

# Obrada metala

## Sadržaj

<b>1 Teorija rezanja metala</b>	<b>4</b>
1.1 Alati za rad skidanjem strugotine . . . . .	4
1.2 Geometrijski oblici oštice alata i elementi oštice . . . . .	4
1.3 Proces rezanja i formiranja strugotine . . . . .	9
1.4 Hrapavost obrađene površine . . . . .	10
1.4.1 Radnja rezanja . . . . .	14
1.4.2 Mjerenje sila na noževima . . . . .	14
1.5 Toplina pri procesu rezanja . . . . .	16
1.6 Ekonomске brzine rezanja . . . . .	18
<b>2 Blanjanje i dubljenje</b>	<b>19</b>
2.1 Kratkohodna blanjalica - šeping . . . . .	20
2.2 Dugohodne blanjalice . . . . .	21
<b>3 Tokarenje</b>	<b>22</b>
3.1 Uređaji za stezanje . . . . .	24
3.1.1 Učvršćivanje predmeta između šiljaka radnog vretena i konjića . .	25
3.1.2 Učvršćenje predmeta pomoći čeljusne ploče . . . . .	26
3.2 Pričvršćenje noževa . . . . .	26
3.3 Tokarski noževi . . . . .	27
3.3.1 Režimi i njihovo određivanje . . . . .	27
3.3.2 Sile rezanja na tokarskom nožu . . . . .	28
3.3.3 Tokarenje konusa na tokarskom stroju . . . . .	28
3.3.4 Vrijeme obrade na tokarskom stroju . . . . .	28
<b>4 Bušilice</b>	<b>29</b>
4.1 Viševretene bušilice . . . . .	31
4.2 Koordinatna bušilica . . . . .	31
4.3 Alati za bušenje i razvrtanje . . . . .	31
4.4 Brzina rezanja . . . . .	32
4.5 Upuštala . . . . .	34
4.6 Razvrtavači . . . . .	34
4.7 Učvršćenje svrdla u radna vretena . . . . .	36
4.8 Režimi obrade kod brušenja . . . . .	36
<b>5 Brušenje</b>	<b>37</b>
5.1 Brusilice . . . . .	37
5.2 Brusilice za ravno brušenje . . . . .	38
5.3 Strojevi za okrugla brušenja . . . . .	39
5.4 Brusilice za unutarnja okrugla brušenja . . . . .	40
5.5 Univerzalni strojevi za okrugla brušenja . . . . .	40
5.6 Strojevi za brušenje zupčanika . . . . .	41
5.7 Brusilice za brušenje alata . . . . .	41

5.8 Specijalne brusilice . . . . .	42
5.9 Brusevi . . . . .	42
5.10 Stezanje alata . . . . .	45
5.11 Režimi obrade . . . . .	45
<b>6 Glodanje</b>	<b>45</b>
6.1 Glodalice . . . . .	48
6.2 Diobene sprave . . . . .	50
6.3 Režimi obrade . . . . .	51
<b>7 Kovanje</b>	<b>52</b>
7.1 Glavne kovačke operacije . . . . .	54
7.2 Kovanje u ukovnjima . . . . .	56
7.2.1 Tempreture kovanja . . . . .	56
<b>8 Izvlačenje</b>	<b>57</b>
<b>9 Valjanje</b>	<b>59</b>
<b>10 Savijanje</b>	<b>60</b>
10.1 Savijanje limova . . . . .	60
10.1.1 Savijanje punih šiki i profila . . . . .	61
10.1.2 Savijanje cijevi . . . . .	63
<b>11 Rezanje</b>	<b>65</b>
11.1 Alat za odsjecanje na prešama . . . . .	70
11.2 Rezanje profila . . . . .	71
<b>12 Lijevanje</b>	<b>72</b>
12.1 Pijesak za kalupovanje . . . . .	73
12.2 Pijesak za jezgre . . . . .	73
12.3 Podjela lijevačkog pijeska . . . . .	74
12.4 Pripremanje pijeska za kalupe . . . . .	74
12.4.1 Kalupovanje strojeva za drmanje . . . . .	78
12.4.2 Kalupovanje strojevima za bacanje pijeska . . . . .	78
12.5 Kokilno lijevanje . . . . .	78
12.6 Centrifugalno lijevanje . . . . .	79
12.7 Tlačni lijev . . . . .	79
<b>13 Termička obrada</b>	<b>80</b>
13.1 Normaliziranje . . . . .	80
13.2 Meko žarenje . . . . .	81
13.3 Izžarivanje . . . . .	81
13.4 Kaljenje . . . . .	81
13.5 Napuštanje . . . . .	83
13.6 Poboljšavanje . . . . .	83

13.7 Cementiranje . . . . .	83
<b>14 Površinska zaštita</b>	<b>85</b>
14.1 Općenito o koroziji i zaštita od korozije . . . . .	85
<b>15 Razni postupci bez oštrica</b>	<b>88</b>
15.1 Mehanički postupci . . . . .	89
15.2 Električni postupci . . . . .	89
15.2.1 Elektrokemijski postupci . . . . .	90
15.2.2 Kemijski postupci . . . . .	91
15.3 Još nekoliko metoda za skidanje strugotina . . . . .	91

# 1 Teorija rezanja metala

## 1.1 Alati za rad skidanjem strugotine

Obrađivanje 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 oštice, treći puta alat sa više oštice koje odjednom skidaju strugotinu (turpija, brusna ploča).

Skidanje strugotine mora, kao i ostali zahvati, odgovarati nekim zakonitostima. Te zakonitosti prvi je počeo proučavati amerikanac F.W.Taylor krajem prošlog stoljeća.

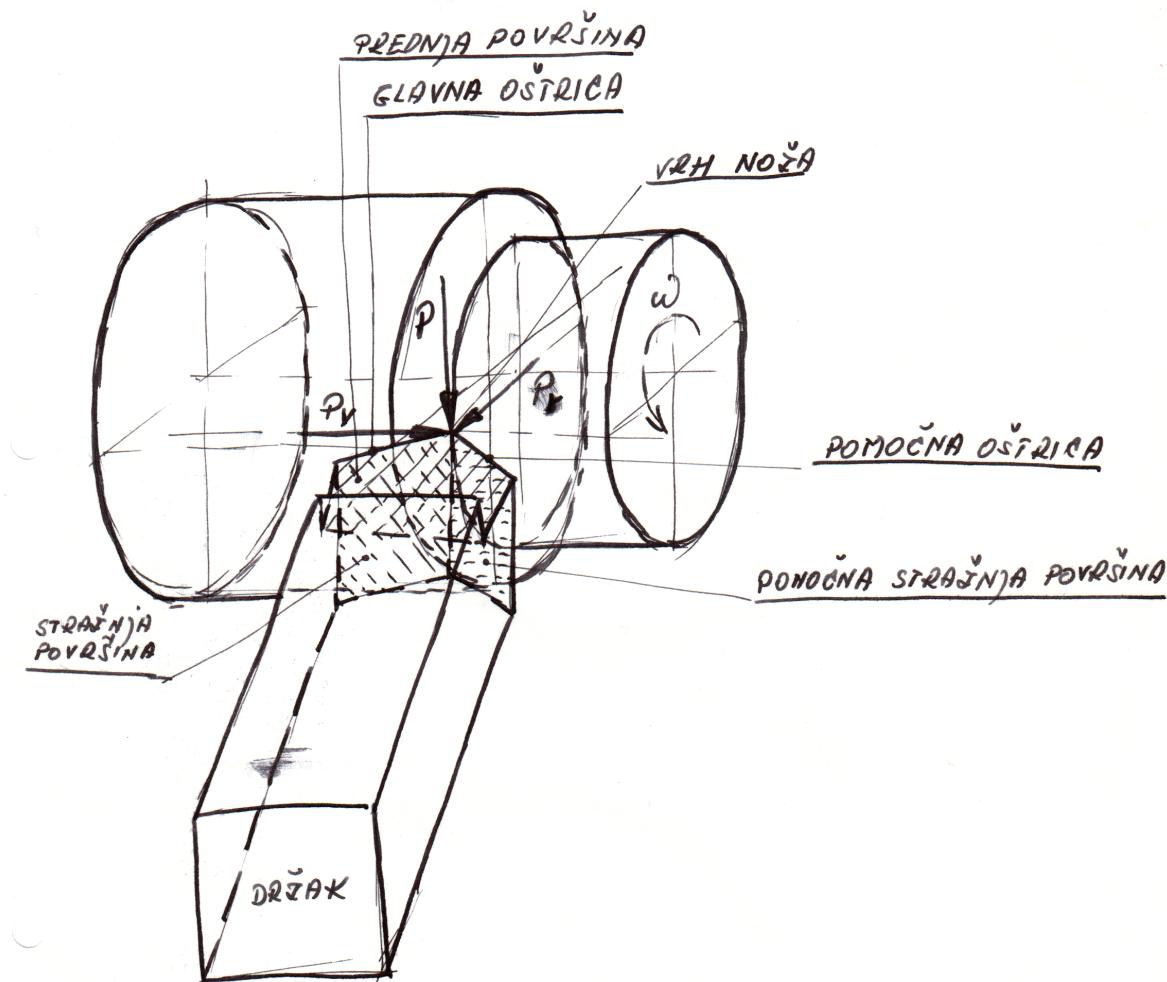
Svaki alat, koji koristimo pri skidanju strugotine, kao što smo vidjeli, sastoji se od jedne ili više oštice. To nas dovodi do zaključka, da analogijom tu zakonitost prenesemo na sve druge.

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 oštice alata i elementi oštice

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

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



$P$  - vertikalna sila - sila protivna rezanju

$P_V$  - sila posmeka - sila protivna udužnom posmeku

$P_R$  - natražni potisak - sila protivno poprečnom posmeku  
nastoji otisnuti nož od predmeta.

Osnovni elementi su:

- glavna oštica
- pomoćna oštica
- vrh noža.

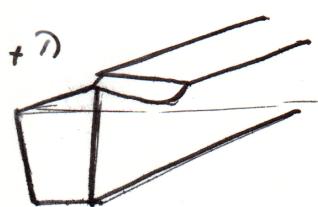
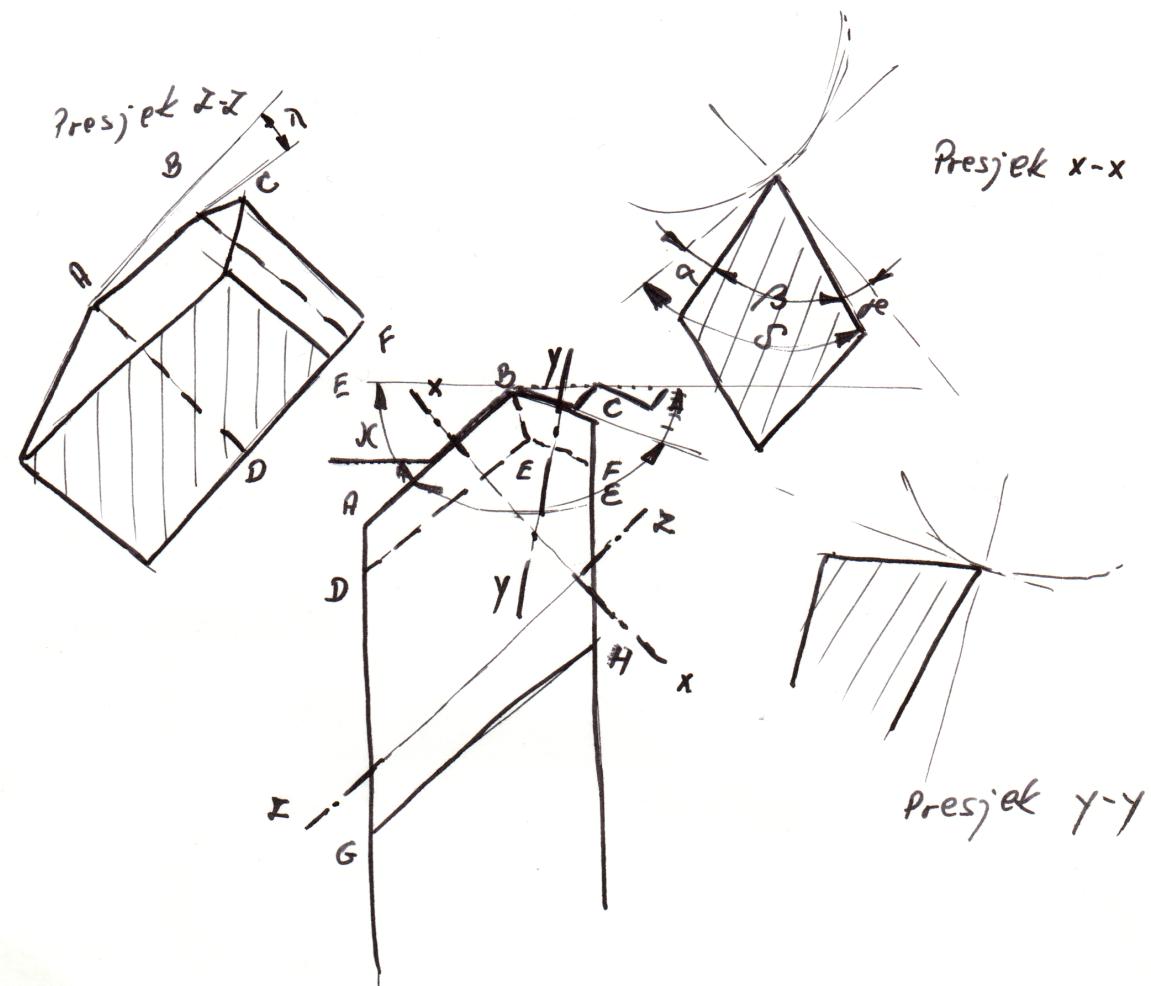
Od površina koje trebamo razlikovati na nožu su

- 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

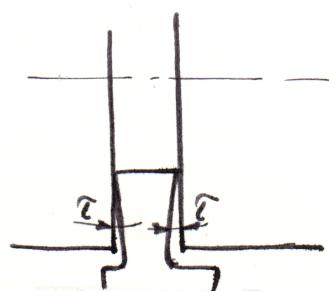
Sada ćemo se upoznati malo detaljnije s jednim nožem za tokarenje, nožem koji se najčešće koristi.



za čelič



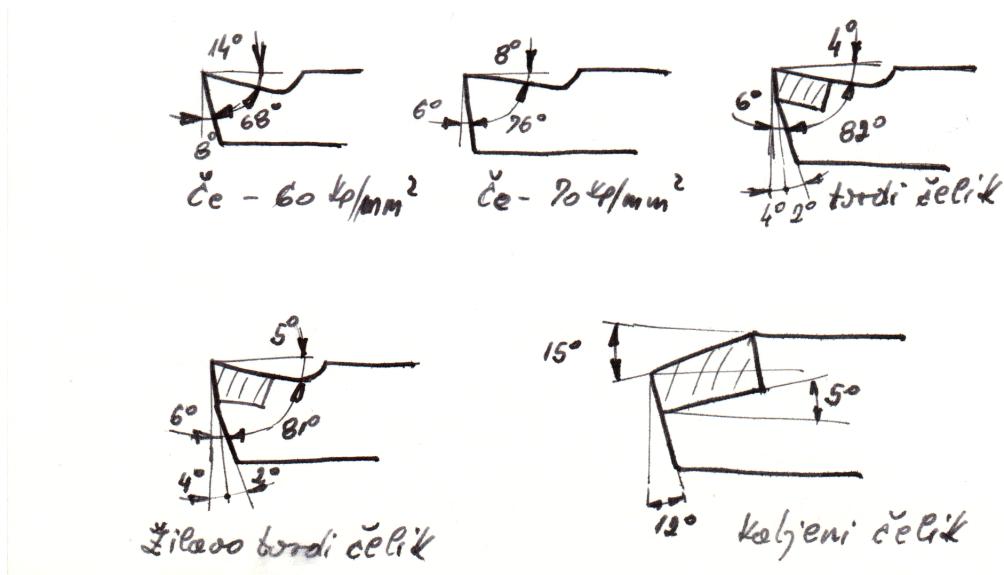
za MS, C4, AP



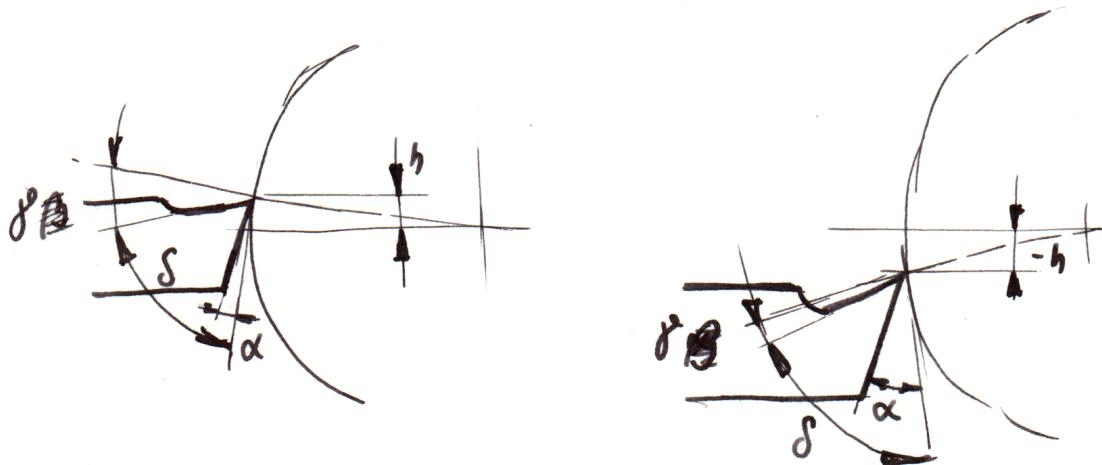
Analizirajući presjek x-x razlikujemo:

- $\alpha$  - stražnji ili slobodni kut - između stražnje površine i površine rezanja.
- $\beta$  - kut oštrenja ili kut klina - kut između prednje i stražnje površine.
- $\gamma$  - prednji kut, kut između prednje površine i okomice na površinu rezanja. Proizlazi da je  $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$
- $\delta$  - kut rezanja - on je suma  $\alpha + \beta$ .
- $\epsilon$  - kut šiljka noža ili čeoni kut, to je kut između stražnje i pomočne stražnje površine
- $\kappa$  - kut namještanja noža je kut između površine rezanja i glavne oštice
- $\lambda$  - kut nadvišenja - kut između glavne oštice i površine u ravnini rezanja koja proizlazi kroz vrh noža
- $\tau$  - 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  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ , dok nam kut  $\beta$  ostaje konstantan.



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

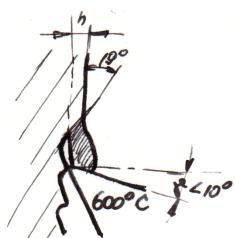
### 1.3 Proces rezanja i formiranja strugotine

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:

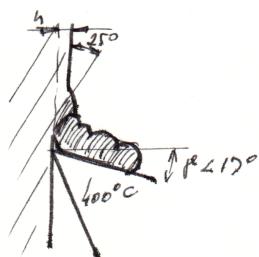
#### Kidane-lomljene strugotine



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  $10^\circ$ , a zatim kod tvrdih materijala i kada se radi s preniskim brzinama rezanja. U tako formiranoj strugotini ne nastaju plastične deformacije. Oštrica noža se grijije do  $600^\circ\text{C}$  i to nejednoliko. Kako se pritisak mijenja, mijenja se i zagrijavanje oštrice što dovodi do velikog kolebanja temperature. Kod takovog oblika strugotine podmazivanje noža mnogo ne pomaže.

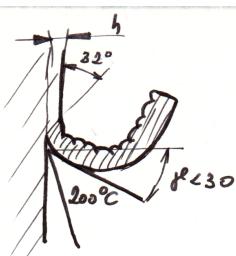
Takav oblik strugotine javlja se kod ljevanog željeza.

### 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.

### Trakasta ili ljuštena strugotina



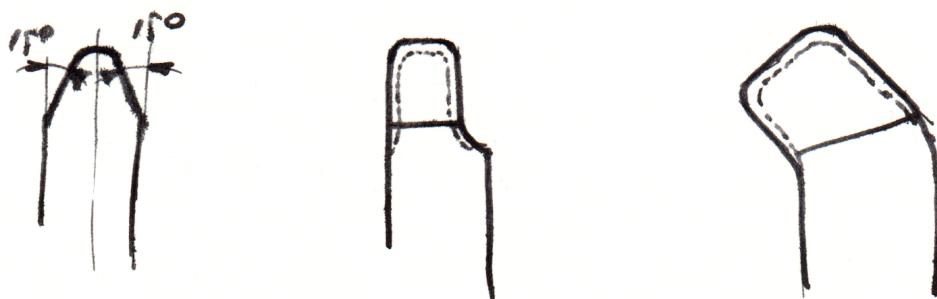
Ovakav oblik strugotine nastaje kod velikih brzina rezanja, male dubine i malog posmaka i kod prednjeg kuta  $\gamma < 30^\circ$ . Materijal se tare o prednju površinu noža i odlazi kao neprekinuta strugotina. Pritisak na nož je jednolikiji, što daje i jednoličniju temperaturu oštice od približno  $200^\circ\text{C}$ . Kolebanje temperature noža su u granicama od  $20^\circ$ . Dobrim podmazivanjem oštice pri rezanju može se produžiti vijek rada noža, jer takovo podmazivanje pogoduje stvaranju povišene oštice koja štedi oštricu. To svojstvo nam je 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 reznih oštrica, te uz dobro izabrane režime rada mogu dati kvalitetu površine od  $6-9\mu\text{m}$ .

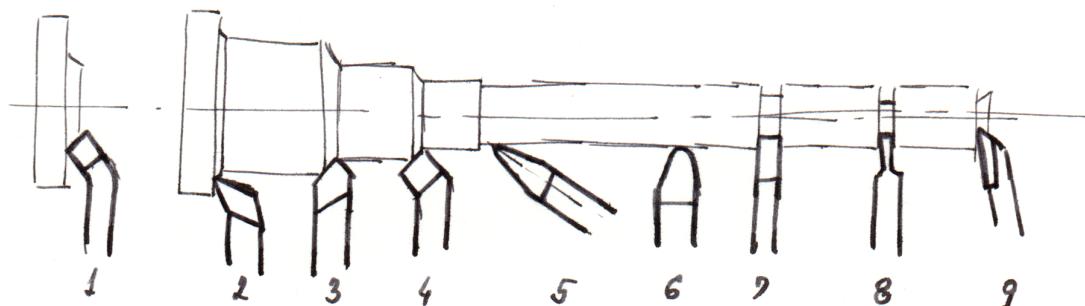


Općenito uzevši, tokarski nož za vanjsku obradu možemo prvi moment podijeliti na lijeve i desne noževe. Dali je nož lijevi ili desni određujemo na sljedeći način. Uzmemo ga u ruku tako, da oštrica bude okrenuta prema našem tijelu i to prema gore. Strana na kojoj se nalazi glavna rezna oštrica vrijedi kao oznaka (lijevi, desni).

Druga podjela noževa za tokarenje može biti:

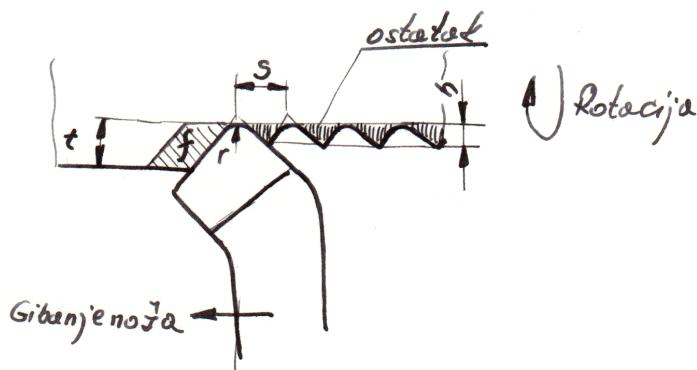
- noževi za vanjsko tokarenje
- noževi za unutarnje tokarenje
- razni fazonski noževi za vanjsko ili unutarnje tokarenje a tu spadaju i noževi za rezanje raznih vrsta nareza, raznih oblika utora itd.

Pregled noževa za vanjsko tokarenje:



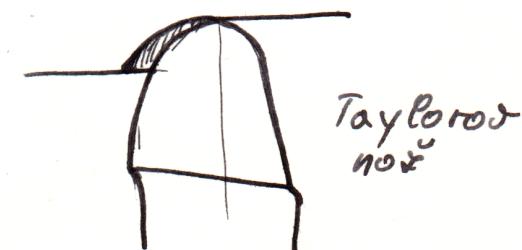
1. - desni savijeni nož za čeono grubo obrađivanje
2. - desni savijeni nož za čeono obrađivanje uglova
3. - desni ravni nož za uzdužno grubo obrađivanje
4. - desni savijeni nož za uzdužno grubo obrađivanje
5. - nož za fino obrađivanje, šiljati
6. - nož za fino obrađivanje
7. - nož za utore
8. - nož za 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 podatcima.



- 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 -  $f$  -  $\text{mm}^2$  - 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 oštice, 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 oštica su dosta nejednolika. Zbog takove forme otežana je proizvodnja takovih noževa i međufazno prebrušavanje što dovodi do rijeđe primjene ovakovih oblika noževa.

### Sile na nožu

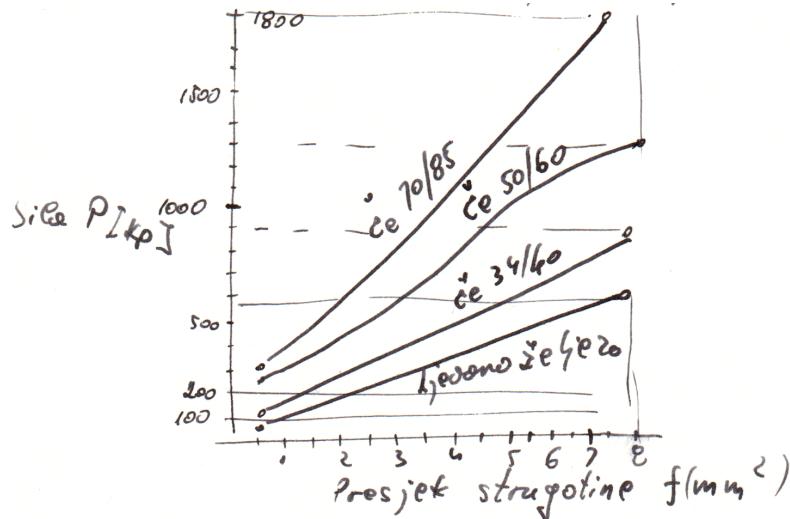
U početku smo se već upoznali sa silama, koje se javljaju na nožu. Kod toga razlikujemo:

- $P$  - vertikalnu силу - силу 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 sile. Otprikljike možemo uzeti da je omjer sile na nožu  $P : P_v : P_r = 5 : 2 : 1$ . Iz toga je vidljivo da nam je za 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 formулом:

$$P = A \cdot f \cdot \sigma_z .$$

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

Eksperimentalno su dobiveni podatci 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 Al i Al-legure.

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

- oblik presjeka strugotine koja može imati različite omjere posmaka i dubine rezanja, a može i oštrica biti zaobljena pa je presjek skidane strugotine duž oštice raznolik (Taylorov nož)
- o kutu klina - oštrenja  $\beta$
- o kutu namještanja noža  $\kappa$

- o brzini rezanja
- o hlađenju i mazanju - kod lomljene strugotine sistemom mazanja ne možemo smanjiti silu
- o unutaranjim naprezanjima u materijalu koji obrađujemo.

Snaga potrebna za stvaranje strugotine, troši se najvećim dijelom na rad 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:

$$P = f \cdot k_s ,$$

gdje je  $f$  presjek strugotine ( $\text{mm}^2$ ), a  $k_s$  koeficijent otpora rezanja ( $\text{kp/mm}^2$ ). 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 силу  $P$  i horizontalnu силу posmaka  $P_v$ . Da bi odredili radnju rezanja uz poznavanje tih sila trebamo znati i brzinu rezanja  $v$  i brzinu posmaka  $v_s$  ( $\text{m/min}$ ). Iz tih podataka dobivamo

$$N_{rez} = P \cdot \frac{v}{60 \cdot 75} + P_r \cdot \frac{v_s}{60 \cdot 75} \quad [\text{KS}].$$

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

$$N_{rez} = \frac{P \cdot v}{4500} \quad [\text{KS}].$$

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

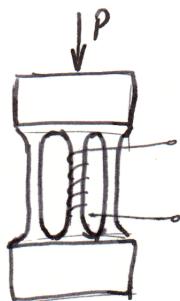
$$N_{tot} = 1.5 \cdot N_{rez} = \frac{P \cdot v}{3000} \quad [\text{KS}].$$

#### 1.4.2 Mjerenje sila na noževima

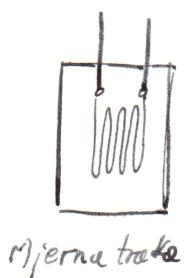
Prva podjela uređaja kojima mjerimo sile na nožu je na mehaničke uređaje i električke metode. Mehanički uređaji za mjerenje sile sastoje se od ploče, poluge ili pera, na koji djeluje sila. Zbog djelovanja vanjske sile dolazi do elastične deformacije odnosno do pomaka iz nultog položaja. Veličinu pomaka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

Električke metode registriranja mogu biti ostvarene na više načina:

1. **Piezoelektričkim** - prijenos sile na kvarcne kristale u kojima se javlja elektrostatski naboј 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, bždaren u tu svrhu u kilogramima.
3. **Induktivni** - Pod djelovanjem vanjske sile dolazi do promjene zračnog raspora a to mijenja jakost inducirane struje u sekundarnoj zavojnici. Mjeranjima te promjene dolazimo do veličine sile koja je izazvala promjenu zračnog raspora.
4. **Magnetoelastični** - način se temelji na jakom utjecaju mehaničkih sila na krivulu 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 što smanjuje jakost struje 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 mjeru traku.



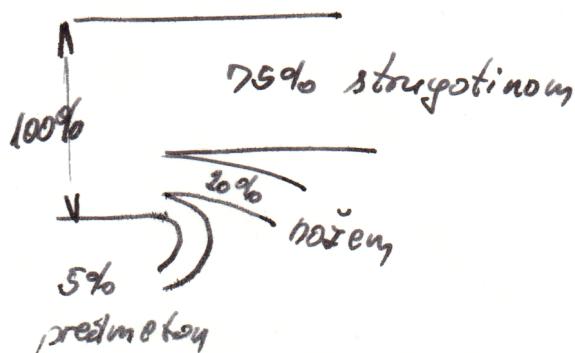
Zbog deformacija predmeta na koje su zaljepljene mjerne trake deformirat će se žica u mjernim trakama, što opet izaziva promjenu otpora žice koju registrira instrument.

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

## 1.5 Toplina pri procesu rezanja

Nastanak topline pri procesu skidanja strugotine je višestruko:

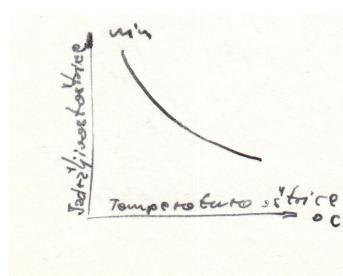
1. **Mehanički rad** - pretvara se djelomično u toplinu zbog međusobnog trenja čestica strugotine, kod formiranja strugotine i zbog kidanja strugotine.
2. **Toplina koja se stvara zbog trenja strugotine o oštricu noža** - proizvedena količina topline ovisi o
  - brzini rezanja
  - debljini strugotine
  - materijalu koji se obrađuje.



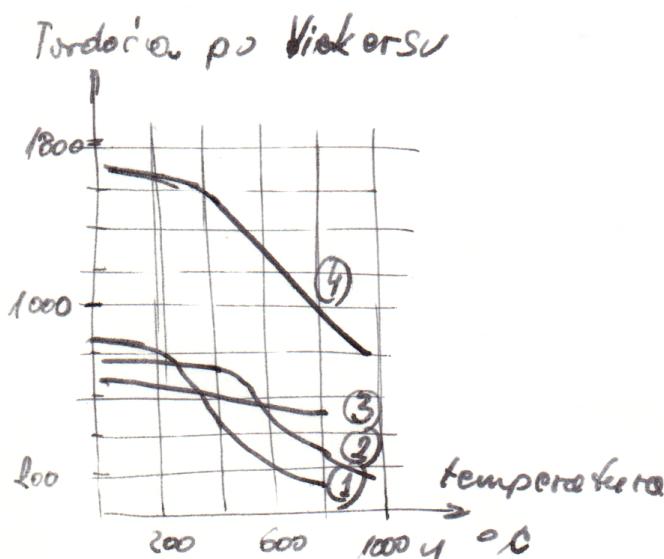
3. **Strugotina odvodi** sa sobom količinu topline koja je proporcionalna presjeku strugotine. Jasno da je odvođenje topline vezano i s brzinom rezanja.

4. **Nož odvodi** u principu uvijek istu 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 oštice. Iz dijagrama je vidljivo da je izdržljivost oštice, tj. vrijeme rezanja u minutama, manje čim je temperature oštice veća.



Za razne tipove alatnih 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 rezne 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. Kale se na 700 – 850°C a napuštaju kod 180 – 250°C. Noževi od alatnog čelika se lako i dobro obrađuju da su jeftini.
2. **Brzorezni čelici** - su legirani čelici koji u sebi sadrže volframa (W), kroma (Cr), vanadija (V) i molibdena (Mo). Kod kaljena prvo se polagano griju 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.

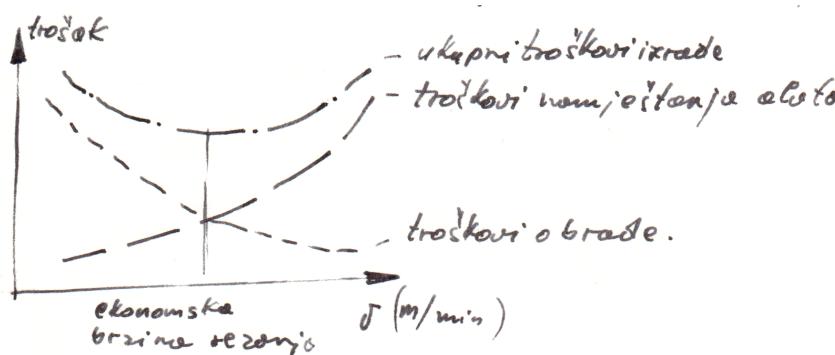
3. **Stelit** - je u stvarnosti tvrđa slitina koja omogućava korištenje još većih brzina rezanja od brzoreznih čelika. Stelit ima približno sastav od 40 – 50% Co, 25 – 35% Cr, 12 – 20% W, 0,5 – 3% C.
4. **Widia** - (wie Diamant) - materijal koji omogućava daljnje povećanje režima rada na alatnim strojevima. Za razliku od stelita, koji se dobiva lijevanjem, widia se dobiva tako da se prašak volframova titana i molibdena pomješa s nekim vezivnim sredstvom (običnom kobaltom ili niklom). Takvoj smjesi se prešanjem daje određeni oblik i zatim se peče. Jedno pečenje je na  $1400^{\circ}\text{C}$  a drugo na  $1900^{\circ}\text{C}$ . Obrađivati pločice možemo jedino brušenjem.
5. **Dijamanti** - noževi napravljeni od dijamanata su noževi koji omogućavaju maksimalne režime rada. Korištenje dijamantnih noževa je opravdano kod fine obrade slitina, papira, gume, umjetnih masa, bronce i mesinga. Ne isplati se koristiti za nekaljene čelike. Možemo približno uzeti da je odnos cijena između brzorezanog čelika, tvrde 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 koji odvode 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 u vodi). 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 ekomska brzina rezanja za neki alat. Tako se za to koriste noževi od brzorezanog čelika. Ekomska brzina smatra onu brzinu rezanja kod koje alat između dva prebrušavanja izdrži 60 /min, a označava se s  $\nu_{60}$ .

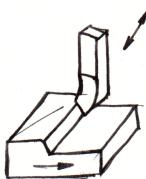
Za složenije alate, za koje je vrijeme prebrušavanja znatno veće a često prebrušavanje smanjuje vijek trajanja alata odabiru se kao ekomske brzine  $\nu_{240}$  i  $\nu_{480}$ . U tu grupu alata ulaze fazonski noževi, glodala i drugi.

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

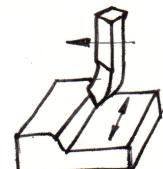
Kod svrdala se ekomskom brzinom smatra ona brzina, kod koje svrdlo može izbušiti ukupno 2000 mm rupa. Ta se brzina označava s  $\nu_{2000}$ .

## 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 do 700 mm.
2. Predmet vrši glavno kretanje a nož vrši posmak. Predmet je učvršćen na stolu koji se giba po saonicama, a nož je učvršćen na zasebnoj gredi po kojoj ostvaruje 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 - kada nož skida strugotinu
- Jalovi hod - kada se nož vraća

U grupu blanjlica spada i vertikalna blanjalica, kod 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:

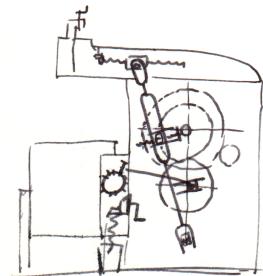
- FELLOW postupak - gdje je alat u obliku zupčanika.
- Maagov postupak - gdje je alat u obliku zubne letve.

## 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 šepinga s pogonom na ekscentar.

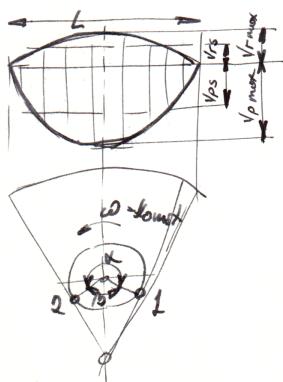


Pogon je ostvaren preko elektromotora, remenice i zupčanika do kulisnog mehanizma. Na tom mehanizmu možemo ostvariti veći ili manji ekscentritet kulisnog ramena. Na taj način dobivamo veći ili kraći pomak glave na koju je učvršćen nož. Područje pomicanja glave može se posebno regulirati. Posmak predmeta je osiguran preko drugog kulisnog mehanizma koji 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 ver-

ticalno pomoću zupčastog prijenosa. Zbog svojeg tereta stol se obično ukruti posebnim potpornjem.



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  $\omega$ , brzine gibanja glave šepinga od 1 prema 2 po kutu  $\alpha$  raste od 0 do  $V_{rmax}$  i pada na 0. Dok na povratku od 2 na 1 po kutu  $\beta$  raste do  $V_{pmax}$  i onda pada na nulu. Zbog konstantne kutne brzine i zbog raznolikosti kuteva  $\alpha$  i  $\beta$  vrijedi odnos:

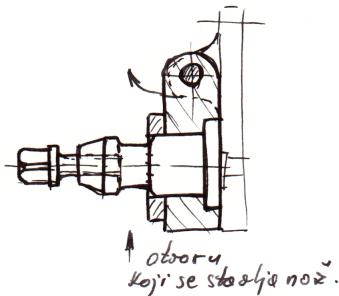
$$\frac{\text{tr(vrijemerad. hoda)}}{\text{tp(vrijemepar. hoda)}} = \frac{V_{ps}}{V_{rs}} = \frac{\alpha}{\beta} > 1 \quad (1)$$

Iz tih podataka, uz poznavanje broja okretaja kulise i dužine puta možemo odrediti brzine rezanja. Stalna promjena brzine rezanja nepovoljno djeluje na kvalitetu obrađene površine i na sile na nožu, gdje se javljaju udarci. Da bi se

izbjeglo to stalno mijenjanje brzine kod pomicanja noža konstruirane su blanjalice na hidraulički pogon, kod kojih je brzina radnog ili povratnog hoda, duž čitave radne dužine jednaka. (HRIBAR - 168 strana)

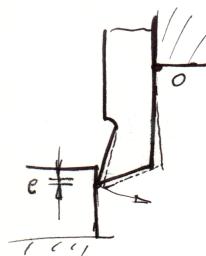
## 2.2 Dugohodne blanjalice

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 posmak 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 blanjalici koristimo nož za tokarenje, djelovanje sile na nožu mogu izazvati nepoželjnu deformaciju noža koja može imati višestruke posljedice.



Nož upet na ovaj način, pod djelovanjem sile rezanja opterećen 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 oštice prema dolje za visinu  $e$ . Zbog nehomogenosti alata, veličina sile (momenta) se mijenja, uslijed 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 kuštem. Za blanjanje se koriste i fazonski noževi za obradu np.: utora, vanjskih zakriviljenja itd.



### 3 Tokarenje

Tokarski strojevi su strojevi koji spadaju u najpotrebnije strojeve bilo kakove metaloprerađivačke industrije. Oni posjeduju veliku univerzalnost jer je na njima moguće obradivati: ravne i zakriviljene površine, mogu se rezati narezi, bušiti i zakriviljene površine, mogu se rezati plohe, razvrtavati, izrađivati spiralne opruge, glodati horizontalne utore itd. Tokarski strojevi su veoma jednostavnii 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 tokarski 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 nareznim vretenom
- Tokarski strojevi s poteznim vretenom
- Tokarski strojevi s poteznim i nareznim vretenom.

## 2. Specijalni tokarski strojevi

S obzirom na specijalnost oni se dijele na:

- Obične specijalne tokarske strojeve
  - za čeona tokarenja - čeoni tokarski stroj
  - karusel tokarski stroj
  - tokarski stroj za profilno tokarenje
  - tokarski stroj za tokarenje željezničkih kotača
  - tokarski stroj za natražno tokarenje
  - tokarski stroj za obradu koljeničastih osovina
  - tokarski stroj za odrezivanje
- Revolverski tokarski stroj - strojevi s više alata na tkz. revolverskoj glavi za mijenjanje alata
- Poluautomatski tokarski stroj - tu spadaju agregatni strojevi
- Automatski tokarski strojevi - s jednim ili više vretena koji mogu biti upravljeni numeričkim ili računalnim programom

Tokarski stroj se sastoji od četiri 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 poprečni 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 uvijek s desne strane radnika, a vretenište sa steznom glavom lijevo od radnika, za vrijeme rada.

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

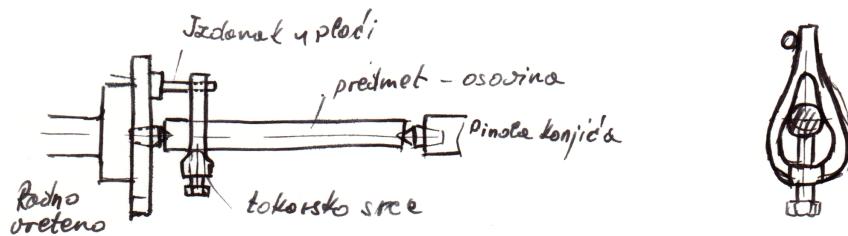
Kada se govori o nekom tokarskom stroju onda se misli na njegove karakteristične podatke a to su:

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 stepenima broja okretaja samog el. motora što je veoma rijetko. Obično je motor s jednim brojem okretaja.
4. broj radnih brzina koje je moguće ostvariti kroz vretenište.

### 3.1 Uredaji za stezanje

Da bi se predmet obradio na tokarskom stroju potrebno ga je učvrsiti u radno vreteno. Način učvršćivanja ovisi o obliku predmeta koji se obrađuje i o opremljenosti stroja na kojem ćemo predmet obradivati. Tako raspoznajemo različite načine učvršćivanja na stroju.

### 3.1.1 Učvršćivanje predmeta između šiljaka radnog vretena i konjića

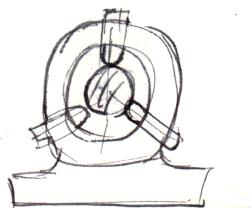


Na kraju predmeta su zabušene posebne vrste rupa za centriranje i predmet je upet između šiljaka. Da bi se osiguralo njegovo zakretanje, na osovinu se montira uređaj koji se zove **tokarsko srce**. Svojim tlačnim vijkom tokarsko srce se učvrsti na predmet a svojim dužim krajem zapne za izdanak na ploči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

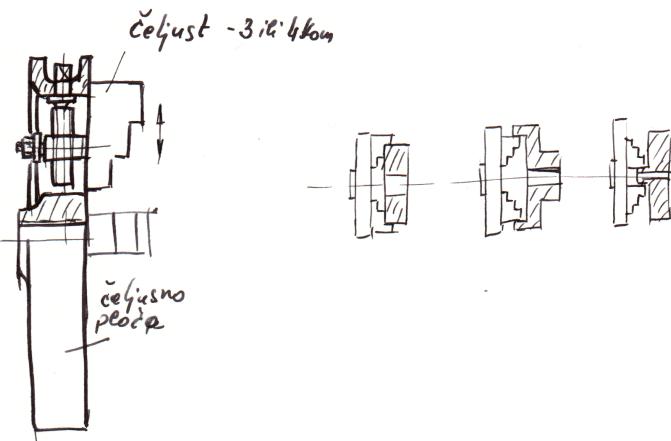
Postoje dvije vrste šiljaka za takav način učvršćenja predmeta i to:

- 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 s valjcima, itd.



### 3.1.2 Učvršćenje predmeta pomoču čeljusne ploče

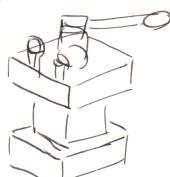


Na čeljusnoj ploči postoje obično 3 ili 4 čeljusti koje se mogu neovisno jedno od druge, sa svojim vijkom za podešavanje, pomicati duž posebnog kanala u ploči. Ovaj način se koristi kod nesimetričnih oblika koji se moraju tokariti. Postoje uređaji na steznim pločama koji su ugrađeni u stezne ploče, da se prilikom sticanja jedne čeljusti stežu jednolikо 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 pneumatsko ili hidraulično 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 napravice su učvršćene nas suportu stroja.



### 3.3 Tokarski noževi

1. Ručni tokarski noževi (**Horvat 234**):

- za glađenje
- 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 držaćima oštice (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 izradivanje 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 posmaku uz odabranu dubinu rezanja.

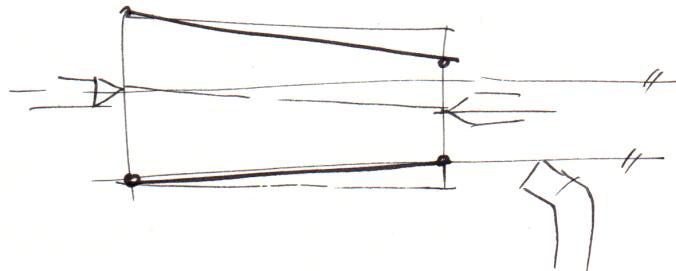
### 3.3.2 Sile rezanja na tokarskom nožu

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 simetrale stroja



3. Pomoću kopirne letve (Horvat 283. sl. - 261. str.).

Tokarenje navoja, bilo vanjski ili unutarnji moguće je izvesti za male nareze pomoću konjića kojim pritiskujemo navojno svrdlo ili (Horvat 263. str., slika 286) nareznicu kod tokarenja 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 koji na čovjeka registrira utjecaj okoline
  - Kd - dopunsko vrijeme (propisani odmor, osobne potrebe, organizirani gu-bitci).

Sve to vrijedi za prosječno uvježbanog čovjeka.

Tablica 1: Alati od tvrdih metala

Materijal obrade	$\sigma_z$ (kp/min <sup>2</sup> )	Brzina rezanja (m/min)	
		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
Nehrđajući	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 pomoćno - aksijalno savladavanje otpora aksijalnog prodiranja u materijal.

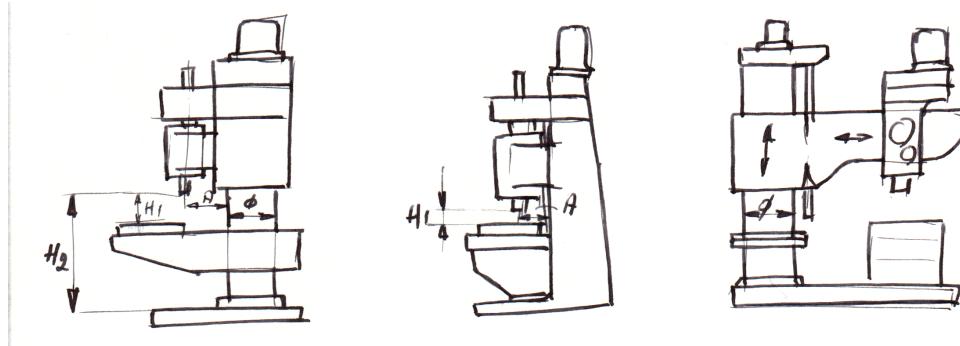
Prva podjela bušilica je:

- **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 (danас se to koristi za izvijaće).
- **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 mogu biti:
  - stolne bušilice
  - konzolne ili radijalne bušilice raznih veličina
  - viševretene bušilice
- **bušilice s horizontalnim vretenom** posebnih namjena. (Borwerk)

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 stabilno čvrst.

Na trećoj skici data nam je specijalna izvedba bušilice tzv. **radijalna bušilica**. Ovaj tip bušilica, obično su one većih dimenzija, obično se koriste kod bušenja pravog kanala u velikim predmetima koje je nemoguće premještati pod pinolu svrdla. Ta bušilica sastoji se od postolja, okruglog stupa, po kojem se giba konzola gore-dolje i zakreće oko okruglog stupa, konzole po kojoj se giba nosač alata, koji u sebi ima pogonsko vreteno 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 najveće mogućem svrdu odnosno prema najvećoj mogućoj izbušenoj rupi. Stepenovanje bušilica izgleda otprilike ovako:

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

Postoje DIN standardi, kod kojih su definirane neke mjere, pa su 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

## 4.1 Viševretene bušilice

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

## 4.2 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 uslijed sila rezanja koje se moraju kretati u donjim graničnim veličinama.

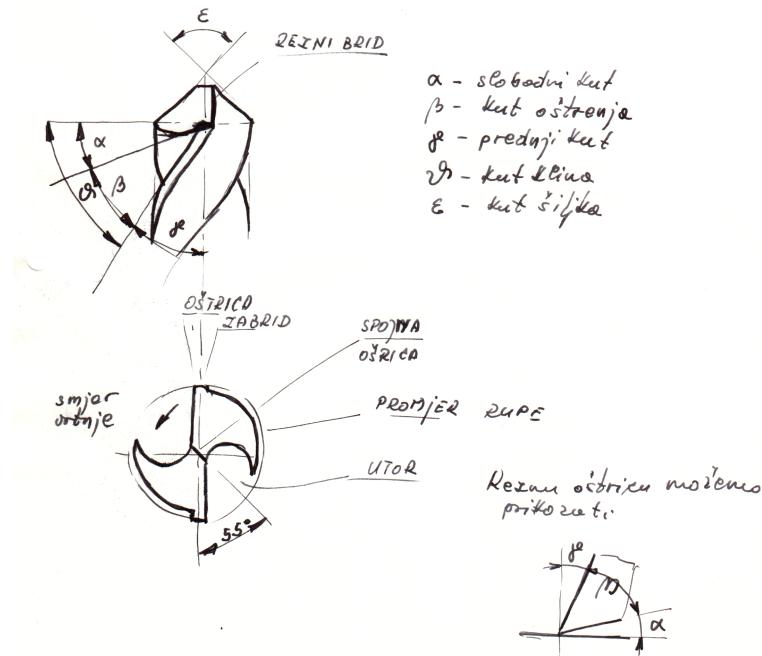
## 4.3 Alati za bušenje i razvrtanje

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

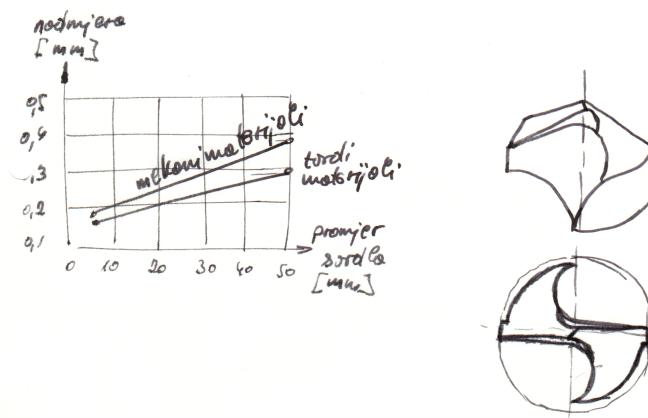
1. **Obično svrdlo** - jednostavno i jeftino. Teško odvođenje strugotine, svrdlo pobjegne u stranu. Skošenje reznog brida 5-6°.



2. **Spiralno svrdlo** - uveo Modse - SAD. Veći učinak svrdla i dobro odvođenje strugotine.



Spojna oštrica, zbog svog oblika i veličine preuzima oko 40% ukupne vertikalne sile koja se javlja pri bušenju. Ta bi se sila smanjila prilazima, prebrušavanju 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 s malim svrdлом a onda s velikim.



Kod bušenja - provrt nam u principu izlazi veći od promjera svrdla. Kod mehanih materijala je ta nadmjera veća nego kod krtih. Nadmjera je veća kod većih promjera.

#### 4.4 Brzina rezanja

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

- materijalu koji bušimo
- materijalu svrdla
- promjeru svrdla
- posmaku svrdla koji se dijeli na dvije oštice
- širini spojne oštice
- hlađenju - mazanju
- veličini vršnog kuta i nagibu zavojnice.

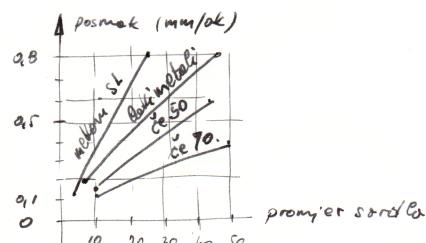
Trajanje oštice svrdla naglo pada s povećanjem brzine rezanja.

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.

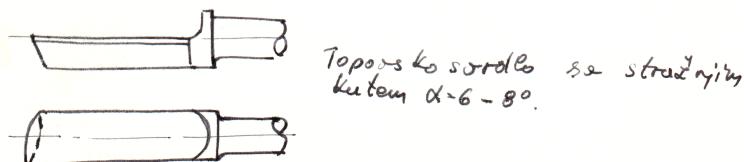
Produktivnost bušilice mjeri se u količini izbušenog materijala u jedinici vremena. Ovdje moramo voditi računa o ekonomičnosti, pa postoji gornja granica veličine posmaka. Preveliki posmak izaziva

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

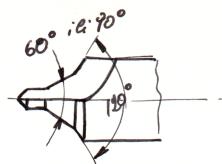
Ovisnost posmaka i promjera svrdala vezanih u vrste materijala.



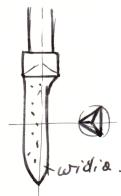
Uz plosnato i spiralno glodalno od najpoznatijih su još



Upuštala za izradu centričnih ili središnjih prvrta. Kao tokarenja na šiljcima ili za učvršćenje u konjić.



Postoje spiralana svrdla čije su oštrice napravljene od widia pločica. Postoji također i trobridno widia svrdlo.

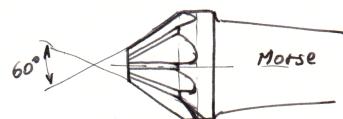


## 4.5 Upuštala

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**.

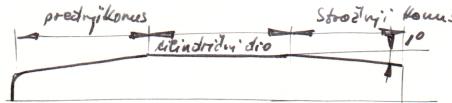
## 4.6 Razvrtavači

Za dotjerivanje prvrta, postizanje većih točnosti, za stvaranje malih koničnosti koriste se razvrtaci. Razlikujemo razvrtala za ručni i strojni rad. Druga razdioba razvrtaca 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.



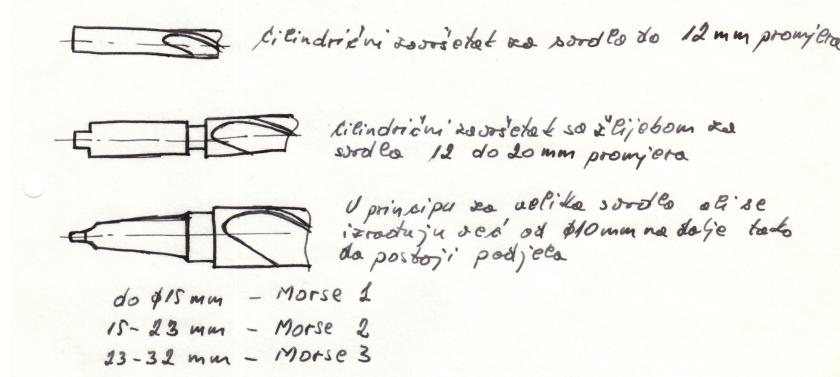
Na strojevima se koriste trostepeni konični razvrtići:

- početni
- srednji
- završni

**Hribar 62. str.**

## 4.7 Učvršćenje svrdla u radna vretena

Način učvršćenja svrdala vezan je uz veličinu prvrta koji svrdlo buši. Kod manjih prvrta manje su sile rezanja, manji zakretni momenti a te veličine rastu s porastom promjera svrdala. Zbog toga je dio svrdala 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 konusa. Morse konus drži svrdlo na principu trenja.

Drugi način učvršćenja svrdala s 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.

## 4.8 Režimi obrade kod brušenja

Ekonomска brzina rezanja - brušenja je ona brzina kad svrdlo može izbušiti ukupno 2000 mm dubine. Ta brzina označava se kao  $\nu_l = 2000$ .

Ovisno o vrsti materijala koju bušimo razlikujemo i 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 prvrta jer je onda izbjegnuto višekratno vađenje svrdala i čišćenje koje smanjuje produktivnost. Stoga se taj detalj treba uvesti kod određivanja norme za bušenje dubokih prvrta.

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

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

$$v = \frac{D \cdot \pi}{4} \cdot \frac{n}{1000} \quad [\text{n/min}],$$

gdje je  $D$  promjer svrdla u milimetrima [mm], a  $n$  je broj okretaja u min [n/min]. Posmak se računa u mm/okretaju. U stvarnosti na svaku od oštice odpada 1/2 posmaka za svrdlo s dvije oštice dok je to 1/3 kod svrdala s tri oštice.

## 5 Brušenje

Brušenje je vrsta obrade sa skidanjem strugotina. Strugotinu ne skidamo jednom oštricom, nego nizom nepravilno složenih i međusobno povezanih mineralnim zrnaca, gdje svako zrnce predstavlja oštricu za sebe. Iako se radi o velikoj količini "oštica", presjek strugotima mora biti minimalan jer su malene oštice. 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 kvalitetu površine.

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

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

Uređaji na koje se učvršćuju brusni alati nazivaju se brusilice.

### 5.1 Brusilice

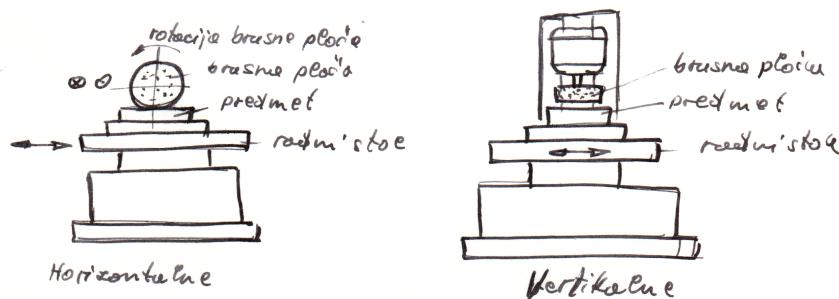
Obzirom na oblik sredstva s kojim vršimo operaciju skidanja strugotina brusevima, razlikujemo dvije osnovne skupine brusilica:

1. Strojevi za brušenje brusnim pločama u koje spadaju

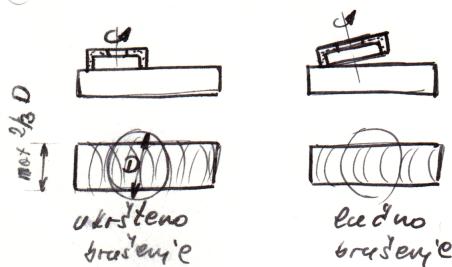
- strojevi za brušenje ravnih površina
- strojevi za okrugla brušenja koji se dijele na:
  - strojevi za brušenje jednostavnih valjkastih predmeta
  - strojevi za brušenje složenih valjkastih predmeta
  - strojevi za unutarnje okruglo brušenje
- strojevi za brušenje zupčanika
- strojevi za brušenje alata
- ostali specijalni strojevi za brušenje.

## 5.2 Brusilice za ravno brušenje

Da bi obradili neku ravnу 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 lončastih oblika.



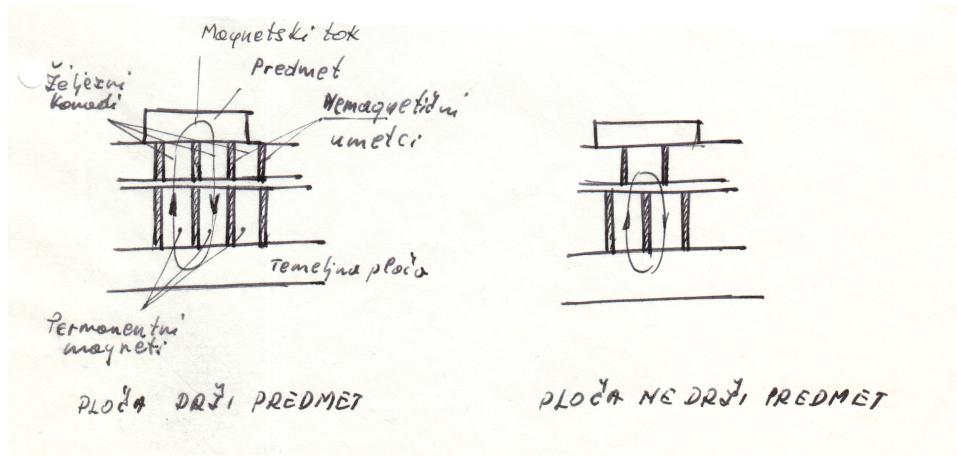
Za učvršćivanje predmeta na radnom stolu brusilice koriste se isključivo ili elektromagnetskim pločama ili permanentnim magnetnim pločama.

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.

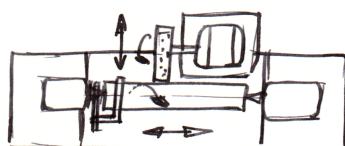
Nedostatak elektromagnetiziranih ploča za pritezanje je u tome što je za njih potrebna istosmjerna struja, koju dobivamo ili generatorom istosmjerene struje ili ispravljačima. Osim toga postoji opasnost probijanja električne izolacije među jezgrama zbog korištenja rashladnih sredstava prilikom brušenja,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

Svi ti nedostatci elektromagnetne ploče izbjegnuti su korištenjem ploče za pritezanje s permanentnim magnetima. Princip rada ove ploče je isti kao i kod predhладne, ali ona se sastoji od dviju ploča koje se međusobno daju pomicati i na taj način ostvaruju zatvaranjem magnetskih silnica, jednom kroz gornji presjek a drugi put kroz predmet.



### 5.3 Strojevi za okrugla brušenja

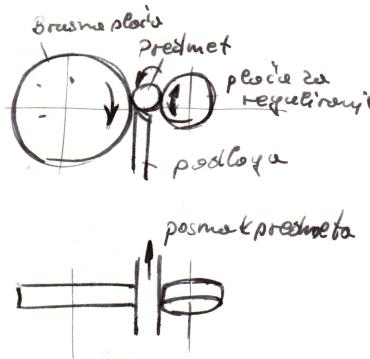
Strojevi za okrugla vanjska brušenja slični su tokarilicama. Predmet je upet među šiljke i okreće se, dok brusna ploča zgodno učvršćena i vrši glavno kretanje, rotaciju oko svoje osi.



Razlikujemo dvije mogućnosti

1. Da brusna ploča sa svojim prigonom 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).



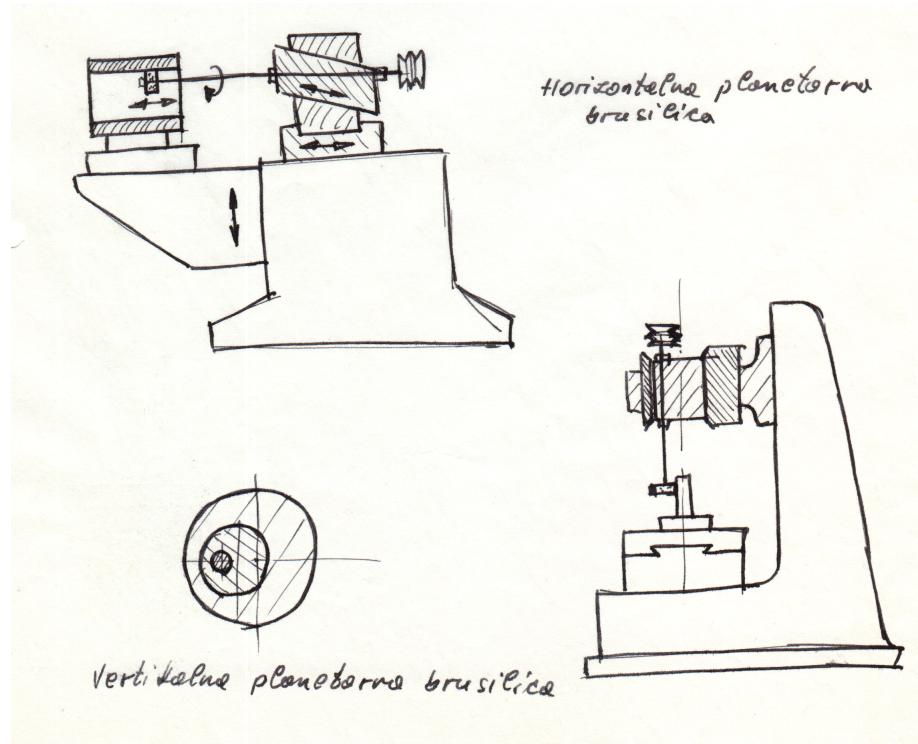
Predmet leži na podlozi i na ploči za regulaciju od koje dobiva rotaciju oko svoje osi. S druge strane predmet dodiruje brusnu ploču koja zbog razlike brzina predmeta i nje same skida strugotinu. Ovisno o veličini nagiba ploče za regulaciju do  $5^\circ$  dobivamo automatski posmak predmeta. Ovom tehnikom moguće je izrađivati dugačke predmete, a ujedno je izbjegnuto dugotrajno mukotrpno centriranje. Ovom tehnikom moguće je izrađivati dugačke predmete, a ujedno je izbjegnuto dugotrajno i mukotrpno centriranje.

#### 5.4 Brusilice za unutarnja okrugla brušenja

Brusilice ovog tipa veoma su slične tokarskim strojevima. Predmet se 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.

#### 5.5 Univerzalni strojevi za okrugla brušenja

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



## 5.6 Strojevi 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 zubne letve. Zupčanik, koji se obrađuje, izvodi translatorna gibanja i na taj način se dobiva dobro sprezanje zupčanika sa *zubnom letvom*.

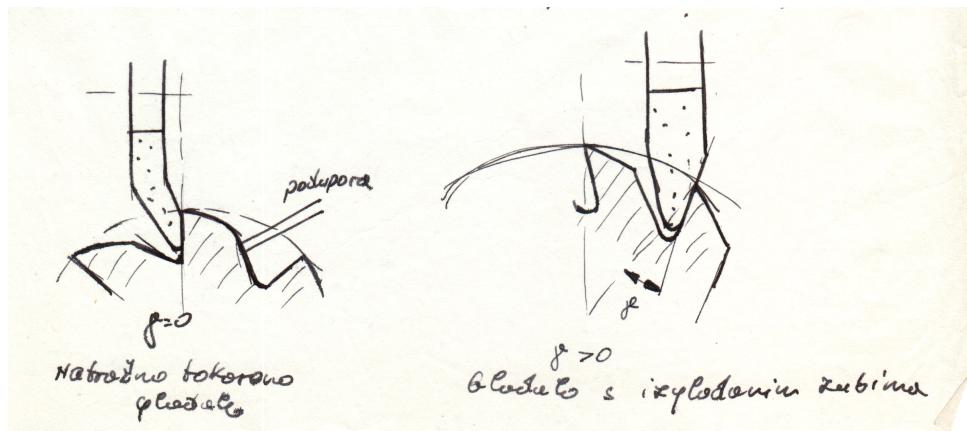
Na takovim uređajima postoje korekcijski instrumenti, koji pomoću servo uređaja dotjeruju položaj brusnih ploča. (Horvat str 499.-500.)

## 5.7 Brusilice za brušenje alata

Postoji čitav niz namjenskih brusilica za razne alate, kao na primjer:

- glodala
- spiralna svrdla
- tokarske i blanjačke noževe itd. (Hribar str. 161. i 162.).

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



## 5.8 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  $0.1\text{--}1.5 \mu\text{m}$ . (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 zrncima 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.)

## 5.9 Brusevi

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

### 1. Oksidna sredstva

- aluminijski oksid  $Al_2O_3 + Fe_2O_3$  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.

Osim toga imamo još niz karbida, koji se kombiniraju s Wolframom, tantalom i drugim karbidima. Za izradu bruseva prvenstveno se koriste elektrokorund za brušenje čelika i žilavih materijala te karborund za brušenje sivog lijeva 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 1 coll mreže kroz koju se zrnca siju razlikujemo

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

Zrna sitnije od 600  $\mu m$ , klasificirane su flotacijom.

Da bi zrnca držali na okupom u određenoj formi, međusobno ih povezujemo vezivom. Vezivo ima zadaću da odustavi 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, čvrsta i porozna.
- mineralna veziva - vodeno staklo, magnezij i silikati, koja su manje čvrsta i tvrđa za fina brušenja.

### 2. Organska veziva

- 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 tvrđa L, M, N, O
- tvrđa P, Q, R, S
- vrlo tvrđa T, U, V, W
- izvanredno tvrđa X, Y, Z.

Po gustoći veziva su svrstana u tri grupe, a to su:

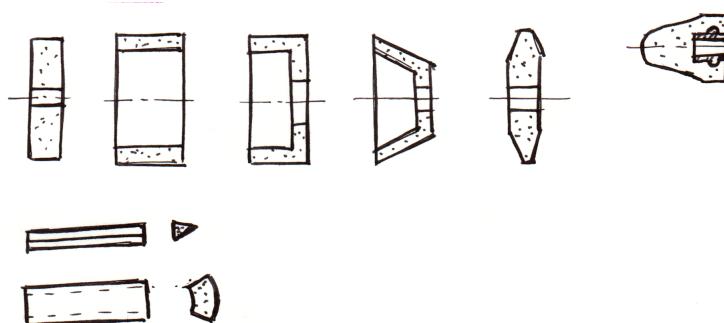
- gusta veziva (I, II, III)
- srednje gusta veziva (IV, V, VI)
- rahlo veziva (VII, VIII, IX).

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

38 60 K V Ke

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:

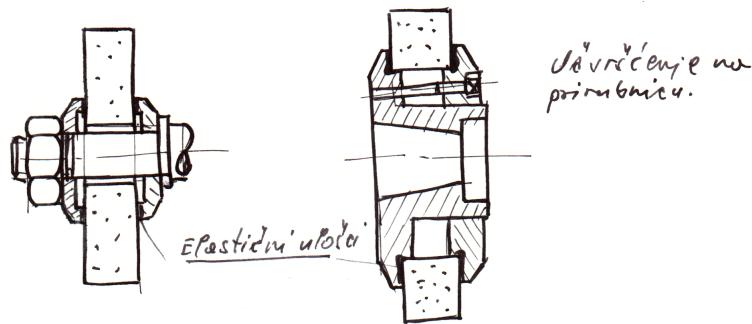


Oblikovanje brusnog kamenog vrši se u kalupima. Praćenje i odgovarajuću temperaturu odabire se prema vrsti veziva.

Visoka temperatura brusne ploče posebno se testiraju na 40 – 50% većim brzinama 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 prizmama.

## 5.10 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 nalijeganje na strane što bi moglo izazvati iznenadni lom ploče.

## 5.11 Režimi obrade

Obodne brzine brusnog elementa ne smijemo previše povisiti zbog centrifugalnih sila. Kod prevelikih obodnih brzina i brusna ploča djeluje kao 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
	Tvrdi metal	8
	Legure Al i cinka	25
Oštrenje alata	Čelik	25
	Tvrdi metal	12-20

Veličine skidanog sloja se kreću za:

- grubo brušenje (0,02 - 0,05 mm)
- fino brušenje (0,003 - 0,01 mm).

## 6 Glodanje

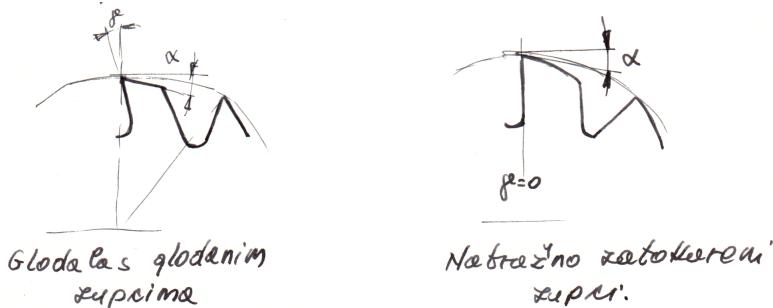
Glodanje je posebna vrsta površinske obrade sa skidanjem strugotina. Za razliku od tokarenja i blanjanja, glodanje se vrši s više oštrica, koje naizmjenično dolaze u zahvat.

Naizmjenično uloženje oštrica u zahvat s predmetom, prethodnoj oštrici do novog uloženja 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 raspozajemo:

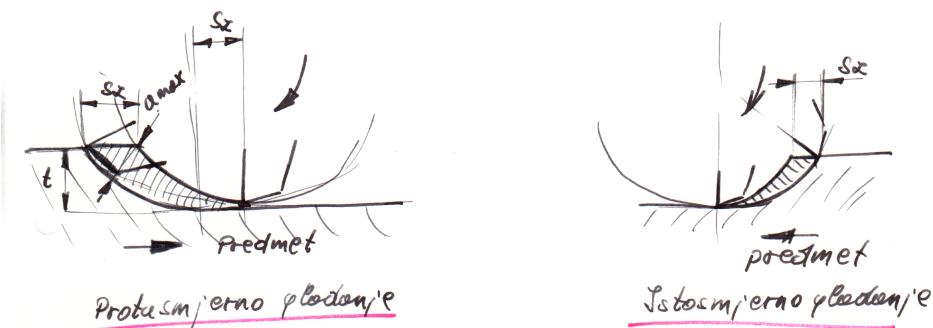
- Valjkasto glodalo - za obradu ravnih površina koje mogu imati ravne ili kose zube. Kod ravnih zubi glodala, promjene sila su znatnije dok kod kosih imamo postepena uloženja i izlaženja zuba iz zahvata.
- Valjkasto čeono glodalo - koje uz valjkaste oštice ima i oštice na čelu za obradu bočnih površina
- 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 čeone 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 ispuštenih površina.
- Polukružno ispušteno glodalo - za obradu polukružnih utora ili utora drugačijih profila.
- Ugaono glodalo - za izradu utora, zubaca 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 promjere do 250 mm. Tijelo alata je čelik čvrstoće  $70 \text{ kp/mm}^2$ , a noževi su od brzoreznog čelika.
- Dvodjelno valjkasto glodalo - sa suprotno ukošenim zupcima zbog poništenja ak-sialne sile
- Glodala za izradu zupčanika - ima ih nekoliko tipova
  - tanju rastro glodalo za zupčanike - za Fellov postupak
  - prstasto profilno glodalo za izradu spiralnih zubiju
  - modulno pužno glodalo.

Kod glodala se koriste dvije izvedbe zubiju



Eksperimentalno je dokazano da je veći prednji kut  $\gamma$ , manja sila rezanja a time i manja snaga elektromotora što daje i manju temperaturu oštice. Prednost natražno tokarenih glodala je u tome što se kod njih uvijek može postići  $\gamma = 0$ , dok se kod glodanih zabiju a  $\gamma$  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.

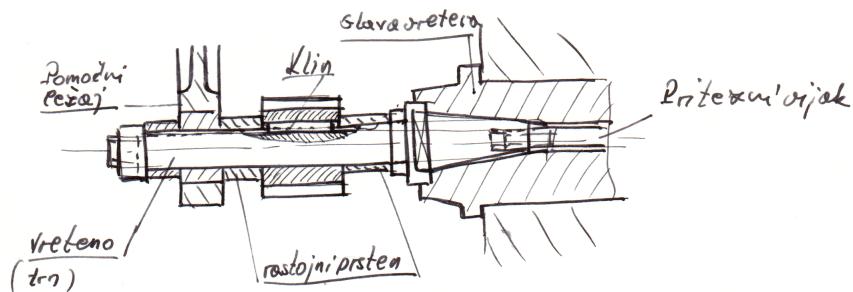
Kod protusmjernog glodanja, dok je još strugotina mala, imamo u stvarnosti klizanje i gnječenje, a to dovodi do povećanja tvrdoće površinskog sloja. To izaziva otežan rad zubaca glodala. Sve to dovodi do jačeg trošenja zuba alata, a zbog povećanje tvrdoće i većeg trenja što rezultira veći potrošak radnje 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 glodalju, 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 načina. Kod valjkastih glodala s provrтом učvršćenje se provodi na sljedeći način.



Glodajuće glave se učvršćuju bez pomoćnog ležaja jer 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 svrstati u posebnu grupu alatnih strojeva. Mogućnosti glodalica su raznolike a ujedno i specifične. One mogu obrađivati:

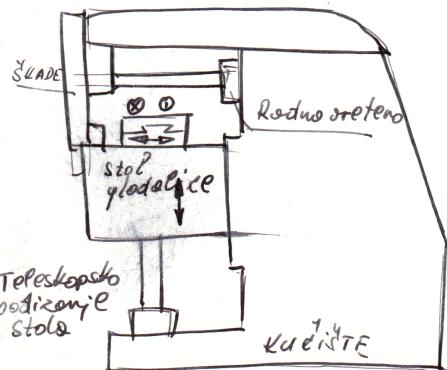
- ravne površine u vertikalnoj ili horizontalnoj ravnini
- razne fazonske profile i izradu kojekakvih utora
- ozubljenja alata za skidanje strugotina na zupčanicima
- razne zavojite površine na vretenima, vijcima, maticama, pužnim kolima i pužnim vijcima
- razne krivuljaste ploče i šabline
- najkompliciranije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

Glodalice je veoma teško svrstati 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 čeoni zupčanici.



Brzine automatskih posmaka u horizontalnim ravninama je 20 - 300 mm/min a u vertikanom pravcu 50 - 150 mm/min. Gornji stol se može u horizontalnoj ravni 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 zavinutih utora, za obradu rupa 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 automatska. (Hrabar str. 140. jednostavna vertikalna glodalica.)

**Specijalne glodalice** - To je skupina strojeva pretežno namijenjena za specijalne svrhe kao npr:

- izrada zupčanika a tu je najpoznatija tkz. PFAUTER-glodalica a radi na principu odvaljivanja
- izradu pužnih kola
- izradu navoja i pužnih vijaka
- za kopiranje i graviranje pomoću šablonu i uzoraka itd.

U familiju specijalnih glodalica možemo ubrojiti i glodalice s dva ili više radnih vretena, od kojih imamo odmah vertikalna i horizontalna 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 na gladalicama za dijeljenje kruga koristimo tzv. **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 1:40. 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 koji se primjenjuju su 15-16-17-18-19-20-21-23-27-29-31-33-37-39-41-43-47-49 dakle ukupno 18 krugova koji se mogu smjestiti na dvije ili tri ploče, koje se mogu međusobno mijenjati.

$$\begin{aligned} z &= \text{broj zubaca koje treba izraditi} \\ i &= 40 \text{ prijenos od ručice pužno kolo} \end{aligned}$$

Broj okretaja ručice se određuje iz broja zubi i prijenosnog odnosa

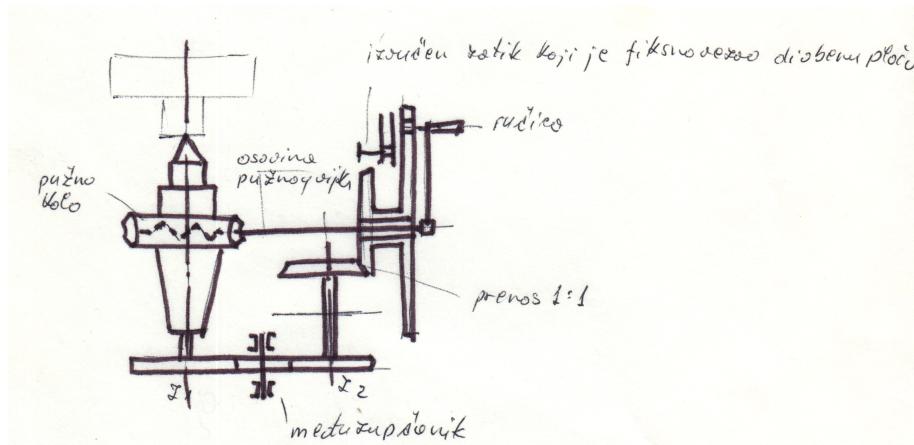
$$n_r = \frac{i}{z},$$

$$1. z = 20 \text{ zubi} \rightarrow n_r = \frac{i}{z} = \frac{40}{20} = 2 \text{ - dva puna okretaja}$$

$$2. z = 25 \text{ zubi} \rightarrow n_r = \frac{i}{z} = \frac{40}{25} = 1, \frac{3}{5} \text{ ili jedan okretaj i još } \frac{3}{5} \text{ a to možemo na ploči s 15 rupa dodati još 9 rupa da bi prošli } \frac{3}{5} \text{ kruga}$$

$$3. z = 110 \text{ zubi} \rightarrow \frac{i}{z} = \frac{40}{110} = \frac{4}{11} = \frac{12}{33} \text{ što znači da na ploči od 33 rupe moramo odbrojiti po 12 rupa da bi izveli kretanje predmeta za } \frac{1}{110}$$

Da bi sredili npr. 53, 69, 125, 137 ili drugi broj zubi, nemoguće nam je kod toga izraditi taj broj zubiju s unaprijed navedenim diobenim pločama. Kod izrade tih brojeva, koristimo se tzv. **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

$$n_r = \frac{i}{x} = \frac{40}{x}.$$

A omjer zupčanika koji vrše korekciju diobene ploče je

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

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 zakretanja ručice. Primjer za  $z = 127$  zubi, te  $x = 128$  odabran.

$$n_x = \frac{i}{x} = \frac{40}{128} = \frac{5}{16},$$

na kraju od 16 rupa prelazimo na 5

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

Za prijenos odaberemo zupčanike 30 i 96.

Za diobeno dijeljenje se uz diobenu glavu uzima 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 osovina pužnog kola vezana je uz vretena stola glodalice da se osigura potrebno zakretanje.

Raznim kombinacijama možemo izraditi na glodalicama i najkomplikiranije izvedbe zupčanika ili kakvih drugih dijelova.

### 6.3 Režimi obrade

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

Ekonomска brzina rezanja ovisi veoma mnogo o složenosti oblika glodala. Što je veća dimenzija glodala, što je oblik komplikiraniji, trebalo bi da glodalo dulje traje između dva brušenja. To trajanje između dva prebrušivanja kreće se u granicama od 1 do 8 sati, tj. korsite se  $\nu_{60}$ ,  $\nu_{180}$ ,  $\nu_{240}$ ,  $\nu_{480}$ . 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.

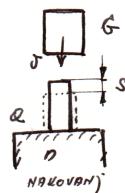
Odabrani materijal	Brzina rezanja u m/min			
	Brzorezni čelik		Tvrdi metali	
	grubo	fino	grubo	fino
Obrađeni Če i Če-ljev	8-15	15-25	30-80	90-100
Lijevano željezo, temper lijev	8-12	12-20	50-80	80-100
Bronca i mjed	20-25	30-50	90-120	do 300
Laki metali	400-1200	600-1500	-	-

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 topлом 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



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

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 radnja izazvana kinetičkom energijom čekića pa možemo zapisati

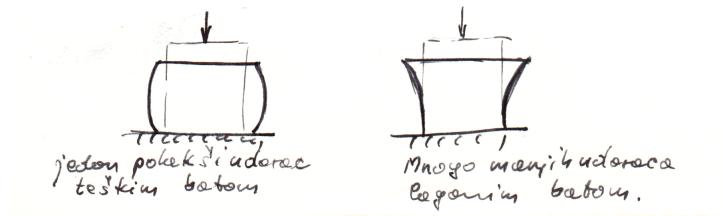
$$\frac{M \cdot v^2}{2 \cdot g} = P \cdot S . \quad (3)$$

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

$$\eta = \frac{G_1}{G + G_1} . \quad (4)$$

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

Jedan jaki udarac mnogo 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.



Potrebnna sila za oblikovanje, zavisi od veličine tlačne površine F, čvrstoći materijala  $\sigma$  i iskustvenom koeficijentu  $\phi$ . Što nam daje izraz

$$p = F \cdot \sigma \cdot \phi , \quad (5)$$

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

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 stvara 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 plohama** - koji su obično učvršćeni na polugi i emitiraju 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

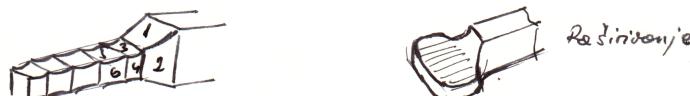
- Udarne preše - a to su one koje imaju neposredan pogon. U tu grupu ubrajamо vretenaste ploče koje mogu biti ručne i frikcione, ekscentar preče te strojevi za kovanje uže namjene
- Preše s posrednim pogonom - hidrauličkim pogonom.

## 7.1 Glavne kovačke operacije

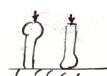
Komad koji želimo obraditi kovanjem, prvo zagrijavamo na temperaturu kovanja. Nakon zagrijavanja očistimo ga od okuine, zahvatimo klještima, stavimo na nakovanj i onda kujemo. Kovanje mogu izvoditi i više ljudi s time da u određenom ritmu udaraju jedan za drugim po predmetu. Kod kovanja većih predmeta 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, rastegne, iskuje ili raširi. Kod tog kovanja komad se istovremeno stoji i rastegne po dužini i širini. U tu grupu obrade spada i kucanje posuda.

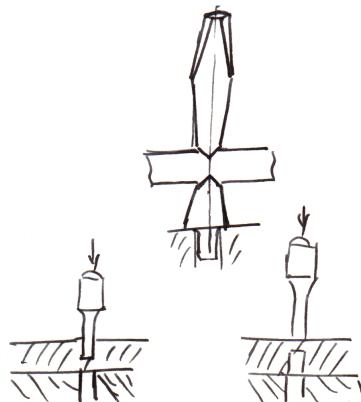


- **Sabijanje** je postupak obradom izkivanja. To je nagomilavanje materijala na jednom mjestu, koje je prethodno zagrijemo. To je udaranje materijala u zdužnom smjeru. To je veoma skup i neprikladan postupak pa ga se nastoji izbjegići.

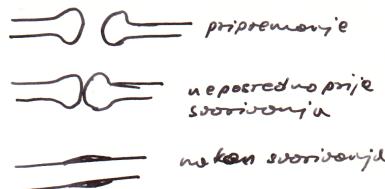


- **Savijanje** Ako se neka šipka savija, na tom mjestu nastupit će suženje i smanjenje presjeka, Zbog toga se šipke koje savijamo prvo sabiju a zatim saviju, i ovdje se savijanje može obavljati oko nekog okruglog profila, a izvodi se ručno kod tanjih šipki.

- **Odsjecanje** se vrši ili čekićem u obliku dljeta ili trokutastim alatima pogodnim za tu vrstu 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 izbjije. 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, pripreme se u određeni najpogodniji oblik, zatim se zagriju na cca  $1200^{\circ}$  brzo približe, pospu dezoksidantom i vještim udarcima zavare.
- **Natiskivanje** je navlačenje prstenova na osovine. Prsten se zagrije na visoku temperaturu da se može bez velikih problema navući na osovinu. Nakon hlađenja ostvaren je željeni čvrsti spoj.
- **Stično svarivanje** Prije stičnog zavarivanja mora se izvršiti 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.



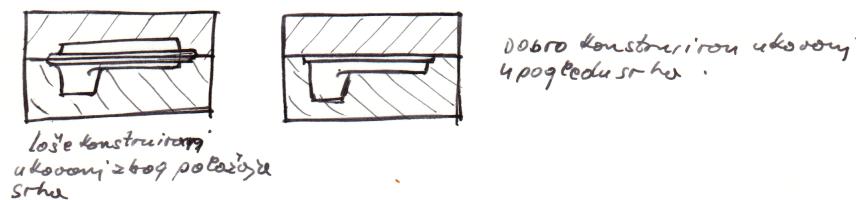
- **Obuhvatno svarivanje** Ovaj način spoja primjenjuje se kod svarivanja raznorodnih materijala i kod velikih presjeka.



## 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 temperature kovanja na temperaturu okoline. Kod konstrukcije ukovnja treba se voditi računa o višku materijala koji se umeće u kalup. Taj višak materijala treba biti zgodno raspodijeljen i da se pretvori u neku vrstu srha odakle ga je moguće jednostavno odstraniti, a ne smeta izgledu.



Kod kovanja u ukovnjima, predmet se prvo iskuje na približan oblik, a zatim se oblikovanje u ukovnju izvrši konačno. Važno je da odkov ostane u ukovnju što manje vrijeme, pa se zbog toga u neke ukovnje ugradju 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 Tempreture 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 kojom kovanje vršimo. Najpovoljnije temperature kovanja kreću se u granicama:

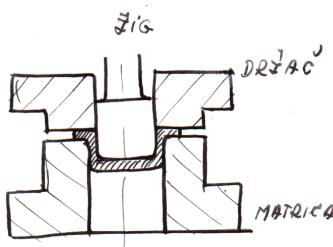
- mekani čelik 900 - 1300°C

- 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 strugotina. Materijali, koje obrađujemo proživaljavaju plastične deformacije, ali ne smiju 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 najkomplikiranija izvlačenja. Materijali za izvlačenje su još limovi Cu i Al. Prema JUS-u limovi za izvlačenje nose oznake (Č.0145 P2 - do Č.0148 P4)

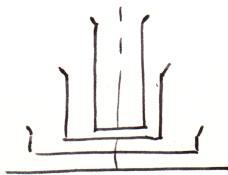
Najstariji način izvlačenja bilo je formiranje posuđa od Cu-lima **kuckanjem**. Izrađivali su se najrazličitiji predmeti, a danas je ta metoda, koju zahtjeva industrijska proizvodnja, je **izvlačenje**. Postupak izvlačenja zasniva se na činjenici, da se materijal podaje kada ga se optereti iznad granice elastičnosti. Neki predmet se 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 namijenjena za duboka izvlačenja. To mogu biti hidrauličke ili ekscentar preše. Uredaj se sastoji od žiga i matrice 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 oni su otprilike ovakvi:

- izrezivanje platine iz koje se namjerava raditi predmet
- izrada prikrojene platine, to dolazi u obzir ako želimo izbjegći velike zaostatke materijala na rubovima, recimo četvrtastih posuda



- višestepeno izvlačenje, jer odnos smanjenja promjera platine i nastale kalote ne smije biti manji od 0,48
- nakon konačnog izvlačenja moramo rubove posude obrezati da dobijemo željeni oblik, koji može biti kasnije dalje obrađivan.

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

Želimo li predmet kruškolikog oblika, ne možemo 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 pres-tanka 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, principima izvlačenja, tako tanke limove možemo sistemom rebara veoma efikasno ukrutiti da je čitav proizvod jeftiniji.

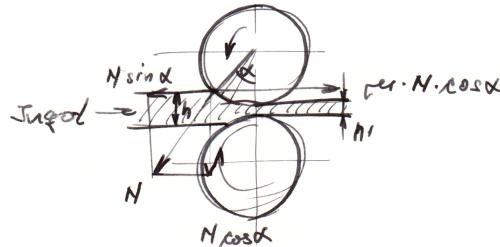
U našem poduzeću se duboko izvlačenje koristi:

- za izradu kalota električnih grijачa 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 Somoboru
- u proizvodnji dijelova frižidera u Bitoli itd.

## 9 Valjanje

Valjanje je način oblikovanja, koji se temelji na plastičnoj deformaciji materijala. Valjanje se izvodi u hladnom stanju a također i u toploem, gnjecavom 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 nastala zbog deformacije predmeta. Tu silu možemo podijeliti na horizontalnu silu i vertikalnu silu. Vertikalna sila je 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.

$$\mu N \cdot \cos \alpha > N \sin \alpha - > \mu > \tan \alpha , \quad (6)$$

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  $\alpha$ .

Kod valjanja se omjer  $h$  i  $h_1$  ne smije prekoračiti pa on izgleda ovako

$$h_1 = 0,9 - 0,6h . \quad (7)$$

## 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 najkomplikiranih fazonskih savijanja.

Ploču 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 diktiran je 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 komplikiraniji i skuplji ali svojim prednostima to pokriva.

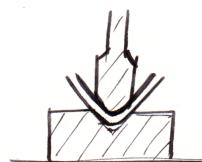


Da bi ploču rubno savili do nekog kuta, danas su još u primjeni dva načina. Prvi način je veoma star ali još uvijek veoma efikasan.



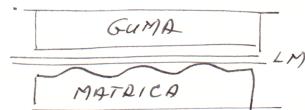
Naime, radi se ovdje da se lim stegne u dvije čeljusti i zatim se sa zakretnom gredom izvrši savijanje do željenog kuta. Tom metodom se ručno mogu savijati razni limovi

obojenih metala. Nedostatak ove metode je u tome što ne možemo izvršiti savijanje nekoliko rubova blizu jedan drugome. Da bi iz lima savili neko profil, možda i zatvorenog oblika, koristimo se tzv. **abkant prešama**. To su preše posebnog oblika, kod kojih se u gornji pokretni dio mogu ugraditi alati - tzv. 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 profilno savili ploču lima, kod koje ima više veoma plitkih oblika možemo umjesto veoma skupog pripasivanja žiga u matricu, koristiti samo matricu, a umjesto žiga uzimamo odgovarajuću tvrdnu gumu. Pod djelovanjem sile prešanja guma će djelomično formulirati lim koji je stisnut između gume i matrice.

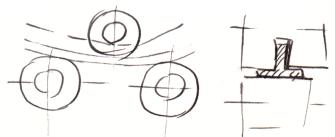


Kadkad se na taj način u tvornici na Žitnjaku izrađuju radne ploče za kuhinje a postupak se naziva Tohr-metal koji ima instaliranu prešu snage 5000 t.

### 10.1.1 Savijanje punih šipki i profila

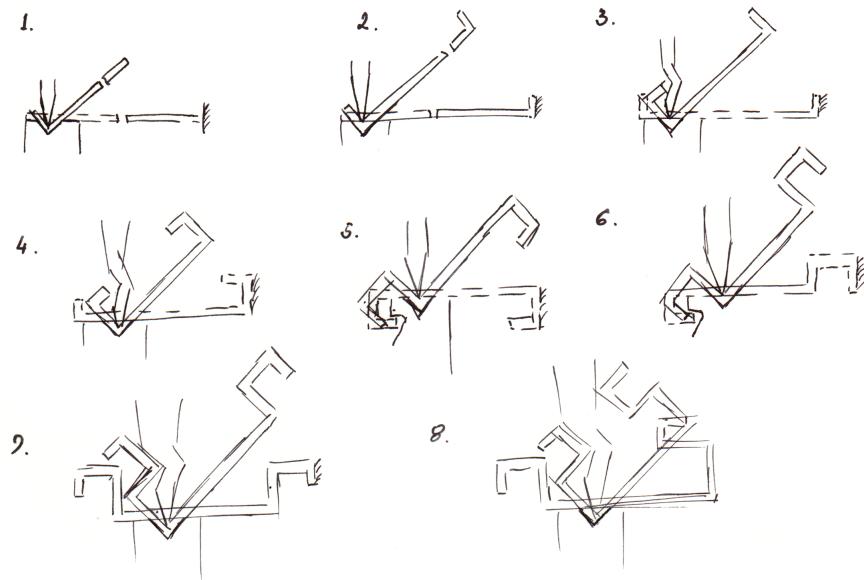
Savijanje punih šipki, koje mogu biti okrugle, pravokutne ili nekog drugog oblika moguće je izvesti na nama već poznatim strojevima za savijanje limova. Mogu se koristiti strojevi s tri ili četiri valjka. Za pravokutne i kvadratne profile savijanje se izvodi na ravnim dijelovima valjka, dok za profilno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

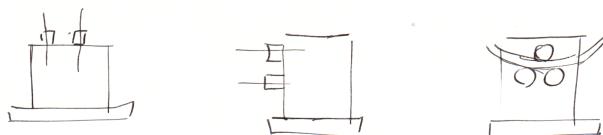
Ako se radi o čestom savijanju profila, postoje uređaji namijenjeni isključivo za tu vrstu savijanja. Princip rada je opet putem triju pokretnih valjaka koji imaju najrazličitije kanale, za različite profile. Postavljeni su okomito na površinu poda ili vertikalno.



**Primjer**

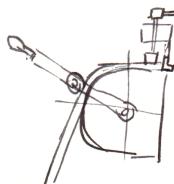
Redoslijed operacija kod savijanja profila.





Uredaji su učinili malih dimenzija a za rad nezahitljivoj u mjestu prostora

Sipke množnih dimenzija, a moguće je osoriti redom preko stablone.



### 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 pjesak. Pjesak 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, umjesto pjeska koriste se druge tehnike.

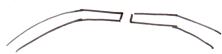
Pomoću trna.



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 preklopno, 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 nakon bilo kakve obrade ne zaostane uvijek u predviđenom položaju. To se događa također s cilindrično savijenim plaštevima. Kod toga je potrebno kod prihvavnog varenja uzdužnog šava osigurati optimalni razmak uz čitavog varu. Za takvo održavanje koriste se specijalne spravice - naprave s kojima možemo to održavati.

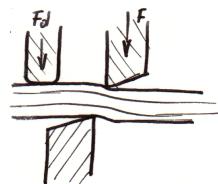


## 11 Rezanje

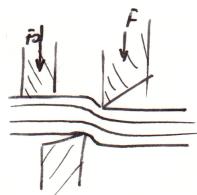
Odsjecanje materijala razdvajanjem, bez skidanja strugotina, spada u područje obrade, koje se može vršiti noževim raznih oblika, na specijalnim mašinama za odsjecanje (škarrama) ili specijalnim alatom na prešama. Pod djelovanjem vanjskih sila pogonskog mehanizma u matrijalu se stvaraju naprezanja koja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

Kod odrezivanja, razlikujemo tri faze razdvajanja materijala:

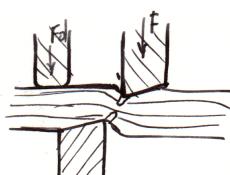
1. Faza elastične deformacije, kada je deformacija nastala pod djelovanjem sile  $F$ , nakon prestanka iste nestaje



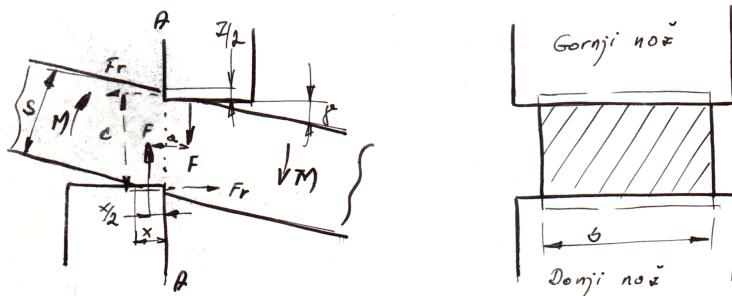
2. Faza plastične deformacije, kad se u predmet pojavilo naprezanje veće od glanice popuštanja



3. Prekid materijala, kada se u predmetu pojavi naprezanje veće od čvrstoće materijala.



Da bi odredili veličinu sile rezanja proanalizirati ćemo to na noževima koji se kreću paralelno a imaju i paralelne oštice.



Materijal nam je pravokutnog presjeka širine  $b$  i debljine  $s$ . Ravnina A-A je ravnina odsjecanja (idealno). U početku procesa rezanja, noževi prodrnu u površinu predmeta dubinu  $z$ . To se naziva i absolutna dubina prodiranja. Nakon toga dolazimo do procesa smicanja ili samog odrezivanja. Zbog postepenog prodiranja noža u površinu predmeta, sila  $F$  se pomalo seli iz ravnine A-A ovisno o veličini  $x$  od ravnine odsjecanja i stvara moment  $M = F \cdot a$ . Zbog nastanka tog momenta, dolazi do naginjanja samog predmeta. Naginjanje izaziva nastajanje bočne sile  $Fr$ , a ono će rasti tako dugo dok se moment sile rezanja ne izjednači s momentom bočne sile pa će ravnoteža biti uspostavljenja kada će biti  $F \cdot a = Fr \cdot c$ . Razvojem jednadžbe došlo bi se do približnog rezultata  $\tan \gamma \approx \frac{z}{2s}$  a to su male vrijednosti. Kut  $\gamma$  naziva se kut zakreta materijala. Maksimalna vrijednost sile na škarama ovisi o jačini materijala na smicanje i o absolutnoj dubini prodiranja noža te to izgleda ovako

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

Za paralelne noževe ta formula poprima vrijednost

$$F_{max} = \tau_m \cdot b \cdot s \quad [kp].$$

Ovako izračunata sila rezanja 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.

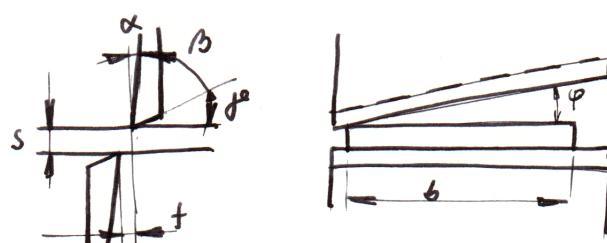
$$F_M = 1,3 F_{max}$$

Ukoliko škare nisu opremljene držaćem lima, onda se pojavljuje zakretanje materijala, koje izražavamo kutem  $\gamma$  a on iznosi  $\gamma = 10^\circ - 20^\circ$  ili bočna sila  $F_t = (0,18 - 0,36)F$ . Kod škara s držaćima 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. Ravn paralelni ili ravni nagnuti noževi

- Kod paralelnog odsijecanja  $\varphi = 2 - 6^\circ$
- Kod kosog odsjecanje  $\varphi = 7 - 12^\circ$
- Kut klina  $\beta = 75 - 85^\circ$
- Stražnji kut  $\alpha = 2 - 3^\circ$
- Prednji kut  $\gamma = 3 - 12^\circ$
- Zračnost među noževima  $f = 0,05 - 0,02 \text{ mm}$

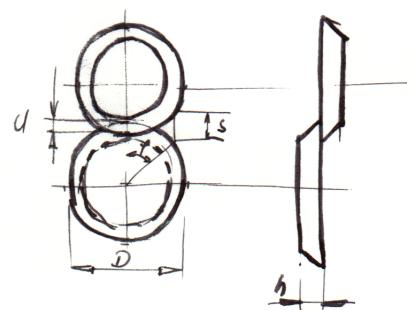
Ovakvi uređaji se koriste za izrezivanje ploča limova u dijelove i to samo ravne rezove.



### 2. Kružni noževi s paralelnim horizontalnim osima

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

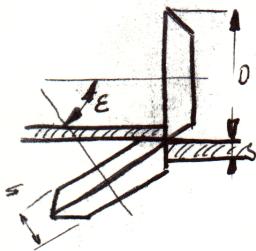
Primjenjuje se za odsjecanje ploča u trake i za izrezivanje kružnih platina do  $s = 30 \text{ mm}$ .



### 3. Kružni noževi s gornjom horizontalnom i donjom kosom osi

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

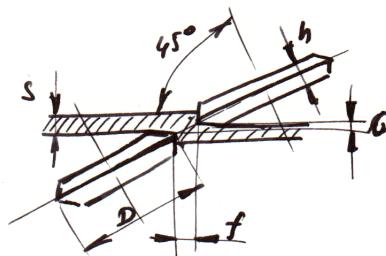
Koriste se za rezanje ploča u trake te za izrezivanje okruglih prstenova do debljine 30 mm.



#### 4. Kružni noževi s paralelnim osima ali nagnutim pod $45^\circ$ prema horizontali

- Zračnost  $f \geq 0,2s$
- Razmak razrezanih ivica  $c \geq 0,3s$
- Dimenzije noževa za
  - $s > 10 \text{ mm}$  je  $D = 12 s$ , a  $h = (40 - 60) \text{ mm}$
  - $s < 5 \text{ mm}$  je  $D = 20 s$ , a  $h = (10 - 15) \text{ mm}$

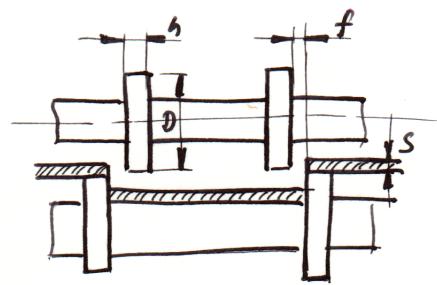
Koriste se za rezanje traka, platina raznih vrsta i oblika do debljina 20 mm.



#### 5. Kružni noževi s paralelnim osima i više oštrica

- Kut klina  $\beta = 90^\circ$
- Dimenzije noževa
 
$$D = (40 - 125)s$$

$$h = (12 - 30) \text{ mm}$$
- Zračnost  $f = (0,1 - 0,2)s$

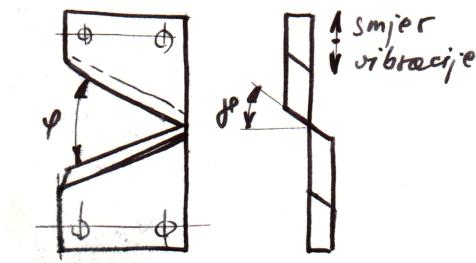


Ovaj način rezanja je visokoproduktivan i koristi se za izrezivanje traka a ovisno o stroju može rezati limove do 10 mm.

### 6. Brzo vibrirajući kosi noževi

- Frekvencije vibracije  $f = 2000 - 2500 \text{ min}^{-1}$
- Prednji kut  $\gamma = 6 - 7^\circ$
- Nagib noževa  $\varphi = 24 - 30^\circ$
- Hod noža  $2 - 3 \text{ mm}$

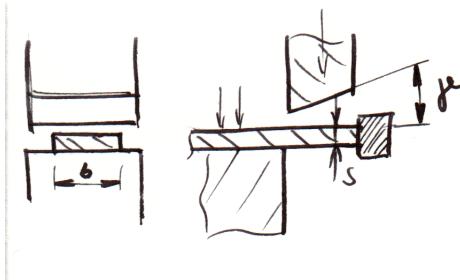
Koriste se za odsjecanje raznih kontura s radijusom  $r_{min} = 15 \text{ mm}$ , a izrezuje se prema ucrtanju na limu do 3 mm debljine.



## 11.1 Alat za odsjecanje na prešama

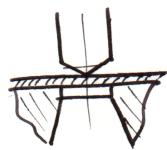
Prednji kut  $\gamma = 2 - 3^\circ$ , a nagib noževa  $\phi = 0$ .

Alat se postavlja na prešu i najčešće se koristi za odsjecanje pojedinih komada iz traka.

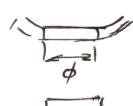


Široka primjena tehnike rezanja je u štancanju. I ovdje se radi o dvijema oštricama koje se pokoravaju zakonima poznatih škara i noževa na škarama. Već smo razmotrili slučajeve bez zazora između noževa (žiga) i noža (matrice) i slučaja gdje postoji zazor. Kod štancanja se mnogo primjenjuju i alati sa zakošenim reznim ivicama. Za **prosjecanje** alati izgledaju

Za presecanje akut, rezgledoz' u



Dio koji se rezuje  
ostaje ravno a  
okolina se deformira

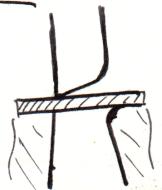


Za probijanje



Ovde se dogodi  
sasrotina od presecanja

Za rasjecanje



Prije pristupanja rezanju nekog lima na odabranom stroju, moramo podesiti sve parametre, koji odgovaraju za najbolji uspjeh operacije rezanja.

Nakon određivanja materijala i njegove debljine, potrebno je podesiti alat. To se posebno odnosi na škare s noževima koji se paralelno gibaju, jer ovisno od debljini materijala, varira zazor i kutevi rezanja, zatim položaj graničnika itd.

## 11.2 Rezanje profila

Profile možemo rezati na posebnim uređajima konstuiranim specijalno za te svrhe. U stvarnosti, to su škare, koje u svojim noževima imaju razne otvore, ovisno o profilu koji mogu rezati. Postoje uređaji za rezanje profila veličine kvadrat 100; I profil 16 itd. U takvim škarama postoje i kratke škare za rezanje manjih rezova lima.

Posebna tehnika rezanja koja se sve više danas primjenjuje je tehnika **finog štančanja**. Tom tehnikom se postižu najveće točnosti, a problem je riješen pomoću posebno konstruiranih alata i preša. Takvim postupkom mogu se izrađivati zupčanici, precizni dosjedi itd.

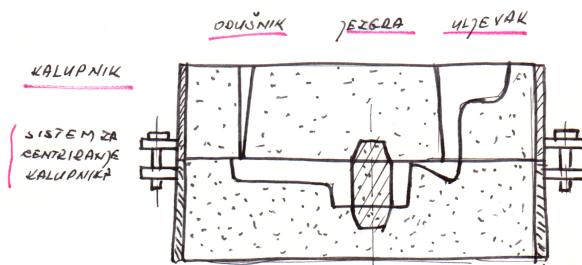
## 12 Lijevanje

Lijevanje je postupak koji se koristi za izradu složenih predmeta. Sve kovine se ne lijevaju jednako dobro. Na kovinu, koji lijevamo postavlja se nekoliko zahtjeva:

- da je rastaljena kovina dovoljno žitka
- da dobro ispunjava kalup
- da odljevak nakon hlađenja bude pun i homogen bez šupljina

Dobro se daju lijevati: sivo željezo, cink, bronca, oovo i njegove legure dok se teže lijevaju aluminij i čelik. Od svih kovina najviše se lijeva sivo lijevano željezo.

Lijevanje je ispunjavanje šupljina žitkom rastaljenom kovinom. Šupljinu, obično u pjesku, napravimo pomoću modela. Kovina se nakon lijevanja skrutne, pa se tako dobiva predmet oblika šupljine ili modela.



Osnovni elementi jednog kalupa spremnog za lijevanje. Ovaj kalup izrađen je od pjeska, kao jedne vrste materijala, od kojeg se kalupi uopće rade. Pješčani kalupi su zasada još najekonomičniji za pojedinačno i maloserijsko lijevanje. Uopće uzev, materijal za kalup bi trebao zadovoljiti sljedeće uvijete:

- da je jeftin i lako nabavljiv
- da je dovoljno čvrst, da kalup izdrži bar jedno lijevanje i da je otporan na strujanje i tlak kovine kod lijevanja
- da se iz njega mogu izraditi glatki kalupi s točnim obrisima, što osigurava točan odljevak
- da je materijal dovoljno porozan da se osigura lako izlaženje plinova koji se javljaju pri lijevanju
- loš vodič topline, a ujedno i vatrostalan, tj. da se ne zapeče odljev. Kod kokila je potrebno da bude dobar vodič topline.
- materijali jezgre pri stezanju materijala moraju omogućiti te promjene dimenzija.

U prirodi ne možemo pronaći takav materijal, pa zbog toga izvodimo kojekakva miješanja da se bar djelomično približimo traženim uvjetima. U tu grupu materijala spadaju pjesak za kalupljenje, masa, ilovača, pjesak za izradu jezgre, materijali za vezanje jezgrovnog pjeska, tvari za prevlake, itd.

## 12.1 Pijesak za kalupovanje

Kao što smo već prije naglasili, materijali za izradu kalupa su mješavina raznih prirodnih sastojaka. Tako je pijesak za kalupovanje mješavina kremenih zrnaca i gline s primjesama vapnenca, lapora, željeznog oksida, raznih spojeva kalcija, kalija, natrija i magnezija. Postotak primjesa u lijevačkom pijesku nesmije preći 5 - 7%.

**Kremena zrnca** - ( $\text{SiO}_2$ ) okrugla su ili oštrobriđna, razne veličine, a čine glavni dio pijeska za kalupljenje. Prema veličini zrnaca razlikujemo finozrnati, srednjezrnati, krupnozrnati pijesak.

**Glina** - zadatak je gline da uz 10 – 12% vlage, obavije kremena zrnca tankom kožicom i međusobno ih povezuje. Zbog toga je pijesak plastičan. Ako su zrnca glatka, potrebno je manje gline a kalupi su čvršći. Što su zrnca veća i jednoličnija, lakše propuštaju plinove koji nastaju kod lijevanja. Finozrnatim pijeskom grade se gladi kalupi ali teže propuštaju plinove. Propustljivost pijeska, odnosno kalupa povećava se tkz. bockanjem i sušenjem kalupa.

**Željezni oksid** - o njegovoj količini u pijesku ovisi boja pijeska, dali će biti žučkasti ili crvenkasti. Inače njega ima u pijesku uvijek.

**Vapnenac** se također uvijek nalazi u pijesku. On je uvijek stalan, jer pod djelovanjem topline se raspada i stvara  $\text{CO}_2$  (uglični dioksid) pa se zbog toga smanjuje propustljivost pijeska. Zapravo, stvara se znatno više plinova koje treba kroz pore kalupa odvesti. Po sadržaju ga dijelimo:

- kremeni pijesak sa do 2% gline
- mršav pijesak 2 - 8% gline
- polumastan pijesak 8 - 20% gline
- mastan pijesak 20 - 30 % gline
- vrlomastan pijesak 30 -50 % gline

## 12.2 Pijesak za jezgre

Kao najbolji pijesak za jezgru pokazao se čisti kremeni pijesak a kao vezivo se koristi laneno ulje. Kao materijal jezgre može se koristiti i mršavi lijevački pijesak s manje od 8% gline. Osim lanenog ulja, kao dodatci za vezivo jezgre koriste se još:

- biljna ulja - pamukovo, makovo
- mineralna ulja - destilacijom nafte
- životinjska ulja - riblje ulje
- brašnasti dodatci - raženo, krumpirovo brašno, dekstin
- smolasti dodatci - kolofonij, sulfitna lužina, melasa
- sada se rade jezgre s 15% cementa.

Kod izrade kalupa koriste se još neki zahvati i materijali, da se pospješi sama proizvodnja lijevanih proizvoda.

Da se spriječi zagaranje pijeska na odljevak, potrebno je kalupnu šupljinu prevući **prevlakom**. Kao prevlaka može se koristiti prah drvenog ugljena ili grafitna prašina.

Kod izrade kalupa javlja se problem lijepljenja pijeska na modele. Da bi to spriječili, prije kalapljenja naprašimo model. Za naprašivanje se koriste drveni uljen u prašini ili likopodij - crvotočina na crnogorici.

### 12.3 Podjela lijevačkog pijeska

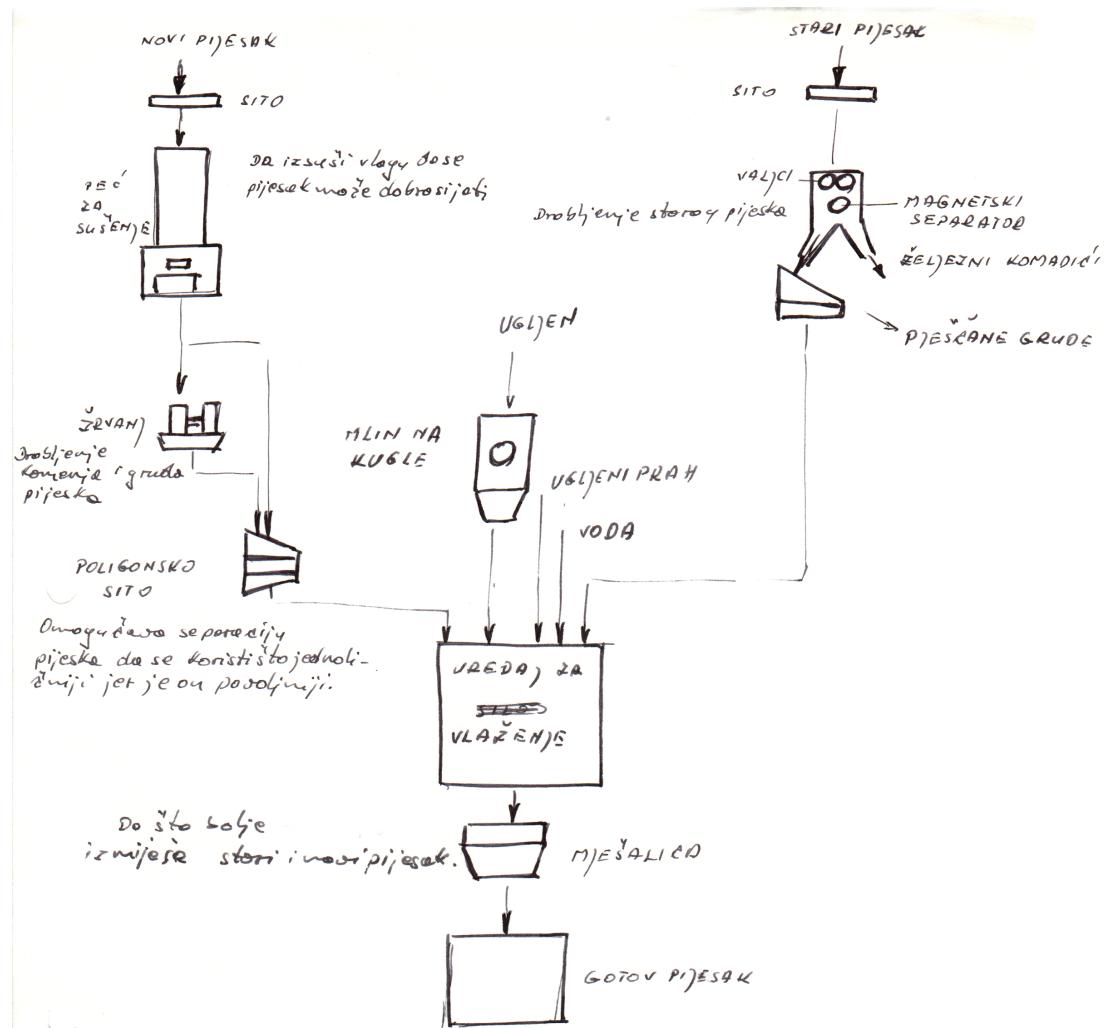
Ljevački pijesak za kalupljenje možemo podijeliti na novi, stari i kaluparski pijesak.

- **Novi pijesak** - to su u stvarnosti kremena zrnca koja se kopaju u prirodi. U principu se ne koristi nego se njime regenerira i popravlja stari pijesak.
- **Stari pijesak** - to je višekratno korišteni pijesak za izradu kalupa i u njemu veći dio gline izgori pa je došlo do oštećenja kremenih zrna pijeska.
- **Kaluparski pijesak** - pravi se miješanjem fino prosijane smjese starog pijeska, s 20 - 50% novog pijeska, uz dodatno 2 - 15 % praha kamenog ugljena i 5 - 12% vode. U tu grupu spada i modelni pijesak za popravak kalupa koji ima približno isti sastav samo što ima sitnija zrna i više uglijene prašine.

### 12.4 Pripremanje pijeska za kalupe

Pijesak koji se iskopa, nije moguće odmah primjeniti u ljevaonicama. On je suviše vlažan i u komadima, sadrži u sebi trave, korijenja ili većih komada kamenja. Zbog toga se mora sušiti, sijati, drobiti i separirati. Sve su to zahvati koje je potrebno poduzeti s novim pijeskom da bi ga mogli dodati starom za regeneraciju. Stari pijesak treba očistiti od komadića željeza, ljevačkih čavala i ostalih sitnica koje se javljaju pri lijevanju. U manjim ljevaonicama ovo čišćenje izvodi se ručnim sijanjem, dok se kod većih ljevanica upotrebljavaju čitavi sistem uređaja za pripremu pijeska. U tu pripremu spada i mješanje s novim pijeskom.

Računa se da treba 4 - 5 tona pijeska za 1 tonu odljeva od sivog lijeva. To znači da za takvu proizvodnju treba svaki put 1 tona novog pijeska za 1 tonu odljevka.



Postoji čitav niz raznih izvedbi bilo kojeg od uređaja za pripremu pjeska. Također postoje posebno konstruirani strojevi za pripremu ilovače i ostalih potrepština za ljevaonice.

Da bi izradili kalup, prvo je potrebno izraditi model. Model je izrađen obično od jelovine, a može se koristiti i borovina, joha, lipovina, javor, kruška pa i grabovina. Prema nacrtu predmeta modelar izrađuje model koji mora imati određene dimenzije. Zbog stezanja odljevka, kod hlađenja, dimenzije odljevka se mijenjaju. Da to stezanje nebi prešlo određenu granicu dimenzije odljevka, potrebno je model izraditi veći. Veličina nadmjere ovisi o materijalu koji lijevamo i to:

- Lijevano željezo 1%
- Temper lijev 1,6%
- Čelični lijev 2%
- Bijela kovina 0,5%

- Bronca, crveni lijev, mjer 1,5%
- Al-legure 1,1 do 1,25%

Modeli koji se koriste za višekratna, npr. strojna, kalupljeni izrađuju se od čvršćeg materijala pa i željeza.

Da bi se model lakše izvadio iz pjeska, okomite stranice treba izvesti skošenim. Ako konstruktor ne predviđa skošenja, ona se izvode najmanje 1:100. Kod modela je važno i izvođenje zaobljenja koje može slijediti kalupni pjesak, a da se ne zasipa.

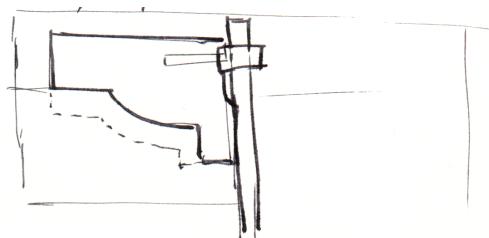
Kao posebno kod izrade modela mora se voditi računa o dodatku za obradu na plohamama koje obrađujemo. Veličina dodatka ovisi o veličini predmeta, materijalu, načinu lijevanja (horizontalno, vodoravno). Veličina dodatka kreće se od 2 - 15 mm.

**Jezgre** su dijelovi kojim se kalupe šupljine u odljevcima. Jezgre imaju na sebi izdanke za postavljanje u određene položaje u kalupu. Ti upornici se stavljuju na mjestima koja nije potrebno obrađivati nakon lijevanja. Jezgre se uvijek moraju sušiti. Time očvrsnu i postanu propusnije.

**Kalupnici** su okviri bez poklopca i dna u kojima se izrađuju kalupi bilo iz pjeska ili nekog drugog materijala za kalupljenje. Veličine kalupnika odabiremo ovisno o veličini predmeta. Kalupnici mogu biti okrugli ili četvrtasti. Kalupnici mogu biti izrađeni od drveta, lijevanog željeza ili čelika, dok se sada koriste kalupnici od lakih slitina. Kalupnici se koriste u parovima, a mogu biti i trodijelni ili četverodijelni, dok se kod serijske proizvodnje i strojnog kalupljenja koriste naročiti kalupnici za kalupljenje "bez kalupnika". To su ustvari rastavni kalupnici na šarkama.

Kalupljenje je postupak za izradu kalupa. Kalupovanje je moguće izvesti i ručno i to:

- na podu ljevaonice sistemom mekog i tvrdog kreveta. To se kalupljenje koristi za izradu jednostavnijih predmeta, tako da se u podu ljevaonice nabije pjesak, na odgovarajući način i izradi kalota, izvede sistem uljevaka i kalup je gotov. Takvo kalupljenje je najjeftinije.
- u kalupnicima. To je najuobičajeniji način kalupovanja. Proces izrade kalupa sastoji se u nabijanju pjeska u kalupnik i oko modela. Kad se to izvede, model se izvodi, eventualno se umetnu jezgre, dotjeraju se uljevci i odušnici i kalup je spremjan za daljnju pripremu prije lijevanja
- kalupovanje šestarenjem - koji se primjenjuje pri izvođenju kalupa za rotacione predmete svih veličina. Tim postupkom se pojeftinjuje čitav odljevak, jer je vrijeme kalupljenja smanjeno, a ne trebamo posebno skupe i komplikirane modele. Odljevci izrađeni ovakvim postupcima veoma su točni, jer su izrađeni točnim šablonama. Postupak se vrši šestarima. To su okovane daske koje se mogu okretati oko vretena a imaju obris izvodenice rotacionog tijela.



Slika 12.1: Šestarenje može biti okomito i vodoravno.

Drugi način kalupovanja bio bi strojno kalupovanje koje se može podijeliti na

- kalupovanje strojevima s ručnim nabijanjem.  
Proces nabijanja pjeska u kalupnik ovdje se opet izvodi ručno, ali operacije odizanja kalupa od modela i njegovo prekretanje vrši se mehanički pomoću strojeva. Kod tih strojeva razlikujemo:
  - strojevi za odizanje - ovdje se odiže čitav kalupnik od modela koji je učvršćen na radnoj površini
  - stroj za spuštanje modelne ploče - ovdje se model s modelnom pločom spušta prema dolje a na radnoj površini ostaje kalupnik.
  - strojevi s prekretanjem modelne ploče. Tim strojevima se kalupnik preokreće i odma spušta na posebna kolica. Taj postupak olakšava rad od predhodnih strojeva, jer olakšava problematično ručno prekretanje, koje u većini slučajeva izaziva oštećenje kalupa.
  - strojevi za provlačenje, koriste se kad visokih odljevaka kod kojih nije moguće izraditi nagibe za izvlačenje modela. Ravne stjenke moraju imati i zupčanici i remenice te se kalupovanje izvodi na ovakovim strojevima. Princip rada se sastoji u tome, da se nakon nabijanja pjeska u kalupnik, model polako pomoću stroja izvuče iz kalupa.
- kalupovanje strojevima za mehaničko nabijanje pjeska

Dosada opisani postupci kalupljenja bili su s ručnim nabijanjem pjeska, a modeli su se vadili ili ručno ili pomoću nekog stroja. Da bi se zamijenilo ručno nabijanje pjeska, konstruirani su posebni strojevi, koji pjesak nabijaju mehanički a ujedno se koriste prije spomenuti strojevi za vađenje modela i okretanje kalupnika. Obzirom na način nabijanja razlikujemo:

- strojevi za nabijanje pjeska prešanjem. Kod prešanja je pjesak jače sabijen na površinu nego na dnu. Zato se prešanje upotrebljava samo za izvođenje plitkih kalupa. Princip prešanja je da se na kalupnik stavi okvir određene visine, za koju se pjesak može stisnuti prešanjem, bez opasnosti za kalup. Prešanje se izvodi hidrauličkim putem preko čepa koji ulazi u okvir. Kod prešanja razvili su se postupci:
  - jednostranog prešanja

- dvostranog prešanja
- višeslojnog prešanja
- kalupovanje bez kalupa

#### 12.4.1 Kalupovanje strojeva za drmanje

Pijesak se može sabiti i drmanjem, tresenjem. Tim postupkom, čestica iznad svojom vlastitom težinom, inercijom, djeluje na česticu ispod i tako ju sabija. Zbog toga su čestice na donjim dijelovima kalupnika čvršće sabijene od čestica na površini. Strojevi rade s do 300 udaraca na minutu i sabijaju velike količine pijeska.

Često se koristi kombiniran uredaj za stresenje i prešanje. Na taj način su dobiveni veoma kvalitetni i donekle jednoliko sabijeni kalupi.

#### 12.4.2 Kalupovanje strojevima za bacanje pijeska

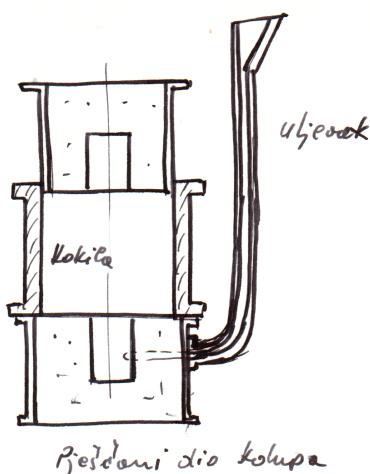
Bacanje pijeska u kalupnik moguće je izvesti:

- U struji zraka - tj. smjesa zraka i pijeska se dovodi u kalupnik. Zrak se odvaja, a pijesak se svojom brzinom nabija oko modela i ispunjava kalupnik.
- Drugi princip bacanja pijeska izvodi se pomoću rotirajuće žličice u glavi. Svakim okretajem žličice zahvati se malo pijeska i baci u kalupnik. Pošto se žličica okreće 1200 do 1600 okretaja, dobiva se kontinuirani mlaz koji vrlo brzo izpunjava kalupnik.

Tvrdoća nabijenog pijeska kod ovih uređaja regulira se brzinom kojom pijesak dolazi u kalupnik. Veće brzine daju tvrde nabijeni pijesak.

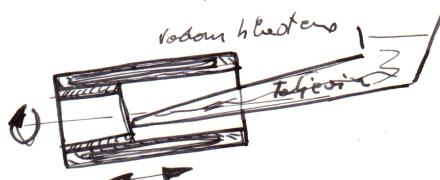
### 12.5 Kokilno lijevanje

Ako želimo neku površinu odljevka posebno tvrdnu, potrebno nam je odvesti s te površine brzo toplinu. Brzo odvođenje topline možemo ostvariti ako taj dio kalupa izradimo od željeza, koje brzo odvodi toplinu. Takovim postupkom uz tvrdnu površinu dobivamo razmjerno mekanu sredinu. Takovim postupkom se lijevaju valjci za valjanje željeza, za papir, platno, mlinove itd.



## 12.6 Centrifugalno lijevanje

Za lijevanje cijevi i dužih rotirajućih dijelova koristi se tzv. centrifugalni lijev. Princip je u tome da se tekuće željezo spiralno namota u kalup od željeza, koji se vrti oko horizontale ili vertikalne osi i ujedno udaljuje od mjesta ulijevanja. Zbog centrifugalne sile, željezo je veoma gusto i bez troske. Željezni kalupi se hlađe vodom da se osigura stalna temperature. Odljevci se vade u usijanom stanju pa se izžaruju, da se smanji tvrdoća, koja nastaje zbog naglog hlađenja lijevanog materijala. Cijevi proizvedene ovim postupkom čvršće su za 70% od cijevi lijevanih u pjesak iz čega proizlazi da mogu biti i tanje. Postoje još specijalizirani centrifugalni lijevovi i to Morov postupak te lijevanje u hladne kokile.



## 12.7 Tlačni lijev

Za velikoserijsku proizvodnju jednolikih predmeta koriste se tlačno lijevanje. Princip tlačnog lijevanja je u tome da se rastavljeni materijal pod pritiskom ubrizga u metalni kalup ili kokilu. Na taj način dobivaju se veoma točni predmeti i do 0,01 mm, a osim toga mogu se izraditi i narezi i najrazličitija gravura.

Za tlačno lijevanje se obično koriste materijali s nižim temperaturom taljenja kao npr. Al-slitine, olovne slitine, kositrene slitine, elektron (Mg Al slitine) itd.

Materijal se prvo rastali u posebnim pećima, a pomoću posebne žličice ili posudice ulijeva se pred klip koji nakon toga izvrši tlačenje. Ovom tehnikom mogu se lijevati predmeti do težine od nekoliko kp, što je vezano uz snagu stroja za prešanje i pridržavanje

alata. Pritiskom klipa na rastaljeni metal, koji ispunjava kalup, ovisno o proiciranoj površini kalupa, javljaju se veoma velike sile, koje mora preuzeti stroj na sebe.

## 13 Termička obrada

Termičkom obradom zovemo procese kod kojih koristimo toplinu za postizanje nekih promjena u materijalima. Razlikujemo dvije vrte termičke obrade i to:

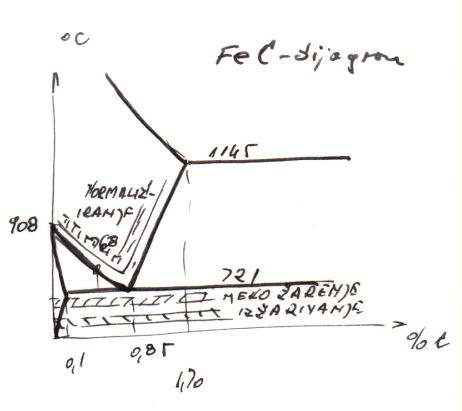
- Toplinska obrada u užem smislu - kod koje se ne događaju nikakve kemijske promjene u materijalu
- Toplinska obrada u širem smislu - kod koje se u stanovitom smislu mijenja kemijski sastav materijala, np. cementiranje, nitriranje.

Razmotrit ćemo nekoliko važnih termičkih obrada, koje se međusobno nadopunjaju da bi se na koncu dobio željeni rezultat.

### 13.1 Normaliziranje

Nakon obavljenog kovanja, strukture u predmetu koji smo obrađivali veoma su raznolike iz više razloga. Razlike u veličini kristala, zbog nejednolikog zagrijavanja i hlađenja pojedinih dijelova kovanog predmeta nepovoljno djeluju na kaljenje, koje može slijediti kao slijedeća obrada. Da bi izjednačili veličine kristala, koristimo **normaliziranje**. Predmet zagrijavamo iznad temperature rekristaliziranja i zatim ga hladimo. Obično je to pregrijavanje za cca 30 - 40°C. Nakon pregrijavanja predmeta, hladimo ga na mirnom zraku. Na taj način postižemo jednoliku veličinu kristala po presjeku predmeta. Jasno da brzina hlađenja definira veličinu kristala što je ono brže kristali su sitniji.

Za dobro odabiranje temperatura normaliziranja potrebno je poznavati sastav materijala.



## 13.2 Meko žarenje

Nakon valjana i kovanja, čvrstoća ugljičnih čelika sa sadržajem ugljika 0,6 - 1,4%C kreće se u granicama od 75 - 100 kp/mm<sup>2</sup>. Kod legiranih čelika to zna biti i više. Da bi se omogućila obrada tako tvrdih površina, potrebno je sniziti čvrstoću, a to se postiže, **mekim žarenjem**.

Meko žarenje je skoro neophodno za čelik s više od 1% C, jer kod tih čelika ostaje mogućnost da višak ugljika, iznad 1% ostaje u prvočitnom stanju, tj. ne možemo utjecat na njega. Žarenje ovisi o količini ugljika i o ostalim legirnim dodacima.

Najstariji postupak žarenja sastoji se u tome da nelegirane čelike zagrijemo na cca 700°C a legirane za 40°C više. Materijal držimo na toj temperaturi nekoliko sati a nakon toga ga nastojimo što polakše hladiti. Ovim postupkom listići grafita prelaze u kuglice.

Drugi postupak žarenja omogućuje kraće vrijeme čitavog procesa. Materijal se grijе iznad temperature rekristalizacije, a zatim se hlađe brzinom od 15°C/h do 650°C a nastavak hlađenja je proizvoljan. I ovdje je potrebno poznavati točan kemijski sastav materijala.

Čelici s mnogo Cr i nehrđajući čelici žare se tako da ih zagrijemo na temperaturu 800 - 850°C i zatim ih hladimo brzinom od 10°C/h do 680°C. Dalje hlađenje ne utječe na kvalitetu obrade.

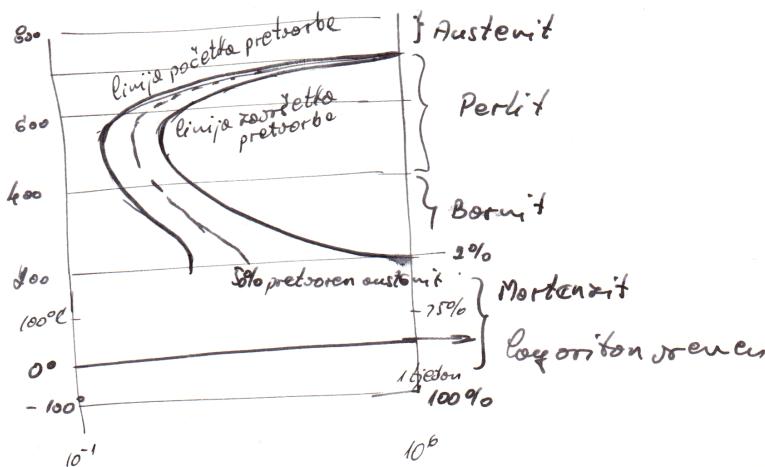
## 13.3 Izžarivanje

Izžarivanje je toplinski postupak kojim otklanjamo zaostale napetosti unutar strukture nekog komada. Predmet, koji želimo izžariti, stavljamo u kutiju s koksom ili čeličnom strugotinom, te ga zagrijemo i držimo na temperaturi 500 - 600°C tokom dva sata. Hlađenje predmeta izvesti što je moguće sporije. Ovaj postupak je potrebno provesti prije svakog kaljenja, jer nam nakon kaljenja tako obrađenog predmeta zaostaju neznatne deformacije.

## 13.4 Kaljenje

Da bi postigli veću tvrdoću i čvrstoću materijala koristimo se termičkim postupkom kaljenja. Ovim postupkom u stvari dovodimo do rekristalizacije, povišenjem temperature, ali ne dozvoljavamo ponovnu prekristalizaciju, nego, brzim hlađenjem zadržavamo prethodno formirane kristale. Zbog brzog hlađenja, prethodno rekristalizirani kristali zadržavaju svoj oblik te postaju veći i nepravilni. To povećanje iznosi i do 1%.

Kod kaljenja je najvažnije izabrati odgovarajuće sredstvo za hlađenje. Izbor sredstva definira nam tzv. **martenzitne strukture**. Za odabiranje brzine hlađenja postoje tzv. *C-dijagrami*.



Slika 13.1: Za čelike s 0,9% C.

Postoji i tzv. kritična brzina, to je brzina koja tangira liniju početka pretvorbe. Kod kaljenja se mora voditi računa da se jezgra predmeta ne hladi istom brzinom kao i površina. To u stvarnosti dovodi do razlike u napetosti između površine koja je tvrđa i krta spram jezgre koja ostaje žilavija. Ove napetosti dovode od povećanja deformacija a mogu dovesti i do loma materijala. Vrijeme zagrijavanja predmeta iz nekog materijala s posebnim sastavom ne ovisi samo od legiranih dodataka nego i o dimenzijama predmeta. Veoma je važno da predmet po čitavom svom presjeku poprimi istu temperaturu. Zbog toga zagrijavanje kod kaljenja možemo podijeliti na dva dijela.

Jedno je zagrijavanje do temperature koju želimo ostvariti a koja poprima površinske slojeve. Drugo je vrijeme progrijavanja, vrijeme koje je potrebno da se predmet zagrije po svojem čitavom presjeku. To vrijeme ovisi o dimenzijama predmeta odnosno o najdebljim presjecima.

Vrijeme zagrijavanja ovisi i o vrsti peći u kojoj se proces zagrijavanja provodi. Predmet se najbrže može zagrijati u olovnoj kupki, a najsporije u komornoj peći.

Visina temperature na kojoj izvodimo kaljenje isključivo je vezana za kemijski sastav i određuje se ovisno o njemu. U principu je to pregrijavanje iznad linije A3 - tj. iznad rekristalizacije.

Kod kaljenja razlikujemo nekoliko vrsti kaljenja:

1. Kaljenje do sobne temperature. Tu predmet odjednom hladimo od temperature kaljenja do temperature okoline. Razlike u temperaturi površine i jezgre su znatne i stoga su i napetosti u tako zakaljenom predmetu znatne.
2. Kombinirano kaljenje je kaljenje kod kojeg predmet prvo ohladimo do neke više temperature i tu ga držimo tako dugo dok čitav presjek ne poprimi istu temperaturu. Nakon toga slijedi daljnje hlađenje blažem rashladnom sredstvu. Na taj način dobivamo manje napetosti u predmetima koje kalimo.
3. Kaljenje u termalnoj kupki. Ovdje kao rashladno sredstvo koristimo termalne kupke čija je temperatura iznad temperature početka stvaranja martenzitne struk-

ture. Ovisno o vremenu držanja predmeta i kupki možemo dobiti željenu strukturu, a napetosti su minimalne.

- Površinsko kaljenje se izvodi samo na površinama na kojima želimo imati tvrde dijelove. Na neki pogodan način zagrijemo samo površinu koju želimo zakaliti i izvodimo jedan od prehladnih načina kaljenja. Zagrijavanja dijelova površine izvode se plamenicima ili nekim induktivnom načinom.

### 13.5 Napuštanje

Da bi smanjili napetosti, koje su nastale u predmetu nakon kaljenja, a te napetosti mogu izazvati lom alata u eksploraciji, pristupamo postupku napuštanja. To je u stvarnosti ponovno zagrijavanje predmeta na temperaturu  $100^{\circ}\text{C}$  do  $650^{\circ}\text{C}$  ovisno o legiranim dodatcima, i hlađenje. Tim zagrijavanjem mi omogćujemo izvjesnu prekristalizaciju nekih tetragonskih kristala. To za sobom povlači smanjenje napetosti i produljivanje osnovne mjeru predmeta.

### 13.6 Poboljšavanje

Poboljšavanje je termička obrada koja se obavlja u dva koraka, bolje reći ona se sastoji od dviju termičkih obrada. Predmet koji poboljšavamo, prvo zakalimo a zatim napuštamo na tako visoku temperaturu da ostvarimo što veću žilavost. O stupnju napuštanja ovise nam veličina čvrstoće a može se kretati od zakaljene čvrstoće do meko žarenog stanja. Točnu granicu poboljšavanja moguće je postaviti.

Npr. Cr-Ni čelik koji je nakon kaljenja napuštan na  $600^{\circ}\text{C}$  ima čvrstoću  $90 - 100 \text{ kp/mm}^2$ . Taj čelik u zakaljenom stanju ima čvrstoću  $180 \text{ kp/mm}^2$ , a ako se kod njega postigne čvrstoća od  $120 - 130 \text{ kp/mm}^2$  uz znatnu žilavost možemo reći da se radi poboljšavanje.

Postupku poboljšavanja podvrgavaju se dijelovi vozila, strojeva i alati (ukovnji). Kod predmeta koji su poboljšani javlja se također problem krhkosti i napetosti. Uobičajena temperatura napuštanja kreće se u granicama od  $500 - 600^{\circ}\text{C}$ . Iako nakon napuštanja predmet polako hladimo, njegova žilavost za istu čvrstoću zna pasti za  $1/3$ .

Napuštanje možemo provesti i tako da predmet sa  $600^{\circ}\text{C}$  brzo ohladimo a nakon toga ga zagrijemo na  $500^{\circ}\text{C}$  i hladimo ga lagano. Na taj način smanjujemo napetosti a da nismo smanjili žilavost materijala.

### 13.7 Cementiranje

Cementiranje je postupak kod kojeg dobivamo tanki površinski sloj visoke tvrdoće a jezgra nam ostaje žilava. Debljina sloja iznosi maksimalno 2 mm.

Zagrijavamo predmet do temperature  $800 - 950^{\circ}\text{C}$  u bogatoj atmosferi ugljika. Na taj način se obogati površinski sloj ugljikom do cca 4%. Nakon toga nastavljamo s kaljenjem, koje nam daje čvrstu koru a mekanu jezgru koja ostaje žilava.

Cementiranje možemo provoditi u različitim sredstvima. Kao čvrsto sredstvo koristimo drveni ugljen ako se cementiranje izvodi kod visokih temperatura. Da bi cementiranje proveli kod niskih temperatura trebamo koristiti odgovarajuće sredstvo a to je

barijum karbonat ili ugljen od koža. Za cementiranje se koristi smjesa drvnog ugljenja i karbonata u omjeru 60:40. Visina temeprature za sredstvo u kojem se izvodi cementiranje definiraju do koje će dubine prodrijeti ugljik i u kolikom postotku. Za provođenje bržeg i lakšeg cementiranja danas se pretežno koriste kupke. Za to se koriste cijanove soli. Iz tih soli, osim ugljika, u površinu se upija N (dušik). Za nelegirani čelik cementiran u Durferit soli CŠ, povezanost temperature, vremena i dubine cementiranja izgleda ovako.

Temperatura [°C]	Trajanje cementiranja [h]	Dubina cementiranja [mm]
850	1	0,15
	2	0,3
	3	0,4
	5	0,6
930	0,5	0,3
	1	0,55
	2	1,1
	4	1,8

Legirani dodaci također utječu na brzinu cementiranja. Ni smanjuje brzinu cementiranja dok Cr i Mn u manjim količinama ubrzavaju cementiranje a kod većeg sadržaja i oni usporavaju cementiranje. Ovakvim dugim zagrijavanjem predmeta na tako visokoj temperaturi dobijemo grubo zrnatu strukturu. Zakalimo li čelik, koji je cementiran, na temperaturi 900 °C, to pogoduje za dobivanje fine strukture jezgri, dok je to previsoka temperatura za površinu koja ostaje grubo zrnata. Da bi dobili zadovoljavajuću strukturu na površini, moramo predmet zagrijati 30°C iznad temperatuve rekristalizacije i onda ga zakaliti. Između ta dva kaljenja uvodi se napuštanje na cca 600 °C što nam osigurava dobru strukturu oba dva sloja.

Način kaljenja i napuštanja ovisi isključivo o legirnim dodatcima pa zbog toga imamo:

- jednostruko kaljenje nakon cementiranja
- dvosturko kaljenje sa žarenjem između kaljenja i nakon drugog kaljenja napuštanje
- kod visoko legiranih čelika imamo nakon cementiranja kaljenje prvo u kupki a zatim hlađenje na zraku da bi ga na koncu napustili.

Osim unaprijed detaljno obrađenih postupaka termičke obrade, u metalurgiji još su poznati neki postupci a to su:

- **Normalno žarenje** - je postupak kojim predmete grijemo nešto iznad temperatuve rekristalizacije, a zatim ih hladimo na mirnom zraku
- **Difuzno žarenje** - kod kojega predmete grijemo znatno iznad te temeprature rekristalizacije i to kroz duže vrijeme. Predmete hladimo na bilo koji način. Rezultati takvog žarenja su jednolika koncentracija po presjeku predmeta.
- **Perlitizanje** - je postupak za postizanje perlitne strukture u predmetu.

- **Patentiranje** - termička obrada koja se primjenjuje pri proizvodnji žice. Izvodi se tako da se predmet zagrije iznad temperature rekristalizacije i zatim brzo ohladi. Kod toga razlikujemo:
  - kontinuirano patentiranje koje se provodi u prolaznim pećima i zatim hlađi u kupki temperature 400 - 500°C
  - pojedinačno gdje zagrijemo partiju po partiju i hlađimo svaku za sebe
- **Starenje** - kod prirodnog starenja se nakon izvjesnog vremena postiže stabilnost strukture pogotovo kod lijevanih predmeta na 120°C i držimo ih kroz dulje vrijeme na toj temperaturi.
- **Nitriranje** - je postupak kojim omogućavamo prodiranje i dufundiranje dušika u površinu čelika. Dubina prodiranja se kreće u granicama od 0,01 - 0,02 mm. Ovaj sloj je neobično tvrd a koristi se kod površinske obrade alata za obradu plastike. Način i principi rada isti su kao i kod cementiranja.

## 14 Površinska zaštita

### 14.1 Općenito o koroziji i zaštita od korozije

U koroziju ubrajamo sve oblike površinskog razaranja metalnih predmeta od nepoželjnih reakcija.

Najpoznatija korozija je površinska korozija, koja izaziva djelovanje kisika, vodene pare ili vodenaste rastopine soli, u tu grupu spada i izgaranje željeza (oksidacija) koja nastaje pod djelovanjem vrućih plinova, dakle kod povišene temeprature.

Izlizivanje površine mehaničkim putem je također vrsta razaranja površine, a naziva se erozija ili habanje.

Oštećene površine predmeta nastaje i kod djelovanja kavitacije. Kavitacija nastupa u momentu lokalnog pada pritiska ispod pritiska kod kojeg se stvaraju pare medija. Kada dođe do takvog stanja u mediju se stvore šupljine i one putuju kroz nj. Zatvaranje para nastupa, kada one dodu u područje povišenog pritiska a kroz to dolazi do povišenih pritisaka i povećanju temperature što nagriza površinu. Kavitacija se pojavljuje kod propelera glisera i brodova, turbineskih lopatica vodnih turbina itd.

Korozija može biti:

1. Jednolična korozija - je ona korozija kod koje postepeno raste sloj koji propada.
2. Rupičasta korozija - kada se korozija ograničava samo na pojedine dijelove predmeta i to uzrokuje brzo prodiranje u dubinu i nastaju rupice.
3. Interkristalična korozija ili korozija na granici kristala. Ta vrsta korozije uzrokuje slabljenje veza između kristala što dovodi do mrvljenja materijala.
4. Selektivna korozija - je korozija kod koje pojedini dijelovi brže propadaju od drugih npr. cink u mjedi.

5. Korozija zamorenog materijala. Materijali koji su pod stalnim opterećenjem i to naročito onih kod kojih je smjer opterećenja promjenjiv doživljavaju zamaranje tj. smanjuje im se trajna čvrstoća na neznatni dio statičke čvrstoće.
6. Korozija zbog naprezanja materijala. Svaki materijal kada je pod opterećenje proživi izvjesnu elastičnu promjenu. Ukoliko se sada pojavi korozija, ona svojim razaranjem omogućava daljnje elastične deformacije, jer slab i dovodi do prerađenog razaranja i pojave pukotina duž granica kristala.

Uzroci korozije mogu biti:

- kemijske reakcije koje izazivaju oksidaciju tj. spajanje s kisikom. Neki materijali se spajaju i pri tome tvore opnu koja štiti od dalnjeg širenja korozije.
- elektrokemijska korozija, kod koje zbog razlika u potencijalima uz djelovanje elektrolita dolazi do galvanskih članaka i propadanja jednog metala na kontu drugih.

U prirodi je obično prisutna elektrokemijska korozija, a kao elektrolit je vлага.

Da bi predmete zaštitili od korozije moramo sprječiti i postaviti prepreke koje one mogućavaju proces korozije. Materijale podložne površinskoj koroziji zaštićujemo:

- nekovinskim prevlakama
- kovinskim prevlakama
- elektrolitičkim prevlakama
- zaštita promjenom slitina.

Materijale izložene izgaranju, eroziji, kavitaciji nastojimo primjeniti da takvi predmeti budu minimalno izloženi tim vrstama krožnje. U nekovinske prevlake za zaštitu protiv površinske korozije spadaju:

1. Ličenje ili bojenje - kod čega je važno da se s materijala skinu sve nečistoće u vidu oksida i masnoća, a to se postiže fosfatiranjem i pasiviranjem. Nakon toga se nanose slojevi boja od kojih je prva tkz. temelja boja a zatim, već ovisno o proizvodu dolaze jedan ili više slojeva završne boje. U najnovije vrijeme koriste se tkz. **vodotopivi lakovi** koji se peku u pećima
2. Katraniranje - je postupak kojim se zaštićuju predmeti od lijevanog željeza a napose cijevi. Kod toga se predmet predgrije na cca 250°C, a katran se rastopi. U rastopljeni katran umeću se predmeti i postave nakon izvlačenja da se katran odijedi. Koji puta se kod katraniziranja predmeti obaviju i jutom namočenom u bitumen.
3. Emajliranje - jedna od najstarijih metoda zaštite od korozije. Emajliranje uz zaštitu od korozije ima i niz drugih razloga za svoju primjenu to su: zaštita od kemijskog utjecaja, kao sredstvo za poljepšavanje površine, za zaštitu posuđa, iz zdravstvenih razloga za lakše održavanje higijene, itd.

Emajliranje se u principu sastoji od dva sloja, temeljnog i pokrovnog. Nakon što je predmet dobro očišćen nanosi se sloj emajla i nakon toga sve ide u peć gdje se to osuši i ispeče. Za postizanje glade površine stavlju se dva ili više slojeva.

4. Bromiranje - je površinska zaštita koja se koristi za zaštitu oružja i ostalih predmeta. Postupak bromiranja se sastoji u tome da se predmeti više puta premažu antimonovim kloridom  $SbCl_3$  i izvrgavaju se djelovanju zraka, te se stvara  $Fe_3O_4$  kao prevlaka. Konačno se topli predmeti premazuju voskom.
5. Plavo bojanje - se sastoji od toga da se predmet umoči u toplu otopinu olovnog acetata i natrijevog sulfida a poslje toga suši.
6. Fosfatiranje - je postupak kada se željezni predmet umoči u vruću otopinu fosforne kiseline s još nekim dodatcima. Površina predmeta se prevuče slojem fosfata. Ovaj sloj je postojan dok ga se ne ošteti, a uz to je i veoma tanak svega  $5 - 10 \mu m$ . Zbog toga se on koristi kao podloga za bojanje.
7. Maštenje - je postupak gdje se predmeti premazuju bilo organskim ili mineralnim mastima. To se obično izvodi na predmetima koji se odpremaju. Predmeti se moraju dobro osušiti a zatim se poprskaju. Najpoznatiji je **TECTYL**.
8. Plastificiranje

Kovinske prevlake mogu služiti kao zaštita od korozije, a drugi puta, da svojim elektrokemijskim svojstvima štite površinu od mogućnosti nastanka galvanskih članaka i kao treće, da nanešeni materijal smanji utjecaj erozionog i kavitacionog utjecaja korozije. Kovinske prevlake na predmet možemo nanjeti na:

1. Galvanskim postupkom
2. Uranjavanjem u rastaljenu kovinu
3. Difuzione prevlake (šerardiziranje) a nanosi se sličnim postupkom kao i cementiranje s time da prevlaka može biti debela i nekoliko desetima mm.
4. Nalivene prevlake (šopiziranje) a drži se na osnovu trenja, nije urasla u materijal i može biti debela nekoliko mm. Izvodi se sistemom taljenja metala i njegovim prskanjem na površinu koju zaštićujemo.
5. Platiranje postupak kojim se platina zaštitnog lima oblaže oko lima kojeg želimo zaštiti. Najbolje i najsigurnija zaštita debela često i nekoliko mm.
6. Kemijskim putem KANIGEN - hladno niklanje

**Galvanski postupak** nanašanja sastoji se u tome da se na katodu objesi predmet koji želimo zaštititi dok je anoda materijal koji želimo predmet zaštititi. Posredstvom elektrolita, koji je vodljiva rastopina i priključkom istosmjerne struje dolazi do elektrolitskog raspadanja i taloženja materijala na katodu. Takvim postupkom, uz odabrani elektrolit, anodnu ploču, jakost istosmjerne struje i vrijeme procesa možemo na predmet nanjeti

deblji ili tanji sloj zaštitnog materijala. Galvanskim postupkom se izvode prevlake od: nikla, bakra, kositra, kroma, srebra, zlata, itd.

**Cinčanje** kao metalna prevlaka izvodi se na taj način da se dobro očišćeni predmet uroni u rastaljenu kupku cinka na temperaturi od 440 - 470°C. Predmet se zatim hlađi u vreloj vodi te se ispere lužinom, a zatim vodom na kraju očisti krpom.

**Kositrenje** se izvodi sličnim postupkom kao i cinčanje. Kositrenje se najviše koristi za zaštitu limova od koji se rade konzerve. Sloj kositra mora biti potpun i homogen. Katkada se željezni predmeti prvo pobakre a zatim pokositre.

Jedan od posljednjih postupaka kovinskih prevlaka je tzv. **kemijsko hladno niklanje - KANIGEN postupak**. Ovaj postupak daje bolju površinu od tvrdog kromiranja a mnogo je jeftiniji. Postupak je u SAD zaštićen s 50 patenata a zaštita se izvodi u Jugoslavenskom poduzeću koje je odkupilo licencu.

Zaštita laktih kovina, Al i magnezija (Mg) od korozije može se izvesti nekim od unaprijed spomenutih postupaka. Oksidne kožice, koje se pojavljuju na površinama dobra su zaštita od korozije ali ih je potrebno ojačati. Aluminijski predmeti se na zraku presvlače oksidnim slojem debljine 0,3 μm. Da bi pojačali slojeve možemo to ostvariti kemijskim ili elektrolitskim načinom.

## 15 Razni postupci bez oštrica

Razni postupci bez oštrica, zasnovani su na skidanju strugotine **izravnim djelovanjem raznih oblika erozije**. Tu spadaju mehanički, električki, elektrokemijski, kemijski i još neki vidovi energije. Tako te postupke dijelimo na, većinom nove, ali nekonvencionalne postupke erozije, te ih dijelimo na:

1. **Mehaničke postupke**
2. **Električke postupke** koji mogu biti:
  - elektrolučna erozija
  - elektroimplusna erozija (iskrenje) [EDM].
 Ovim postupkom mogu se obradivati vanjske i unutarnje površine.
3. **Elektrokemijski postupci** [ECM] kod kojih razlikujemo postupke gdje se elektroda giba i tu spada:
  - elektrolitsko brušenje i honovanje
  - elektrodubljenje i blanjanje.

Ta dva postupka nazivaju se zajedničkim imenom **eliziranje** - tj. anodno mehanički postupci. Za razliku od gibajućih elektroda, postoje mirujuće elektrode koje se nazivaju **polieliziranje** ili čisti anodni postupak. U tu grupu spada postupak - elektrolitskog poliranja.

4. **Kemijski postupci** [CM] su opet u stvari elektrokemijski postupci ali bez primjene vanjskih izvora električne energije. Tu spadaju:

- kemijsko poliranje
  - površinska i reljefna obrada jetkanjem.
5. **Novi postupci** - u tu glupu spadaju razni izvori i vidovi energije.

- **Elektronska obrada iz elektronskih generatora** to su uređaji koji primjenjuju energiju elektronskog zračenja. [EBM]
- **Fotonska obrada laserom.** Laser je uređaj koji pojačava energiju svjetla koristeći kod toga radijaciju uzbudjenih, podesnih kristala npr. rubina. [EOM]
- **Obrada iz plasna gorača**, tj. visokogrijanim i intenzivno ioniziranim plinovima upravljanih magnetskim poljima.
- **Foto-kemijski postupak** izrade sitnih, tankih i veoma točnih predmeta. Predmeti se obično rade iz folija. Princip je sljedeći. U velikom mjerilu se izradi niz slika proizvoda. To se točno u mjerilu preslikava i koristi kao negativ. Folija se prelje posebnom kemikalijom zatim se pomoću filma osvjetli površina, a pod utjecajem tog svjetla dolazi do kemijskog razaranja folije na mjestima gdje je osvjetljena.

## 15.1 Mehanički postupci

U ovu grupu obrade spada primjena alata bez izravnih oštrica. Tu se željena obrada metala ostvaruje pretvorjom energije između podesnog alata i komada kojeg režemo. Preko tog alata pretvaramo mehaničku energiju uz sudjelovanje trenja u toplinu koju vrši proces rezanja.

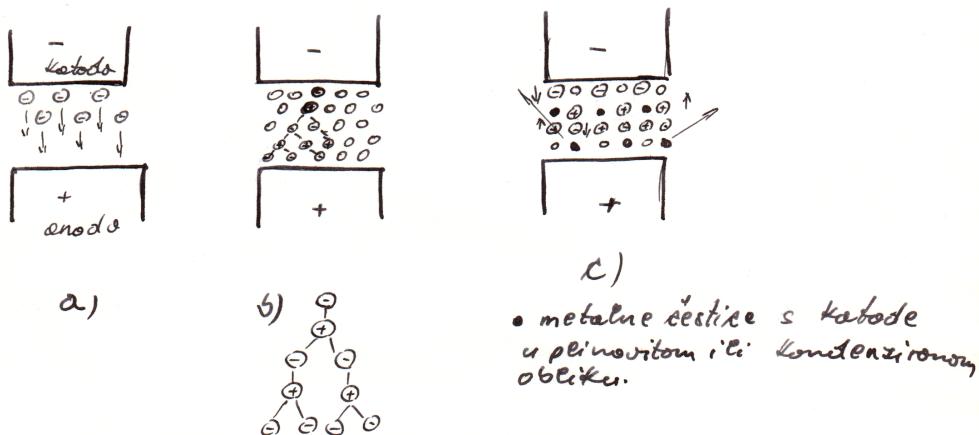
Alat je u većini slučajeva srazmjerno velika ploča. debljine od svega nekoliko mm iz odgovarajućeg vatrostalnog materijala. Na obodu ploče nalaze se sitni zupci koji izazivaju povećano trenje između alata i predmeta koji se obrađuje. Kod toga je važno konstatirati da je obodna brzina u većini slučajeva iznad 100 m/sek.

Ovaj postupak se koristi za rezanje profila i češće cijevi, dakle po dimenzijama većih komada ali istovremeno manjeg presjeka.

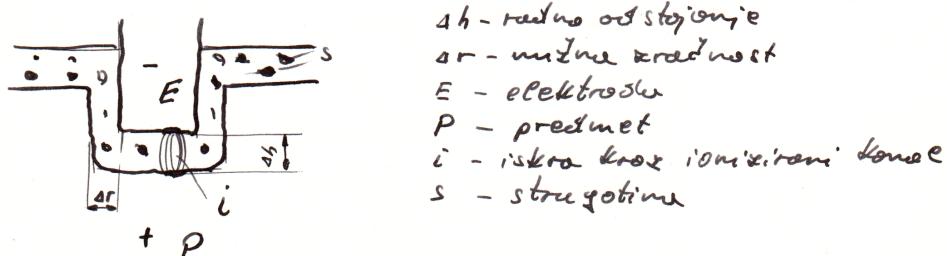
## 15.2 Električni postupci

Osnovni princip ove metode obrade je korištenje električnih lukova, odnosno iskri između dva vodljiva predmeta. Pojava elektroerozije može se podijeliti u tri faze koje slijede jedna za drugom u vanredno kratkim vremenskim intervalima:

1. elektronska emisija pod djelovanjem nametnutog električnog polja
2. lančana reakcija ionizacijom napadnutih čestica
3. udarni efekt ubrzanih elektrona koji silnim elekomehaničkim udarom izaziva termičke reakcije, a sve je pojačano djelovanjem elektromagnetskog polja.



Gustoča struje kod ovog postupka je  $10^4 - 10^6 \text{ A/cm}^2$  a temperature u koncentriranoj jezgri zbivanja od  $6000$  do  $11000^\circ\text{C}$  a prema autorima i  $50000^\circ\text{C}$ .



Izvori električnog potencijala su generatori i to:

1. LUČNI GENERATORI
2. AUTOIMPULSNI GENERATORI - ili relaksacioni generatori, koji imaju u vlastitom krugu kondenzator
3. ELEKTROIMPULSNI ili impulsni generator koji umjesto kondenzatora imaju poseban upravljački uređaj za impulse određenog karaktera.

### 15.2.1 Elektrokemijski postupci

Ovi postupci su zasnovani na poznatom Faraday-evom principu elektrolize. Kod toga se pomoću vanjskog izvora istosmjerne struje kroz elektrolit, vrši obrada **anodnim ras-tvaranjem ili katodnim izlučivanjem**.

### 15.2.2 Kemijski postupci

Baziraju se na kemijskom nagrizanju materijala u kupkama bez stvarnog izvora struje. Kao kemijsko sredstvo za nagrizanje dolaze u obzir jaka oksidaciona sredstva kao npr:

- dušična kiselina  $\text{HNO}_3$
- fosforna kiselina  $\text{H}_3\text{PO}_4$
- octana kiselina  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

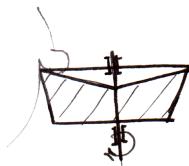
Koriste se i kombinacije tih drugih kemijskih sredstava.

Kod kemijskog nagrizanja, dijelove koji trebaju ostati nenagriženi prekrivaju se plastičnim maskama. Dubina nagrizanja ovisi o vremenu držanja predmeta u kupki.

## 15.3 Još nekoliko metoda za skidanje strugotina

### 1. Tokarska obrada rotirajućim nožem

Rotacijom noža, od momenta do momenta u zahvat dolazi novi dio alata, a pretходни se ohladi dok ponovno dođe u zahvat. Takovi noževi su znatno dugotrajniji a površina predmeta je kvalitetnija uz veće brzine rezanja. Izdašnjost ove obrade je 5 do 7 puta veća od klasične.



### 2. Obrada uz niskofrekventne oscilacije

Iako nam je trakasta ili kontinuirana strugotina povoljna s obzirom na kvalitetu površine, ona nam stvara velike probleme kod rada automata, jer nam smeta. Za rad na automatima koriste se materijali s viškom sumpora, koji čini strugotinu krutom pa se lomi. Ako se nožu dadu niskofrekventne oscilacije u smjeru napredovanja, dolazi do stanjenja strugotine, koja se sama lomi u smjeru odlaženja.



### 3. Obrada visokofrekventnim oscilacijama

Dodavanjem visokofrekventnih oscilacija od 10 - 30 kHz sitnih amplituda izazvane ultrazvučnim oscilatorima i to u tangencijalnom smjeru, poboljšana je kvaliteta površine, smanjene sile rezanja i povećana trajnost oštice. Ovaj princip koristi se kod tokarskih noževa i kod glodala a razvio se u SSSR-u.



#### 4. Obrada pri povišenim temperaturama

Kod povišenih temperatura, materijali postaju plastičniji i lakše se obrađuju. Postignuto je da se zagriju samo tanki slojevi koje se skidaju da toplina ne prodre duboko u predmet. Tim postupkom se obrađuju inače nepovoljni materijali za obradu i postiže se i 100% povećanje produktivnosti.

#### 5. Obrada eksternim brzinama

Da bi se povećala produktivnost, davno je poznato i težilo se povećanju brzina. Ali to je bilo ograničeno s materijalima reznih alata, koji nisu dozvoljavali veća zagrijavanja. Prelazom na brzine rezanja od 5 - 70 km/min, koje se postižu balističko energetskim postupcima, s brzoreznim čelicima moguće je ostvariti obradu. Kod tako velikih brzina rezanja javljaju se nove osobine, koje su dosada bile nepoznate, kao npr. debljina odlazeće strugotine je manja od postavljane, a brzina veća od brzine rada.