

Obrada metala

1 Teorija rezanja metala

1.1 Alati za rad skidanjem strugotine

Obradivanje skidanjem strugotine, kao np.: rezanje, tokarenje, struganje, glodanje, brušenje, provlačenje, grecanje, vrši se raznim alatima. Jednom to može biti **nož** s jednom oštricom (tokarenje, blanjanje), drugi puta **svrdlo** koje na sebi nosi dvije osnovne oštrice, treći puta alat sa više oštrica koje odjednom skidaju strugotinu mora, kao i ostali zahvatiti, odgovarati nekim zakonitostima. Te zakonitosti prvi je počeo proučavati amerikanac F.W.Taylor krajem prošlog stoljeća.

Svaki alat, koji koristimo pri skidanju strugotina, kao što smo vidjeli, sastoji se od jedne ili više oštrica. To nas dovodi do zaključka, da analogijom tu zakonitost prenesemo na sve druge.

Osnovna oštrica alata za rezanje bazira se na principu klina. Znači, moramo proučiti djelovanje klina. Zbog toga mi ćemo se zadržati na jednom alatu, a to je **tokarski nož**, te ćemo na njemu proučiti sve.

1.2 Geometrijski oblici oštrice alata i elementi oštine

Rekli smo da je temeljni oblik svakog alata za rezanje klin. To vrijedi kod dljeta, kod oštrice škara, kod turpije, tokarskog noža, glodala itd.

Prvo da se upoznamo općenito s tokarskim nožem i njegovim elementima rezanja i plohama.

Osnovni elementi su:

- glavna oštrica
- pomoćna oštrica
- noža

Od površina koje trebamo razlikovati na nožu su

- prednja površina
- stražnja površina
- pomoćna stražnja površina

Prije nego što upoznamo detalje noža, spomenimo i sile koje se javljaju na nožu. To su:

- P - vertikalna sila- sila protivna rezanju
- P_v - sila posmaka - sila protivna uzdužnom posmaku
- P_r - natražni pritisak - sila protivna poprečnom posmaku, a nastoji otisnuti nož od predmeta

Sada ćemo se upoznati malo detaljnije s jednim nožem za tokarenje, nožem koji se najčešće koristi.

Analizirajući presjek x-x razlikujemo:

- α - stražnji ili slobodni kut - između stražnje površine i površine rezanja.
- β - kut oštrenja ili kut klina - kut između prednje i stražnje površine.
- γ - prednji kut, kut između prednje površine i okomice na površinu rezanja. Proizlazi da je $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$
- δ - kut rezanja - on je suma $\alpha + \beta$.
- ϵ - kut šiljka noža ili čeon kut, to je kut između stražnje i pomoćne stražnje površine.
- κ - kut namještanja noža je kut između površine rezanja i glavne oštrice.
- λ - kut nadvišenja - kut između glavne oštrice i površine u ravnini rezanja koja proizlazi kroz vrh noža.
- τ - natražni kut - koji se pojavljuje kod noževa za odrezivanje.

Evo nekoliko osnovnih primjera brušenja tokarskih noževa.

Položaj noža prema tokarenom predmetu može također djelovati na promjene osnovnih kuteva rezanja α , β , δ , dok nam kut β ostaje konstantan

Kod unutarnjeg tokarenja situacija je obratna. To nas upućuje da je važno paziti kako je postavlja nož kod obrade.

1.3 Proces rezanja i formiranja strugotine

Prilikom skidanja strugotine sudjeluje niz faktora koji definiraju oblik strugotine. U te faktore možemo svrstati:

- vrstu materijala koji se obrađuje
- vrstu materijala od kojeg je nož
- brzinu rezanja i
- presjek strugotina

Postoje tri osnovna tipa strugotine:

1. Kidana - lomljena strugotina

Materijal se najprije sabije na prednjoj površini noža, a zatim se zbog povećanog pritiska odlomi. Nakon toga proces se opet ponavlja.

Kidana - lomljena strugotina nastaje kada je prednji kut manji od 10° , a zatim kod tvrdih materijala i kada se radi s preniskim brzinama rezanja. U tako formiranoj strugotini ne nastaju plastične deformacije. Oštrica noža se grije do 600°C i to

nejednoliko. Kako se pritisak mijenja, mijenja se i zagrijavanje oštrice što dovodi do velikog kolebanja temperature. Kod takovog obnlika strugotine podmazivanje noža mnogo ne pomaže. Takav oblik strugotine javlja se kod ljevanjog željeza.

2. Rezana ili odrezna strugotina

Ovakav oblik strugotine nastaje kod prednjeg kuta $\gamma < 17^\circ$ i kod male dubine rezanja. Taj oblik strugotine je prijelazni oblik od kidane na trakastu strugotinu. Oblik strugotine je povoljan jer nije preduga i ne smeta pri radu.

3. Trakasta ili ljuštena strugotina

Ovakav oblik strugotine nastaje kod velikih brzina rezanja, male dubine i malog posmaka i kod prednjeg kuta $\gamma < 30^\circ$. Materijal se tari o prednju površinu noža i odlazi kao neprekinuta strugotina. Pritisak na nož je jednolikiji, što daje i jednoličniju temperaturu oštrice od približno 200°C . Kolebanje temperature noža su u granicama od 20° . dobrim podmazivanjem oštrice pri rezanju može se produžiti vijek rada noža, jer takovo podmazivanje pogoduje stvaranju povišene oštrice koja štedi oštricu. To svojstvo nam veoma važno kod rada na automatima.

1.4 Hrapavost obrađene površine

Kvaliteta obrađene površine ovisi o režimima rada i o izboru noža. Razlikujemo dvije osnovne forme noževa i to:

- noževi za grubu obradu
- noževi za finu obradu

Noževi za grubu obradu moraju biti izabrani tako da omoguće maksimalno moguće skidanje strugotina. Sa takovim noževima možemo postići prosječnu hrapavost $9-11\mu\text{m}$. Noževi za finu obradu već imaju posebne oblike raznih oštrica, te uz dobro izabrane režime rada mogu dati kvalitetu površine of $6-9\mu\text{m}$. Općenito uzevši, tokarski nož za vanjsku obradu možemo prvi moment podijeliti na lijeve i desne noževe. Dali je nož lijevi ili desni oderđujemo na sljedeći način. Uzmemo ga u ruku tako, daoštrica bude okrenuta prema našem tijelu i to prema gore. Strana na kojoj se nalazi glavna rezna oštrica vrijedi kao oznaka (lijevi, desni).

Druga podjela noževa za tokarenje može biti:

- noževi za vanjsko tokarenje.
- noževi za unutarnje tokarenje
- razni fazonski noževi za vanjsko ili unutarnje tokarenje a tu spadaju i noževi za rezanje raznih vrsta nareza, raznih oblika utora itd.

Pregled noževa za vanjsko tokarenje

1. - desni savijeni nož za čeonu grubo obrađivanje
2. - desni savijeni nož za čeonu obrađivanje uglova

3. - desni ravni nož za uzdužno grubo obrađivanje
4. - desni savijeni nož za uzdužno grubo obrađivanje
5. - nož za fino obrađivanje, šiljati
6. - nož za fino obrađivanje
7. - nož za utore
8. - nož za odrezivanje
9. - ravni nož za poprečno tokarenje

Već smo više puta spominjali termine **dubina**, **posmak**, **presjek strugotine**. Svi ovi termini, veoma se često koriste, kada se govori o skidanju strugotina. Da se sada upoznemo i s tim tako važnim podacima.

- Dubina rezanja - t - je dubina prodiranja noža u materijal i mjeri se u milimetrima
- Posmak noža - s - mm/okretaj - to je pomak noža duž osi obrađivanog predmeta za svaki okretaj
- Presjek strugotine - f - mm^2 - možemo ga smatrati umnoškom posmaka s i dubine rezanja t ; to bi bio teoretski presjek. Stvarni presjek je manji za neskinuti ostatak, koji ovisi o posmaku noža, o kutevima glavne i sporedne oštrice, te o zaobljenosti vrha noža.

Analizirajući sliku, veličina neskinutog ostatka naglo raste s porastom posmaka, a isto tako je vidljivo da naglo pada s porastom zaobljenja vrha noža. Jedan od oblika noža koji ostavlja veoma mali ostatak je oblik koji predlaže Taylor. Zbog velike zaobljenosti vrha ostatak je minimalan. No jako zaobljeni noževi imaju cca 15% veće sile rezanja od običnih noževa. Specifična opterećenja duž ovih oštrica su dosta nejednolika. Zbog takove forme otežana je proizvodnja takovih noževa i međufazno prebrušavanje što dovodi do rijeđe primjene ovakvih oblika noževa.

Sile na nožu

U početku smo se već upoznali sa silama, koje se javljaju na nožu. Kod toga razlikujemo:

- P - vertikalnu silu - silu protivnu rezanju
- P_v - sila posmaka - sila protivna uzdužnom posmaku
- P_r - natražni pritisak - sila protivna poprečnom posmaku nastoji otisnuti nož od predmeta

Za nas je najinteresantnija vertikalna sila P , jer je ona znatno veća od drugih dviju sila. Odprilike možemo uzeti da je omjer sila na nožu $P : P_v : P_r = 5 : 2 : 1$. Iz toga je vidljivo da nam dimenzioniranje drška noža dovoljno uzeti samo vertikalnu silu P .

Na veličinu vertikalne sile djeluju mnogi faktori. Kao najutjecajnije smatramo čvrstoću obrađivanog materijala i presjek strugotine. Povezanost ovih dviju varijabli prikazat ćemo u dijagramu. Takova zakonitost sile P navodi nas da ju možemo brzo i jednostavno odrediti formulom:

$$P = A \cdot f \cdot \sigma_z . \quad (1)$$

Gdje je A faktor proporcionalnosti ovisan o materijalu, f presjek strugotine ($s \cdot t$) i σ_z čvrstoća materijala na vlak.

Eksperimentalno su dobiveni podaci za faktor proporcionalnosti i on se kreće:

- $A = 2,5 - 3,5$ za čelične materijale
- $A = 4,5 - 5,5$ za lijevano željezo
- $A = 3 - 4$ za A8 i A8-legure.

Na veličinu sile rezanja ne utječe samo čvrstoća materijala i presjek strugotine nego još i

- oblik presjeka strugotine koju može imati različite omjere posmaka i dubine rezanja, a može i oštrica biti zaobljena pa je presjek skidane strugotine duž oštrice raznolik.
- o kutu klina - oštrenja β
- o kutui namještanja noža κ
- o brzini
- o hlađenju i mazanju - kod lomljene strugotine sistemom mazanja nemožemo smanjiti silu.
- o unutaranim naprezanjima u materijalu koji obrađujemo.

Snaga potrebna za stvaranje strugotine, troši se najvećim dijelom na rada deformacije strugotine (75%), zatim na rad rezanja (15%) i na rad trenja (10%). Da bi sve ove faktore uzeli u obzir pri određivanju sile rezanja koristimo se formulom:

$$P = f \cdot k_s , \quad (2)$$

gdje je f presjek strugotine, a k_s koeficijent otpora rezanja. Koeficijent k_s određuje se eksperimentalno ili približno prema nekim formulama. Za točno definiranje sile rezanja pri nekim uvjetima uz odabrane režime i oblik noža, moguće je jedino saznati kroz eksperimente.

1.4.1 Radnja rezanja

Kod uzdužnog tokarenja, od triju sila koje se pojavljuju na nožu potrebno je savladati vertikalnu silu P i horizontalnu silu posmaka P_v . Da bi odredili radnju rezanja uz poznavanje tih sila trebamo znati i brzinu rezanja v i brzinu posmaka v_s (m/min). Iz tih podataka dobivamo

$$N_{rez} = P \cdot \frac{v}{60 \cdot 75} + P_r \cdot \frac{v_s}{60 \cdot 75} \quad (3)$$

Pošto je P_r 2 do 3 puta manja od P a v_s i preko 100 puta manja od v , možemo drugi član ove formule zanemariti, te nam preostaje

$$N_{rez} = \frac{P \cdot v}{4500} \quad (4)$$

Da bio saznali potrebnu snagu za vršenje tokarenja, potrebno je uz radnju savladati i ostale otpore koji se javljaju u tokarskom stroju. Mjerenja su pokazala da je ukupna potrebna snaga stroja za 50% veća od radnje rezanja što nam daje

$$N_{tot} = 1.5 \cdot N_{rez} = \frac{P \cdot v}{3000} \quad (5)$$

1.4.2 Mjerenje sila na noževima

Prva podjela uređaja kojima mjerimo sile na nožu su na mehaničke uređaje i elektroničke metode. Mehanički uređaji za mjerenje sile sastoje se od ploče, poluge ili pera, na koji djeluje sila. Zbog djelovanja vanjske sile dolazi do elastične deformacije odnosno do pomaka iz nultog položaja. Veličina pomaka mjerimo raznim instrumentima (komparatorima ili manometrima) koji su baždareni da pokazuju veličinu sile.

Elektroničke metode registriranja mogu biti ostvarene na više načina:

1. **Piezoelektroničkim** - prijenos sile kvarcne kristale u kojima se javlja elektrostat-ski naboj čiju količinu mjerimo. Veličina elektrostatskog naboja proporcionalna je veličini djelujuće sile na kristale.
2. **Kapacitivnim** - djelovanje vanjske sile izaziva pomake koji se prenose neki elastični ili cilindrični kondenzator. Kondenzator je uključen u krug struje, a njegovom deformacijom mijenja se jakost struje čiju promjenu registrira galvanometar, baždaren u tu svrhu kilogramima.
3. **Induktivni** - pod djelovanjem vanjske sile dolazi do promjene zračnog rasporeda a to mijenja jakost inducirane struje u sekundarnoj zavojnici. Mjerenjima te promjene dolazimo do veličine sile koja je izazvala promjenu zračnog rasporeda.
4. **Magnetoelastični** - način se temelji na jakom utjecaju mehaničkih sila na krivulju magnetiziranja magnetoelastičnih materijala. Kroz svitak žice teče izmjenična struja, čija jakost ovisi o priključenom naponu, električnom otporu žice a i promjene magnetskih svojstava jezgre djeluju na veličinu struje čije promjene registriramo na instrumentima.

5. **Elektrolitički način** - električna vodljivost nekog elektrolita ovisi o specifičnom otporu samog elektrolita i o presjeku sloja elektrolita kroz koji prolazi struja. Vanjska sila mijenja presjek sloja, vodljivog elektrolita a time povećava njegov otpor koja protiče elektrolitom. Ampermetar registrira promjenu jakosti struje koja je neka funkcija sile.
6. **Elektrootporni način** - iz fine žice velikog otpora ($100 - 1000 \Omega$) napravljene su mjerne trake. Ljepljenjem tih traka na mjesta koja će preživjeti deformacije zbog djelovanja vanjskih sila moći ćemo saznati veličinu sile mjereći promjene jakosti struje koja protiče kroz mjernu traku. Zbog deformacija predmeta na koje su zaljepljene mjerne trake deformirat će se žica u mjernim trakama, što opet izaziva promjenu otpora žice koju registrira instrument.

Danas u principu najviše koriste metode električnog mjerenja jer imaju niz prednosti a najvažnija je jednostavnost.

1.5 Toplina pri procesu rezanja

Nastanak topline pri procesu skidanja strugotine je višestruka:

1. **Mehanički rad** - pretvara se djelomično u toplinu zbog međusobnog trenja čestica strugotina, kod formiranja strugotine i zbog kidanja strugotine.
2. **Toplina koja se stvara zbog trenjastrugotine o oštricu noža** - porizvedena toplina ovisi o
 - brzini rezanja
 - debljini strugotine
 - materijala koji se obrađuje
3. **Strugotina odvodi** sa sobom količinu topline koja proporcionalna presjeku strugotine. Jasno da tu vezano odvođenje topline i s brzinom rezanja.
4. **Nož odvodi** u principu uvijek iztu količinu topline, i ima zbog svojih dimenzija, konstantni toplinski kapacitet.
5. **Obradeni predmet** se zbog preuzetog dijela topline obično rastegne, odnosno promjeni svoje dimenzije. Zbog toga se predmet mora mjeriti na temperaturi okoline.

Toplina koja se prenosi na nož i diže temperaturu noža nepovoljno nam djeluje na izdržljivost oštrice. Iz dijagrama je vidljivo da je izdržljivost oštrice, tj. vrijeme rezanja u minutama, manje čim je temperatura oštrice veća.

Za razne tipovealatnih strojeva, poželjno nam je da nam neki nož izdrži određeno vrijeme rada s nekim optimalnim režimima. Ti zahtjevi su inicirali najrazličitije zahvate za pronalaženje materijala koji će moći izdržati sve teže režime rada. to je dovelo do otkrivanja materijala koji posjeduju velike mogućnosti i kod vrlo visokih temperatura. Tako možemo ukratko reći da su najpoznatiji materijali iz kojih se rade alati za skidanje strugotina:

1. **Alatni čelici** - osnovna im je karakteristika da u sebi imaju 1 – 1,45 % ugljika kad se na 700 – 850°C a napuštaju kad dođu na 180 – 250°C. Noževi od alatnog čelika se lako i dobro obrađuju a daje da su jeftiniji.
2. **Brzorezni čelici** - su legirani čelici koji u sebi sadrže volframa (W), kroma (Cr), vanadija (V) i molibdena (Mo). Kod kaljena prvo se polagano grije do crvenog žara a onda naglo do 1250 – 1350°C. Napušta se na temperaturu 200 – 270°C ili 575 – 600°C što ovisi o postotcima legiranih elemenata.
3. **Stelit** - je us tvarnosti tvrđa slitina koja omogućava korištenje još većih brzina rezanja od brzoreznih čelika. Stelit ima približno sastav od 40 – 50 % Co, 25 – 35 % Cr, 12 – 20 % W, 0,5 – 3 % C.
4. **Widia** - (wie Diamant) - materijal koji omogućava daljnje povećanje režima rada na alatnim strojevima. Za razliku od stelita koji se dobiva ljevanjem, widia se dobiva tako da se prašak volframova titana i molibdena s nekim vezivnim sredstvom (običnom kobaltom ili niklom) veže. Takvoj smjesi se prešanjem daje određeni oblik i zati se peće. Jedno pećenje je na 1400°C a drugo na 1900°C. Obradivati pločice možemo jedino brušenjem.
5. **Dijamanti** - noževi napravljeni od dijamanta su noževi koji omogućavaju maksimalne režime rada. Korištenje dijamantnih noževa je opravdano kod fine obrade slitina, papira, gume, umjetinih masa bronce i mesinga. Ne siplati se koristiti za nekalkene čelike. Možemo približno uzeti da je odnos cijena između brzorezanog čelika, trvde slitine i dijamanta 1 : 5 : 150. Omjer brzine rezanja je 1 : 6 : 10, a dozvoljene temperature rezanja 1 : 1,35 : 3.

Na kraju izlaganja o temperaturama kod skidanja strugotina moramo još spomenuti da postoji čitav niz rashladnih sustava koja jednom odvede dio topline a kroz to omogućavaju povećanje režima rada. Uz odvođenje topline rashladno sredstvo omogućava dobivanje glatke površine nakon obrade, pospješuje odvođenje strugotine. Kao najpoznatije rashladno sredstvo je **emulzija** mlječna otopina sapuna i mineralnog ulja. Osim toga koriste se razne vrste ulja koja smanjuju trenje, dok se kod obrade ljevanog željeza za hlađenje noža koristi komprimirani zrak koji ujedno odpuhuje lomljenu strugotinu.

1.6 Ekonomske brzine rezanja

Kod skidanja strugotina poželjno nam je da nam brzina rezanja bude što veća, jer nam to omogućava produktivniju proizvodnju a kroz to i ekonomičniju proizvodnju. Velike brzine rezanja, izazivaju brže zatupljenje noža. pa je potrebno češće prebrušavanje i ponovno namještanje noža.

Povezanost troškova obrade i troškova namještanje alata u ovisnosti brzine rezanja možemo prikazati u dijagramu. Iz dijagrama je vidljivo da postoji samo jedna ekonomska brzina rezanja za neki alat. Tako se za to koriste noževi od brzorezanog čelika. Ekonomska brzina smatra onu brzinu rezanja kod koje alat između dva prebrušavanja izdrži 60 okr/min, a označava se s v_{60} .

Za složenije alate, za koje je vrijeme prebrušavanja znatno veće a često prebrušavanje smanjuje vijek trajanja alata odabiru se kao ekonomske brzine v_{240} i v_{480} . U tu grupu alata ulaze fazonski noževi, glodala i drugi.

I kod jednostavnijih alata koji se doduše brzo prebrušavanju ali je njegovo namještanje skopčano s većim gubitkom vremena oko ponovnog namještanja na stroj, često se koriste brzine v_{480} . to se odnosi na alate koji se koriste na automatskim strojevima.

Kod svrdala se ekonomskom brzinom smatra ona brzina, kod koje svrdlo može izbušiti ukupno 2000 mm rupa. Ta se brzina označava s v_{2000} .

2 Blanjanje i dubljenje

Blanjanje je obrada predmeta skidanjem strugotina s jednim nožem. Međusobno pomicanje noža i predmeta je po pravcu. Kod toga razlikujemo dvije mogućnosti međusobnog gibanja noža i predmeta:

1. Nož vrši glavno kretanje a predmet vrši posmak. Takav način rada primjenjuje se kod kratkohodnih blanjalica ili šepinga. Maksimalna dužina hoda noža je fo 700 mm.
2. Predmet vrši glavno kretanje a nož vrši posmak. Predmet je učvršćen na stolu koji se gibapo saonicama, a nož je učvršćen na zasebnoj gredi po kojoj ostvari je posmak. Takav način međusobnog gibanja noža i predmeta primjenjuje se kod dugohodnih blanjalica, a točnost obrade je bolje nego kod kratkohodnih blanjalica.

Kod glavnog kretanja blanjalica razlikujemo:

- Radni hod - kad anož skida strugotinu
- Jalovi hod - kada se nož vraća

U grupu blanjlca spada i vertikalna blanjalica, od koje je gibanje noža vertikalno i to

- odozgo na dolje - glavno kretanje - radni hod
- odozdo na gore - glavno kretanje - jalovi hod
- posmak stola može biti u ravnini ili po luku.

Postoje i specijalne vrste blanjalica za izradu zupčanika. Kao najpoznatije tehnologije blanjalica zupčanika su

- FELLOW postupak - gdje je alat u obliku zupčanika.
- Maagov postupak - gdje je alat u obliku zubne letve.

2.1 Kratkohodna blanjalica - šeping

Jedan od klasičnih strojeva za obradu malih predmeta, koji ne traže naročito kvalitetne površine je šeping. Razlikujemo dvije vrste pogonskih uređaja za ostvarivanje glavnog kretanja pri šepingu i to:

- pogon na ekscentar
- hidraulički pogon

Princip rada pepinga s pogonom na ekscentar. Pogon je ostvaren preko elektromotora, remenice i zupčanika do kulisnog mehanizma. Na tom mehanizmu možemo ostvariti veći ili manji ekscentritet kulisnog kamena. Na taj način dobivamo veći ili kraći pomak glave na koju je učvršćen nož. Područje pomicanja glave može se posebno regulirati. Posmak predmeta je osiguran preko drugog kulisnog mehanizma poji je povezan s glavnim. Nosač noža može ostvariti vertikalno ručno pomicanje, a može se i nagnuti pod izvjesnim kutom za obradu kosina. Radni stol, na kome je smješten predmet može se pomicati ne samo horizontalno, kao nastajanje posmaka, nego i vertikalno pomoću zupčastog prijenosa. Zbog svojeg tereta stol se obično ukruti posebnim podpornjem. Dijagram brzina kod kulisnog mehanizma izgleda ovako. Kulisa se kreće od jedne tangente na kružnicu do druge i onda nazad. Na taj način ostvaruje dužina hoda L . Zbog konstantne kutne brzine ω , brzine gibanja glave šepinga od 1 prema 2 po kutu α raste od 0 do Vr_{max} . Dok na povratku od 2 na 1 po kutu β raste do Vp_{max} i onda pada na nulu. Zbog konstantne kutne brzine i zbog raznolikosti kuteva α i β vrijedi odnos:

$$\frac{tr(vrijemerad. hoda)}{tp(vrijemepar. hoda)} = \frac{V_{ps}}{V_{rs}} = \frac{\alpha}{\beta} > 1 \quad (6)$$

Iz tih podataka, uz poznavanje broja okretaja kulise i dužine puta možemo odrediti brzine rezanja. Stalna promjena brzine rezanja nepovoljno djeluje na kvalitet obrađene površine i na sile na nožu, gdje se javljaju udarci. Da bi se izbjeglo to stalno mijenjanje brzine kod pomicanja noža konstatuirane su blanjalice na hidraulički pogon, kod kojih je brzina radnog ili povratnog hoda, duž čitave radne dužine jednaka. (HRIBAR - 168 strana)

2.2 Dugohodne blanjalice

Kod dugohodnih blanjalica, brzina vraćanja radnog stola je za 2 – 3,5 puta veća od radne brzine. Dugohodne blanjalice mogu raditi i s više od jednog noža što ovisi o veličini blanjalice. Kretanje radnog stola ostvarljivo je ili mehanički preko sistema zupčanika ili hidraulički. Kod manjih dugohodnih blanjalica pogon za automatski posmak noža preuzima se od glavnog pogonskog motora, dok kod velikih dugohodnih blanjalica automatski posmatk noža ima svoj zaseban prigon. Učvršćenje alata izvodi se na glavi predviđenoj za tu svrhu. Specifičnost ovog načina stezanja noža je u tome što glava omogućava podizanje noža od površine pri povratnom hodu. To odmicanje je potrebno, da nož ne zapne za obrađenu površinu i ne ošteti se.

Ako za rad na blanalici koristimo nož za tokarenje, djelovanje sila na nožu mogu izazvati nepoželjnu deformaciju noža koja može imati višestruke posljedice.

Nož upet na ovaj način, pod djelovanjem sile rezanja opterećenje je na savijanje. Točka oko koje se javlja moment savijanja je nula. Zbog djelovanja tog momenta, nož će preživjeti izvjesnu elastičnu deformaciju, što izaziva vertikalni pomak oštrice prema dolje za visinu e . Zbog nehomogenosti alata, veličina sile (momenta) se mijenja, usljed čega se mijenja i e a kroz to dobivamo lošu površinu i velika je vjerojatnost da će nam vrh noža puknuti. Zbog toga su noževi za blanjanje posebnog oblika, da bi se izbjegle što je moguće više te neugodnosti. Noževi za blanjanje su zbog toga savinuti. Kod noževa za blanjanje razlikujemo:

- noževe za grubu obradu
- noževi za finu obradu
- noževi za prostornu obradu

Za učvršćenje noževa postoje i posebne glave koje omogućavaju stezanje noževa i pod kutem. Za blanjanje se koriste i fazonski noževi za obradu np.: utora, vanjskih zakrivljenja itd.

3 Tokarenje

Tokarski strojevi su strojevi koji spadaju u najpotrebnije strojeve bilo kakove metalopredrađivačke industrije. Oni posjeduju veliku unirezalnost jer je na njima moguće obrađivati: ravne i zakrivljene površine, mogu se rezati narezi, bušiti i zakrivljene površine, mogu se rezati plohe, razvrtati, irzađivati spiralne opruge, glodati horizontalne utore itd. Tokarski strojevi su veoma jednostavni a predmet koji obrađujemo dobro se vidi. Alati su jednostavni, jeftini i mogu se brzo i lako postavljati i skidati.

Kod tokarskih strojeva glavno kretanje vrši predmet i to rotira. Posmak vrši nož, a tokarski stroj obično ima samo jedan. Da bi se povećala produktivnost stroja, a posebno kod velikih tokarskih strojeva obrada se može vršiti i s dva ili više noževa. No takove mogućnosti, strojevi imaju po dva suporta a katkada se na jednom suportu, ali s dvije strane postavljaju noževi.

Mane tokarskih strojeva su:

- obrada se često vrši samo jednom oštricom i zato je potrebno često prebrušavanje.
- ako je predmet nepravilnog oblika njegovo učvršćivanje na stroj je nezgodno.
- otežano centriranje predmeta što traži više vremena pa je skupo
- stroj zauzima relativno mnogo mjesta.

Prednosti tokarskog stroja su:

- jednostavno rukavanje strojem.

- jednostavni i jeftini alati
- preglednost obrade
- univerzalnost obrade koju smo već prije spomenuli.

Općenito gledajući, svi tokarski strojevi su jednaki. Jedan od drugoga se razlikuju po broju radnih brzina i posmaka, veličinom instalirane snage i masivnošću. To vrijedi za obične tokarske strojeve. Za specijalne svrhe razvijen je čitav niz tokarskih strojeva.

Sve to nas upućuje na to da tokarske strojeve podijelimo na:

1. Jednostavne tokarske strojeve

Koji mogu biti:

- Tokarski strojevi s narezanim vretenom
- Tokarski strojevi s poteznim vretenom
- Tokarski strojevi s poteznim i narezanim vretenom.

2. Specijalni tokarski strojevi

S obzirom na specijalnost oni se dijele na:

- Obične specijalne tokarske strojeve
 - za čeonu tokarenja - čeonu tokarski stroj (301 str.)
 - Korusel tokarski stroj (302 str.)
 - tokarski stroj za profilno tokarenje (303 str.)
 - tokarski stroj za tokarenje željezničkih kotača (305 str.)
 - tokarski stroj za natražno tokarenje (307 str.)
 - tokarski stroj za obradu koljeničastih osovina (308 str.)
 - tokarski stroj za odrezivanje (309 str.)

3. Revolverski tokarski stroj - strojevi s više alata na tkz. revolverskoj glavi za mijenjanje alata

4. Poluautomatski tokarski stroj - tu spadaju agregatni strojevi

5. Automatski tokarski strojevi - sa jednim ili više vretena koji mogu biti upravljani numeričkim ili računalnim programom

Tokarski stroj se sastoji od četiti glavna dijela:

1. Radno vreteno sa sistemom prijenosa od el. motora do radnog vretena, koje se naziva vretenište.
2. Postolje tokarskog stroja sa saonicama po kojima kliže suport i konjić
3. Suporti (obično porečni ili uzdužni) s napravom za stezanje noža, koji preuzimaju pogon od vučnog ili navojnog vretena i ostvaruju posmak

4. Konjić sa šiljkom za učvršćivanje predmeta.

Kod tokarskih strojeva je konjić uvijen s desne strane radnika, a vretenište sa steznom glavom lijevo od radnika, za vrijeme rada.

Numerički ili računalno upravljani strojevi uz te dijelove imaju i jedinice za upravljanje strojem.

Kada se govori o nekom tokarskom stroju onda se misli na njegove karakteristične podatke a to su:

1. visina radnog vretena iznad postolja, što definira maksimalni promjer tokarenja
2. razmak vrha glavnog vretena i vrha konjića, što definira maksimalna dužina uzdužnog tokarenja
3. snaga elektromotora s eventualnim stepenicama broja okretaja samog el. motora što je veoma rijetko. Obično je motor s jednim brojem okretaja.
4. broj radnih brzina koje je moguće ostvariti korz vretenište

3.1 Uređaji za stezanje

Da bi se predmet obradio na tokarskom stroju potrebno gdje učvrstiti u radno vreteno. Način učvršćivanja ovisi o obliku predmeta koji se obrađuje i o opremljenosti stroju na kojem ćemo predmet obrađivati. Tako raspoznamo različite načine učvršćivanja stroja.

3.1.1 Učvršćivanje predmeta između šiljaka radnog vretena i konjića

Na kraju predmeta su zabušene posebne vrst provrta za centriranje i predmet je upet između šiljaka. Da bi se osiguralo njegovo zakretanje, na osovinu se montira uređaj koji se zove **tokarsko srce**. Svojim tlačnim vijkom tokarsko srce se učvrsti na predmet a svojim dužim krajem zapne za izdanak na ploči i na taj način vrti predmet.

Postoje dvije vrste šiljaka za takav način učvršćenja predmeta i to:

- čvrsti šiljci - za veoma fina tokarenja i lakše predmete
- zakretni šiljci - koji se okreću zajedno s predmetom a pritisak se prenosi preko kugličnih ležajeva.

Ukoliko se bušenje predmeta, izrade središnjih provrta za šiljke, izvodi na tokarskom stroju, za pridržavanje predmeta koriste se linete. Postoje takozvane čvrste ili pomične linete sa valjcima.

3.1.2 Učvršćenje predmeta pomoću čeljusne ploče

Na čeljusnoj ploči postoje obično 3 ili 4 čeljusti koje se mogu neovisno jedno od druge, sa svojim vijkom za podešavanje, pomicati duž posebnoig kanala u ploči. Ovanj način se koristi kod nesimetričnih oblika koji se moraju tokariti. Postoje uređaji na steznim pločama koji su ugrađeni u stezne ploče, da se prilikom otezanja jedne čeljusti stežu

jednoliko sve tri čeljusti. Takove stezne ploče nazivamo **amerikanerima**. Danas već postoji čitav niz riješenja amerikanerima. (Horvat 294. - 295. str.)

Osim ova dva načina pritezanja, danas postoje i pričvršćenje elektromagnetima i pneumatski ili ihraulično pritezanje.

3.2 Pričvršćenje noževa

Danas se učvršćenje noževa izvodi u malim napravicama koje mogu primiti i 4 noža a mogu se zakretati oko svog središta. Te naprave su učvršćene nas suportu stroja.

3.3 Tokarski noževi

1. Ručni tokarski noževi (Horvat 234.)

- za glaćenje
- za odrezivanje
- za urezivanje
- za unutarnji narez
- za vanjski narez

2. Strojni tokarski noževi - upeti u suportu

- tokarski noževi od jednog komada
- tokarski noževi s navarenom oštricom (244. str.)
- tokarski noževi s držačima oštrice (245. - 248. str.)

Tokarske noževe dijelimo na

- noževi za vanjsko tokarenje
- noževi za unutarnje tokarenje

Sljedeća podjela noževa je

- noževi za grubo obrađivanje - Klapstokor nož (52 sl. 70 str.)
- noževi za fino obrađivanje
- noževi za postrana obrađivanja (grubo ili fina)
- noževi za utore i odrezivanja
- profilni noževi (okrugli fazonski nož sl. 250. str. 240.)
- noževi za izrađivanje nareza
- uz odgovarajuće noževe vanjsko tokarenje imamo tako i noževe za unutarnja tokarenja

3.3.1 Režimi i njihovo određivanje

Režimi ovise o nizu faktora:

- materijalu kakav obrađujemo
- da li obrađujemo grubo ili fino
- s kakvim nožem vršimo obradu.

Iz brzine rezanja i promjera obrađivanog predmeta odabiremo broj okretaja tokarskog stroja. Preko mjenjačke kutije, nekada poznati Norton odredimo broj okretaja stroja i veličinu poznatu uz odabranu dubinu rezanja.

3.3.2 Sile rezanja na tokarskom nožu

O sili rezanja već smo prije opširno govorili.

3.3.3 Tokarenje konusa na tokarskom stroju

Možemo ga izvesti:

1. Zakretanjem pomoćnog uzdužnog suporta za kut nagiba konusa (Horvat 259. str.)
2. Izbacivanje središnjeg šiljka na konjića iz simetrane stroja
3. Pomoću Kapirne letve (Horvat 283. sl. - 261. str.)

Tokarenje navoja, bilo vanjski ili unutarnji moguće je izvesti za pale proreze pomoću konjića kojim pritiskujemo navojno svrdlo ili utezima (Horvat 263. str. 286 slika), a kod toakrenja velikih nareza svih oblika koristimo kalibrirane noževe. Brušenje centralnih provrta vrši se pomoću konjića u koji se umetne svrdlo.

Brušenje vanjsko ili unutarnje vrši se tako da se nasuprot učvrsti odgovarajući nosač brusne ploče i vrši brušenje. Kod velikih strojeva postoji čitav niz alata i naprava za najrazličitije svrhe:

- glodanje uzdužnih utora
- brušenje provrta na prirubnicama
- brušenje svih vrsta
- razvrtavanje itd.

3.3.4 Vrijeme obrade na tokarskom stroju

Kao i svaka norma i ova se sastoji od niza međusobno manje ili više vezanih detalja.

1. Pripremno vrijeme
2. Čisto strojno vrijeme koje se može odrediti iz odabranih režima rada (brzine rezanja, posmaka i dubine rezanja). A dijeli se na strojno vrijeme, strojno ručno vrijeme i radno vrijeme.
3. Završno vrijeme
4. Dodatno vrijeme
 - Ku - faktor zamora
 - Ka - faktor koj na čovijeka registrira utjecaj okoline
 - Kd - dopunsko vrijeme (propisani odmor, osobne potrebe, organizirani gutbitci).

Sve to vrijedi za prosječno uvježbanog čovijeka.

Tablica 1: Alati od tvrdih metala

| Materijal obrade | Čvrstoća materijala | Brzina rezanja | |
|------------------|---------------------|----------------|-------------|
| | | Gruba obrada | Fina obrada |
| Če 37 | 37-42 | 180-250 | 250-350 |
| Če 60 | 60 - 70 | 100 - 130 | 130 - 170 |
| Cr-Ni | 70 - 85 | 80 - 100 | 100 - 120 |
| Nehrđajuči | 60 - 70 | 40 - 60 | 60 -90 |
| Cr - V -čelici | 100 | 25 - 45 | 45 - 80 |
| 12% Mn | | 10 -25 | 25 - 40 |
| Če - lijev | 40 - 50 | 90 - 120 | 120 - 160 |

4 Bušilice

Bušilice su strojevi, čiji naziv govori o samoj namjeri. One buše provrte u predmetu. Modernije izvedbe bušilica imaju mogućnost narezivanja, razvrtavanja i glodanja.

Predmet je redovito čvrsto upet na radnom mjestu, a svrdlo vrši sva druga gibanja, glavno rotiranje oko svoje osi i pomično - aksijalno savladavanje otpora aksijanlog prodiranja u materijal. Prva podjela bušilica je:

- ručne koje unutar sebe možemo podijeliti na :
 - ručni uređaji za bušenje
 - ručni uređaji s pogonom na elek. struju ili komprimirani zrak

- uređaji za bušenje sa zmijastom osovinom (danas se to koristi za izvijače)
- strojne koje dalje dijelimo na
 - obične bušilice - za rad sa spiralnim svrdlom koje je učvršćeno u vreteno bušilice
 - bušilice za povećanje postojećeg provrta - koje rade motkama za brušenje s učvršćenim nožom.

Prema načinu rada bušilice dijelimo na

- bušilice s okomitim vretenom koje se dijele na stolne bušilice, konzolne ili radijalne bušilice raznih veličina i viševretene bušilice.

Kod bušilica razlikujemo dva osnovna tipa. Razlika između ova dva tipa bušilica je u tome što je stup prve bušilice okrugli a sradni stol se uz vertikalno pomicanje gore dolje može zakretati oko stupa. Te bušilice se nazivaju još i stolnim bušilicama.

Druga izvedba bušilica je takova što na stupu ima vodilice za vertikalno pomicanje glave gore dolje, dok je stol stabilan i čvrst.

Na trećoj skici slaba nam je specijalna izvedba bušilice tkz. **radijalna bušilica**. Ovaj tip bušilica obično su one većih dimenzija, obično se koriste kod bušenja provrta na velikim predmetima koje je nemoguće premještati pod pinolu svrdla. Ta bušilica sastoji se od postolja, okruglog stupa, u kojem se giba konzola gore-dolje i zakreće oko okruglog stupa, konzole po kojoj se lijevo desno giba nosač alata koji u sebi ima pogonska vretena koje se opet giba gore dolje i vrši glavno gibanje kretanja alata - rotaciju. Uz ovakvu bušilicu ide i postolje koje se može odkloniti. Veličina bušilice definirana je prema najvećem mogućem svrdlu odnosno prema najvećoj mogućoj izbušenoj rupi. Stepovanje bušilica izgleda odprilike ovako:

6, 10, 16, 25, 32, 40, 50, 63, 80 mm

Posoje DIN standardi kod kojih su definirane neke mjere pa je tako u ovisnosti o maksimalnom promjeru svrdla definirani i drugi podatci a to su:

- vertikalni hod vretena 80 - 400 mm
- razmaka od temeljne ploče do vretena do 1320 mm
- minimalna brzina rezanja kod nazivnog promjera 35 - 10 m/min
- minimalan automatski posmak 0,1 - 0,4 mm/okr
- trajna snaga 0,2 - 12 kW

4.0.1 Viševretene bušilice

Koriste se kod serijske proizvodnje proizvoda sa više provrta (prirubnice, blokovi motora itd.) Specifičnost prigona je u tome što svako vreteno ima zglobnu vezu s glavnom pogonskom osovinom, ali sama svrdla se mogu postaviti u razne međusobne položaje.

4.0.2 Koordinatna bušilica

Za najtočnija obrađivanja. Ovdje se pomiče i stol na kojem je učvršćen predmet. Uz translatorna gibanja može se i zakretati. Nosač alata se također pomiče pa možemo dobiti točne kordinate položaja. Mogućnost optičkog postavljanja je i do 0,001 mm. Koriste se za izradu alata i naprava, a mora biti u klimatiziranoj prostoriji. Građena je veoma robusno, da se izbjegnu bilo kakve deformacije usljed sila rezanja koje se moraju kretati u donjim graničnim veličinama.

4.0.3 Alati za bušenje i razvrtanje

Princip rada alata je u tome da on vrši glavno kretanje i posmak - pomicanje u smjeru alata.

1. **Obično svrdlo** - jednostavno i jeftino. Teško odvođenje strugoine, svrdlo pobjegne u stranu.
2. **Spiralno svrdlo** - uveo Modse - Sad. Veći učinak svrdla i dobro pobjegne u stranu.

Spojna oštrica, zbog svog oblika i veličine preuzima oko 40% ukupne vertikalne sile koja se javlja pri bušenju. Ta bi se ta sila smanjila prelazima prebrušavanja i smanjenju te oštrice. Poznato je više načina, a jedan sljedeći je prikazan skicom. Kod brušenja velikih provrta utjecaj spojne oštrice se izbjegava na taj način da se prvo izbuši provrt sa malim svrdlom a onda sa velikim. Kod bušenja - provrt nema u principu izlaz veći od promjera svrdla. Kod mekanih materijala je to nadmjera veća nego kod krutih. Nadmjera je veća kod većih promjera.

4.0.4 Brzina rezanja

Zbog oblika i načina rada svrdlo duž oštine se režim rada mijenja, to prvo dolazi do zatupljenja perifernih rubova svrdla. Veličina aksijalnih sila i brzine rezanja ovise o

- materijal koji bušimo
- materijal svrdla
- promjer svrdla
- posmak svrdla koji djelimo na dvije oštrice
- širi spojne oštrice
- hlađenju - mazanju
- veličini vršnog kuta i nagibu zavojnice.

Trajanje oštice svrdla naglo pada s povećanjem brzine rezanja.

Za bušenje tvrdog lijeva, kaljenog čelika, manganovog čelika, stakla, porculana, plastičnih masa i mramora koriste se svrdla s umetnutim pločicama (widia). Kod tih svrdala, koriste se velike brzine rezanja ali minimalni posmaci.

Produktivnost bušilice mjeri se u količini izbušenog materijala u jedinici vremena. Ovdje moramo voditi računa o ekonomičnosti, pa postoji gornja granica veličine posmaka. Preveliki posmak izaziva

- previsoku aksijanu silu
- prebrzo istrošenje oštice
- preveliko opterećenje stroja, deformacije predmeta, dobivamo lošu izradevinu.

Ovisnost posmaka i promjera svrdala vezanih u vrste materijala. Uz plosnato i spiralno glodalo od najpoznatijih su još

Upuštala za izradu cetričnih ili središnjih provrta. Kao tokarenja na šiljcima ili za učvršćenje u konjić/ Postoje spiralana svrdla čije su oštice napravljene od widia pločica. Postoji također i trobridno widi svrdla.

4.0.5 Upuštala

Jedan od čestih alata s kojima se susrećemo na bušilicama su upuštivači za upuštanje rubova, skidanje srha, proširenje rupa itd. Jedan od čestih upuštala Ostali oblici u Hribar 58.

4.0.6 Razvrtavači

Za dotjerivanje provrta, postizanje većih točnosti, za stvaranje malih koničnosti koriste se razvrtaći. Razlikujemo razvrtala za ručni i strojni rad. Druga razdioba razvrtaća može se uzeti kao:

- razvrtala s krutim zupcima
- razvrtala s udesivim zupcima

Razvrtala u pravilu imaju paran broj zubaca zbog fizikalnih potreba jednolikog opterećenja svih zubaca. U principu razvrtala se gledaju kao jedna oštrica s konturom. Na strojevima se koriste trostepeni konični razvrtaći (početni srednji i završni) Hribor 62 str.

4.1 Učvršćenje svrdla u radna vretena

Način učvršćenja svrdala vezan je uz veličinu provrta koju svrdlo buši. Kod manjih provrta manje su sile rezanja, manji zakretni momenti a to veličine rastu s porastom promjera svrdla. Zbog toga je dio svrdla koji se učvršćuje različito izveden. Ovisno o veličine bušilice, radno vreteno ima u sebi pripremljeni odgovorajući Morse Konus. Da bi se u takvo radno vreteno umetnulo i manje svrdlo, koriste se redukcione čahure Mores

Konus. Morse Konus drži svrdlo sa principu trenja. Drugi način učvršćenja svrdla sa cilindričnim završetkom je pomoću posebno konstruiranih glava za zatezanje. Postoji čitav niz takvih glava, a sada se koriste i glave koje rotiraju, i u rotaciji je moguće izvesti zamjenom svrdala.

4.2 Režimi obrade kod brušenja

Ekonomska brzina rezanja - brušenja je ona brzina kad svrdlo može izbušiti ukupno 2000 mm dubine. Ta brzina onačava se kao $\nu_r = 2000$.

Ovisno o vrsti materijala koju bušimo razlikujemo način brušenja oštrica svrdala. Osim toga za različite materijale nagib odvodne spirale je za svaki materijal drugačiji jer on bolje odvodi strugotinu. To je veoma važno kod brušenja dubokih provrta jer je onda izbjegnuto višekratno vađenje svrdala i češćenje koje smanjuje produktivnost. Stoga je taj detalj treba uvesti kod određivanja norme za bušenje dubokih provrta.

| Materijal svrdla | Rashladno sredstvo | Brzina rezanja | Brušeni materijal | Posmak mm/ok | | | | | |
|------------------|--------------------|----------------|---|----------------|------|------|------|------|------|
| | | | | Promjer svrdla | | | | | |
| Alatni čelik | Sapunica | 10-18 | čelik do 50 kp/mm ² | 0,09 | 0,12 | 0,16 | 0,18 | 0,2 | 0,22 |
| | Rashladno sredstvo | 9-12 | čelik iznad 50 kp/mm ² | 0,08 | 0,11 | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,2 |
| | Suho | 8-14 | lijevano željezo do 18 kp/mm ² | 0,12 | 0,18 | 0,22 | 0,25 | 0,3 | 0,35 |
| Brzorezni čelik | Sapunica | 25-40 | | 0,11 | 0,16 | 0,22 | 0,25 | 0,3 | 0,4 |
| | Rashladno sredstvo | 25-32 | | 0,1 | 0,14 | 0,18 | 0,2 | 0,3 | 0,4 |
| | Suho | 20-35 | | 0,16 | 0,25 | 0,3 | 0,35 | 0,45 | 0,5 |

Brzina rezanja svrdla računa se na brzinu rezanja periferne oštrice svrdla i to

$$v = \frac{D \cdot \pi}{4} \cdot \frac{n}{1000}, \quad (7)$$

gdje je D promjer svrdla u milimetrima, a n je broj okretaja u min. Posmak se računa u mm/okretaj. U stvarnosti na svaku od oštrica otpada 1/2 posmaka za svrdlo s dvije oštrice dok je to 1/3 kod svrdala s tri oštrice.

5 Brušenje

Brušenje je vrsta obrade sa skidanjem strugotina. Strugotinu ne skidamo jednom oštricom, nego nizom nepravilno složenih i međusobno povezanih mineralnim zrnima, gdje svako zrnce predstavlja oštricu za sebe. Iako se radi o velikoj količini "oštrica", presjek strugotina mora biti minimalan jer su malene oštrice. Kada se takova oštrica, oštri rub mineralnog zrna zatupi, ona ispada iz cjeline, a pojavljuje se nova oštrica, novo mineralno zrno. Odpadanje mineralnih zrna, dovodi do promjena oblika brusnog alata kojeg je od vremena do vremena potrebno "prebrušavati", dotjerivati kvaliteti površinu.

Brušenjem, zbog vemoa malog presjeka skidane površine, daje nam veoma glatke površine, a na taj način možemo dovesti obrađivane predmete u veoma uske granice tolerancije.

Tanke brusne ploče mogu veoma efikasno zamjeniti razne vrste pila za rezanje jer svojim velikim brzinama i produktivnošću to opravdavaju.

Uređaji na koje se učvršćuju brusevi alata nazivaju se brusilice.

5.1 Brusilice

Obzirom na oblik sredstva s kojim vršimo operaciju skidanja strugotina brusevima, razlikujemo dvije osnovne skupine brusilica:

1. Strojevi za brušenje brusnim pločama u koje spadaju
 - strojevi za brušenje raznih površina
 - strojevi za okrugla brušenja koj ise dijele na
 - strojevi za brušenje jednostavnih valjkastih predmeta
 - strojevi za brušenje složenih valjkastih predmeta
 - strojevi za unutarnje okruglo brušenje
 - strojevi za brušenje zupčanika
 - strojevi za brušenje alata
 - ostali specijalni strojevi za brušenje

5.1.1 Brusilice za ravno brušenje

Da bi obradili neku ravnu plohu brušenjem, koristimo brusnu ploču koja rotira oko svoje osi. Ako je os, oko koje se kreće brusna ploča horizontalna u tom slučaju površinu obrađujemo sa vanjskim rubom brusne ploče. Ako je os brusne ploče vertikalna u tom slučaju površinu obrađujemo čeonom površinom brusa. Tako razlikujemo" Kod vertikalnih brusilica razlikujemo dvije mogućnosti međusobnog dodirivanja predmeta i brusne ploče, točnije čela brusne ploče. Kod vertikalnih brusilica koriste brusne ploče lančastih oblika. Za učvršćivanje predmeta na radnom stolu brusilice koriste se isključivo ili elektromagnetskim pločama ili permanentnim magnetnim pločama.

Princip rada elektromagnetne ploče je u tome da se jezgra od feritnog materijala, materijala koji se