

OBRADA GLODANJEM

Glodanje u opštem slučaju je takav vid obrade rezanjem kod koga se složenim kretanjem i pogodnim oblikom alata obezbeđuje realizacija različitih ravnih i profilisanih površina trodimenzionalnog ne cilindričnog obratka.

U posebnim slučajevima, korišćenjem dopunskog pribora ili radom na specilalnim mašinama, moguće je izraditi i potpune ili delove cilindričnih ili nekih drugih krivih površina.

Glodanje je u mnogo čemu slično drugim metodama obrade rezanjem, međutim, ima i niz specifičnosti kao što su: periodičan proces rezanja praćen udarima, promenljiva veličina reznog sloja, promenljiv broj zuba u zahvatu, promenljivi otpori rezanja i td.

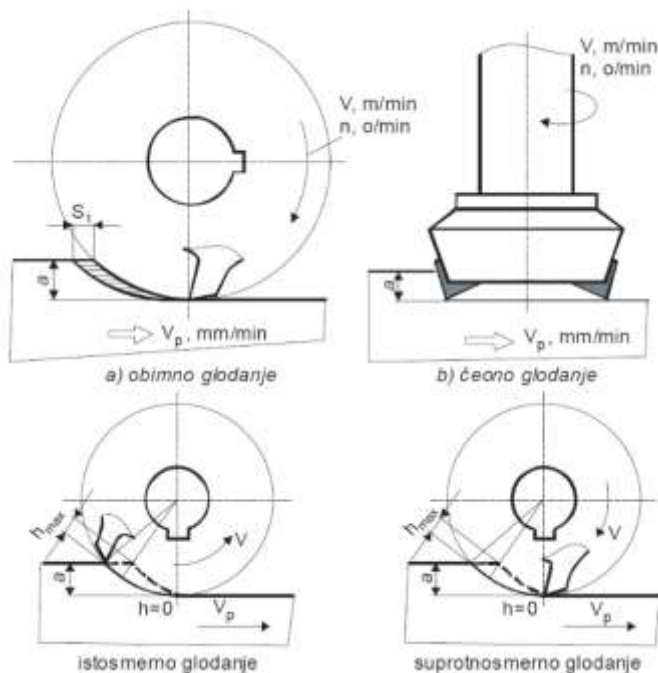
OSNOVNA KRETANJA PRI OBRADI GLODANJEM

U opštem slučaju glavno kretanje je obrtno i izvodi ga alat, a pomoćno kretanje je pravolinijsko i izvodi ga obradak. Ova kretanja su automatska i u najvećem broju slučajeva međusobno nezavisna.

Odstupanja su kada se radi sa podeonom glavom pri izradi zavojnih žljebova, pri čemu obradak vrši obrtno i pravolinijsko kretanje ili u slučaju kopirnog glodanja kada alat vrši glavno obrtno i pomoćno pravolinijsko kretanje.

Operacije glodanja se dele na dve osnovne grupe:

- Obimno glodanje (najčešće na horizontalnim mašinama)
- Čeono glodanje (najčešće na vertikalnim mašinama)



Obimno glodanje se izvodi sa alatima (glodalima) kod kojih su sečiva (zubi) raspoređeni po periferiji alata. Obradena površina je paralelna sa osom obrtanja alata.

Čeono glodanje se izvodi sa alatima (glodalima) kod kojih su sečiva (zubi) raspoređeni po periferiji alata ili čeono. Obradena površina je normalna na osu obrtanja alata. Ovo je najčešći vid izrade žljebova za klinove na vratilima.

Ukoliko su smerovi glavnog i pomoćnog kretanja isti, takvo glodanje se naziva istosmerno, međutim, ako su njihovi suprotni, naziva se suprotnosmerno. Ako se istim glodalom i na istom predmetu obrade deo površine obrađuje istosmernim, a deo površine suprotnosmernim takvo glodanje se naziva kombinovano.

Obimno glodanje može biti istosmerno i suprotnosmerno, dok čeonno glodanje može biti istosmerno, suprotnosmerno i kombinovano.

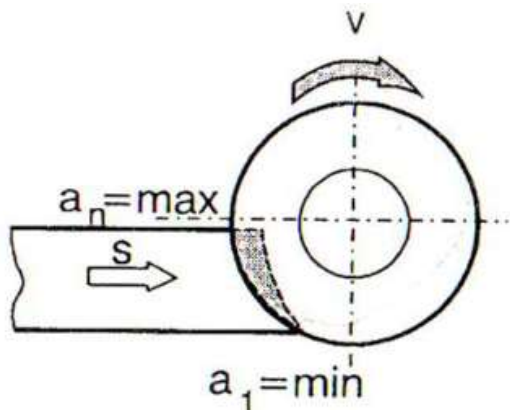
Pri suprotnosmernom na početku rezanja glodalo najpre klizi po površini predmeta obrade, a zatim postepeno odvaja rezni sloj. Usled klizanja i gnječenja leđne površine zuba, obrađena površina je sjajna – uglačana, ali i talasasta bez velike dimenzione tačnosti i sa slabijim kvalitetom obrađene površine.

Presek reznog sloja se menja od minimalnog, na početku, do maksimalnog na kraju rezanja jednog zuba, a time i otpori rezanja. Sila rezanja zuba ima takav smer da teži da predmet obrade odigne od radnog stola, a samo glodalo ga pritiskuje na radni sto.

Strugotina se menja od minimalnog ka maksimalnom preseku i zaklanja glavno sečivo i grudnu površinu tako da je otežano hlađenje.

Imajući u vidu sve prethodno, suprotnosmerno glodanje se koristi za male dubine rezanja.

Suprotnosmerno čeonno glodanje:



Kod istosmernog glodanja zubi alata najpre zahvataju puni presek stugotine koji se u daljem kretanju smanjuje ka nuli.

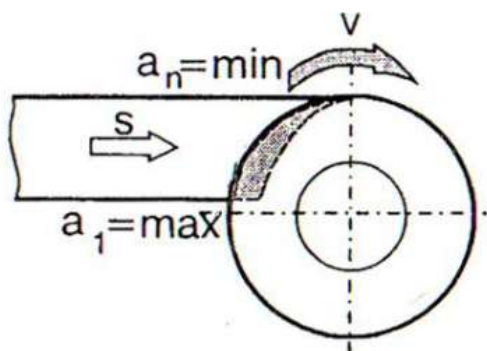
Presek reznog sloja se menja od maksimalnog, na početku, do minimalnog na kraju rezanja jednog zuba, a time i otpori rezanja.

Vertikalna komponenta sile rezanja pritiska predmet obrade prema radnom stolu, a horizontalna teži da poveća presek reznog sloja, tj. da privuče predmet obrade glodalu. Za vreme obrade obradak je praktično u kontaktu samo sa grudnom površinom i glavnim sečivom.

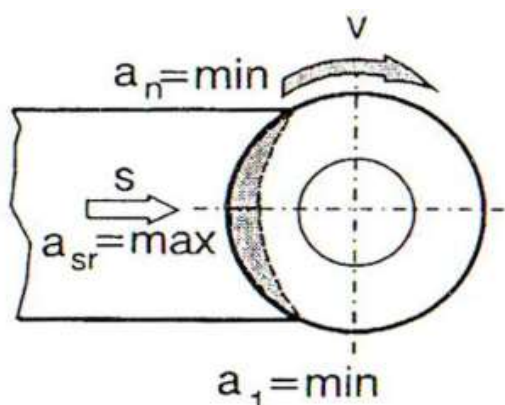
Kako pri izlasku iz zone rezanja aktivni zub počinje da se odmiče od radnog predmeta, nema klizanja i bilo kakvog kontakta sa leđne površine alata i obrađene površine radnog predmeta. S toga površina nije glatka i sjajna, ali nije ni talasasta i sa višom je dimenzionom tačnosti i većim kvalitetom obrađene površine.

Dubine rezanja mogu biti veće. Pristup tečnosti za hlađenje i podmazivanje u zoni rezanja je bolji pa su kod istosmernog glodanja moguće veće brzine.

Istosmerno čeono glodanje:



Kombinovano glodanje javlja se samo kod čeonog glodanja



REŽIMI REZANJA PRI OBRADI GLODANJEM

Režim obrade obuhvata osnovne ili bazne elemente obrade koji definišu međusobni položaj i relativno kretanje između alata i obratka u toku izvođenja procesa obrade. Određuje se za svaki zahvat, i zavisi od metoda obrade obuhvata brzinu rezanja v , dubinu rezanja t , broj obrtaja obratka ili alata n , odnosno broj duplih hodova obratka ili alata, korak s , ili brzina pomoćnog kretanja v_p i broj prolaza, itd.

Brzina rezanja u obradi glodanjem predstavlja obimnu brzinu glodala:

$$V = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000}, [m/min]$$

, gde su: D , mm - prečnik glodala i n , o/min - broj obrtaja glodala.

Broj obrtaja glodala se računa prema brzini rezanja:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{D \cdot \pi}, [o/min]$$

Korak po zubu glodala s_z [mm/z] zavisi od vrste materijala koji se obrađuje, alata i dubine rezanja. Korak po obrtaju glodala se izračunava kao:

$$s = s_z \cdot z, [mm/o]$$

Često se izračunava i brzina pomoćnog kretanja V_p po obrascu:

$$V_p = s_z \cdot z \cdot n, [mm/min]$$

Brzine pomoćnog kretanja kod obrade glodanjem se kreću kod grube obrade između 100 i 500 mm/min dok se kod fine obrade kreću od 10 do 50 mm/min.

Dubina rezanja t [mm] zavisi od alata i snage mašine. Postoje različite tablice i preporuke za dubinu rezanja u zavisnosti od materijala predmeta obrade.

OTPORI REZANJA PRI OBRADI GLODANJEM

U opštem slučaju, u procesu glodanja više zuba se istovremeno nalazi u kontaktu sa materijalom tj. učestvuje u procesu rezanja. Zbog toga se otpori rezanja određuju na osnovu posmatranja otpora rezanja jednog zuba, a zatim uzimanjem u obzir broj zuba glodala koji su istovremeno u kontaktu sa materijalom obratka dolazi se do ukupnog otpora.

Složenost geometrije glodala kao višesečnog alata otežava detaljno obuhvatanje i proučavanje svih uticajnih faktora na otpore rezanja.

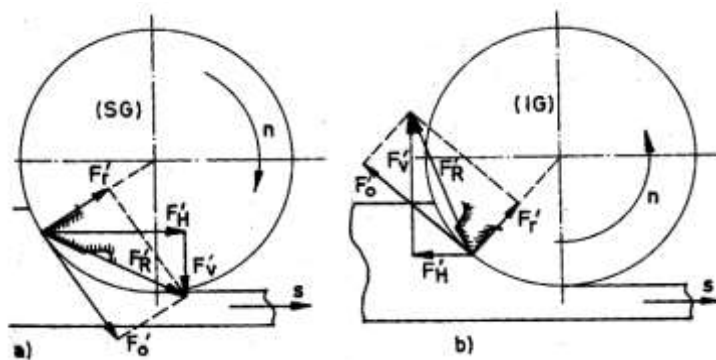
Prema slici je:

F_o' – obimna sila ili glavni otpor rezanja po jednom zubu glodala u ma kojem njegovom random položaju. Ova sila ima pravac tangente na kružnoj konturi glodala u tački u kojoj se posmatra otpor rezanja.

F_r' – radialna sila, pravac ove sile je upravan na pravac sile F_o' i uz to prolazi kroz obrtnu osu glodala. Vektorskim zbirom ovih sila dobija se rezultanta otpora rezanja jednog zuba glodala $F_{R'}$. S druge strane rezultujući otpor se može razložiti na dve sile:

F_v' – vertikalna komponenta otpora rezanja, pravac ove sile je upravan na obrađenu površinu.

F_H' – horizontalana komponenta otpora rezanja, pravac ove sile je paralelan sa pravcem pomoćnog kretanja obratka odnosno glodala.



Pri obimnom glodanju glodalima sa pravim zubima otpor rezanja po jednom zubu u ma kojoj fazi rezanja iznosi:

$$F_o' = k \cdot s_\varphi$$

Pri čemu je:

$k = \frac{C_F}{s_\varphi^u}$ - specifični otpor rezanja koji se menja s presekom strugotine,

s_φ - debljina strugotine koja dolazi na jedan zub glodala,

C_F, u - parametri obradivosti

Pa tako imamo,

$$F_o' = \frac{C_F}{s_\varphi^u} \cdot s_\varphi = C_F \cdot s_\varphi^{1-u} = C_F \cdot s_z^{1-u} \cdot \sin^{1-u} \cdot \varphi$$

Otpor prodiranja sečiva u materijal obradka ima radijalan pravac, odnosno prolazi kroz dato sečivo i obrtnu osu glodala. Pa se ovaj otpor računa po jednačini:

$$F_r = \varepsilon \cdot F_o'$$

Gde je $\varepsilon = 0,2 \div 0,8$ što zavisi od geometrije sečiva glodala i drugih uslova u kojima se izvodi proces rezanja.

Maksimalna komponenta otpora rezanja po jednom zubu obimnog glodala za širinu glodanja B [mm] nastaje za vrednost ugla φ , pa je:

$$F_o' = C_F \cdot B \cdot s_z^{1-u} \cdot \sin^{1-u} \cdot \varphi$$

$$F_r = \varepsilon \cdot C_F \cdot B \cdot s_z^{1-u} \cdot \sin^{1-u} \cdot \varphi$$

Otpori izračunati po predhodnim jednačinama su merodavni za proračun maksimalne otpornosti zuba glodala.

Rezultujući otpor rezanja se može razložiti na horizontalnu i vertikalnu komponentu, pa se njihove vrednosti mogu izračunati prema izrazima:

$$F_H = C_F \cdot B \cdot s_z^{1-u} \cdot (a_1 + \varepsilon a_2)$$

$$F_V = C_F \cdot B \cdot s_z^{1-u} \cdot (a_2 + \varepsilon a_1)$$

$$F_R = \sqrt{F_V^2 + F_H^2}$$

Glavni otpor rezanja po jednom zubu F_o' pri obimnom glodanju čini samo deo ukupnog glavnog otpora rezanja koji se može dobiti sabiranjem svih komponenta sila koje deluju na pojedine zube glodala koji su uključeni u datom momentu u proces rezanja.

Ovaj se zbir naziva srednjom obimnom (glavnom) silom rezanja i obeležava se sa F_{mo} . Izračunavanje ove sile se izvodi indirektnim postupkom preko analize rada prvo jednog, a zatim svih zuba glodala koji su u datom momentu uključeni u proces rezanja.

Tako da je elementarni rad jednog zuba u procesu rezanja:

$$NJ_1 = \frac{2^{1-u}}{2-u} \cdot C_F \cdot B \cdot s_z^{1-u} \cdot t^{1-\frac{u}{2}} \cdot D^{\frac{u}{2}} \quad [daNmm]$$

Rad svih zuba glodala će biti:

$$NJ = NJ_1 \cdot Z = F_{mo} \cdot D \cdot \pi [daNmm]$$

Pa je srednja obimna sila rezanja jednog sečiva obimnog glodala data vezom.

$$F_{mo} = \frac{W_1 \cdot Z}{D \cdot \pi} = \frac{2^{1-u}}{(2-u) \cdot \pi} \cdot \frac{C_F \cdot B \cdot s_z^{1-u} \cdot t^{1-\frac{u}{2}} \cdot z}{D^{1-\frac{u}{2}}} \quad [daN]$$

gde je:

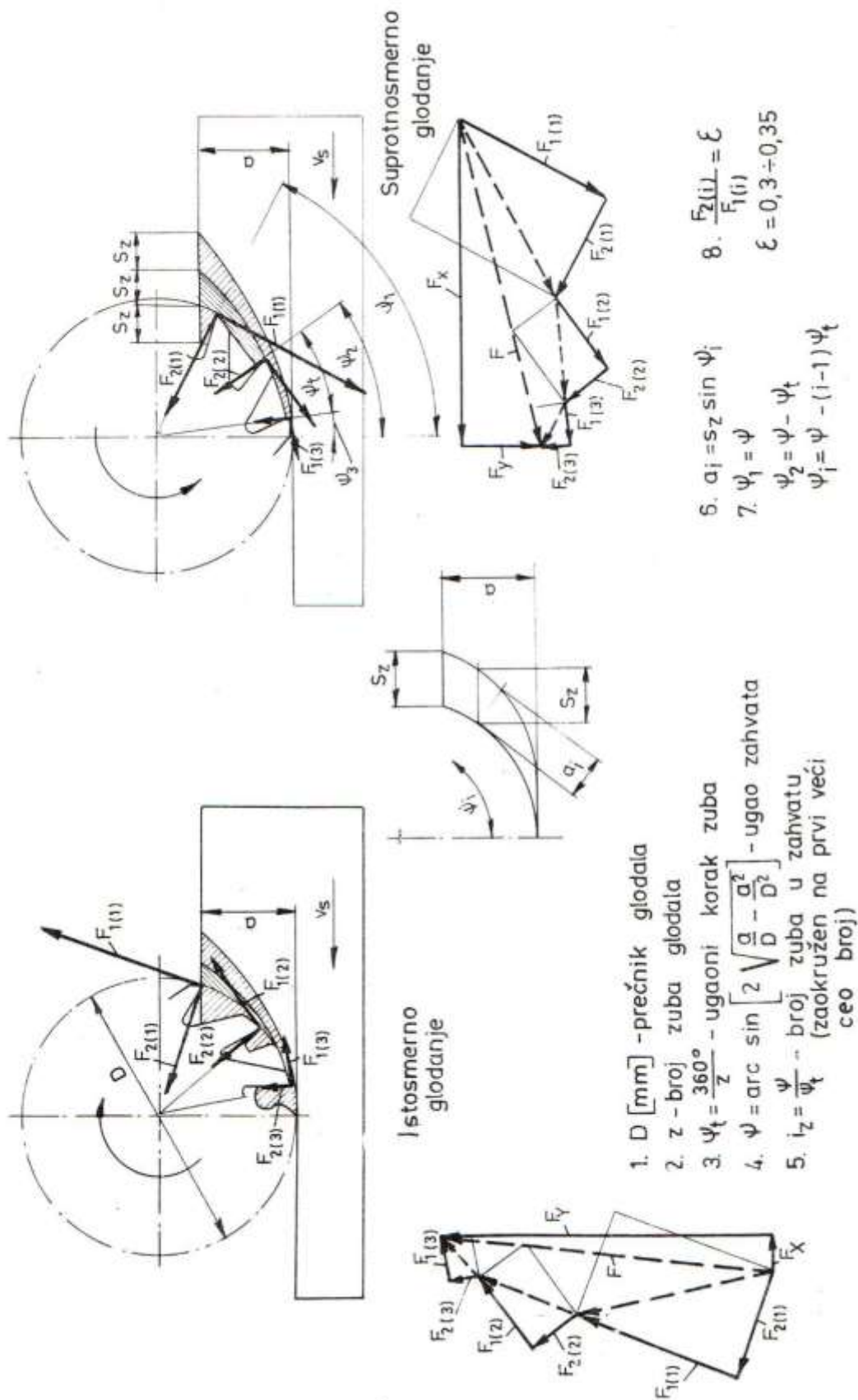
C_F - primarni parametar obradivosti glodanjem,

D [mm] - prečnik glodala

z - broj zuba glodala

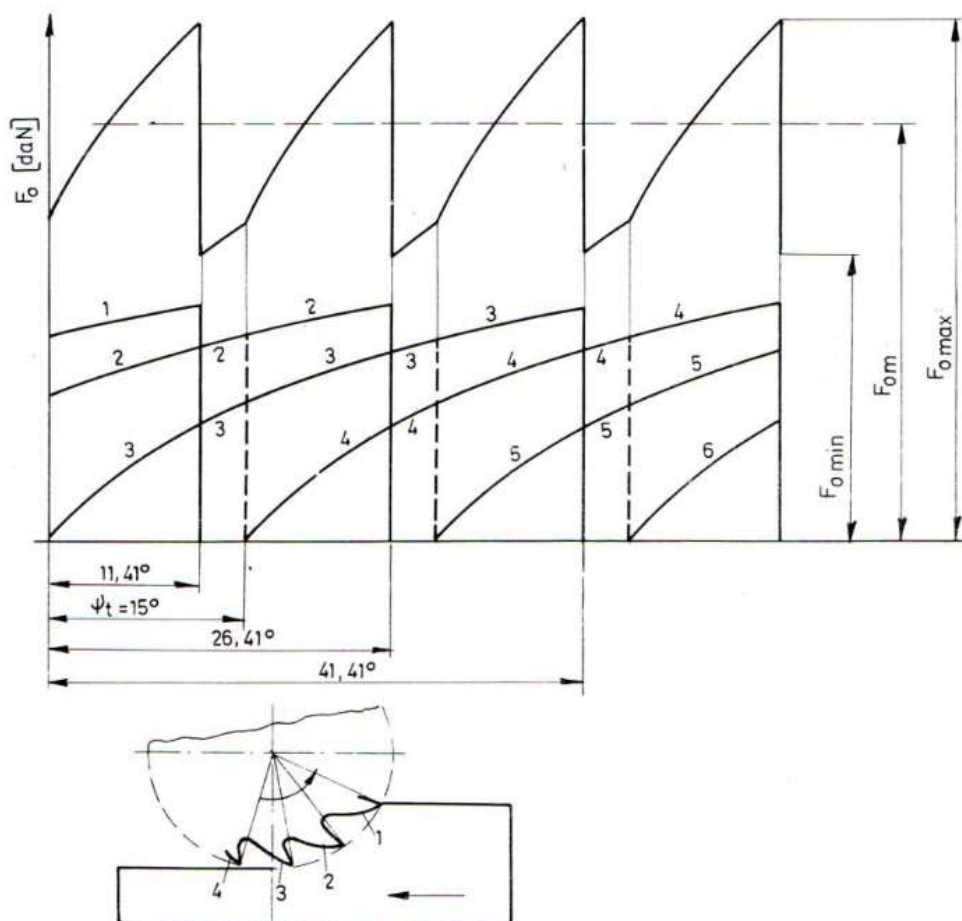
t [mm] - dubina rezanja

B [mm] - zahvaćena širina rezanja pri obradi.



Slika 36. Šema sila pri glodanju

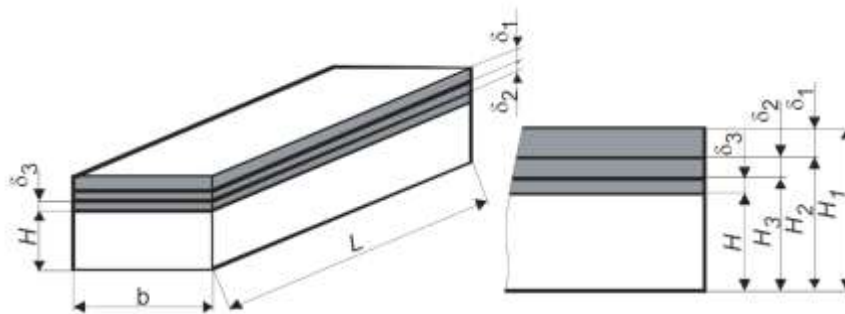
Na slici 37. data je zavisnost otpora rezanja u zavisnosti od broja zuba u zahvatu.



DODACI ZA OBRADU GLODANJEM

Konkretno vrednosti dodatka za grubo (δ_1) i fino (δ_2) glodanje dobijene su istraživanjem i date u formi preporuka. Pri biranju, relevantni parametri su dimenzije površine obrade i debljina predmeta obrade.

Postizanje odgovarajuće forme izratka prema konstruktivnim karakteristikama, upućuje na usaglašavanje ukupnog dodatka za obradu sa preporučenim vrednostima i potrebnim brojem prolaza (i) kako bi se ukupan višak materijala pretvorio u strugotinu.



Slika 30. Dimenzije obratka i dodaci za obradu grubo (δ_1) i fino (δ_2) glodanje i (δ_3) za završnu oradu brušenjem ako je potrebno.

To znači da se obrada određene površine glodanjem obavlja iz više prolaza i da za svaki postoji odgovarajuća dubina rezanja (a). Dubina rezanja kod glodanja jednaka je dodatku za obradu u jednom prolazu.

Dakle, dodatak za obradu jednak je ukupnoj razlici između obrađene i polazne površine, dok je dubina rezanja razlika između polazne i ostvarene u jednom prolazu. Ove vrednosti su nepromenljive za jedan prolaz, ali presek strugotine, koga indirektno određuje dubina rezanja, nije stalan.

OPERACIJE PRI OBRADI GLODANJEM

Osnovne operacije u obradi glodanjem su obrada:

- ravnih površina,
- krivolinijskih kontura,
- površina specijalnog oblika i
- površina složenog oblika.

Obrada ravnih površina je obrada horizontalnih, vertikalnih ili nagnutih površina, izrada kanala i žljebova na ravnim i cilindričnim površinama (žljebova za klin), usecanje i odsecanje, obrada stepenastih površina i sl.

Obrada krivolinijskih kontura je obrada profilisanih površina, ispupčenja, udubljenja, zaobljenja, zavojnih žljebova, složenih kontura i sl.

Izrada i obrada površina specijalnog oblika glodanjem je izrada T - žljebova, profila prizmi, žljebova u vidu "lastinog repa", površina sa većim brojem stepenica, pravolinijskih i krivolinijskih žljebova itd.

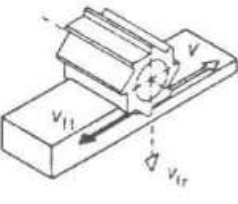
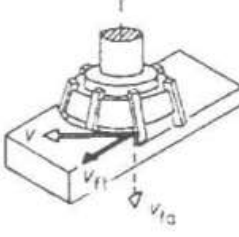
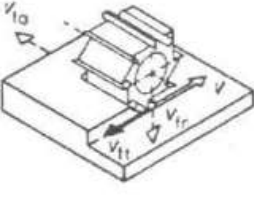
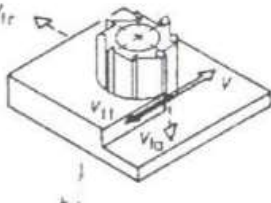
Ravno glodanje	
	
Obimno	Čeono
	
Obimno - čeono	

tabela 1. Metode ravnog glodanja

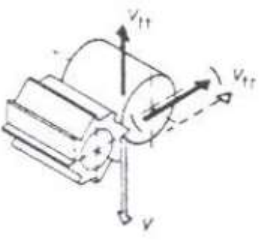
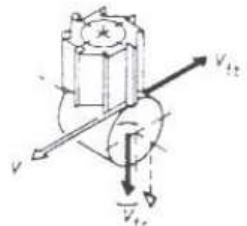
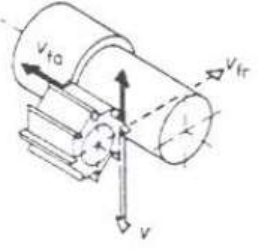
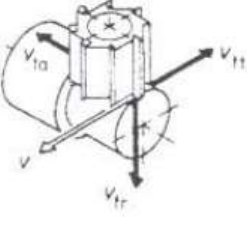
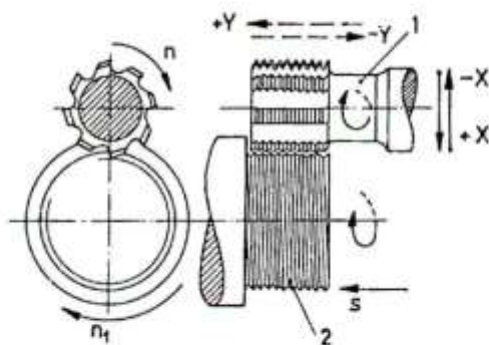
Okruglo glodanje	
	
Obimno	Čeono
	
Obimno - čeono	

tabela 2. Metode okruglog glodanja

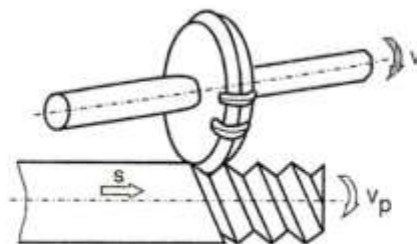
Specijalne operacije glodanja

Na ne cilindričnim radnim predmetima i radnim predmetima bez osne simetrije česta potreba je izrada navoja na pojedinim delovima složene forme. Nekada, kao jedino moguće ali često i kao veoma prihvatljivo rešenje, koristi se metod glodanja zavojnica. Primenjuje se i za spoljašnje i za unutrašnje navoje (slika 6).



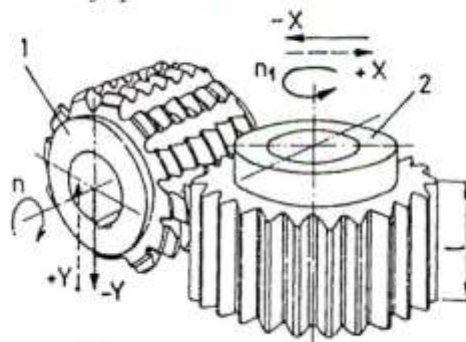
Slika 6. Izrada navoja glodanjem.

Dalja mogućnost je izrada dugih zavojnica, tj. zavojnica kod kojih postoji veliki korak. Uzdužni žljebovi (na pr. ožljebljena vratila) izrađuju se metodom relativnog kotrljanja. Glodalo je u obliku puža sa odgovarajućim profilom reznih elemenata, što je prikazano na slici 7.



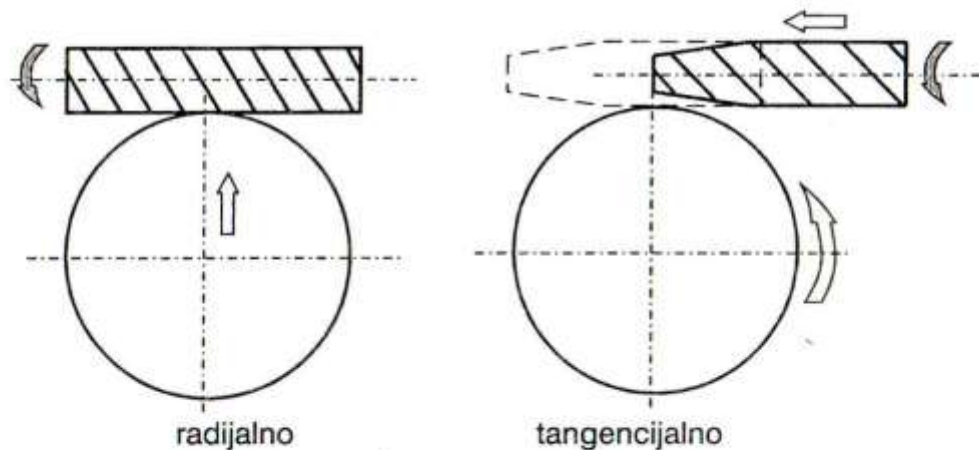
Slika 7. Izrada navojnih žljebova.

Veoma značajna mogućnost glodanja je izrada zupčanika. Postoji više različitih metoda koje su prilagođene vrsti zupčastog elementa i to je prikazano na slici 8.



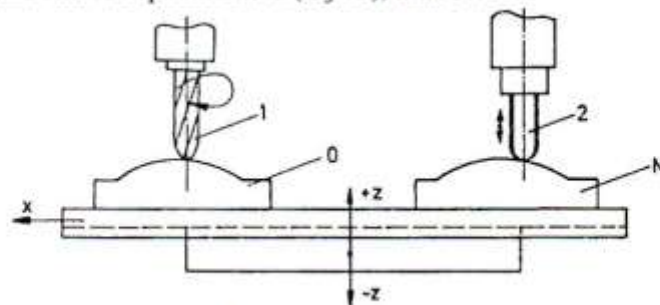
Slika 8. Metod izrade zupčanika glodanjem.

Za cilindrične zupčanike sa pravim zubima koristi se kolutasto modu-lno glodalo. Takođe za prave, ali i za zavojne zupčanike, po metodi poje-dinačnog rezanja zuba, koristi se metod sa vretenastim glodalom. Za veću tačnost i veću produktivnost kod izrade zupčanika koristi se metod relativnog kotrljanja – Fauter. Osnovna karateristika je korišćenje valjkastog glodala koje ima profil međuzublja zupčanika u formi zavojnih žljebova. Pužasti točkovi se takođe izrađuju glodanjem. Izrada koničkih zupčanika glodanjem zahteva specijalne mašine koje se međusobno razlikuju od načina ostvarivanja potrebnih kretanja i karakteristika samih zupčanika. Na slici 9. prikazana su dva načina izrade pužnog točka.



Slika 9. Načini izrade pužnog točka

Pored izrade navoja i zavojnica postoji i postupak kopirnog glodanja. Kopirna obrada glodanjem kontura ravnih ili konveksnih površina se zasniva na korišćenju glodala čiji su opšti konturni oblici reznog dela identični sa oblicima vrhova kopirnih trnova (šiljaka), slika 10.



Slika 10. Postupak kopirnog glodanja.

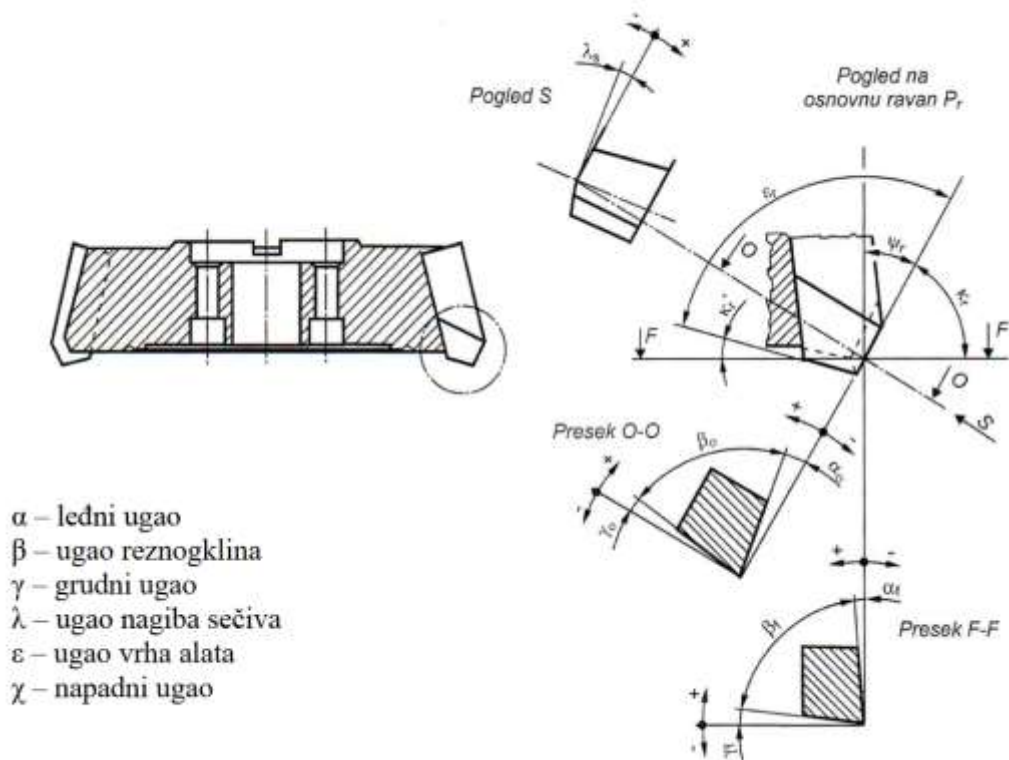
ALATI ZA GLODANJE – GLODALA

Glodala su višesečni alati cilindričnog oblika kod kojih rezni elementi – zubi raspoređeni po obimu i čeonim površinama. Glodala su osnovni alat za obradu na glodalici.

Glodala imaju više zuba, tj. više sečiva, što predstavlja prednost, jer se ona ne habaju tako brzo kao rezni alati sa jednim sečivom (noževi za struganje ili rendisanje)

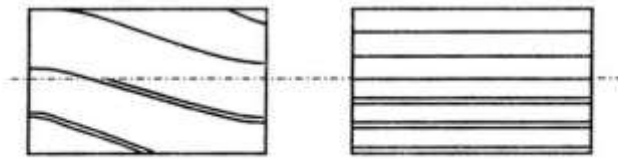
Glodala se mogu podeliti na :

- po načinu postavljanja na mašini : usadna i nasadna glodala;
- po načinu izrade: glodala sa glodanim zubima, glodala sa podstruganim zubima i glodala sa usađenim zubima;
- po osnovnom obliku: valjčasta glodala, koturasta glodala, testerasta glodala, čeona glodala, profilna glodala, ugaono – simetrična glodala, ugaono – jednostrana glodala, polukružno – ispupčena (udubljena) glodala, glodala sa noževima, glodala za žlebove za segmentne klinove, glodala za T – žlebove, odvalna glodala i glodala za navoj;
- po obliku zuba: glodala sa pravim zubima, glodala sa ukrštenim zubima i glodala sa zavojnim zubima;
- po smeru rezanja: desnorezna i levorezna glodala;
- po konstrukciji: glodala izrađena iscela i glodala sa reznim pločicama;
- po alatnom materijalu: glodala od brzoreznog čelika, glodala sa reznim pločicama od tvrdog metala i glodala sa reznim pločicama od alatne keramike.

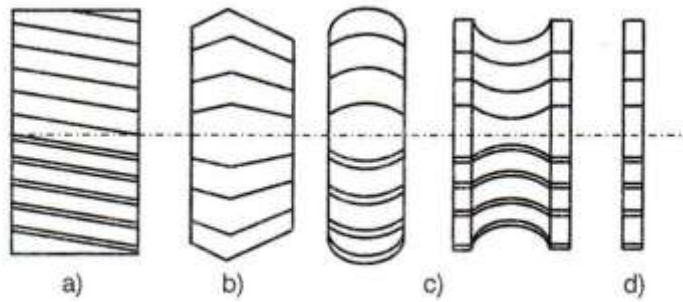


Slika 12. Geometrija glodačke glave.

VRSTE GLODALA – SLIKOVITO:

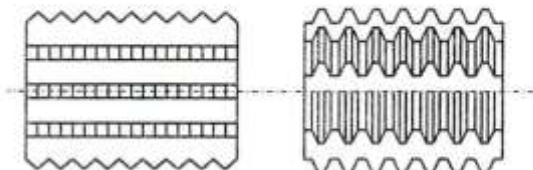


Slika 13. Valjkasta glodala sa zavojnim i pravim zubima za obradu velikih ravnih površina.

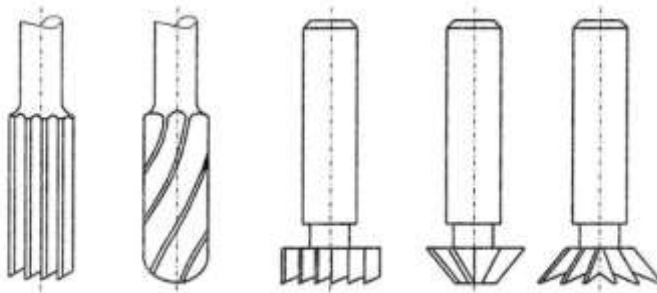


Slika 14. Glodala za rad na horizontalnim glodalicama.

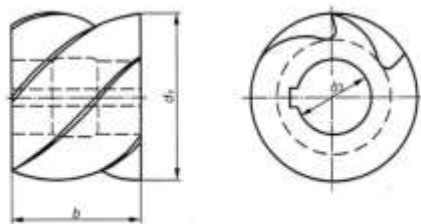
- a) koturasto glodalo sa pravim ili zavojnim zubima za obradu velikih ravnih površina,
- b) koturasto ugaono glodalo (komusno) za prelazne ravne površine, obaranje ivica, kanale,
- c) polukružno ispupčeno i polukružno udubljeno glodalo za polukružne kanale i ispupčenja,
- d) testerasto glodalo za izradu uskih kanala, prosecanje i isecanje komada.



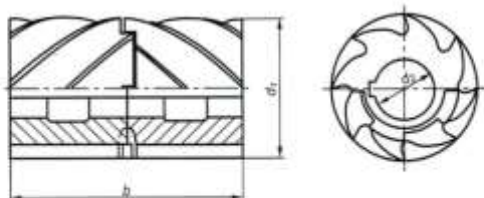
Slika 15. Valjkasto glodalo za navoj i profilno (modulno) glodalo za zupčanike.



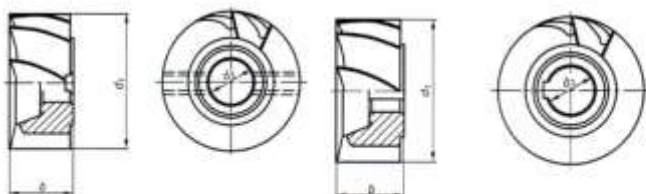
Slika 16. Vretenasta i zavojna glodala sa pravim i kosim zubima i glodala za T kanale i uglove.



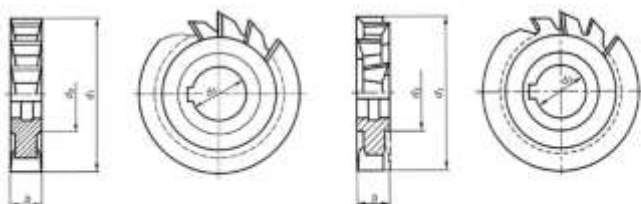
Silka 17. Valjkasto glodalo (JUS K.D2.020).



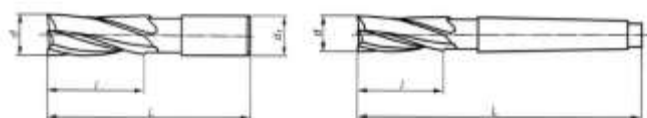
Silka 18. Valjkasto dvodelno glodalo (JUS K.D2.025).



Silka 19. Čečno nasadno glodalo sa poprečnim žljebom (levo, JUS K.D2.022) i uzdužnim žljebom (desno, JUS K.D2.021).



Silka 20. Koturasto glodalo sa praviim zubima (JUS K.D2.041) i ukrštenim zubima (JUS K.D2.040).



Silka 21. Vretenasto glodalo sa valjkastom drškom (JUS K.D2.090) i Morze – konusnom drškom (JUS K.D2.092).



Silka 22. Vretenasto glodalo sa lomacem strugotine i vretenastom drškom (JUS K.D2.095) i Morze – konusnom drškom (JUS K.D2.096).



Silka 23. Glodalo za žljebove sa valjkastom drškom (JUS K.D2.110) i glodačka glava S – MAX 145 RG60.22.