

7.5.10 Struženje

S struženjem se lahko proizvaja gredi, sornike, kolute, vretena, puše in tudi navoje (slika 1). Vsi obdelovanci, izdelani na tak način, so valjasti, stožčasti ali kroglasti in imajo krožni ali kolobarjasti presek.

Postopek struženja

Struženje je odrezovanje s krožnim rezalnim in podajalnim gibanjem, prečnim na smer rezanja. Pri tem izvaja obdelovanec rezalno (glavno) gibanje in orodje podajalno gibanje (slika 2).

Po smeri podajanja orodja (stružnega noža) glede na os obdelovanca se struženje deli na **vzdolžno** in **plano/čelno struženje**, z ozirom na mesto obdelave pa na **notranje** in **zunanje struženje** (slika 3).

Vzdolžno (vzdolžno-krožno) struženje se izvaja v smeri osi obdelovanca. Pristavljanje poteka v smeri x-osi proti sredini obdelovanca ter podajalno gibanje v smeri z-osi (slika 2).

Pri planem struženju (odrezovanje čelne ploskve) se dela s čelnim pomikom prečno na os obdelovanca. Pristavljanje se odvija v smeri z-osi, podajanje pa v smeri x-osi (slika 2).

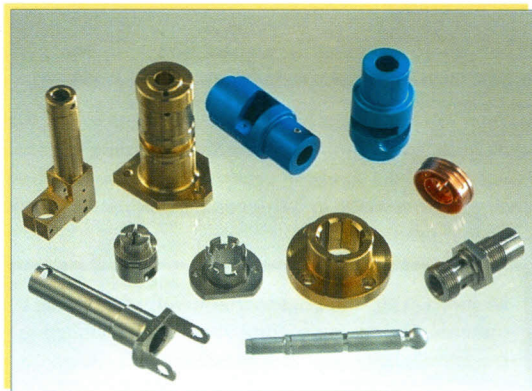
Pri **vstruženju** (izdelava krožnih žlebov) in **odrezu obdelovanca** se izvajajo enaka delovna gibanja kot pri planem struženju.

Postopki struženja obdelovancev so tudi še **zarezanje** (npr. struženje stožcev), **navojno struženje** (vrezovanje navojev) in **profilno struženje** s profilnimi noži.

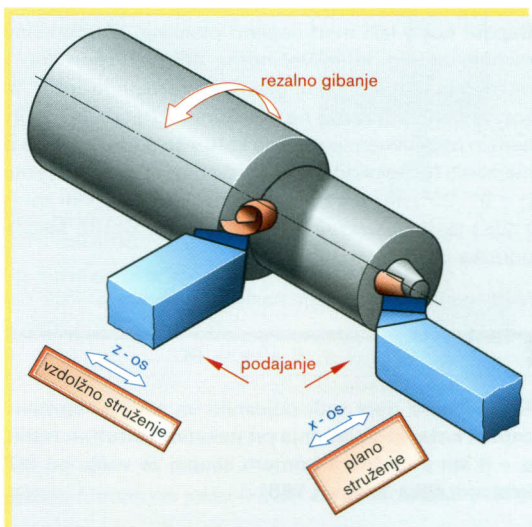
Grobo in **fino struženje** se razlikujeta po načinu odrezovanja in kvaliteti obdelane površine. Pri grobem struženju se z največjim možnim podajanjem in visoko rezalno hitrostjo odrezuje čim več materiala. Cilj je hitro približevanje obliki obdelovanca. Tako se večinoma obdeluje kos, ki bo kasneje obdelan še z drugimi postopki.

S finim struženjem se pri visoki vrtilni frekvenci in majhnem podajanju odrezujejo neznatne količine materiala. Cilj je natančna izdelava oblike obdelovanca.

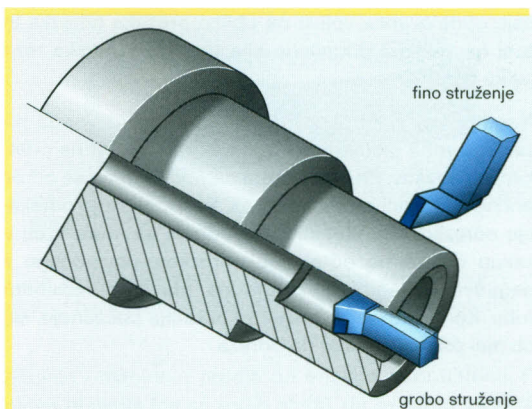
Velika prostornina odrezkov pri grobem struženju se izkazuje s sorazmerno hrapavo površino, medtem ko nastajajo pri finem struženju bistveno bolj ravne površine.



Slika 1: Obdelovanci, izdelani s struženjem



Slika 2: Vzдолžno in plano-čelno struženje



Slika 3: Notranje in zunanje struženje

Stružno orodje

Pri struženju se uporablja **stružni nož**, ki je **enorezno orodje z geometrijsko določenim rezalnim robom**.

Rezalni rob stružnega noža ustreza klinasti konici. **Kot klina β** oblikujeta (glavna) **prosta in cepilna ploskev** (slika 1, slika 2). Njegova velikost je odvisna od obdelovanega materiala in zahtevane kvalitete obdelane površine (preglednica 1).

Majhen kot klina olajša rezalnemu robu prodiranje v material, Čeprav je po drugi strani manj stabilen in predstavlja nevarnost za lom noža.

Prosti kot α zmanjšuje trenje med materialom in orodjem. Iz preglednice 1 je razvidno, da se izbira od 5° do 12° .

Cepilni kot γ leži med cepilno ploskvijo in vpenjalno ravnino orodja, ki se večinoma nahaja vzporedno z ravnino podlage v višini glavnega rezalnega roba. Ta kot med ostalim vpliva na odtekanje odrezka. Pri majhnem in negativnem cepilnem kotu γ se odrezek iztrga iz materiala (lamelni odrezek). Pri srednjem cepilnem kotu ($\gamma = 5^\circ \dots 25^\circ$) nastaja trgani odrezek. Velik cepilni kot ($\gamma > 25^\circ$) in visoka rezalna hitrost skupaj tvorita tekoče odrezke, zato se jima izogibamo.

Med temi tremi koti velja naslednja povezava:

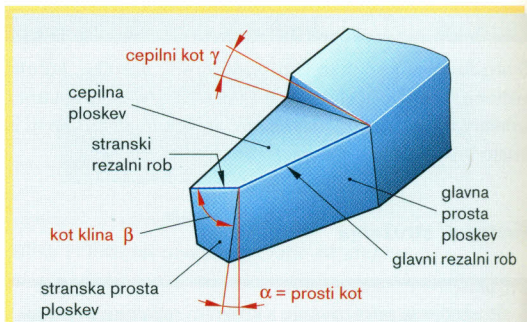
$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

Ta povezava daje tudi pojasnilo za izraz »**negativni cepilni kot**«, ki se omenja pri nekaterih stružnih nožih. $\alpha + \beta$ sta v takšnem primeru skupaj že večja od 90° (glej tudi slika 1, stran 165).

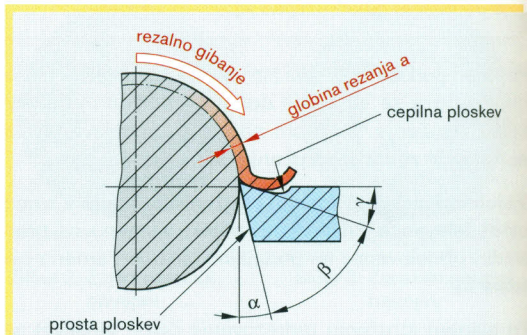
Kot konice ϵ (epsilon) oblikujeta glavni in stranski rezalni rob stružnega noža. Na nožu za grobo obdelavo znaša 90° ali več (slika 3).

Nastavni kot κ (kapa) med glavnim rezalnim robom in osjo obdelovanca vpliva na obliko preseka odrezka in tudi na velikost podajalne sile ter smer pritiska reza (slika 3).

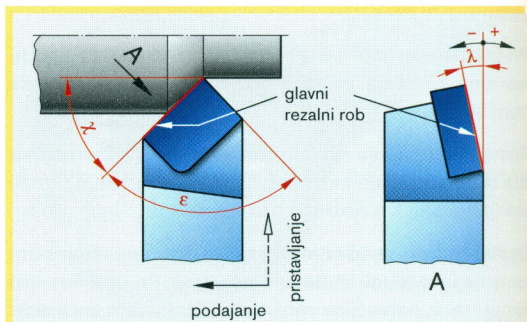
Nagibni kot λ (lambda) določa položaj glavnega rezalnega roba glede na obdelovanec in vpliva na odtekanje odrezkov. Pri pozitivnem nagibnem kotu se odrez prične na konici rezalnega roba, kar pospešuje odtekanje odrezkov. Pri prekinjenem odrezu se mora vzeti v zakup neugodno odtekanje odrezkov, povzročeno z negativnim nagibnim kotom na glavnem rezalnem robu. Konica rezalnega roba se obrablja počasneje, saj ob njej pride nazadnje do odreza.



Slika 1: Koti in površine na stružnem nožu



Slika 2: Odrezovanje pri struženju



Slika 3: Koti pri obdelavi s stružnim nožem

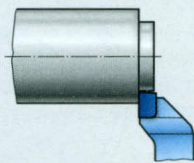
Preglednica 1: Ustrezne vrednosti cepilnega in prostega kota na stružnem nožu

| Material | Prosti kot α | Cepilni kot γ | Rezalni material |
|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|
| jeklo do $R_m = 500 \text{ N/mm}^2$ | $6^\circ \dots 8^\circ$ | $12^\circ \dots 14^\circ$ | HSS |
| | $5^\circ \dots 8^\circ$ | $10^\circ \dots 15^\circ$ | HM |
| jeklo do $R_m = 900 \text{ N/mm}^2$ | $6^\circ \dots 8^\circ$ | $8^\circ \dots 10^\circ$ | HSS |
| | $5^\circ \dots 8^\circ$ | $6^\circ \dots 10^\circ$ | HM |
| siva litina | $6^\circ \dots 8^\circ$ | 0° | HSS |
| | $5^\circ \dots 8^\circ$ | $0^\circ \dots 5^\circ$ | HM |
| Cu-Zn-zlitine | $6^\circ \dots 8^\circ$ | 0° | HSS |
| | $5^\circ \dots 8^\circ$ | $0^\circ \dots 10^\circ$ | HM |
| umetna masa | $10^\circ \dots 12^\circ$ | $8^\circ \dots 12^\circ$ | HSS |
| | $8^\circ \dots 10^\circ$ | $10^\circ \dots 12^\circ$ | HM |

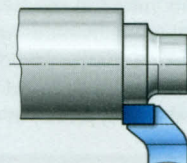
Preglednica: Vrste stružnih nožev

Desni bočni nož
ISO 6 DIN 498

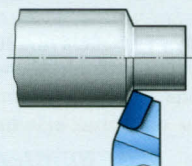
Uporablja se za fino obdelavo pri vzdolžnem in planem struženju.

**Čelni nož**
ISO 5 DIN 4977

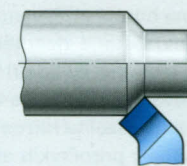
Služi za grobo odrezovanje čelnih ploskev pri planem struženju.

**Ravni nož**
ISO 1 DIN 4971

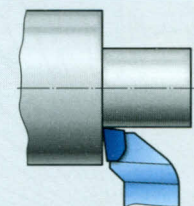
Primeren za grobo obdelavo pri vzdolžnem struženju.

**Desni upognjeni nož**
ISO 2 DIN 4972

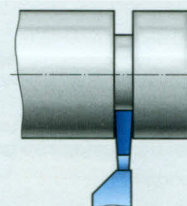
Uporaben za grobo obdelavo pri vzdolžnem in planem struženju.

**Kotni nož**
ISO 3 DIN 4978

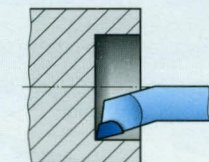
Uporaben za fino obdelavo od znotraj navzven pri vzdolžnem struženju in za struženje vogalov.

**Vstružni nož**
ISO 7 DIN 4981

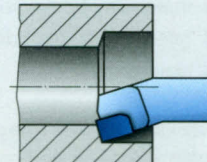
Uporaben za vrezovanje obodnih žlebov kot stružni nož ali za odstranitev obdelovanca kot rezni nož.

**Notranji kotni nož**
ISO 9 DIN 4974

Uporaben za izstruženje in fino obdelavo izvrtin (plane in bočne ploskve).

**Notranji vstružni nož**
ISO 8 DIN 4973

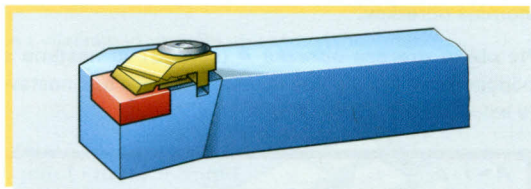
Uporaben za notranje izstruženje izvrtin pri grobem in finem struženju.



Rezalni material stružnih nožev

Pri stružnih nožih se kot rezalni materiali pretežno uporabljajo hitrorezno jeklo (HSS), karbidna trdina (HM) in oksidna keramika.

Stružni noži iz **hitroreznega jekla (HSS)** so žilavi in trdi ter primerni skoraj za vse stružne obdelave. Pri močni obrabi jih lahko brez večjih težav ponovno nabrusimo (npr. na brusilnem kolotu iz korunda). Ti noži dopuščajo obdelavo izdelkov samo z relativno nizko rezalno hitrostjo, saj se njihov rezalni učinek močno zniža zaradi manjše toplotne odpornosti HSS-materiala pri temperaturah nad 600 °C. Stružni noži, opremljeni s **karbidno trdino**, dopuščajo uporabo večjih rezalnih hitrosti. Toplotna odpornost tega rezalnega materiala se nahaja pri približno 900 °C. Večinoma se pritrdi z vijajčno zvezo na držaj noža kot obračalna rezalna ploščica ali pa poveže z njim pri trdem lotanju. Obračalna ploščica se na držaju obrača toliko časa, dokler ne otopijo vsi rezalni robovi.



Slika 1: Držaj z obračalno rezalno ploščico

Rezalni materiali iz **oksidne keramike (AlO₃)** so skrajno trdi in odporni proti obrabi, vendar zelo občutljivi na udarce. Pri zelo visokih rezalnih hitrostih lahko dosežejo rezalno temperaturo celo do 1300 °C. Tudi ti materiali se vstavljajo v obliki obračalnih rezalnih ploščic.

Hladilno mazalna sredstva zmanjšujejo trenje in podaljšujejo obstojnost orodja pri enaki rezalni hitrosti. Pri orodjih iz karbidne trdine mora biti zagotovljeno neprekinjeno hlajenje (če se sploh hladi), da se zaradi različnih notranjih napetosti po ohlajanju prepreči nastanek razpok na rezalnem materialu.

Rezalna hitrost pri struženju

Odrezek se pri struženju ločuje od obdelovanca z rezalno hitrostjo v_c . Rezalna hitrost ustreza obodni hitrosti obdelovanca na stičišču s stružnim nožem (slika 1). Odvisna je od premera obdelovanca d v točki odrezovanja in od vrtilne frekvence delovnega vretena n (glej primer in slika 2). Izračunamo:

$$v_c = \pi \cdot d \cdot n \quad 1 \text{ m/min} = 1 \text{ m} \cdot 1/\text{min}$$

Rezalna hitrost pri konstantni vrtilni frekvenci (= številu vrtljajev) ostane nespremenjena pri vzdolžnem struženju, medtem ko se pri planem struženju proti centru obdelovanca zmanjšuje tja do $v_c = 0 \text{ m/min}$ (slika 1).

Dopustna rezalna hitrost pri odrezovanju obdelovanca se poišče v priročnikih ali v razpredelnicah med podanimi vrednostmi, ki so bile ugotovljene s poskusi.

Rezalna hitrost je odvisna od naslednjih pogojev:

- materiala orodja,
- želene obstojnosti orodja,
- podajanja,
- globine rezanja,
- materiala obdelovanca,
- želene kvalitete obdelane površine,
- hlajenja.

Prevelika rezalna hitrost preobremeni stružni nož. Zaradi toplote, ki je posledica trenja, pride tudi do predčasne obrabe rezalnega roba.

Podajanje in prerez odrezka

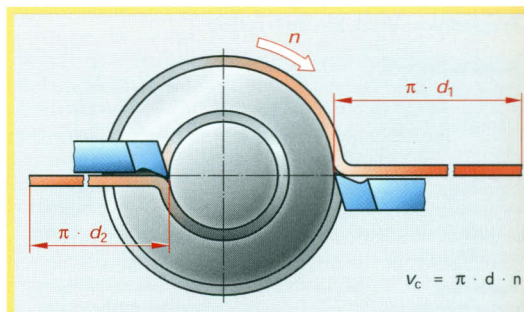
Podajanje f ima znaten vpliv na kvaliteto stružene površine. Pri gladkem struženju se zato izbere majhno podajanje od 0,05 mm/obrat do 2,2 mm/obrat. Večje podajanje se izbere pri grobem struženju. Z večjim podajanjem se pri grobem struženju poveča tudi prostornina odrezkov.

Na obliko **prereza odrezka A** (slika 3), ki nastane s podajanjem f in z globino rezanja a_p , vpliva tudi nastavn kot κ (slika 3, stran 184).

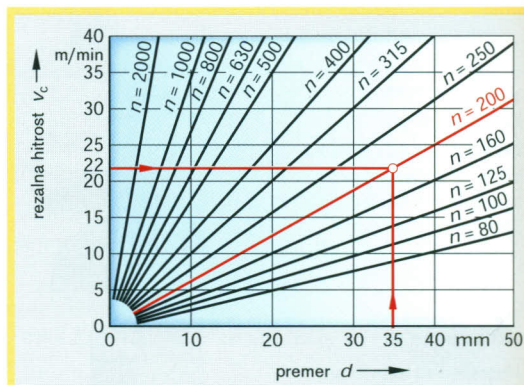
$$A = f \cdot a_p \quad 1 \text{ mm}^2 = 1 \text{ mm} \cdot 1 \text{ mm}$$

Prerez odrezka in s tem povezana prostornina odrezkov sta odvisna od zmogljivosti in stabilnosti stružnice ter od rezalnega materiala stružnega noža.

Ugodne prereze odrezkov dosežemo z veliko globino rezanja pri istočasno majhnem podajanju (razmerje približno 3 : 1 do 8 : 1). Sila rezanja in zaradi trenja razvita toplota sta manjši, zato je obstojnost rezila večja.



Slika 1: Različni rezalni hitrosti pri nespremenjeni vrtilni frekvenci planega struženja



Slika 2: Določanje vrtilne frekvence delovnega vretena n v min^{-1}

Primer: Treba je nastaviti vrtilno frekvenco delovnega vretena.

Podano: $v_c = 22 \text{ m/min}$, $d = 35 \text{ mm}$

Iskano: $n = ? \text{ 1/min}$

a) izračun:

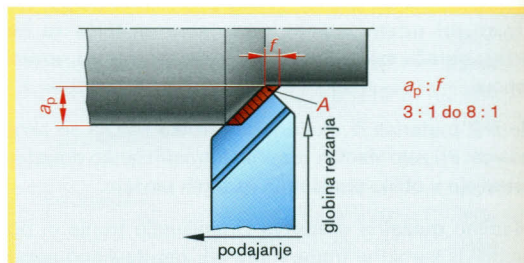
$$n = \frac{v_c}{d \cdot \pi}$$

$$n = \frac{22 \text{ m/min}}{0,035 \text{ m} \cdot \pi} = 200,08 \text{ min}^{-1}$$

b) določeno iz mrežnega diagrama:

$$n = 200 \text{ min}^{-1}$$

Upoštevacite: Če izračunane vrtilne frekvence ni mogoče točno nastaviti, se izbere prva nižja frekvenca!



Slika 3: Prerez odrezka

Stružnice

Sodobna proizvodnja na stružnicah postavlja razne zahteve, katerim se lahko zadosti le z različnimi konstrukcijami, kot so npr. struženje med konicami, stružni avtomati, krmiljeni s krivuljnimi bobni, CNC-stružni avtomati, prilagodljive stružne celice, pokončne (karuselske) stružnice. Univerzalne in namenske stružnice se razlikujejo po dejanskem področju uporabe. V nadaljevanju je razložen primer klasične stružnice z vijačnim in utornim vretenom ter njen nadaljnji razvoj v smeri CNC-stružnice (glej poglavje 7.7). Klasična in CNC-stružnica predstavljata univerzalno stružnico, kar pomeni, da se s takšnimi strojema lahko izvajajo skoraj vsa stružna opravila (slika 1).

Glavni dimenziji stružnic sta: **višina konic** in **uporabna dolžina** med konicama. Višina konic se meri od vodil postelje do sredine delovnega vretena. Uporabna dolžina je največja dolžina obdelovanca, ki se še lahko vpne med konicami.

Stružnica z vijačnim in z utornim vretenom se uporablja za izdelavo posameznih delov in za izdelavo manjših serij. Sestavljena je iz več sklopov. **Vretenik** je okrov z glavnim pogonom (elektromotor) in delovnim vretenom. V njem je nameščeno glavno vreteno, ki služi spreminjanju vrtilne frekvence. Glavno vreteno z istočasnim pogonjanjem **podajalnega predležja** omogoča ustrezne podajalne nastavitve za dejanska stružna opravila.

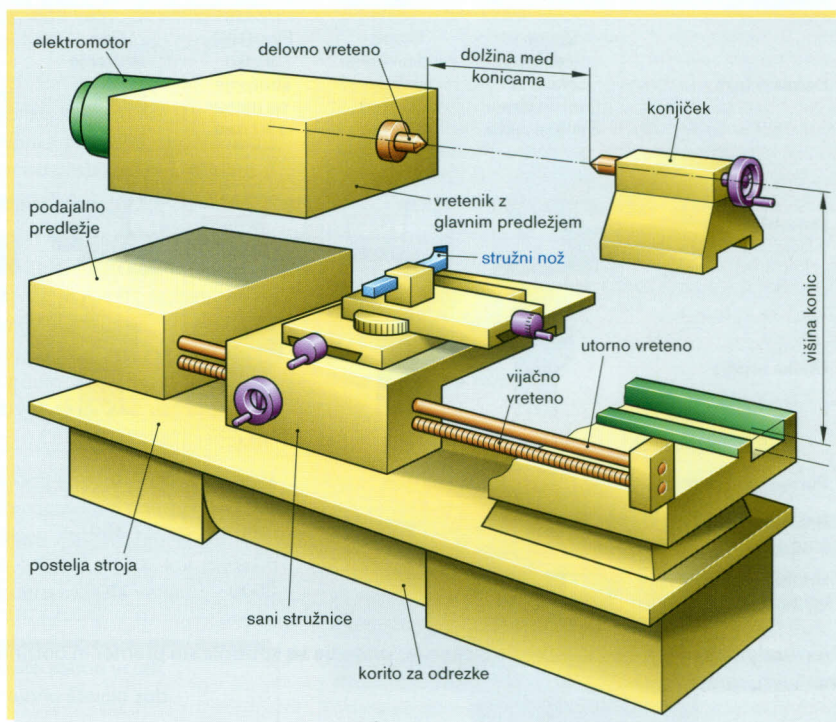
Podajalno predležje poganja **utorno vreteno**, ki zatem preko polžastega prenosnika omogoča avtomatsko prečne ali dolžinske pomike.

Vijačno vreteno je namenjeno samo vrezovanju navojev, ko se z dvodelno zaskočno matico poveže s sanmi na stružnici.

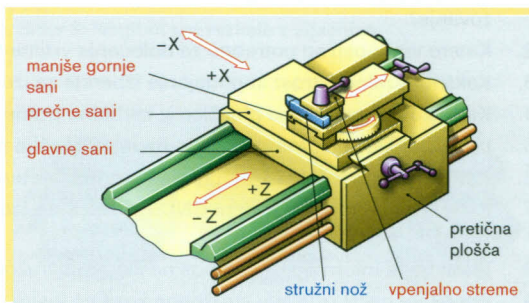
Sani stružnice sestojeta iz glavnih, prečnih in iz manjših gornjih sani (slika 2) s stremenom za vpenjanje stružnega noža. Te navzkrižno postavljene sani se premikajo s strojnim prenosom ali ročno s pomočjo gonilnega vretena in zobatega droga v smeri Z-osi.

Na prednji strani glavnih sani je **pretična plošča**, v kateri se nahajajo pogoni za premikanje sani po vodilih v vzdolžni in prečni smeri. **Prečne sani** se premikajo z vijačnim vretenom. Te sani izvajajo prečne pomike v smeri X-osi. Stružni nož se vpne na **gornje manjše sani**, ki so povezane s prečnimi sanmi preko vrtljive plošče tako, da se npr. pri stožčastem struženju lahko obrnejo postrani.

Konjiček (slika 1) služi kot oporni ležaj s konico pri obdelavi daljših kosov in za vpenjanje raznih orodij, kot so svedri, povrtala in grezila.



Slika 1: Bistveni sklopi stružnice z vijačnim in utornim vretenom (shematsko)

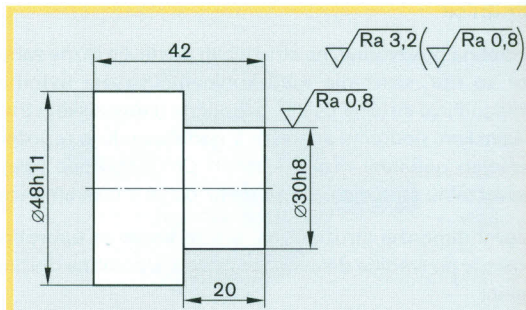


Slika 2: Sani na stružnici

Primer struženja – delovna pravila

S stališča racionalne proizvodnje se mora pripraviti načrt izdelave tudi pri izdelavi posameznega kosa in pri majhnih serijah.

- pri tem je potrebno upoštevati naslednje točke:
- po možnosti uporabite malo orodij,
- obdelovanec karseda malo pritrjujte in vpenjajte,
- obdelujte z optimalno nastavljenim številom vrtljajev in podajanjem,
- dosežite dobro obstojnost orodja z upoštevanjem delovnih pravil.



Slika 1: Sornik

Preglednica 1: Izdelava sornika

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|--|--|--------------------------------|---|
| Delovna faza | Vpetje v tričeljustno glavo in fino struženje čelne ploskve | Grobo predstruženje na mero $\varnothing 31$ mm | Fino [H8] gladko struženje na mero $\varnothing 30$ mm | Fino struženje na mero $\varnothing 48$ mm | Odrež sornika na dolžino 43 mm | Fino plano struženje čelne ploskve na dolžino 42 mm |
| Delovni postopek (skica) | | | | | | |
| Oblika orodja | | | | | | |
| Rezalni material | HM | HM | HM | HM | HSS | HM |
| Podajanje f [mm/vr] | 0,1 | 0,4 | 0,05 | 0,1 | 0,8 | 0,1 |
| Rezalna hitrost v_c v m/min | 280 | 200 | 280 | 280 | 24 | 280 |
| Vrtilna frekvenca n v 1/min | 1600 | 1250 | 2500 | 1600 | 160 | 1600 |

Pred vsakim vpetjem oziroma pred sprostitvijo iz vpetja se kontrolirata premer in dolžina obdelovanca s primernim merilnim orodjem.

Naloga:

1. Kateri koti se menjajo, če stružni nož ni nastavljen v sredino obdelovanca, in kakšne posledice ima to za odrezovanje?
2. Katere vrednosti so potrebne za določanje vrtilne frekvence na stružnici?
3. Kakšno rezalno hitrost in podajanje izberete za izdelavo gladkih površin obdelovanca?
4. Katero prednost nudijo ploščice iz karbidne trdine v primerjavi s stružnimi noži iz hitroreznega jekla?
5. Izdelajte skico stružnega noža in na njej označite prosti kot, kot klina in cepilni kot.
6. Kateri sklopi stružnice z vijlačnim in utornim vretenom so udeleženi pri prenosu energije na obdelovanec?
7. Kateri novi sklopi so dodani CNC-stružnici, da lahko računalniški program krmili gibanje orodja in obdelovanca?
8. Primerjajte informacijski prenos na klasični stružnici s prenosom na CNC-stružnici.
9. Pripravite načrt izdelave stružnega kosa po lastni izbiri s pomočjo zgoraj izvedenega primera.