

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 upoznamo 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 registramo 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. **Obradjeni 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 metalopre- rađivačke 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 zmijskom 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 radni 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 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 podaci 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 razvrtavi. Razlikujemo razvrtala za ručni i strojni rad. Druga razdioba razvrtavača 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 razvrtavi (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 da dobro magnetizirati, magnetizira propuštanjem istosmjerne struje kroz namote. Ti namoti obuhvaćaju niz jezgri koje su međusobno izolirane, a sve zajedno čine ploču. Magnetske silnice, koje se pojavljuju u jezgrama, međusobno zatvaraju preko predmeta i na taj način fiksiraju predmet uz ploču.

Nedostatak elektromagnetiziranih ploča za pritezanje je u tome što je za njih potrebna istosmjerna struja, koju dobivamo ili generatorom istosmjerene struje ispravljačima. Osim toga postoji opasnost probijanja električne izolacije među jezgrama zbog korištenja rashladnih sredstava prilikom brušenja, koja su ovdje veoma značajna.

Svi ti nedostaci elektromagnetne ploče izbjegnuti su korištenjem ploče za pritezanje s permanentnim magnetima. Princip rada ove ploče je isti kao i kod predhladne, ali ona

se sastoji od dviju ploča koje se međusobno daju pomicati i na taj način ostvaruje zatvaranjem magnetskih silnica, jednom kroz gornji presjek a drugi puta kroz predmet.

5.2 Strojovi za okrugla brušenja

Strojovi za okrugla vanjska brušenja slični su tokarilicama. Predmet je upet među šiljke i okreće se, dok brusna ploča zgloбно učvršćena i vrši glavno kretanje, rotaciju oko svoje osi.

Razlikujemo dvije mogućnosti

1. Da brusna ploča sa svojim prigronom vrši i aksijalni pomak duž predmeta. To se koristi za dugačke proizvode da nam radni stol svojim gibanjem nebi zauzeo previše prostora
2. Da se prednost giba uzduž svoje osi zajedno sa stolom na kojem je upet. Takovo rješenje se koristi za izradu malih i kratkih proizvoda.

Poseban način brušenja je *brušenje bez šiljaka* (centerless system). Predmet leži na podlozi na ploči za regulaciju od koje dobiva rotaciju oko svoje osi. S druge strane predmet dodiruje brusnu ploču koja zbog razlike brzina predmeta i nje same skida strugotinu. Ovisno o veličini nagiba ploče za regulaciju do 5° dobivamo automatski posmak predmeta. Ovom tehnikom moguće je izrađivati dugačke predmeta, a ujedno je izbjegnuto dugotrajno mukotrpno centriranje. Ovom tehnikom moguće je izrađivati dugačke predmete, a ujedno je izbjegnuto dugotrajno i mukotrpno centriranje.

5.3 Brusilice za unutarnja okrugla brušenja

Brusilice ovog tipa veoma su slične tokarskim strojevima. Predmet učvršćuje u steznu ploču ili amerikaner, a u suportu je učvršćen nosač brusne ploče koji ima vlastiti elektromotor. Predmet se vrti oko svoje osi dok se brusna ploča vrti oko svoje osi ali i tako da dodiruje predmet. Uz glavno kretanje brusna ploča vrši i uzdužno kretanje.

5.4 Univerzalni strojevi za okrugla brušenja

Univerzalni brusilicama možemo obrađivati vanjske i unutarnje cilindrične površine. Možemo brusiti i konične površine, ali tako da je predmet upet konično. Kod ovih brusilica koristi se tkz. *planetarni sistem* i to bilo horizontalno vilo vertikalno.

5.5 Strojovi za brušenje zupčanika

Iz iskustva znamo da zupčanici imaju dulji vijek trajanja ako im je površina tvrđa i ako su glatko obrađeni. To je dovelo do nastajanja brusilica za zupčanike. Najpoznatiji je princip po MAAGU gdje se to vrši sa dvije brusne ploče. Brusne ploče su postavljene tako da radne površine emitiraju oblik idealne zabne letve. Zupčanik, koji se obrađuje, izvodi translatorna gibanja i na taj način se dobiva dobro sprezanje zupčanika sa *zubnom letvom*.

Na takovim uređajima postoje korekciski instrumenti, koji pomoću servo uređaja dotjeruju položaj brusnih ploča. (Horvat str 499.-500.)

5.6 Brusilice za brušenje alata

Postoji čitav niz namjenskih brusilica za razne alate, kao naprimjer npr. glodala, spiralna svrdla, tokarske i blanjačke noževe itd. (Hribar str. 161. i 162.)

Kod obrade glodala za izradu yupčanika postoji čitav niz mogućnosti brušenja raznih dijelova oštrica.

5.7 Specijalne brusilice

U ovu kategoriju brusilica ubrajamo sve brusilice koje su namjenjene za posebne svrhe npr: brušenje navoja, ventilskih sjedišta ili brusilice koje rade u nešto drugačijim uvjetima od ostalih brusilica. Tu ubrajamo uređaje za:

- **Honovanje** - obrada rupa sa čvrstim brusnim sredstvom. Alat je ovdje vođen rupom, koju treba fino obraditi, tj. nije više stroj onaj koji definira položaj alata. Tim postupkom se fino dotjeruju površina i oblik otvora. Hrapavost površine je $0.1-1,5 \mu m$. (Hribar str. 163)
- **Super finiš - mikro honovanje** - to je nešto modificiraniji oblik honovanja, ovdje su glavnom kretanju alata dodate male oscilacije u okomitom pravcu na glavno gibanje. Kod superfiniša se koriste sitnija zrna u alatu nego kod honovanja. (Zdenković 72. str.)
- **Lepovanje** - je skidanje strugotine slobodnim kretanjem brusnim zrcima u tekućoj ili tjestastoj smjesi, u kojoj predmet pritisnut u odgovarajući alat čiji se dijelovi raznomjerno okreću. Na taj način se kruta geometrija alata prenosi na izradak. (Hribar 163. str. i Zdenković 75., 76. i 77. str.)

5.8 Brusevi

Brusna sredstva mogu biti prirodnog ili umjetnog porijekla različitog kemijskog sredstva i razne ali uvijek visoke tvrdoće. Na osnovu toga brusna sredstva možemo podijeliti na:

1. Oksidna sredstva

- aliminijski oksid $Al_2O_3 + Fe_2O_2$ koji može biti **prirodni koruna** ili **elektro korund - šmirak** tvrdoće do 3000 Hv
- silicijev oksid SiO_2 - kremen ili kvarc s tvrdoćom do 1500 Hv.
- kromov oksid Cr_2O_3 koristi se kao polirna sredstvo
- željezni oksid Fe_2O_3 koristi se kao polirna sredstva

2. Karbidna sredstva

- silicijev karbid SiC - karborund dobiven električnom sintezom iz kremena i ugljena tvrdoće 3000 Hv.
- borni karbid B_4C tvrdoće oko 3500 Hv.

Za izradu bruseva prvenstveno se koriste elekrokurund za brušenje čelika i žilavih materijala te karborund za brušenje sivog ljeva te tvrdih i krhkih materijala.

Za efekt brušenja važna je zrnatost sredstva od kojeg je načinjen brusni kamen. Prema NORTON-ovoj skali, koja označava broj očica na fcoll mreže kroz koju se zrnca siju razlikujemo

- Vrlo gruba zrna od 3000 - 1700 μm ili 8 - 12 rupa
- Gruba zrna od 170 - 700 μm ili 14 - 24 rupa
- Srednja zrna od 700 - 250 μm ili 30 - 60 rupa
- Fina zrna od 250 - 100 μm ili 70 - 120 rupa
- Vrlo fina zrna od 100 - 45 μm ili 150 - 240 rupa
- Izvanredno fina zrna od 45 - 20 μm ili 280 - 600 rupa
- Prašinsto od $<20 - 0,5 \mu m$ ili 700 na dalje rupa

Zrna sitnije od 600 μm , klasificirano su flotacijom. Da bi zrnca držali na okupom u određenoj formi, međusobno ih povezujemo vezivom. Vezivo ima zadaću da odpusti zatupljeno zrno i dovede novo još nezatupljeno zrno na mjesto rada. Vezivo mora omogućiti i zahtjevima mazanja, odvođenja špene (*pilotine*) i hlađenju koje se ostvaruje raznim sredstvima za uspješnije provođenje procesa brušenja.

Prema porijeklu, veziva razlikujemo

1. Anorganska veziva

- keramička veziva - glina tinjac i kvarc, koja su kruta i porona
- mineralna veziva - vodeno staklo, magneiti i silikati, koja su manje čvrsta i tvrda za fina brušenja.

2. Organska sredstva

- prirodna (vegetativna) sredstva - šelak i razne prirodne smole, žilava i elastična, osjetljiva za zagrijavanje.
- umjetna veziva - umjetna smola (bakelit), umjetni elastični materijali (elastomeri), žilava i elastična, osjetljiva na zagrijavanje

Po tvrdoći veziva obilježavamo slovima prema oznakama firmi pa ih možemo složiti u 6 grupa:

- vrlo mekana E,F,G

- mekana H, I, J, K
- srednje tvrda L, M, N, O
- trda P, Q, R, S
- vrlo tvrda T, U, V, W
- izvanredno tvrda X, Y, Z.

Po gustoći veziva su svrstana u tri grupe, a to su gusta veziva (I, II, III), srednje gusta veziva (IV, V, VI) i rahlo veziva (VII, VIII, IX).

Oznake brusnih ploča u sebi nose sve veličine interesantne po pitanju izbora brusne ploče i to: veličinu zrna, vrsta zrnaca, tvrdoća i gustina veiva, a svaki proizvođač ima svoju odgovarajuću oznaku uz oblik, koji može biti različit ili uz ravnu ploču.

38	broj i vrsta brusnih zrna (elektrokorund, karborund)
60	veličina brusnih zrna
K	tvrdoća veziva
V	gustoća veziva
Ke	vrsta veziva - keramička, mineralna

Razlikujemo brusne ploče prema svom obliku i to npr: Oblikovanje brusnog kamena vrši se u kalupima. Praćenje i odgovarajuću temperaturu odabire se prema vrsti veziva.

Visoka temperatura brusne ploče posebno se testiraju na 40 – 50% većim brinama od radne i to u vremenu od 3 min. Kod većih ploča osobito je važno dobro balansiranje. Zbog lošeg balansiranja može doći do lomova ploče. Za to je u većini slučaja dovoljno samo statičko balansiranje na posebnim prizamama.

5.9 Stezanje alata

Kod pričvršćenja brusnih ploča razlikujemo učvršćenje ploča s malim provrtom i s velikim provrtom. Kod učvršćenja brusnih ploča veoma je važno da stezne ploče ili prirubnice koje drže bočne stjene brusa budu s mekanim ulošcima. Ti ulošci pri stezanju u radu sprečavaju nepravilno naljepljivanje na strane što bi moglo izazivati iznenadni lom ploče.

5.10 Režimi obrade

Obodne bezine brusnog elementa nesmijemo previše povisiti zbog centrifugalnih sila. Kod prevelikih obodnih brzina i brusna ploča djeluje *ko pretvrda* pa ne dobijemo zadovoljavajuće dobru površinu, ploča se brže troši i itd. Zato možemo reći da je potrebno koristiti.

Vrsta brušenja	Brušeni materijal	Obodna brzina (m/sek)
	Čelik	25
Kružno i ravno brušenje	Sivi ljev. željezo	20-25
	Tvrđi metal	8
	Legure Al i cinka	25
Oštrenje alata	Čelik	25
	Tvrđi metal	12-20

Veličine skidanog sloja se kreću za grubo brušenje (0,02 - 0,05 mm), a za fino brušenje (0,003 - 0,01 mm).

6 Glodanje

Glodanje je posebna vrsta površinske obrade sa skidanjem strugotina. Za razliku od tokarenja i blanjanja, glodanje se vrši sa više oštrica, koje naizmjenično dolaze u zahvat. Naizmjenično ulaženje oštrica u zahvat s predmet, prethodnoj oštrici do novog ulaženja u zahvat ostaje slobodno vrijeme, pa se ona uz dobro hlađenje može ohladiti. Takav naizmjenični rad oštrica znatno produžuje vijek trajanja jednog alata za glodanje.

Glodala predstavljaju složenu skupinu alata, koja je bogata s oblicima, obzirom na površinu i površine koje obrađuju. Te raspoznavamo:

- Valjkasto glodalo - za obradu ravnih površina koje mogu imati ravne ili kose zube. Kod ravnih zubi glodala promjene sila su znatnije dok kod kosih imamo postepena ulaženja i izlaženja zuba iz zahvata.
- Valjkasto čeonog glodalo - koje uz valjkaste oštrice ima i oštrice na čelu za obradu bočnih površina
- Pločasto glodalo - s umetnutim zubima, kod kojeg je širina relativno mala spram promjera. Mogu biti brušena za rad s obodnim zubima, a također i za rad s obje čeonog površine, a to se naziva pločasto glodalo s ukrštenim zubima
- Vretenasto glodalo - vrsta čeonog glodala, ali kod njega je promjer znatno manji od njegove dužine za razliku od valjkastog čeonog glodala/ Držak glodala može biti ili cilindričan ili koničan prema Morse propisima.
- Polukružno udubljeno glodalo - za obradu polukružnih i slični ispupčenih površina.
- Polukružno ispupčeno glodalo - za obradu polukružnih utora ili utora drugačijih profila.
- Ugaono glodalo - za izradu utora, rubaca ili utora oblika lastina repa
- Glodalo za izradu T utora
- Profilno glodalo - za izradu zubi zupčanika, za izradu spiralnih utora.

- Glodalo za rezanje navoja - mogu biti izrađene za lijeve i desne navoje.
- Čeone glave s usađenim noževima - grade se za projere do 250 mm. Tijelo alata je čelik čvrstoće 70 kp/mm², a noževi su od brzoreznog čelika.
- Dvodjelno valjkasto glodalo - sa suprotno ukošenim zupcima zbog poništenja aksialne sile
- Glodala za izradu zupčanika - ima ih nekoliko tipova
 - tanja rasto glodalo za zupčanike - za Fellor postupak
 - prstasto profilno glodalo za izradu spiralnih zubiju
 - modularno pužna glodala

Kod glodala se koriste dvije izvedbe zubiju Eksperimentalno je dokazano da je veći prednji kut γ , manja sila rezanja a time i manja snaga elektromotora što daje i manju temperaturu oštrice. Prenost natražno tokarenih glodala je u tome što se kod njih uvijek može postići $\gamma = 0$, dok se kod glodanih zubiju, a γ mijenja od brušenja do brušenja.

Kod glodanja razlikujemo dva sistema glodanja tj. međusobnog kretanja glodala i predmeta.

Gdje je t dubina glodanja, s_z posmak po zubu, s posmak, z promjer zubi glodala, D promjer glodala.

Kod protusmjernog glodanja zahvat glodala i predmeta idu od najmanjeg presjeka pa raste do maksimalnog, kod istosmjernog slučaj je obratan, počinjemo s maksimalnim presjekom strugotine a završavamo s minimalnim.

Kod protusmjernog glodanja, dok je još strugotina mala, imamo u stvarnosti klizanje i gnježenje, a to dovodi do povećanja tvrdoće površinskog sloja. To izaziva otežan rad zubaca glodala. Sve to dovodi do jačeg trošenja zuba alata, a zbog povećanje tvrdoće i većeg trenja što rezultira veći potrošak radnje rezanja.

Kod istosmjernog glodanja, glodalo prvo zahvaća veliki presjek strugotine pa su nastale sile velike. Zbog toga dolazi do vibracija stola, alat mora biti robusniji, a također i stroj. Zbog međusobnog gibanja predmeta prema glodalu, moraju biti pažljivo izabrani stražnji kutevi.

Kod protusmjernog glodanja, glodalo nastoji izbaciti predmet i podići ga od radnog stila. Kod istosmjernog glodanja, glodalo pritiskuje predmet na radni stol. Istosmjerno glodanje oštećuje oštricu glodala manje te dopušta veće ekonomske brzine.

U proizvodnji se prilikom obrade primjenjuju oba načina glodanja.

Učvršćenje alata na radno vreteno izvodi se na niz veličina. Kod valjkastih glodala s provrtom učvršćenje se provodi na sljedeći način. Glodajuće glave se učvršćuju bez pomoćnog ležaja je one rade obično čeona glodanja, ali uvijek su svi alati osigurani, kroz radno vreteno, priteznim vijkom.

Da bi se izbjegnule prevelike vibracije radnog vretena na kojem je učvršćeno glodalo nastoji se koristiti što je moguće čvršća i jača vretena.

6.1 Glodalice

Glodalice možemo svrtati i posebnu grupu alatnih strojeva. Mogućnosti glodalica su raznolike a ujedno i specifične. One mogu obrađivati:

- ravne površine u vertikalnoj ili horizontalnoj ravnini
- razne fazonske profile i izradu kojekakvih utora
- izubljenja alata za skidanje strugotina i zupčanicima
- razne zavojite površine na vretenima, vijcima, maticama, pužnim kolima i pužnim vijcima
- razne krivuljaste ploče i šablone
- najkompliciranije kalupe, ukovnje, gravure, itd.

Glodalice je veoma teško svrtati u neki red po bilo kojem karakteru, jer su toliko specifične. Jedna od mogućih podjela je:

- horizontalne glodalice
- vertikalne glodalice
- specijalne glodalice

Jedan od najčešćih tipova glodalica je **univerzalna glodalica** i ona se koristi za obradu ravnih i fazonskih površina, za izradu raznih utora, a pomoću diobene glave mogu se izrađivati ozubljeni alati i čeonu zupčanici. Brzine automatskih posmaka u horizontalnim ravninama je 20 - 300 mm/min a u vertikalnom pravcu 50 -150 mm/min. Gornji stok se može u horizontalnoj ravnini zakrenuti do 35^{/circ} lijevo ili desno. Ako je to premalo onda koristimo vertikalnu glodalicu.

Vertikalna glodalica - za čeonu obradu ravnih površina, za obradu ravnih, kosih i spiralno zavnutih utora, za obradu ravnih s ravnim dnom itd. Ako se na gornji stol postavi rotirajuća ploča, moguće je obrađivati razne koncentrične utore korištenje diobenih glava također dolazi u obzir.

Kod ove izvedbe glodalice, radno vreteno je postavljeno vertikalno na radnu površinu stola. Kod vertikalnih glodalica modernije izvedbe ugrađena je i mogućnost zakretanja radnog vretena pod izvjesni kut prema površini stola. To je veoma pogodno za izradu najrazličitijih kosih površina.

Uz dva horizontalna posmaka stola, postoje izvedbe, kod kojih je i rotacija radnog stola također automatsko. (Hrabar str. 140.)

Specijalne glodalice - je skupina strjeva pretežno namjenjena za specijalne svrhe kao npr:

- izrada zupčanika a tu je najpoznatija tkz. PFAUTER-glodalica a radi na principu odvaljivanja
- izradu pužnih kola

z broj zubaca koje treba izraditi
 i = 40 orijenos od ručice pužno kolo

- izradu navoja i pužnih vijaka za kopiranje i graviranje pomoću šablona i uzoraka itd.

U famiiju specijalnih glodalica možemo ubrojiti i glodalice s dva ili više radnih vretena, od kojih iamao odmah vertikalno i horizontalno radna vretena za višestranu obradu. (Hrabar str 142. - specijalna glodalica s 4 vretena)

Nekoliko puta spominjana je diobena glava za izradu raznih predmeta, pa da se sada upoznamo malo pobliže.

6.2 Diobene sprave

Kod izrade čeonih zupčanika za glodalica za dijeljenje kruga koristimo tkz. **diobenu glavu**. Nakon svakog pojedinog izrađenog zuba potrebno je predmet zakrenuti za z-ti dio njegovog opsega.

Najviše upotrebljavana konstrukcija diobene glave je na principu pužnog prijenosa čiji je prijenosni odnos obično f:40. Za zakretanje ručice, za bilo koji dio od punog kruga koriste se diobene ploče s rupicama, raspodijeljenih u više koncentričnih krugova, a na svakom krugu je drugi broj rupica. Brojevi rupica koj se primjenjuju su 15-16-17-18-19-20-21-21-23-27-29-31-33-37-39-41-43-47-49 dokle ukupno 18 krugova koji se mogu smjestiti na dvije ili tri ploče, koje se mogu međusobno mijenjati.

Broj okretaja ručice se određuje iz broja zubi i prijenosnog odnosa

$$n_r = \frac{i}{z} \quad (8)$$

1. z · 20 zubi -> $n_r = \frac{i}{z} = \frac{40}{20} = 2$ - dva puna okretaja
2. z - 25 zubi -> $n_r = \frac{i}{z} = \frac{40}{25} = 1, \frac{3}{5}$ ili jedan okretaj i još $\frac{3}{5}$ a to možemo na ploči s 15 rupa dodati još 9 rupa da bi prošli $\frac{3}{5}$ kruga
3. z - 110 zubi -> $\frac{i}{z} = \frac{40}{110} = \frac{4}{11} = \frac{12}{33}$ što znači da na ploči od 33 rupe moramo odbrojiti po 12 rupa da bi izveli kretanje predmeta za $\frac{1}{110}$

Da bi sredili npr. 53, 69, 125, 137 ili drugi broj zubi, nemoguće nam je kdo toga toga izraditi taj broj zubiju s unaprijed navedenim diobenim pločama. Kod izrade tih brojeva, krositimo se tkz. **diferencijalnom metodom dijeljenja**. Princip te metode se sastoji u tome, da se odabere neki bliski x broj, koji se da diobom izvesti. Nastala diferencija, takvim prijelazom na približan broj zubi ostvaruje se ispravljanjem na taj način, da

vreteno pužnog kola, za vrijeme diobe, zakreće diobenu ploču, preko posebno uključenih zupčanika, da se nadoknadi odgovarajuće diferencije. Broj zakreta ručice određuje se

$$n_r = \frac{i}{x} = \frac{40}{x} \quad (9)$$

A omjer zupčanika koji vrše korekciju diobene ploče je

$$k = \frac{i}{x}(x - z) = \frac{40}{x}(x - z), \quad (10)$$

gdje je z stvarni broj zubi, dok je x pomoćni broj zubi. Za $x > z$, izlazi k pozitivan, tada se diobeni ploča za vrijeme okretanja ručice zakreće u istom smjeru u kojem i ručica, a za k negativan diobena ploča se okreće u suprotnom pravcu od smjera zakrtanja ručice. Primjer za $z = 127$ zubi, te $x = 128$ odabrani.

$$n_x = \frac{i}{x} = \frac{40}{128} = \frac{5}{16}, \quad (11)$$

na kraju od 16 rupa prelazimo na 5

$$k = \frac{z_1}{z_2} = \frac{40}{128}(128 - 127) = \frac{40}{128} = \frac{30}{96} \quad (12)$$

Za prijenos odobreno zupčanika 30 i 96. Za diobeno dijeljenje se uz diobenu glavu uzimajući garnitura zupčanika i to 24, 24, 28, 28, 30, 32, 39, 40, 44, 48, 48, 56, 64, 72, 76, 86, 98, 100, 127.

Diferencijalno dijeljenje može se primjeniti samo kod izrade zupčanika i glodala s ravnim zubima. Kod izrade kosih ili spiralnih zubi osovine pužnog kola vezana je uz vreteno stola glodalice da se osigura potrebno zakretanje.

Raznim kombinacijama možemo izraditi na glodalicama i najkompliciranije izvedbe zupčanika ili kakvih drugih djelova.

6.3 Režimi obrade

Kod glodanja, kao osnova za određivanje ekonomskih brzina uzima se količina stisnutog materijala u jedinici vremena.

Ekonomskih brzina rezanja ovisi veoma mnogo o složenosti oblika glodala. Što je veća dimenzija glodala, što je oblik kompliciraniji, trebalo bi da glodalo dulje traje između dva brušenja. To trajanje između dva prebrušivanja kreće se u granicama od 1 do 8 sati, tj. korsi se "60, "180, "240, "480. Jasno je da se veličina brzine rezanja korigira u ovisnosti od

- obrađivanog materijala
- vrste obrade tj. kvaliteti površine
- kvaliteti glodala

Sve to utječe i na izbor i veličinu posmaka.

Odabrani materijal	Brzina rezanja u m/min			
	Brzorezni čelik		Tvrdi metali	
	grubo	fino	grubo	fino
Obradeni Če i Če-lijev	8-15	15-25	30-80	90-100
Lijevano željezo	8-12	12-20	50-80	80-100
Bronca i mjed	20-25	30-50	90-120	do 300
Laki metali	400-1200	600-1500	-	-

Dubina rezanja kreće se od 1-15 mm a posmaci od 0,02-0,25 mm/zubu.

7 Kovanje

Kovanje je obrada metala bez skidanja strugotina. Može se vršiti u toplom ili hladnom stanju, ovisno o vrsti materijala. Princip kovanja je da se materijal podvrgne djelovanju vanjskih sila koje u njemu izazovu naprezanja između granice elastičnosti i granice loma. Kada na predmet djeluje neka sila, i kada ona prestane djelovati, predmet zadrži novi oblik.

Kod kovanja nam se pojavljuju sile koje možemo proanalizirati na sljedeći način. Udarimo čekićem mase G [kg] koji ima brzinu v [m/s] po predmetu, u momentu sraza čekić koji ima kinetičku energiju

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{G \cdot v^2}{2 \cdot g}, \quad (13)$$

i na nju predaje na izvršenje deformacije, tj. kinetička se energija pretvara u rad. Pod djelovanjem sile P dolazi do popuštanja predmeta, koji se zbog toga smanji. Dakle sila P je prešla put S a to je upravo rad izazvana kinetičkom energijom čekića pa možemo zapisati

$$\frac{m \cdot v^2}{2 \cdot g} = P \cdot S. \quad (14)$$

Sva kinetička energija se ne pretvori u izvršenje radnje deformiranja. Jedan dio se gubi zbog popuštanja podloge i čekića (bata) dok se drugi dio gubi na savladavanje elastičnih sila. Zbog toga se kao stupanj djelovanja bata uzima

$$\eta = \frac{G'}{G + G_1} \quad (15)$$

Obično se uzima da je težina nakovnja 10 do 20 puta veća od težine čekića a kroz to se dobija $\eta = 0,91 - 0,75$.

Jedan jaki udarac monogo je efikasniji od mnogo manjih a to se odma vidi kada djelujemo na predmet istih dimenzija jednom s batom a drugi puta s mnogo udaraca. Potrebna sila za oblikovanje, zavisi od veličine tlačne površine F , čvrstoći materijala σ i iskustvenom koeficijentu ϕ . Što nam daje izraz

$$p = F \cdot \sigma \cdot \phi, \quad (16)$$

gdje ϕ ide do 10 kod udarnog djelovanja čekićem a $\phi = 2 - 1, 4$ kod polakog pritiskivanja (prešanja). Za obradu predmeta u ukovnju uzet ćemo dvostruke vrijednosti koeficijenta ϕ .

Želimo li neki veliki predmet obraditi kovanjem, primjenom ručnih alata i čekića to je nemoguće, jer rukom možemo proizvesti samo manje neznatne sile. Za kovanje predmeta teških nekoliko tona, moramo koristiti mehaničke naprave i strojeve. Te uređaje možemo podijeliti na:

- **mehaničke čekiće** - kod kojih udarce stvaraju maljevi i
- **mehaničke preše za kovanje** - kod kojih se putem hidraulike stvaraju sila. Kod toga mi vršimo deformacije više gnječenjem nego udaranjem.

Mehaničke čekiće koji mogu imati transmisijski pogon, zatim parni ili zračni pogon, električni pogon itd. možemo dalje podijeliti.

1. Batovi s kosim udarnim plohami - koji su obično učvršćeni na polugi i emitiranju ručno udaranje.
2. Batovi s paralelnim udarnim plohami koji se mogu dalje podijeliti na
 - udarni batovi - kod kojih se malj diže a zatim pada vlastitom težinom na predmet koji se obrađuje kovanjem
 - mehanički čekići - koji rade pomoću jake opruge
 - mehanički čekići - koji rade pomoću komprimiranog zraka
 - mehanički čekići koji rade parom.
3. Preše za kovanje možemo međusobno podijeliti na
 - Udarne preše - a to su one koje imaju neposredan pogon. U tu grupu ubrajamo vretenaste ploče koje mogu biti ručne i frikcijske, ekscentar preše te strojevi za kovanje uže namjene
 - Preše s posrednim pogonom - hidrauličkim pogonom.

7.1 Glavne kovačke operacije

Kovad koji želimo obraditi kovanjem, prvo zagrijavamo na temperaturu kovanja. Nakon zagrijavanja očistimo ga od okuine, zahvatimo klještima, stavimo na nakovanj i onda kujemo. Kovanje mogu izvoditi i više ljudi s time da u određenom ritmu udaraju jedan za drugim po predmetu. Kod kovanja većih predmeta koriste se mehanički uređaj (čekići i preše). Masovna proizvodnja kovanih predmeta izvodi se u ukovnjima u na naročitim kovačkim strojevima.

Kod kovanja razlikujemo nekoliko glavnih operacija:

- **Iskivanje** je najobičniji kovački posao, kojim se kovani predmet stanji, rastrgne, iskuje ili raširi. Kod tog kovanja komad se istovremeno stanji i rastegne po dužini i širini. U tu grupu obrade spada i kucanje posuda.

- **Sabijanje** je postupak obradom izkivanja. To je nagomilavanje materijala na jednom mjestu, koje je prethodno zagrijemo. To je udaranje materijala u u zdužnom smjeru. To je veoma skup i neprikladan postupak pa ga se nastoji izbjeći.
- **Savijanje** - ako se neka šipka savija, na tom mjestu nastupit će suženje i smanjenje presjeka, Zbog toga se šipke koje savijamo prvo sabiju a zatim saviju, I ovdje se savijanje može obavljati oko nekog okruglog profila, a izvodi se ručno kod tanjih šipki.
- **Odsjecanje** se vrši ili čekićem u obliku dljeta ili trokutastim alatima pogodnim za tu vrtu kovanja.
- **Probijanje** se vrši pomoću probijača. Prvo se s jedne strane probijačem napravi rupa do dubine $2/3$ od debljine materijala koju probijamo. Zatim se predmet okene i preostali dio materijala se izbije. Za velike rupe to se izvodi odgovarajućim komadom.
- **Sukanje** naziva se još i uvijanje. Komad se zagrije na mjesto koje želimo zakrenuti, učvrstimo ga u škripac i zakrenemo za željeni kut.
- **Zavarivanje** je postupak kojim se mogu spajati materijali s veoma malo sumpora a nešto više mangana. Prije zavarivanja, dijelovi koji se žele zavariti oripreme se u određeni najpogodniji oblik, zatim se zagriju za cca 1200° brzo približe, pospu dezoksidantom i vješt看 udarcima zavare.
- **Natiskivanje** je navlačenje prstenova na osovine. Prsten se agrije na visoku temperaturu dase može bez velikih problema navući na osovinu. Nakon hlađenja ostvaren je željeni čvrsti spoj.
- **Stično svarivanje** mora predhoditi proces zadebljanja krajeva. Nakon zagrijavanja i stičnog spoja obavezo moramo izvesti prokivanje zavarenog spoja. Ovaj način nam ne garantira kvalitetu i puzdan spoj.
- **Preklopno svarivanje**, kod preklopnog svarivanja spojne dijelove izvedemo na način prikazanom skicom. Ovakav spoj nam daje bolji i pouzdaniji šav.
- **Obuhvatno svarivanje**, ovaj način spoja primjenjuje se kod svarivanja raznoradnih materijala i kod velikih presjeka.

7.2 Kovanje u ukovnjima

Da bi izradili seriju istih komada sa što manjim odstupanjima koristimo se postupkom kovanja u ukovnjima. Ukovnji su vrste kalupa, ali od materijala koji mogu izdržati sile kovanja. Ukovnji se obično rade od lijevanog čelika a za manje komade i manje serije od lijevanog željeza.

Veličina šupljine ukovanja je veća za cca $1,2\%$ a to je zbog stezanja materijala kada se on ohladi s temperaturom okoline. Kad konstrukcija ukovnja treba se voditi računa

o višku materijala koji se umeće u kalup. Taj višak materijala treba biti zgodno raspodjeljen i da se pretvori u neku vrstu srha odakle ga je moguće jednostavno odstraniti, a nesmeta izgledu. Kod kovanja u ukovnjima, predmet se prvo iskuje na približan oblik, a zatim se u ukovnju izvrši konačno što manje vrijeme, pa se zbog toga u neke ukovnje ugrađuju izbacivači. Ako bi predmet zaostao dulje vrijeme u kalupu, zbog prijelaza topline s predmeta na stijene kalupa došlo bi do otkaljivanja površine kalupa. (primjeri - horvat I str. 561. - 565.)

7.2.1 Temperature kovanja

Temperature kovanja ovise o vrsti materijala i njegovom sastavu i o načinu na koji se kuje, da li je to komplicirani predmet ili ne, te o opremi s kojim kovanje se vršilo. Najpovoljnije temperature kovanja kreću se u granicama za mekani čelik 900 - 1300°C, čelik do 0,3%C 870 - 1150°C, niskolegirani konst. čelik 830 - 1070°C, nelegirani alatni čelici 770 - 920°C, bakar 700 - 960°C, aluminij 200 - 500°C.

8 Izvlačenje

Izvlačenje, kao metoda obrade materijala, spada u grupu obrada bez skidanja struganja. Materijali, koje obrađujemo proživaljavaju plastične deformacije, ali nesmiju doći u područje loma. Oni moraju biti veoma žilavi. U te materijale spadaju čelici s malo ugljika, a osobito limovi koji su predviđeni upravo za duboka izvlačenja. Limovi za duboko izvlačenje termički su obrađena a to nazivamo dekapiranjem. Postoje limovi koji su jednom, dvaput pa čak i četiri puta dekapirani. Ovi posljednji su namjenjeni za najkompliciranija izvlačenja. Materijali za izvlačenje su još limovi Au i Al. Prema JUS limovi za izvlačenje nose oznake (Č.0145 P2 - do Č.0148 P4)

Najstariji način izvlačenja bilo je formiranje posuda od Cu-lima **kuckanjem**. Izrađivali su se najrazličitiji predmeti, a danas je ta metoda, koju zahtjeva industrijska proizvodnja, je **izvlačenje**. Postupak izvlačenja zasniva se na činjenici, da materijal podaje kada ga se optereti iznad granice elastičnosti. Neki predmet je kuckanjem mogao dobiti nakon dugotrajnog i strpljivog rada a s ovim postupkom moguće je to isto izvesti, ako ne u jednom onda u nekoliko radnih operacija.

Čitav uređaj za izvlačenje učvršćen je na radnom stolu preše, koja je namjenjena za duboka izvlačenja. To mogu biti hidrauličke ili ekscentar preše. Uređaj se sastoji od žiga i matice koji određuju oblik predmeta. U sklopu postoji i pridržać lima koji sprečava klizanje lima i time osigurava plastičnu deformaciju predmeta.

Postupak izvlačenja teče u određenim koracima a ovu su otprilike ovakvi:

- izrezivanje platine iz koje se najerava raditi predmet
- izrada prikojene platine, to dolazi u obzir ako želimo izbjeći velike zaostatke materijala na rubovima, recimo četvrtastih posuda.
- Višestepeno izvlačenje, jer odnos smanjenja promjera platine i nastale kolote nesmiye biti manji od 0,48

- nakon konačnog izvlačenja moramo rubove posude obrezati da doijemo željeni oblik, koji može biti ko smije dalje obrađivati.

Ako se izvlače posebno duboke posude, potrebno je međufazno poluproizvod izžariti da se odstrani krtost nastala višekratnom deformacijom.

Želimo li predmet kruškolikog oblika, nemožemo to izvesti metalnim žigom. Kod toga se koristimo, unaprijed formiranom matricom, a žig je modificiran, a tečenje izvodimo gumom, tekućinom ili čeličnim kuglicama. Pod djelovanjem vanjske, pomoćno sredstvo zauzima unutarnje konture matrice i na taj način formira oblik. Nakon prestanka djelovanja, moguće je izvući i izvaditi to sredstvo iz formirane posude.

Primjena dugokog izvlačenja u industrijske svrhe je u današnje doba sve značajnija. Dolazi u obzir u svim granama metaloprerađivačke industrije, Iako je lim za duboka izvlačenja znatnije skuplji, princip rebara veoma efikasno ukrutiti da je čitav proizvod jeftiniji.

U našem poduzeću se duboko izvlačenje koristi

- za izradu kalota električnih grijača vode, limenih dijelova pegli, električnih lonaca itd. u tvornici u Samoboru.
- za izradu dijelova štednjaka, ugostiteljske opreme, izradu sudopera od nehrđajućeg čelika na Žitnjaku
- za izradu dna hidrofora u Samoboru
- u proizvodnji dijelova frižidera u Bitoli itd.

9 Valjanje

Valjanje je način oblikovanja, koji se temelji na plastičnoj deformaciji materijala. Valjanje za izradu u hladnom stanju a također i u toplom, gnječnom stanju.

Valjanje je neprekinuti postupak za smanjivanje presjeka i ujedno produljenje komada koji formiramo. U užem smislu, valjanje je oblikovanje usijanog komada, prolazom između dva valjka, koji su većinom horizontalni, a koji se okreću u suprotnom smjeru. Razmotrimo sile koje se javljaju kod valjanja.

Sila N , je sila pritiska nastal zbog deformacije predmeta. Tu silu možemo podijeliti na horizontalnu silu u vrtikalnom smjeru. Vrtikalna sila pritiska, koju moraju prenositi ležaji valjka dok horizontalna sila trenja $\mu N \cos \alpha$. Da bi se proces valjanja odvijao normalno sila trenja mora biti veća od sile koja želi predmet izbaciti nazad te možemo postaviti jednadžbu.

$$\mu N \cdot \cos \alpha > N \sin \alpha \rightarrow \mu > \tan \alpha, \quad (17)$$

ako za $\mu = \tan \rho$ to se naziva kut trenja uvedemo u jednadžbu izlazi daje $\rho > \alpha$ tj. da je kut trenja veći od ulaznog kuta α .

Kod valjanja se omjer h i h_1 nesmiye prekoračiti pa on izgleda ovako

$$h_1 = 0,9 - 0,6h. \quad (18)$$

10 Savijanje

10.1 Savijanje limova

U svakodnevnom životu susrećemo se s najraznovrsnije svinutim konturama od lima. Tu spadaju svi mogući oblici počevši od okruglih do najkompliciranih fazonskih savijanja.

Ploča lima možemo okruglo saviti na dva najjednostavnija načina, koji se temelje na principu valjaka.

1. Savijanje s tri valjaka

Kod ovog načina savijanja imamo tri valjka koji rotiraju oko svoje uzdužne osi i omogućuju prolaz lima između njih. Ako gornji valjak utisnemo prema dolje dobit ćemo zakrivljenu površinu. Minimalni promjer cilindra diktira promjerom gornjeg valjka. Veliki nedostatak ovog sistema je u tome što se rubovi, tj. početak i kraj moraju predsaviti da bi se dobila sila što bolja cilindrična ploha.

2. Savijanje s 4 ili više valjaka

Kod ovog načina savijanja izbjegnut je nedostatak presvijanja krajeva. Pomoćni bočni valjci omogućavaju savijanje cilindrične plohe bez predsavijanja to je velika prednost. Istina da su ovakvi strojevi nešto kompliciraniji i skuplji ali svojim prednostima to pokrivaju.

Da bi ploču rubno savili do nekog kuta, danas su još u primjeni dva načina. Prvi način je veoma star ali još uvijek veoma efikasan. Naime, radi se ovdje da se lim stegne u dvije čeljusti i zatim se sa zakretnom gredom izvrši savijanje do željenog kuta. Tom metodom se ručno mogu savijati razi limovi obojenih metala. Nedostatak ove metode je u tome što nemožemo izvršiti savijanje nekoliko rubova blizu jedan drugome. Da bi iz lima savili neko profil, možda i zatvorenog oblika, koristimo se tkz. **abkant prešama**. To su preše posebnog oblika, kod kojih se u gornji pokretni dio mogu ugraditi alati - tkz. noževi i pomoću njih izvodimo savijanje. Uz nož na stol preše učvršćuje se prizma, kao drugi dio alata za formiranje. Dužina tih noževa je različita a kreće se i do reda veličine 8 m. O snazi preše ovise kako debeli limovi se mogu saviti. Rad s abkant prešom je jednostavan i veoma produktivan pa se sada one sve više i više koriste.

Da bi se profilno savili ploču lima, kod koje ima više veoma plitkih oblika možemo umjesto veoma skupog pripusivanja žiga u matricu, koristiti samo matricu, a umjesto žiga uzimamo odgovarajuću tvrdu gumu. Pod djelovanjem sile prešanja guma će djelomičnoformulirati lim koji je stisnut između gume i matrice. Kadkad se na taj način u tvornici na Žitnjaku izrađuju radne ploče za kuhanje a postupak se naziva Tohr-metal koji ima instaliranu prešu snage 5000 t.

10.1.1 Savijanje punih šiki i profila

Savijanje punih šipki, koje mogu biti okrugle, pravokutne ili nekog drugog oblika moguće je izvesti na nama već poznatim strojevima za savijanje limova. Mogu se koristiti strojevi s tri ili četiti valjka. Za pravokutne i kvadratne profile savijanje se izvodi na ravnim dijelovima valjka, dok za profilno formirane šipke i profile trebamo imati odgovarajuće kanale da bi ih mogli saviti.

Ako se radi o čestom savijanju profila, postoje uređaji namjenjeni isključivo za tu vrstu savijanja. Princip rada je obet putem triju pokretnih valjaka koji imaju najrazličitije kanale, za različite profile. Postavljeni su okomito na površinu poda ili vertikalno.

Primjer

Redosljed operacija kod savijanja profila.

10.1.2 Savijanje cijevi

Savijanje cijevi zahtjeva posebnu tehnologiju i to zbog deformacije cijevi na mjestima savijanja. To dolazi kod savijanja cijevi na manjem radijusu, kod malih promjera, dok je to problem kod svih cijevi iznad 50 mm promjera. Da bi se izbjegle deformacije cijevi na mjestima savijanja potrebno je to spriječiti pomoćnim sredstvima. Najjednostavniji način je ispunjavanje cijevi nestlačivim sredstvom, koje će zadržati puni profil cijevi. Za to se koristi, kod manjih cijevi pijesak. Pijesak se naspe u cijev i sa obje strane dobro začepi, zatim se izvrši savijanje bilo ručno bilo u nekom uređaju.

Kod savijanja cijevi većeg promjera, umijeto pijeska koriste se druge tehnike. Pomoću podatljivih elemenata vezanih jedan za drugim a to mogu biti čelične kuglice ili neki drugi sferni oblici koji se savijaju zajedno sa cijevima. Kod savijanja plašteva cilindara mogu se pojaviti greške i to:

1. Krajevi nisu predsaviti na potreban radius, nego mogu zaostati ravni. Zbog toga je potrebno koji puta, ako je potreban točan oblik saviti čitav cilindar preklopna, pa preklop odrezati i na taj način dobiti čisti krug.
2. Može se dogoditi da se cilindar, zbog unutarnjih naprezanja lima i različite debljine lima spiralno savije. Ovakvu grešku ispravljamo pomoću posebno konstruiranih sprava, koje nam pri sastavljanju tu grešku korigiraju.
3. Svaki predmet bilo kakve obrade ne zaostane uvijek u predviđenom položaju. To se događa također s cilindrično savijenim plaštevima. Kod toga je potrebno kod prihvatnog varenja uzdužnog šava osiguratu optimalni razmak už čitavog vara. Za takvo održavanje koriste se specijalne spravice - naprave s ojima možemo to održavati.

11 Rezanje

Odsjecanje materijala razdvajanjem, bez skidanja strugotina, spada u područje obrade, koje se može vršiti noževim raznih oblika, a na specijalnim mašinama za odsjecanje (škarama) ili specijalnim alatom na prešama. Pod djelovanjem vanjskih sila pogonskog mehanizma u materijalu se stvaraju naprezanja koja prelaze čvrstoću materijala, zbog čega dolazi do razdvajanja materijala.

Kod odrezivanja, razlikujemo tri faze razdvajanja materijala:

1. Faza elastične deformacije, kada deformacija nastala pod djelovanjem sile F , nakon prestanka iste nestaje

2. Faza plastične deformacije, kad se u predmet pojavilo naprezanje veće od glanice popuštanja
3. Prekid materijala, kada se u predmetu pojavi naprezanje veće od čvrstoće materijala.

Da bi odredili veličinu sile reanja proanalizirati ćemo to na noževima koji se kreću paralelno a imaju i paralelne oštrice. Materijal nam je pravokutnog presjeka širine b i debljine s . Ravnina A-A je ravnina odjecanja (idealno). U početku procesa rezanja, noževi prodru u površinu predmetaa dubinu z . To se naziva i apsolutna dubina prodiranja. Nakon toga dolazimo do procesa smicanja ili samog odrezivanja. Zbog postepenog prodiranja noža u površinu predmeta, sila F se pomalo seli iz ravnina A-A ovisno o veličini α od ravnine odsjecanja i stvara moment $M = F \cdot a$. Zbog nastanka tog momenta, dolazi do nagninjanja samog predmta. Nagninjanje izaziva njastojanje bočne sile F_r , a ono će rasti tako dugo dok se moment sile rezanje ne izjednači s momentom bočne silepa će ravnoteža biti uspostavljena kada će biti $F \cdot a = F_r \cdot c$. Razvojem jednadžbe došlo bi se do približnog rezultata $\tan \gamma \approx \frac{z}{2s}$. Kut γ naziva se kut zakreta materijala. Maksimalna vrijednost sile na škarama ovisi o jačini materijala na smicanje i o apsolutnoj dubini prodiranja noža te to izgleda ovako

$$F_m = \left(\frac{s}{\cos \gamma} \tau_m \cdot b \right) [Kp]. \quad (19)$$

Za paralelene noževe ta formula poprima vrijednost

$$F_{max} = \tau_m \cdot b \cdot s [Kp]. \quad (20)$$

Ovako izračunata sila razanja povećava se za 20-40% zbog:

- tupljenja reznih ivica noževa
- eventualnog povećanja zračnosti među noževima
- neravnomjernosti debljine materijala koji se odsjeca
- ostalih nedostataka koji se mogu dogoditi u eksploataciji.

$$F_M = 1,3 F_{max} \quad (21)$$

Ukoliko škare nisu opremljene držačem lima, onda se pojavljuje zakretanje materijala, koje izražavamo kutem γ a on iznosi $\gamma = 10^\circ - 20^\circ$ ili bočna sila $F_t = (0,18 - 0,36)F$. Kod škara s držačima lima stanje je $\gamma = 5^\circ - 10^\circ$ a $F_t = (0,09 - 0,18)F$. Veličina instalirane snage u uređaju za rezanje ovisi o načinu na koji se odsjecanje vrši. Mi razlikujemo više tehnika i načina odrezivanja, koji imaju svaki svojih prednosti i mana a i posebnih namjena. Kao prvi i najpoznatiji su

1. Ravni paralelni ili ravni nagnuti noževi
 - kod paralelnog odsijecanja $\phi = 2 - 6^\circ$

- kod kosog odsjecanje $\phi = 7 - 12^\circ$
- kut klina $\beta = 75 - 85^\circ$
- stražnji kut $\alpha = 2 - 3^\circ$
- prednji kut $\gamma = 3 - 12^\circ$
- račnost među noževima $f = 0,05 - 0,02 \text{ mm}$

Ovakvi uređaji se koriste za izrezivanje ploča limova u djelove i to samo rane rezove

2. Kružni noževi s paralelnim korizontalnim osima

- Kut zahvata $2\phi < 12^\circ$
- Prekrivanje kružih noževa $u = (0,2 - 0,3)s$
- Dimenzije noževa za $s > 10 \text{ mm}$ je $D = (25-30)s$, a $h = (50 - 90) \text{ mm}$ dok za $s < 3 \text{ mm}$ je $D = (35 - 50)s$, a $h = (20 - 25) \text{ mm}$

Primjenjuje se za osdjecanje ploča u trake i za izrazivanje kružnih plotina do $s = 30 \text{ mm}$.

3. Kružni noževi s gornjom horizontalnom i donjom kosom osi

- Kut nagiba osovine $\epsilon = 30 - 40^\circ$
- Dimenzije noževa
 $s < 10 \text{ mm}$, $D = 20 s$, $h = 50 - 80 \text{ mm}$
 $s < 3 \text{ mm}$, $D = 28 s$, $h = 15 - 20 \text{ mm}$

Koriste se za rezanje ploča u trake te za izrezivanje okruglih prestenova do debljine 30 mm .