvajanja čestica, sprječava pravilno nalijevanje obratka na površinu stege ili radnu plohu stola.

Također je obrada oštih rubova neophodna u slučaju međufazne kontrole obratka. Srh tom prilikom može smetati kod kontrole, odnosno utjecati na samu točnost mjerenja i kontrole obrađenih pozicija.

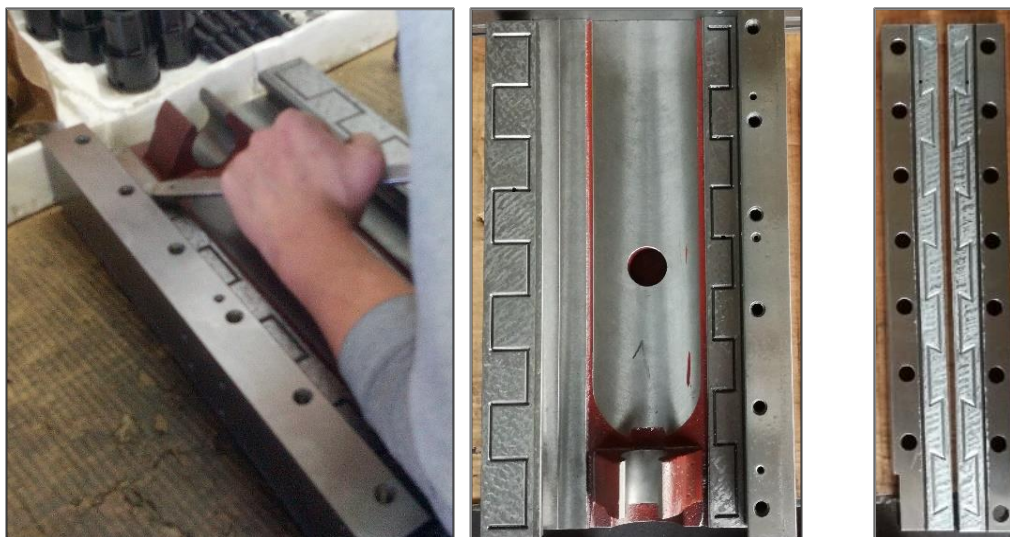


Slika 8.1: Operacije ručne obrade na uzdužnom klizaću stroja

## 8.2 Grecanje / tuširanje površina

Grecanje je ručna obrada skidanja strugotine (slika 8.2), koja se izvodi na površinama prethodno obrađenim, ručno (turpijom..) ili alatnim strojevima (glodanjem, blanjanjem...), u cilju otklanjanja nepravilnosti, manjih neravnina, te povećanja finoće završne obrade. Za grecanje je potreban alat kojim se izvodi operacija (grecalo) i kontrolni alat u obliku tuširnih ploča i ravnala.

Manja hrapavost površine i veća ravnost, smanjuju tlak na površinu (veća površina nalijeganja), a samim time i trošenje kliznih ploha radnih elemenata i sklopova stroja [23].



Slika 8.2: Grecanje kliznih površina; klizača stroja (lijevo) i vodećih letvi (desno)

Grecalo je alat izrađen od kaljene čelične šipke, često sa učvršćenom reznom oštricom od tvrdog metala na vrhu (slika 8.3). Grecalo je alat koji naoštren djeluje na materijal skidajući manju i tanku strugotinu, debljine nekoliko tisućinki milimetara. To je jedino moguće ako grecalo ima odgovarajući geometrijski oblik glave, kutove i nagib, da ne siječe materijal, već ga greca [24].

U zavisnosti od materijala za obradu, oblika površine za grecanje i zahtjevane kvalitete završne obrade, primjenjuju se grecala različitog oblika i dimenzija.

1. Plosnata grecala najviše se upotrebljavaju za obradu ravnih i širokih površina. Mogu se napraviti oštrenjem vrha plosnate turpije. Oblik oštrice grecala treba imati blagi radijus, jer ukoliko je ravan oštri kutevi grecala paraju površinu.
2. Žličasta grecala se koriste za obradu ravnih, a uskih površina, ili ovalnih površina, najviše kod obrade mekših materijala
4. Specijalna grecala služe za obradu udubljenih površina naročito od mekih materijala (bronca)
5. Grecala sa oštricom od tvrdog metala služe za obradu tvrdih materijala, i dobivanja velike finoće završne obrade

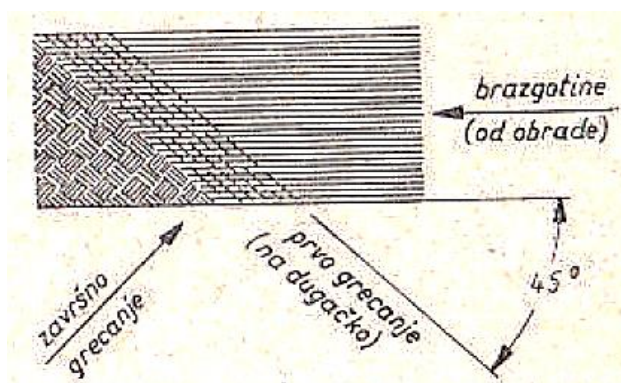


Slika 8.3: Grečalo sa oštricom od tvrdog metala

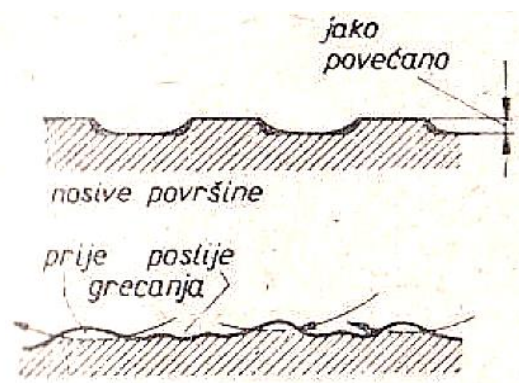
#### ▪ Postupak grečanja

Držanje i rukovanje grečalom [10]:

- Pri obradi grečalo treba držati za dršku, desnom rukom (slika 8.2 - lijevo), a tijelo lijevom rukom, vršeći na alat odgovarajući pritisak u smjeru gibanja
- Radni pokreti grečala, koje karakterizira polukružno gibanje ulaska i izlaska, mora biti kratko (4-5 mm), a za veća skidanja 10-15 mm.
- Nagib grečala treba iznositi 20-25 stupnjeva u odnosu na radnu površinu (slika 8-2, lijevo), a ovisi o kutu brušenja, vrsti materijala i tražene završne obrade. Nagib grečala treba držati istim tijekom cijelog tijeka obrade.
- Pravci prolaza trebaju biti izvedeni dijagonalno (slika 8.4), u odnosu na osi ravnine obrade („brazgotine“), u izmjenično ukrštenom smjeru. Na taj način se smanjuju neravnine i nepravilnosti i povećava nosivost prethodno strojno obrađenih površina. (slika 8.5).



Slika 8.4: Pravilan smjer grečanja površina [24]



Slika 8.5: Nosiva površina nakon grečanja [24]

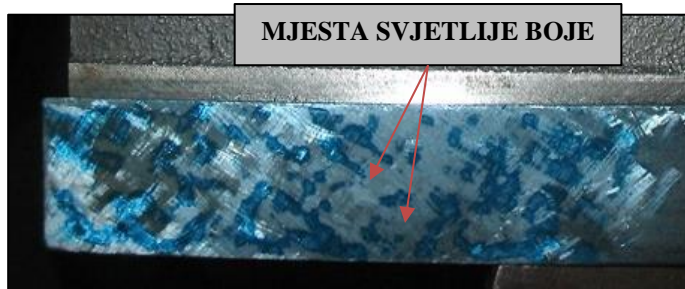
#### ▪ Tuširanje i kontrola površina [23]:

Postupak obilježavanja neravnina na obrađenoj površini, naziva se tuširanjem. Za tuširanje se rabe kontrolne ploče i ravnala, te smjesa boje naziva „tuš“ (slika 8.6). Ploče i letve za tuširanje imaju ravne i glatke kontrolne plohe. Ploha je ukružena rebrima kako bi se izbjegla i najmanja deformacija i neravnost plohe.

Kao boja rabi se posebna smjesa plave ili crvene boje. Ovom smjesom premaže se u vrlo tankom sloju kontrolna površina ploče ili letve za tuširanje. Ta se ploča položi na plohu koju treba obraditi i povlači po površini, pri čemu nastaje „tuširana slika“ pojedinih mrlja različitih tonova (slika 8.7).

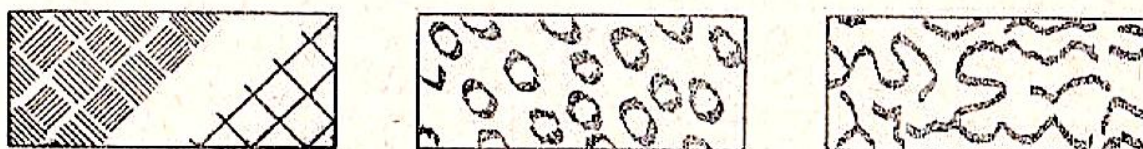


Slika 8.6: Smjesa za tuširanje („tuš“)



Slika 8.7: „Tuširana slika“ površine

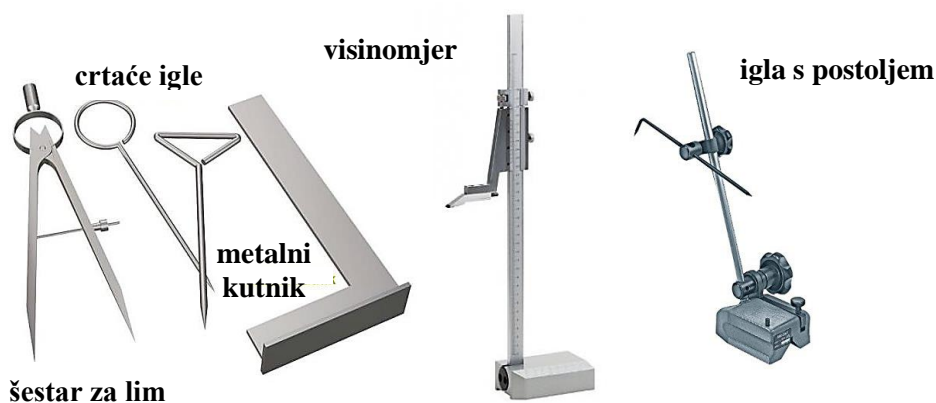
Na većim izbočinama obojena smjesa je skoro skinuta (tanki slojevi boje – boja je istisnuta), takva mjesta su svjetlije boje (slika 8.7). Na manjim izbočinama koje su raspoređene oko tanko obojenih zona, su tamnije obojena mjesta i naslage boje i one se obrađuju zadnje. Neobojene zone su najniže i zato su neobojene. Više mrlja pravilno raspoređenih po čitavoj površini znači bolji i veći stupanj obrade. Za površinu kontrole uzima se, otprilike kvadratni otvor 25 x 25 mm. Grecalem treba skinuti ona mjesta izbočine na kojima je došlo do trenja između obrađivane plohe obratka i ploče za tuširanje (obojena mjesta). Nakon obrade grecanjem ostaju prepoznatljive šare (slika 8.8).



Slika 8.8: Tragovi obrade nakon grecanja („šare“)

### 8.3 Označavanje (usmjeravanje) smjera obrade na odljevcima

Pod označavanjem („crtanjem“) na metalu podrazumijeva se prenošenje mjera i pojedinih obilježja sa crteža na komad, prije njegove obrade. Označavanje se vrši iglom od tvrdog metala, a osim igle koristi se raznoliki pribor npr. šestar, metalni kutnik, visinomjer (normalni i sa crtaćom iglom). Jednostavni oblici odljevaka se ne označavaju, jer je najčešće u svakoj fazi obrade moguće kontrolno mjerenje. Na slici 8.9 prikazan je osnovni pribor za označavanje metalnih dijelova.



Slika 8.9: Pribor za označavanje metalnih dijelova

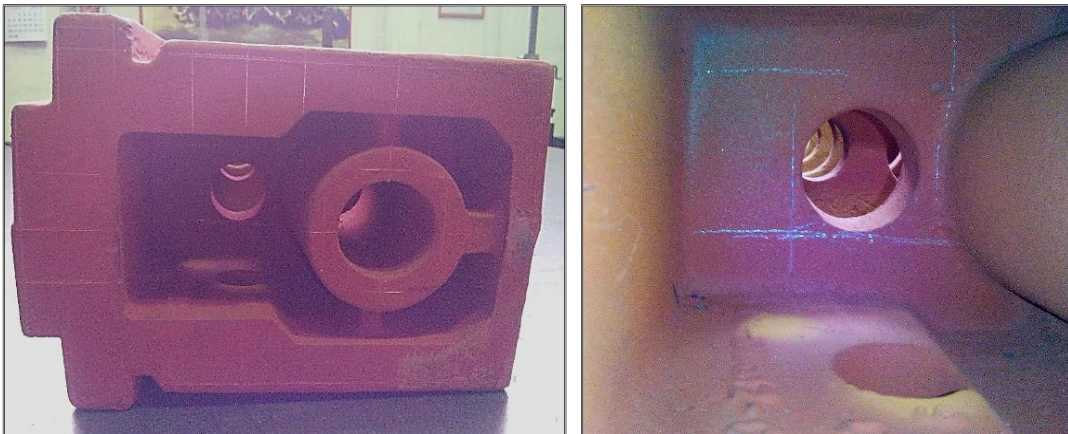


*Slika 8.10: Odljevak vreteništa stroja iz SL na stolu za označavanje*

Označavanje se vrši na fino obrađenoj ploči (slika 8.10), izrađenoj od sivog lijeva ili granita. Površina ploče je grecana, s jakim rebrima na donjoj strani, da se spriječe i najmanje deformacije ploče kod ocrtavanja teških odljevka. Cilindrični komadi obično se postavljaju na prizme.

Po označenim linijama odljevak se obrađuje, stoga svaka greška kod označavanja uzrokuje neminovno otpad („škart“) ili pak dodatni rad (doradu). Ispravno i točno označavanje olakšava obradu, a vidljive ucrtane linije (slika 8.11) usmjeravaju obradu.

Označavanje oduzima vrijeme, te traži vještinu, znanje i pažljivost, ali i poskupljuje proizvod. Međutim lakšom i jednostavnijom obradom odljevka, po prethodno označenim linijama, ubrzava se rad, a utrošeno vrijeme se nadoknadi i postupak je stoga isplativ. Osim toga, sa točno označenim odljevkom smanjuje se mogućnost pojave škarta, a time i troškovi proizvodnje.



*Slika 8.11: Označene linije za obradu na odljevku iz SL*

## 9. Lijevanje dijelova stroja

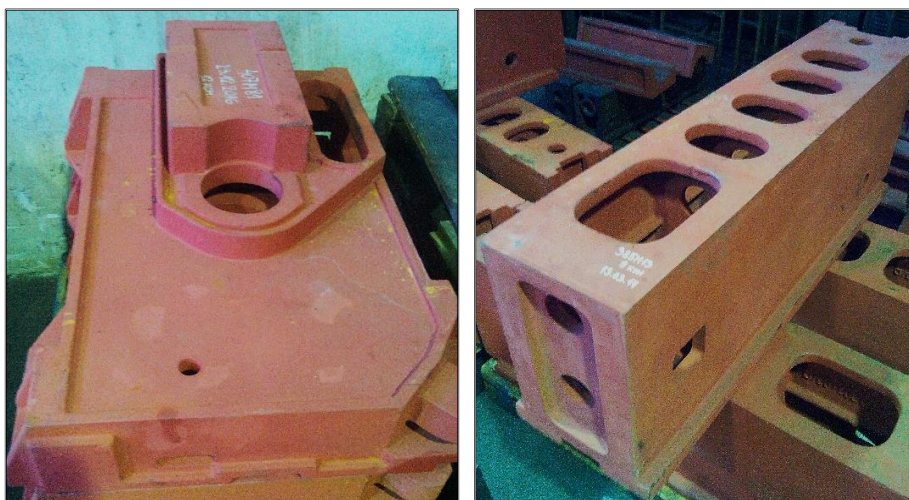
Lijevanjem je moguće postići vrlo složene oblike uz visoku iskoristivost materijala. Primjenjuje se u situacijama kada je to najekonomičniji način proizvodnje, npr. kod izrade velikih i masivnih kućišta kompliciranih oblika u proizvodnji strojeva. Složenost oblika, odnosno ekonomičnost, često je isključivi kriterij izbora lijevanja kao načina oblikovanja materijala, a lijevanje kao postupak obično je najekonomičnije u serijskoj proizvodnji dijelova složenog oblika. Dodatna obrada nakon lijevanja svodi se na minimum, a svojstva odljevka jednolična su po cijelom presjeku dijela [14].

Ljevački postupak bira se na temelju veličine, mase i oblika odljevka, mehaničkih svojstava, zahtjeva točnosti i kvalitete površine, količine proizvodnje i ukupnih troškova [14]. Najviše se koristi postupak lijevanja u pijesku. Mogu se lijevati gotovo svi materijali za lijevanje, od najmanjih dijelova do onih najvećih, pojedinačnom ili masovnom proizvodnjom.

Postupak pješčanog lijevanja sastoji se od ulijevanje rastaljenog metala u pješčani kalup, ohlađivanja (kristalizacije), rastaljene metalne mase i razbijanja kalupa da se izuzme odljevak.

Odljevak se nakon toga čisti i provjerava, a prema potrebi toplinski obrađuje postupkom žarenja. Žarenje odljevka nakon lijevanja provodi se u svrhu poboljšavanja obradivosti i dobivanja jednolikih svojstava po cijelom presjeku. Nejednolika svojstva i mikrostruktura rezultat su nejednolikog ohlađivanja odljevka nakon lijevanja. Na slici 9.1 prikazani su odljevci dijelova strojeva dobiveni lijevanjem u pijesku (postolje stroja – temeljna ploča (lijevo) i odljevak stupa stroja (desno)).

Na slici 8.10, u prethodnom poglavlju prikazan je odljevak kućišta vreteništa stroja, koji se prije obrade OOČ označava, a nakon grube obrade, tzv. „otvaranja“, podvrgava postupku žarenja – normalizacije. Šuplja rebrasta izvedba stupa stroja iz SL, osigurava stabilnost i krutost stroja.



Slika 9.1: Odljevci nosivih dijelova konstrukcije alatnog stroja



## 10. Toplinska obrada dijelova stroja

Toplinskom obradom predmet se namjerno podvrgava temperaturno-vremenskim ciklusima da se dobije željena mikrostruktura i željena mehanička, fizikalna i kemijska svojstva [8]. U ovom dijelu rada prikazane su neke od toplinskih obrada elemenata i funkcionalnih površina CNC glodalice, te su ukratko obrazloženi razlozi korištenja takvih postupaka.

Klizne hidrodinamske vodilice CNC glodalice, čije je sklapanje i podešavanje prikazano u nastavku rada, sastavni su dijelovi stroja, a izrađene su iz sivog lijeva. Klizne vodilice izložene su intenzivnom trošenju, te je površine potrebno otvrdnuti postupcima kaljenja. Kaljenjem se povećava otpornost na trošenje, čvrstoća i tvrdoća vodilica, te njihova dinamička izdrživost.

Dijelovi stroja sa integriranim kliznim vodilicama su: stup stroja, koji nosi križni suport (visinsko premještanje suporta) i vretenište stroja (poprečno premještanje vreteništa). Križni suport ima kaljene klizne vodilice za uzdužno premještanje klizača i klizne staze za pomicanje po vertikalnim vodilicama stupa.

Vodilice spomenutih modula stroja induksijski se kale (slika 10.1 – lijevo). Kod induksijskog kaljenja potrebna toplina se dobiva bez kontakta, a vrijeme ugrijavanja je vrlo kratko. Za provođenje induksijskog kaljenja nužni su induktor i prskalica. Oblik induktora prilagođen je obliku obrađivanog dijela, te postoji mogućnost parcijalnog kaljenja relativno kompliciranih oblika. Induksijsko kaljenje najčešći je postupak površinskog kaljenja zbog svoje produktivnosti i dobrih svojstava zakaljenog površinskog sloja, uz male deformacije površine. Preporuča se da polazna mikrostruktura za induksijsko kaljenje bude u poboljšanom ili normaliziranom stanju [26].

Na slici (10.1 – desno) prikazan je izgled površine nakon induksijskog kaljenja



Slika 10.1: Induksijsko kaljenje vodilica stroja (lijevo), izgled kaljene površine (desno)

Postupci toplinske obrade kojima se često podvrgavaju elementi strojeva jesu postupci žarenja. Žarenje se primjenjuje u preradi raznih metala i njihovih legura u cilju postizanja specifičnih tehnoloških svojstava, kao što je npr. obradivost. Žarenje se može provoditi ispod temperature  $A_1$  ( $\sim 723^\circ\text{C}$ ) i kod ovih postupaka nema promjene kristalne rešetke (postupci žarenja prve vrste). Kod žarenja koja se provode oko ili iznad temperature  $A_1$ , dolazi do prekrystalizacije mikrostrukture i ove promjene imaju odlučujuću ulogu u promjeni svojstava materijala (postupci žarenja druge vrste) [8].

Na slici 10.2 prikazan je postupak normalizacije stupa stroja iz SL. Normalizacijom se postižu „korekcije“ u materijalu s glavnom svrhom postignuća sitnozrnate i jednolične mikrostrukture [8]. Zadaća normalizacije sivog lijeva jest povišenje udjela vezanog ugljika kako bi se odljevak učinio kaljivim, a zatim i izjednačavanje rasporeda cementita u feritu, te umjerenog povišenja vlačne čvrstoće, tvrdoće i opće otpornosti na trošenje [27].

Normalizacija stupa stroja provodi se zagrijavanjem odljevka iznad temperature  $A_3$ , držanja na toj temperaturi i sporog hlađenja na zraku ( u otvorenoj peći). Normalizacija stupa se provodi nakon grube obrade odvajanjem čestica, a prije postupaka fine obrade, indukcijskog kaljenja vodilica, te završne obrade brušenja.



*Slika 10.2: Hlađenje stupa stroja u otvorenoj peći nakon normalizacijskog žarenja*

## **11.Sastavljanje dijelova stroja, prilagodba i podešavanje stroja**

U ovom dijelu rada biti će prikazano sastavljanje dijelova alatnog stroja, te postupak prilagodbe i podešavanje stroja za rad s propisanom preciznošću. Kroz rad su već prikazivani pojedini elementi i sklopovi stroja čije je sklapanje opisano u ovom poglavlju. Radi se o glodalici sa CNC upravljanjem, sklopljenoj i izrađenoj u tvornici alatnih strojeva ITAS – Prvomajska, Ivanec, po licenci njemačkog naručitelja.

Moduli CNC glodalice:

- postolje stroja (temeljna ploča),
- stup stroja,
- sklop vreteništa stroja sa integriranim kliznim vodilicama,
- križni suport sa integriranim kliznim vodilicama,
- klizač uzdužne osi stroja,
- radni stol sa T-utorima,
- prigon pomoćnog gibanja (za X, Y, Z os)
- prigon glavnog gibanja,
- okretna radna glava s vertikalnim vretenom,
- nosač sa upravljačkom jedinicom stroja.

Tehničke značajke CNC glodalice:

- iznimno stabilna konstrukcija visoke krutosti iz sivog lijeva,
- horizontalno i vertikalno radno vreteno,
- kaljene i brušenjem fino obrađene klizne vodilice u sve tri osi,
- ugrađena kuglična navojna vretena za brzo i precizno pozicioniranje po X, Y, Z osi,
- vretenište stroja sa zupčanicima i automatskom izmjenom frekvencije vrtnje, te velikim, zaokretnim momentom vretena stroja,
- hidrauličko pritezanje alata – prihvat alata SK 40,
- ručna kola u sve tri osi (uz CNC moguća i manualna kontrola stroja),
- HEIDENHAIN upravljačka jedinica.

### **11.1 Sklapanje i podešavanje po modulima stroja:**

Stup glodalice montira se na temeljnu ploču (slika 11.1 – desno). Stup je nosač konstrukcije stroja i svih nepokretnih i pokretnih dijelova, kao što su: suport sa klizačem i radnim stolom i vretenište stroja sa glavnim prigonom i vertikalnom radnom glavom.

Kod montaže elemenata stroja fino obrađene površine koje su u međusobnom dodiru obrađuju se grecanjem i provjeravaju tuširanjem, kako bi se postigla zahtjevana geometrija pokretnih i nepokretnih dijelova stroja.

Na slici 11.1 prikazan je postupak grecanja obrađene površine temeljne ploče (slika 11.1 – lijevo), na koju se učvršćuje sklop KNV vertikalne osi stroja (slika 11.1 – sredina). Radijalni udar kugličnog navojnog vretena provjerava se mjernim satovima - komparatorima (slika 11.1 – desno). Radijalni udar KNV u odnosu na vodilice stupa stroja, korigira se grecanjem i tuširanjem površine na dijelu nalijeganja prirubnice sklopa KNV, na temeljnu ploču stroja.



*Slika 11.1: Montiranje i podešavanje vertikalnog KNV*

Matica KNV sa recirkulirajućim valjnim tijelima, učvršćuje se vijcima za kučište križnog suporta stroja. Križni suport ima klizne staze za visinsko premještanje – pomicanje po Z osi, sa izrađenim utorima za podmazivanje i grecanim kliznim površinama (slika 7.26 – poglavlje o vodilicama stroja). Križni suport kod visinskog premještanja klizi po vodilicama stupa koje su lijevane i obrađene zajedno sa stupom.

Križni suport konstruiran je još sa parom horizontalnih vodilica koje su površinski otvrdnute postupkom indukcijskog kaljenja. Smjer vođenja okomit je u odnosu na vertikalne klizne staze, a uloga im je nošenje i vođenje uzdužnog klizača (klizača X osi). Oblik horizontalnih vodilica suporta kombinacija je klinastih i ravnih vodilica (slika 11.2).



*Slika 11.2: Križni suport sa montiranim klizačem uzdužne osi stroja*

Klizač uzdužne osi stroja sa sklopom KNV, montira se na križni suport (slika 11.2). Odgovarajuće osiguranje i pritezanje klizača na vodilice suporta postiže se vodećom letvom i kompenzacijskom klinastom letvom. Klizač ostvaruje jedan stupanj gibanja (premještanje po X osi stroja). Uzdužni klizač je ujedno i nosač radnog stola sa T-utorima. Radni stol se na klizač učvršćuje vijcima i moguće ga je skidati, odnosno mjenjati (npr. kod postavljanja nagibnog stola).

Vretenište stroja sa intergriranim kliznim vodilicama (ravnim), postavlja se na klizne staze stupa stroja (slika 11.3). Klizne staze po kojima klize vodilice vreteništa, obrađene su grecanjem sa izrađenim utorima za podmazivanje.



*Slika 11.3: Stroj sa postavljenim vreteništem, radnim stolom i križnim suportom*

Sprezanje vodilica vreteništa i kliznih staza stupa osigurava se vodećom i kompenzacijskom letvom. Letve se prethodno tuširaju i grecaju, te pripasuju vodilicama stroja. Cilj je dobiti lako pomicanje vreteništa, bez udara i trzaja, uz minimalnu zračnost između kliznih površina.

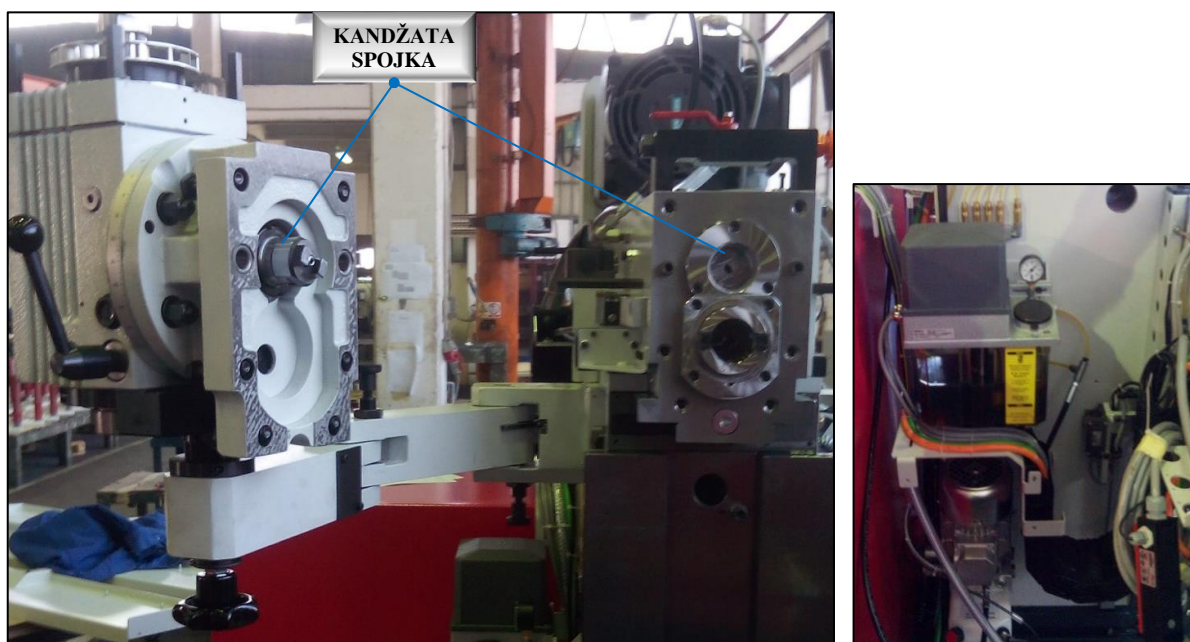
Nakon sklapanja i podešavanja glavnih elemenata glodalice (postolja, stupa, radnog stola i vreteništa), montiraju se ; nosači motora pomoćnog i glavnog gibanja, elektromotori sa remenskim prijenosnicima, ormarić sa elektronikom stroja, upravljačka jedinica stroja, ručna kola za ručno upravljanje osima stroja, spremnik s uljem za centralno podmazivanje stroja itd. Stroj je opremljen spremnikom sa rashladnom tekućinom, koja se dodaje naknadno.

Nakon ugradnje navedenih dijelova, spajanja hidraulike i elektroničkih komponenti, moguće je pokrenuti stroj i upravljati radnim osima, a horizontalno radno vreteno može se okretati i prihvatiti alat. Slijedi prilagodba i podešavanje stroja prije preuzimanja, odnosno isporuke stroja naručitelju.

Na slici 11.4 – lijevo, prikazan je način montiranja radne glave sa vertikalnim vretenom. Radna glava se učvršćuje za kućište vreteništa, a postavljena je na posebni nosač, za lakšu montažu.

Vertikalna glava glodalice može se zaokretati pod nekim kutom oko poprečne osi stroja. Okretni moment se sa vreteništa prenosi preko kandžaste spojke na sklop vertikalnog vretena.

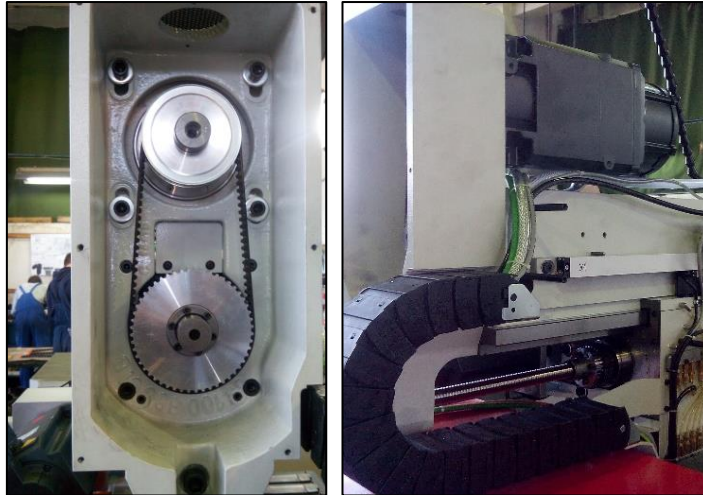
Klizne hidrodinamske vodilice stroja potrebno je neprestano podmazivati da ne bi došlo do zastoja stroja. Podmazivanje se vrši posebnim uljem za klizne staze, a dovodi se pod tlakom do pokretnih kliznih elemenata pomoću crpke. Ulje se crpi i raznosi po kliznim elementima stroja iz posebnog spremnika za centralno podmazivanje (slika 11.4 – desno).



*Slika 11.4: Postavljanje vertikalne zakretne radne glave (lijevo), spremnik ulja sa crpkom (desno)*

## 11.2 Glavni i posmični prigon stroja

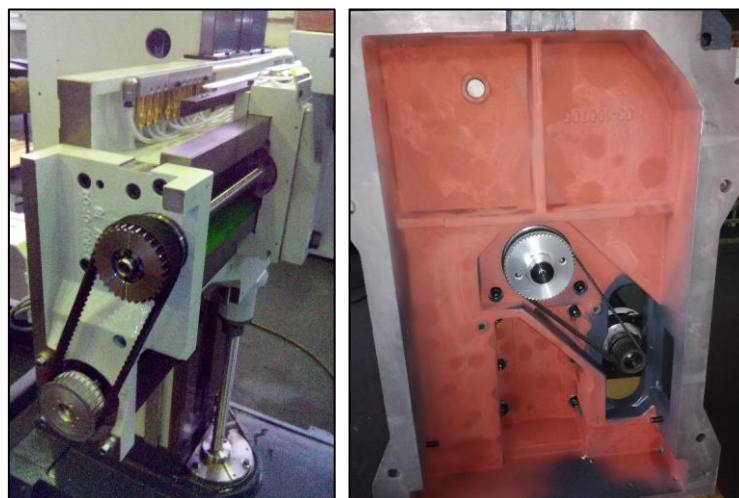
Prigon za glavno gibanje (slika 11.5), sastoji se od trofaznog izmjeničnog motora (snage 15 kW), prijenosnika gibanja (zupčasti remen i remenica) i vreteništa sa zupčanicima i sklopom glavnog vretena. Pogon vretena (horizontalnog i vertikalnog), ostvaruje se preko vreteništa stroja. Vretenište CNC glodalice detaljnije je opisano u sedmom poglavlju rada.



Slika 11.5: Sklopovi glavnog prigona

Posmični prigon za pogon osi glodalice čine kuglična navojna vretena s dvodijelnom maticom, istosmjerni servo motori i prijenosnici gibanja (zupčasti remen i remenica, slika 11.6).

Sklop KNV povezan je sa pokretnim dijelovima stroja i omogućava njihovo pokretanje, pretvorbom kružnog u pravocrtno gibanje. Okretni moment sa elektromotora na vreteno, prenosi se remenskim prijenosom, preko zupčaste remenice i remena. Sklopovi koji ostvaruju gibanje preko posmičnog prigona stroja su ; križni suport u vertikalnom smjeru (Z os), klizač uzdužne osi u uzdužnom smjeru (X os), vretenište u poprečnom smjeru (Y os).



Slika 11.6 :Izvedba glavnog i posmičnog prigona CNC glodalice

### 11.3 Prilagodba i podešavanje stroja

Strojevi se preuzimaju po određenim tolerancijama koje se nalaze u posebnim tablicama (ispitnim kartama stroja), a način ispitivanja propisan je normama (npr. DIN 8601 – opći propisi o preuzimanju alatnih strojeva). Odstupanja su naznačena s obzirom na određenu duljinu (100 mm, 300 mm i 1000 mm). U većini slučajeva dopušteno odstupanje iznosi od 0.01 mm do 0.03 mm.

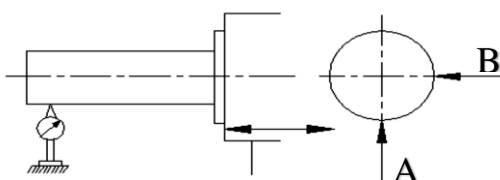
Mjeri se vodoravnost, okomitost, ravnost, bacanje radnog vretena itd., što je za svaku vrstu alatnog stroja posebno propisano. Ispitivanje točnosti odnosi se u prvom redu na točnost proizvodnje strojeva, tj. na točnost kojom je stroj sastavljen [24]. Ispitna karta stroja sadrži geometrijske i radne točnosti koje se postižu prilikom sklapanja alatnog stroja, prema zahtjevima važećih standarda i dopuštenim tolerancijama. Preciznost i rad stroja kod njegovog preuzimanja, ali i u uvjetima eksploatacije, zavisi o pravilno podešenim geometrijskim odnosima pokretnih i nepokretnih sklopova stroja. Točnost pojedinačnih dijelova stroja ispituju se tijekom proizvodnje.

Kao pribor za mjerenje i kontrolu dopušten je onaj kojim se može izmjeriti zahtijevana točnost.

U uporabi su uglavnom [24]:

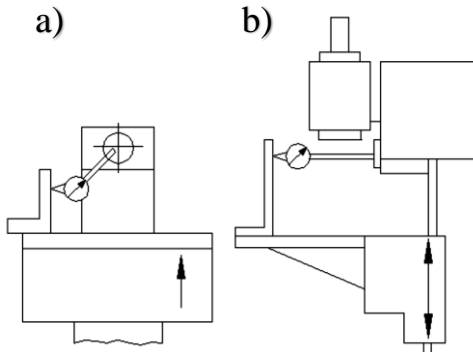
- satovi za mjerenje (komparatori) – najviše u uporabi s podjelama skale 1/100 mm i 1/1000 mm,
- kalibrirani trnovi za ispitivanje – izrađeni sa konusnom drškom za prihvat u vreteno,
- ravnala za tuširanje – precizno izrađena iz SL ili čelika,
- kutnici – izrađeni iz mramora ili granita,
- libele – s propisanom točnošću 0,03 mm do 0,04 mm, na 1000 mm, za jedan razmak crtica na skali. To odgovara otprilike kutu od 6 sekundi,
- etaloni.

U nastavku je prikazano podešavanje CNC glodalice sa skicama i uputama iz ispitne karte stroja. Ispituju se odstupanja i međusobni odnosi horizontalnog i vertikalnog radnog vretena, te radnog stola.

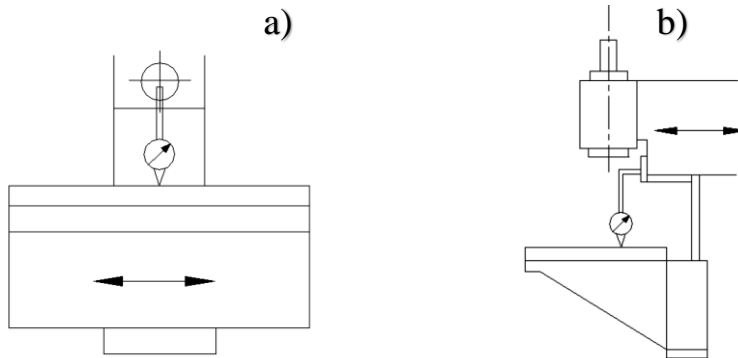


PEDMET MJERENJA	DOZVOLJENO ODSUPANJE [mm]
<p><i>Paralelnost horizontalnog vretena sa vodilicama vreteništa stroja</i></p> <p>„A“ – u vertikalnoj ravnini</p> <p>„B“ – u horizontalnoj ravnini</p>	<p>0,01 / 150</p>

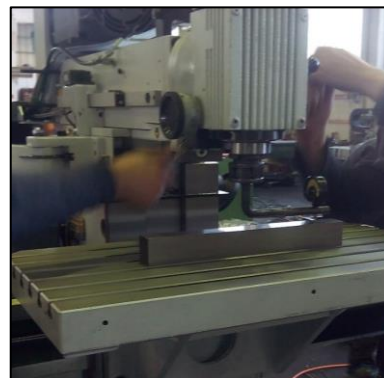
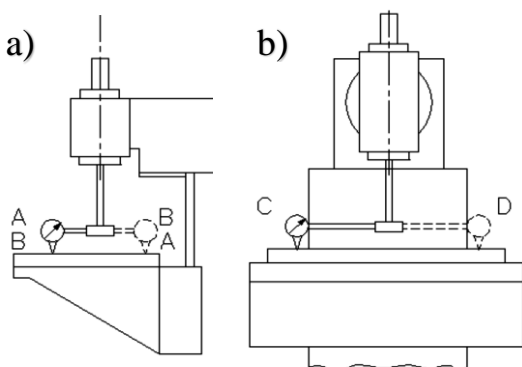




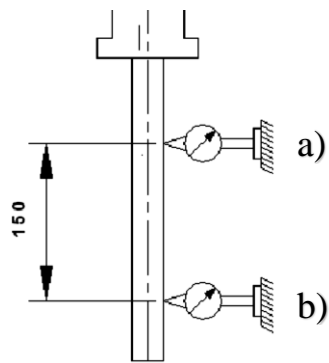
PEDMET MJERENJA	DOZVOLJENO ODSUPANJE [mm]
Okomitost visinskog premještanja stola a) u uzdužnom smjeru, b) u poprečnom smjeru	c) 0,01 / 150 d) 0,01 / 150



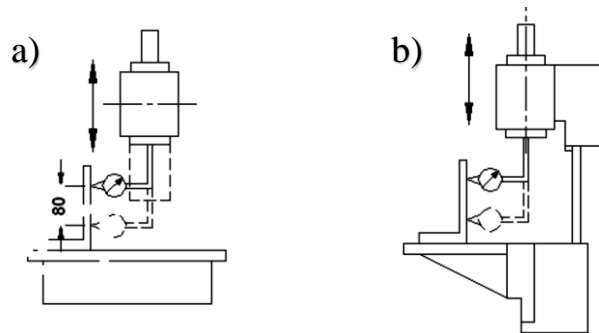
PEDMET MJERENJA	DOZVOLJENO ODSUPANJE [mm]
a) paralelnost pritezne plohe sa pravcem uzdužnog hoda stola b) paralelnost pritezne plohe sa osi horizontalnog radnog vretena !!stol smije biti uzdignut samo na prednjem kraju!!	0,01 / 150



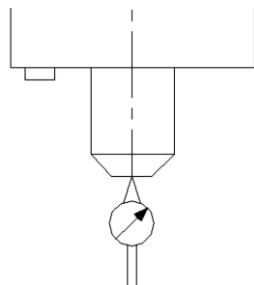
PEDMET MJERENJA	DOZVOLJENO ODSUPANJE [mm]
Okomitost osi vertikalnog radnog vretena na radnu površinu stroja mjereno u a) poprečnom smjeru i b) uzdužnom smjeru !!Stol smije biti uzdignut samo na prednjem kraju!!	a) 0,02 b) 0,02



PEDMET MJERENJA	DOZVOLJENO ODSUPANJE [mm]
<i>Centričnost unutarnjeg konusa u točki a) i b) (centričnost se na isti način provjerava za horizontalno vreteno)</i>	a) 0,01 b) 0,02



PEDMET MJERENJA	DOZVOLJENO ODSUPANJE [mm]
<i>Okomitost hoda pinole vertikalnog vretena, na površinu radnog stola. Mjereno okomito na: a) uzdužni hod i b) poprečni hod. !!Stol smije biti uzdignut samo na prednjem kraju!!</i>	a) 0,01 / 150 b) 0,02 / 150



PEDMET MJERENJA	DOZVOLJENO ODSUPANJE [mm]
<i>Aksijalna mirnoća vretena, kontrolira se za horizontalno i vertikalno radno vreteno.</i>	0,005

#### 11.4 Preuzimanje stroja

Na slici 11.7 prikazan je izgled stroja nakon sastavljanja, podešavanja i provjere geometrijske točnosti. Stroj se nakon završenih radnji sklapanja i provjere testira. Testiranje se radi prema posebnom programu, a uključuje premještanje pokretnih sklopova stroja (križnog suporta, klizača i vreteništa) po X, Y i Z osi i okretanje radnog vretena različitim frekvencijama vrtnje. Stroj radi po programu za testiranje 24 h, nakon čega je spreman za isporuku naručitelju.



*Slika 11.7: CNC glodalica sa upravljačkom jedinicom stroja*

## **12. Zaključak**

Intenzivni razvoj alatnih strojeva za OOČ, a neminovno alata i postupaka, osigurava ovoj vrsti obrade prvo mjesto kada je potrebno postići visoke točnosti i kvalitetu proizvoda, uz veliku produktivnost, u obradi sitnih i glomaznih oblika. Nedostaci ove obrade uvelike su umanjeni, ubrzanim razvojem grupe strojeva, alata i postupaka obrade odvajanjem čestica.

Dijelovi za gradnju alatnih strojeva uvijek će iziskivati maksimalnu preciznost i točnost izrade, kao i kvalitetu obrađene površine, a to je preduvjet da se dobije funkcionalan stroj, visoke kvalitete, i točnosti, koji je precizan u trenutku preuzimanja, a tu preciznost također zadržava u uvjetima eksploatacije (obrade na stroju).

Trebalo bi težiti da se ručne obrade i dorade svedu na minimum, odnosno automatiziraju, ako je to moguće, jer su takvi postupci u pravilu spori i skupi, a za obavljanje rada često je potrebna iskusna radna snaga.

Proizvodnja alatnih strojeva zahtjeva točnost i preciznost kod izrade dijelova stroja. Da se ti zahtjevi ispune potrebna je skupa oprema kod mjerenja i kontrole. Kod obrade odvajanjem čestica nužno je korištenje suvremenih alata za obradu. Tijekom sklapanja i podešavanja stroja, treba strogo poštivati norme propisane standardima za gradnju alatnih strojeva.

U današnje vrijeme, razvoj industrije alatnih strojeva dosegnuo je gotovo vrhunac u tehnološkom napretku. Razvoj novih tehnologija neminovno iziskuje i razvoj novih vještina, te nova znanja u proizvodnji takve vrste strojeva, što će svakako biti prioritet svake organizacije rada i proizvodnje koja se bavi tom vrstom posla.

Rezultat strojnih i ručnih obrada, dorada, procesa, te podešavanja i sastavljanja opisanih u radu, funkcionalni je proizvod propisane kvalitete, alatni stroj.

U Varaždinu, 18.09.2017.



---

### **13.Korištena literatura:**

- [1] <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=1347> , dostupno - 25.6.2017.
- [2] <http://www.hatz.hr/hrv/glasnik/Alatni%20strojevi1-1.htm>, dostupno - 25.6.2017.
- [3] Steven Y. Liang, Albert J. Shih – Analysis of Machining and Machine Tools, Springer 2015 – str. 6..
- [4] <https://www.scribd.com/doc/75039335/CNC-alatne-masine>, dostupno - 25.6.2017.
- [5] Helmi A. Youssef, Hassan El-Hofy – Machining Technology: Machine Tools and Operations – 2008. – CRC Press – str 13–68.
- [6] Mirna Ratkajec: Zaštita industrijske baštine na primjeru tvornice strojeva i ljevaonice metala „Braća Ševčik“, 25. 06. 2014., str. 248.
- [7] Ivo Slade – Obrada materijala I, II – skripta za zanimanje strojarški tehničar
- [8] Mladen Stupnišek, Franjo Cajner - Osnove toplinske obrade metala –Sveučilište u Zagrebu – Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, 2001.
- [9] Oto Horvat – Mala mehanička tehnologija – Tehnička knjiga – Zagreb, 1965.
- [10] Mijo Matošević – Tehnologija obrade i montaže – „UM“ d.o.o. – Nova Gradiška, 2001.
- [11] Pero Katić – Temeljci alata i strojeva –Dan; Visoka politehnička škola Zagreb, veljača 2011.
- [12] F. Klocke - RWTH Aachen University – Lecture 07- Cutting Processes, dostupno 25.6.2017.
- [13] Rajender Singh – Introduction to basic manufacturing processes and workshop technology, New Age International Publishers, 2006 – str. 410-447.
- [14] Tomislav Filetin - Izbor materijala pri razvoju proizvoda – Sveučilište u Zagrebu – Fakultet strojarstva i brodogradnje – Zagreb, 2006.
- [15] Rudolf Zdenković – Atlas alatnih strojeva – Sveučilište u Zagrebu – Fakultet strojarstva i brodogradnje – Zagreb, 1991.
- [16] T. Filetin, F. Kovačićek, J. Indof – Svojstva i primjena materijala – Sveučilište u Zagrebu – Fakultet strojarstva i brodogradnje – Zagreb 2011.
- [17] Damir Ciglar – Sklopovi alatnih strojeva (online materijali) – Zavod za tehnologiju – Katedra za alatne strojeve - dostupno 7.7.2017.
- [18] Antun Stoić – Alatni strojevi – Podloge za praćenje predavanja i pripremu ispita – UNIN, 2015.
- [19] Rajko Todić – Analiza sustava za obradu odvajanjem čestica – Seminarski rad – FSB – Zagreb, 2007.
- [20] Tomislav Pap – Programiranje CNC strojeva pomoću CAD/CAM sustava- Završni rad – FSB – Zagreb, 2009.
- [21] L. Olivari , L. Drobilo – Posmični prigoni AS i njihovi mjerni sustavi – Seminarski rad– FSB – Zagreb 2011.
- [22] Zoran Kalinić – Održavanje alatnih strojeva – Školska knjiga – Zagreb, 1997.
- [23] I. Hiti, G. Nikolić – Ručne obrade metala I. dio – Zrinski d.d. Čakovec – Čakovec, 1997.
- [24] Oto Horvat – Mehanička tehnologija materijala za gradnju strojeva, II dio – Tehnička knjiga – Zagreb, 1965.
- [25] P.C. Sharma – Textbook of production Engineering – S. Chand and Company LTD. – Ram Nagar, New Delhi, 1999., str. 677.
- [26] Mirko Gojić – Površinska obrada materijala – Metalurški fakultet – Sisak, 2010.
- [27] Novosel, Mladen; Krumes, Dragomir: Željezni materijali – SFSB – Slavonski Brod, 1997.

IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

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

Ja, IVICA KRANJČEC pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog rada pod naslovom: ALATNI STROJEVI ZA OBRADU ODVAJANJEM ČESTICA – OSVRT NA TEHNOLOGIJU GRADNJE, te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:

*Ivica Kranjčec*

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

Ja, IVICA KRANJČEC neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom završnog rada pod naslovom ALATNI STROJEVI ZA OBRADU ODVAJANJEM ČESTICA – OSVRT NA TEHNOLOGIJU GRADNJE, čiji sam autor.

Student:

*Ivica Kranjčec*