



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM



Teme dosadašnjih predavanja

Proizvodnja i obrada odvajanjem

DIN8580 i gibanja kod postupaka obrade odvajanjem

Alat (osnovni, oblik, materijali, geometrija reznog dijela)

Teorija rezanja

Plastična deformacija i formiranje odvojene čestice

“Card model” – model elementarnih lamela i ortogonalno rezanje

Koeficijenti deformacije

Vrste odvojene čestice

Područje stvaranja naljepka (naslage)

Kinematika u zoni rezanja

Sile rezanja – Merchant, koso rezanje i Kienzle

Toplinske pojave kod procesa obrade odvajanjem i SHIP

Trošenje oštrice reznih alata (uzroci, mehanizmi, oblici, parametri, kriteriji istr.)

Postojanost i metode ispitivanja postojanosti, Taylor

Postupci obrade alatima definirane geometrije reznog dijela

Piljenje; blanjanje; bušenje, upuštanje i razvrtavanje

Provlačenje, tokarenje

OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Piljenje: namjena (svrha); osnovni postupci strojnog piljenja; kinematika; stroj; alat



Okvirno piljenje

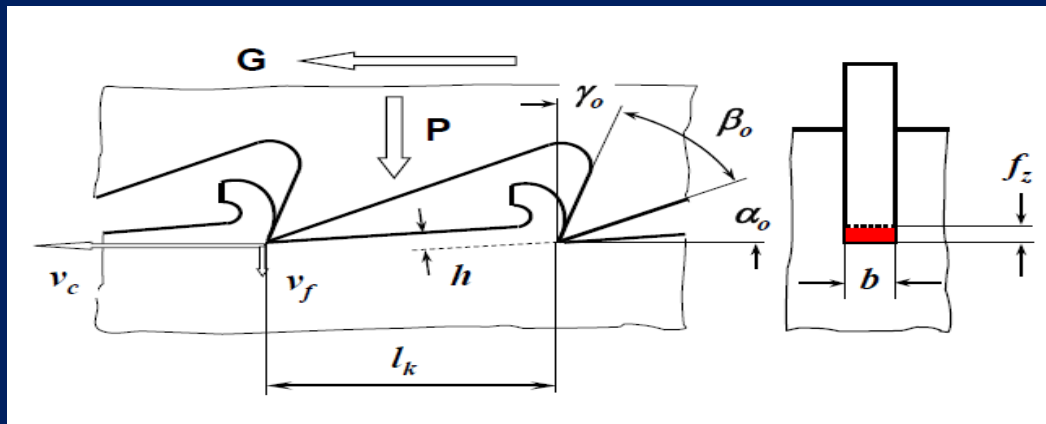


Tračno piljenje



Kružno piljenje

Parametri zahvata kod piljenja



G – glavno gibanje; P – posmično gibanje

Površina presjeka rezanja

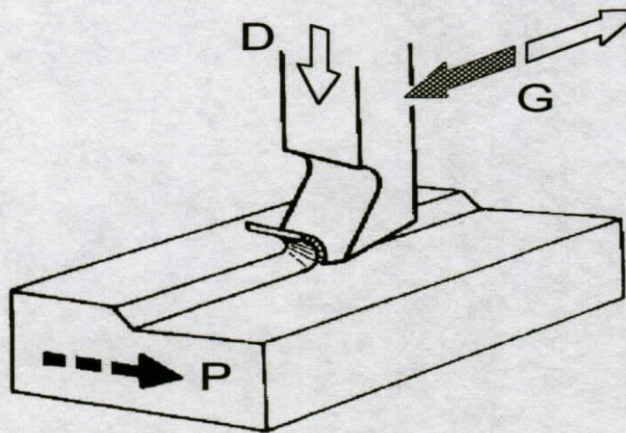
$$A = b \cdot f_z = b \cdot h$$

Posmak po zubu

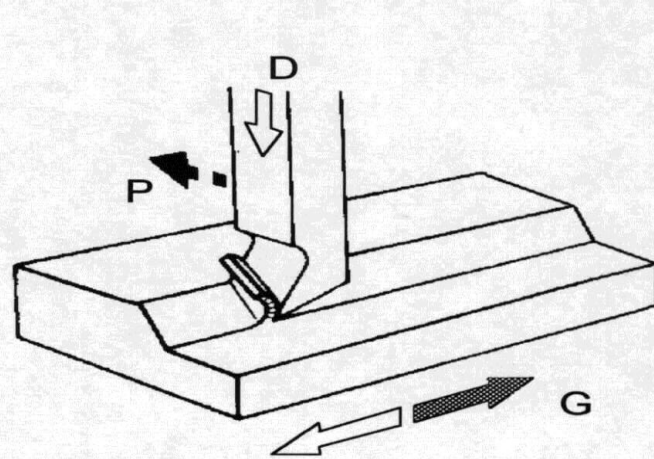
$$f_z = \frac{l_k v_f}{v_c}$$

Blanjanje: površine; osnovni podjela; kinematika (brzine); strojevi; alat

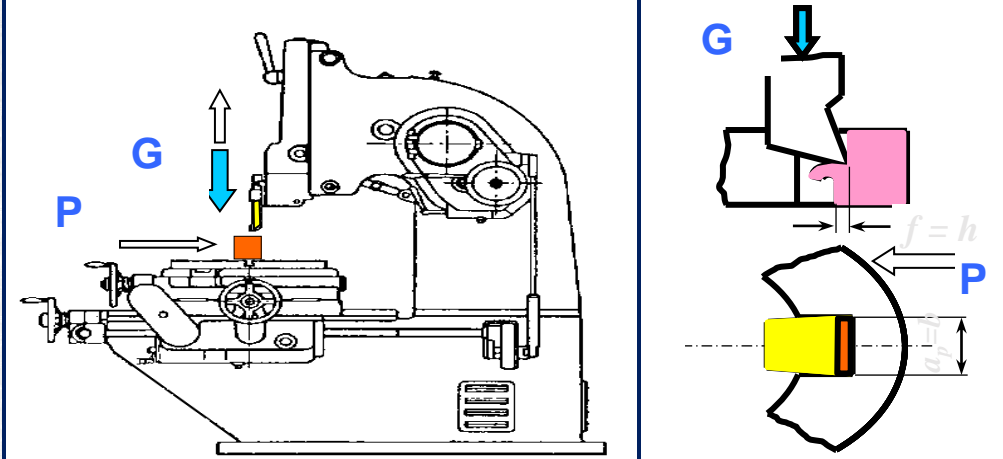
Kratkohodno blanjanje



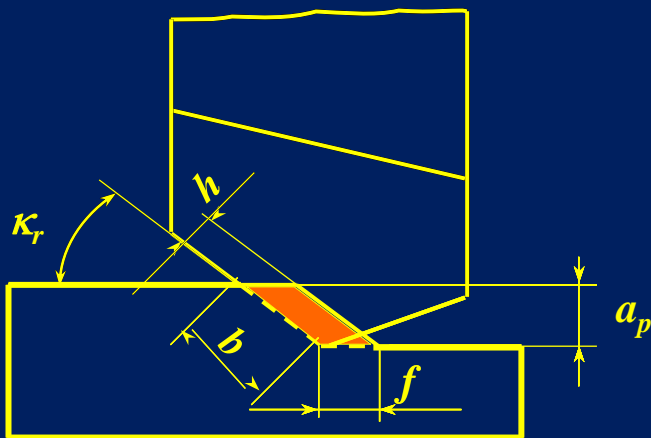
Dugohodno blanjanje



Dubljenje (kratkoh. bl. u vertik. rav.)

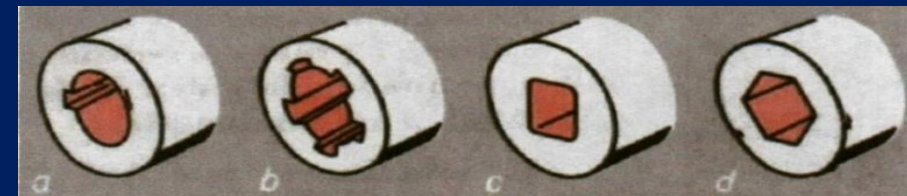
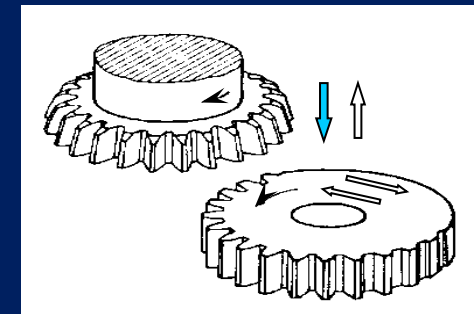


Parametri zahvata kod blanjanja



***Površina presjeka
rezanja:***

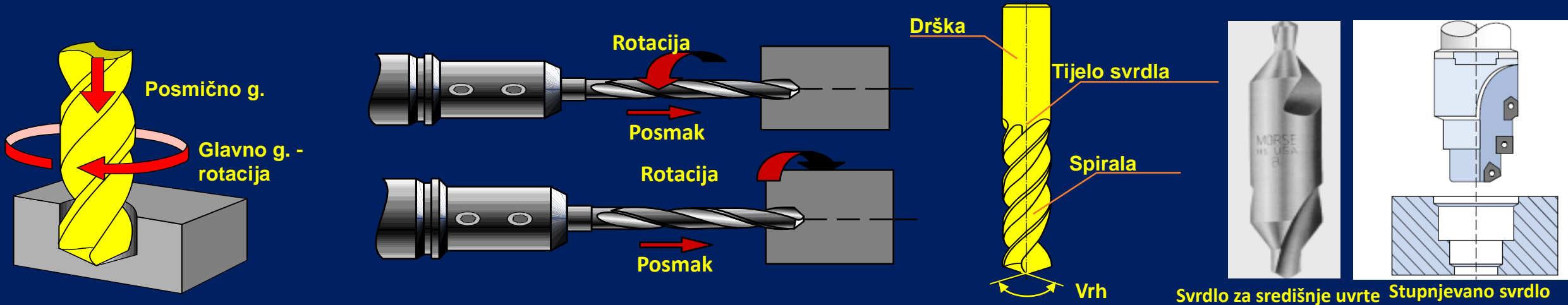
$$A = a_p \cdot f = b \cdot h$$



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

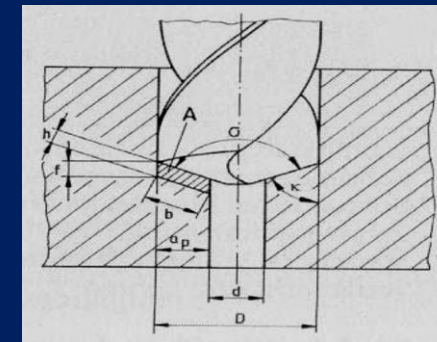
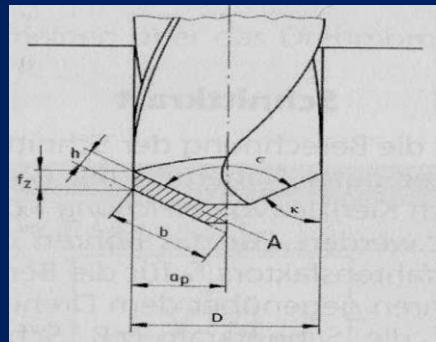
Obrada odvajanjem

Bušenje provrta manjih ili proširivanje provrta većih promjera. Glavno gibanje je kružno kontinuirano, a posmično gibanje pravolinijsko kontinuirano. Alat je svrdlo, definirane geometrije reznog dijela, s dvije glavne rezne oštrice i jednom poprečnom (spiralna, za sred.uvrte, za duboko bušenje, stupnjevana).



Bušenje karakterizira:

- promjenjiva brzina rezanja duž glavne oštrice,
- promjenjivi kutovi rezanja duž glavne oštrice,
- otežano odvođenje o. č. i dovod SHIP-a,
- mala krutost sustava.



$$a_p = \frac{D}{2}; f_z = \frac{f}{2}$$

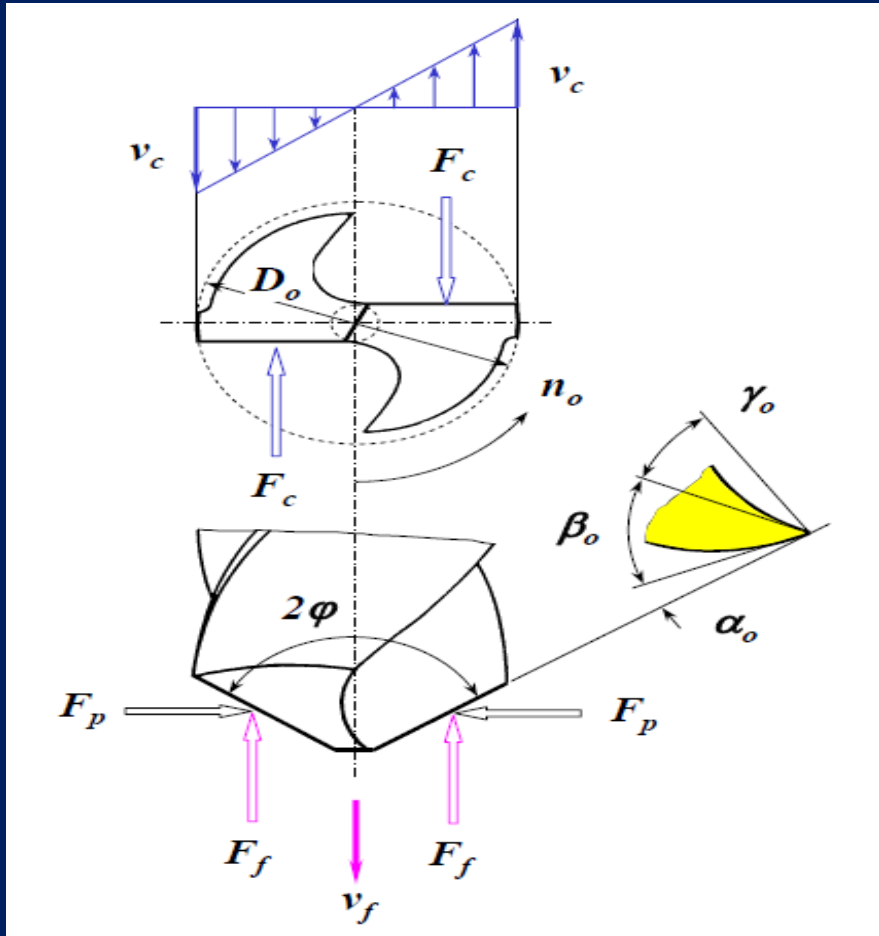
$$A = \frac{Df_z}{2} = \frac{Df}{4}$$

$$a_p = \frac{D-d}{2}; f_z = \frac{f}{2}$$

$$A = \frac{(D-d)f_z}{2} = \frac{(D-d)f}{4}$$

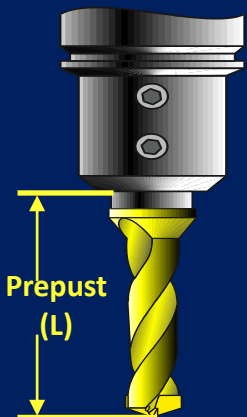
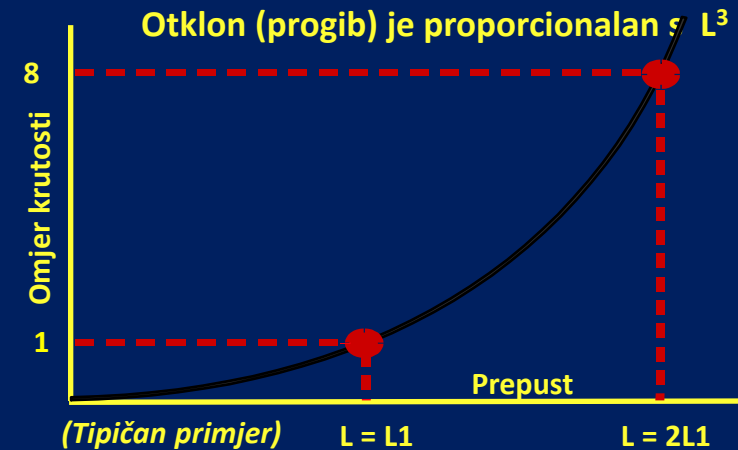
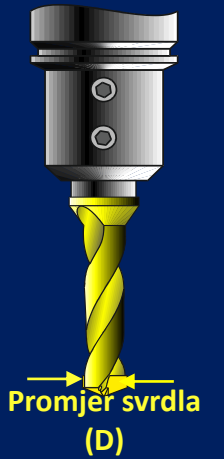
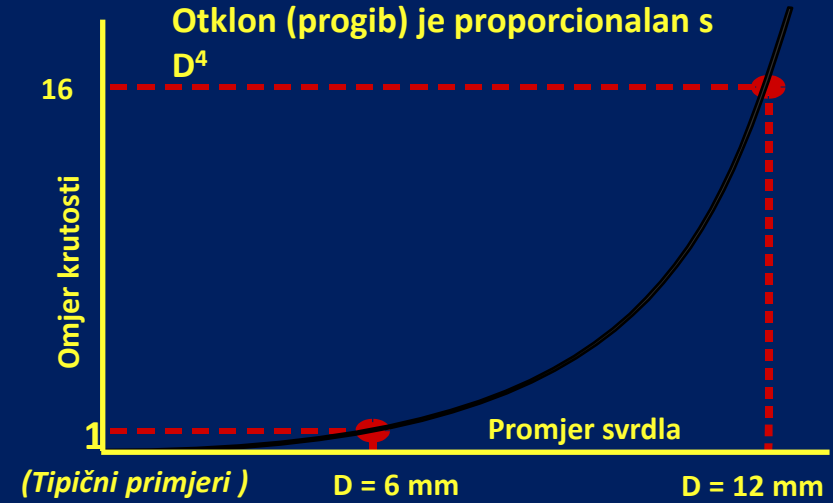
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem



Brzine i sile kod bušenja

Problem krutosti



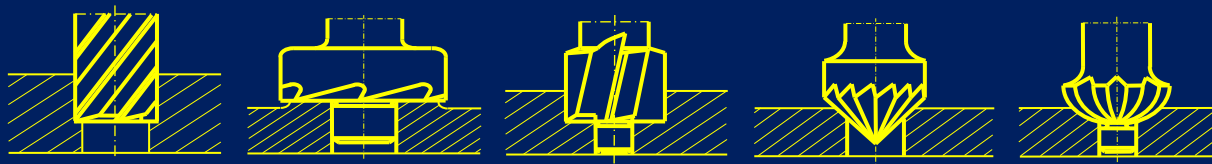
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

UPUŠTANJE

Za postizanje točnijeg oblika, ili proširivanja ili oblikovanja već izbušenih provrta. Glavno gibanje je kružno kontinuirano, a posmično pravolinijsko kontinuirano. Ako se obrada izvodi na bušilicama sva gibanja izvodi alat.

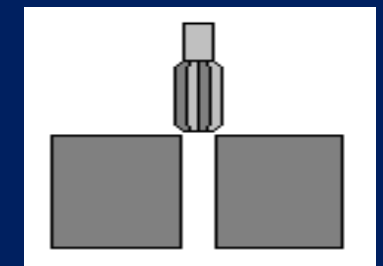
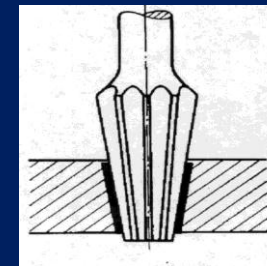
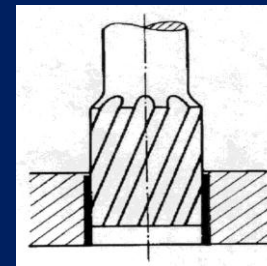
Alat je upuštalo, definirane geometrije reznog dijela, s više od dvije glavne rezne oštrice.



RAZVRTAVANJE

Za konačnu, finiju i precizniju obradu već izbušenih provrta (N5). Glavno gibanje je kružno kontinuirano, a posmično pravolinijsko kontinuirano. Ako se obrada izvodi na bušilicama sva gibanja izvodi alat.

Alat je razvrtalo, definirane geometrije reznog dijela, s više od dvije rezne oštrice (6-12).





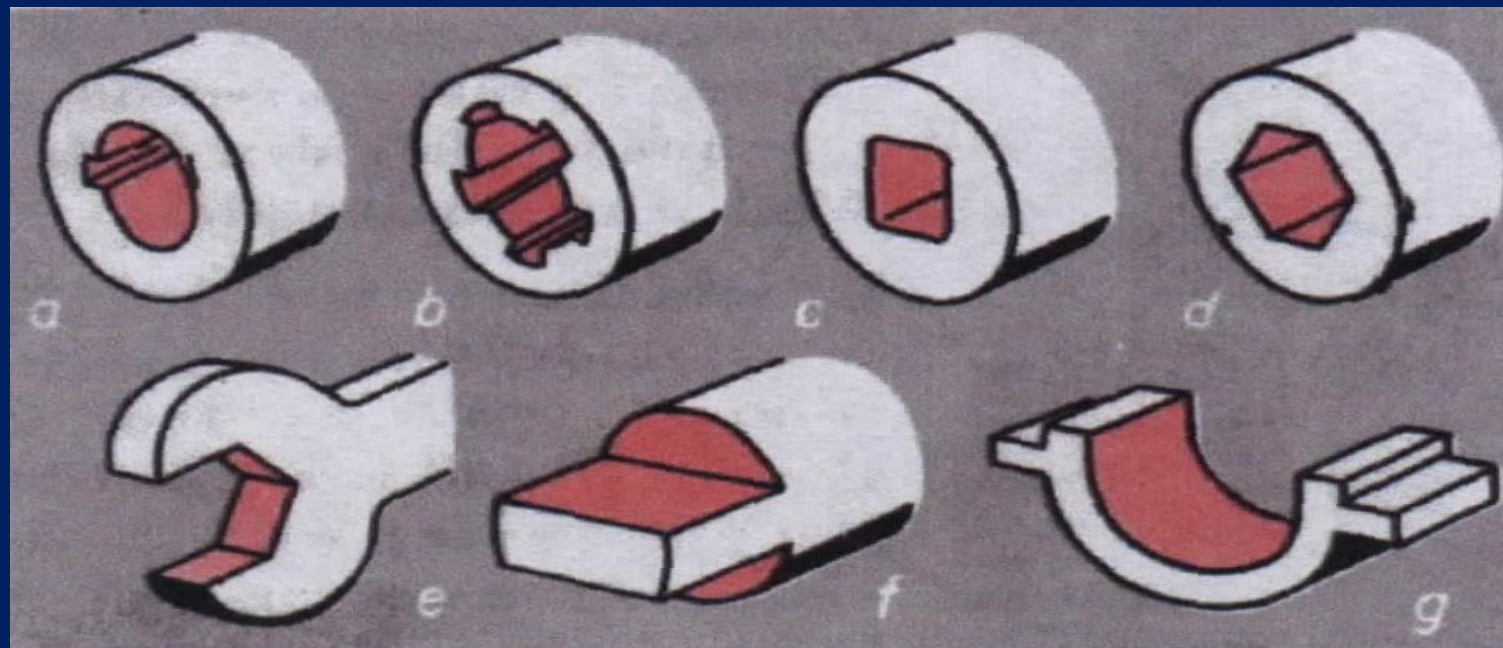
PROVLAČENJE

Provlačenje je visokoproduktivan i vrlo precizan postupak obrade odvajanjem čestica (rezanjem), koji se obično primjenjuje za finu obradu provrta, utora i profilnih oblika. Izvodi se na alatnim strojevima, provlakačicama, pri čemu je glavno gibanje pravolinijsko kontinuirano i izvodi ga alat. Posmično gibanje, u većini slučajeva, nije potrebno. Ukoliko se obrađuju zavojni utori, posmično gibanje je kružno kontinuirano.

Alat za provlačenje je igla, definirane geometrije reznog dijela, s više glavnih reznih oštrica, od kojih je svaka, jedna iza druge, smještena na većem promjeru za iznos željene debljine odvojene čestice. Poprečni presjek igle za provlačenje ima oblik poprečnog presjeka obrađene površine (utora). Razlikuju se igle za vanjsku i unutarnju obradu.

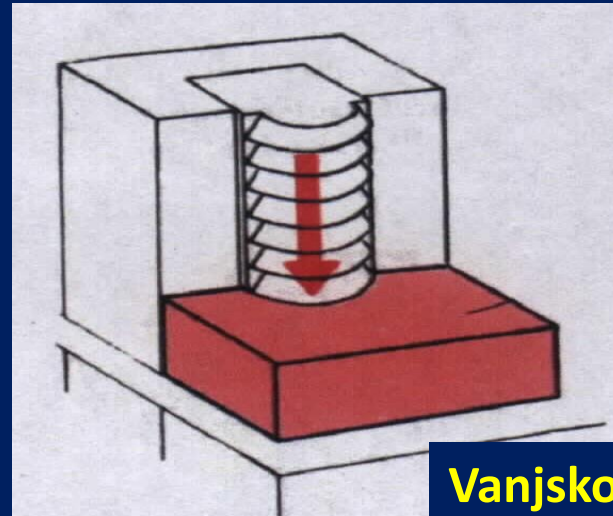


PROVLAČENJE



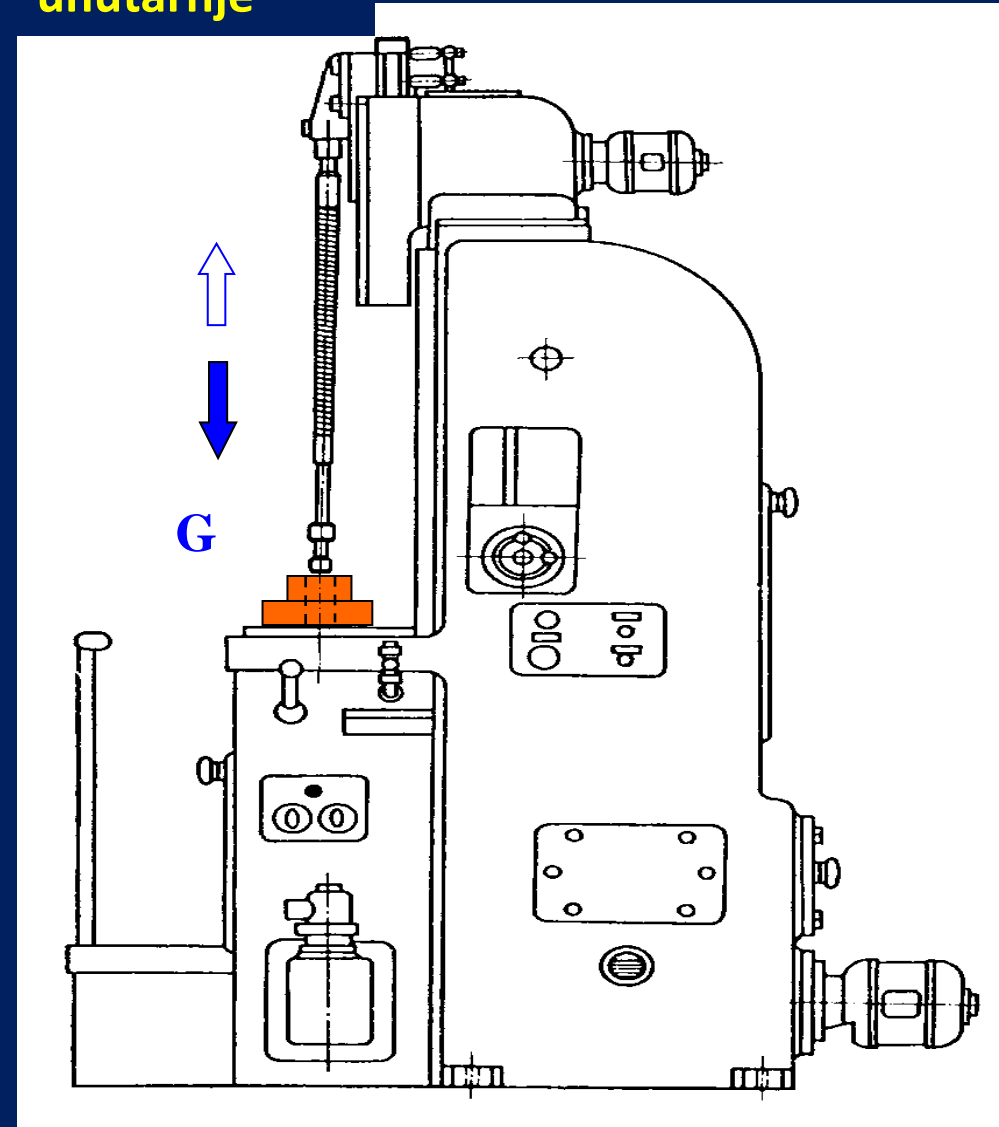


PROVLAČENJE



Vanjsko

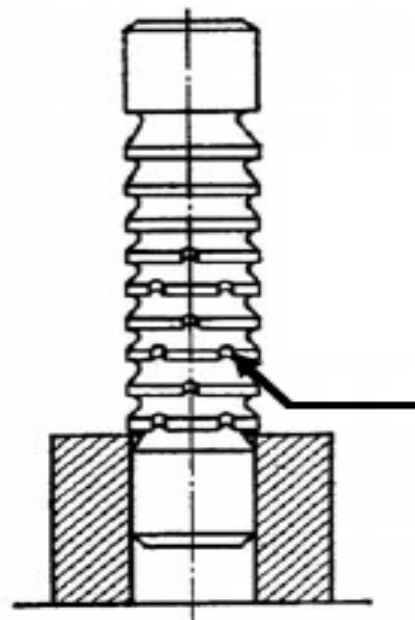
unutarnje





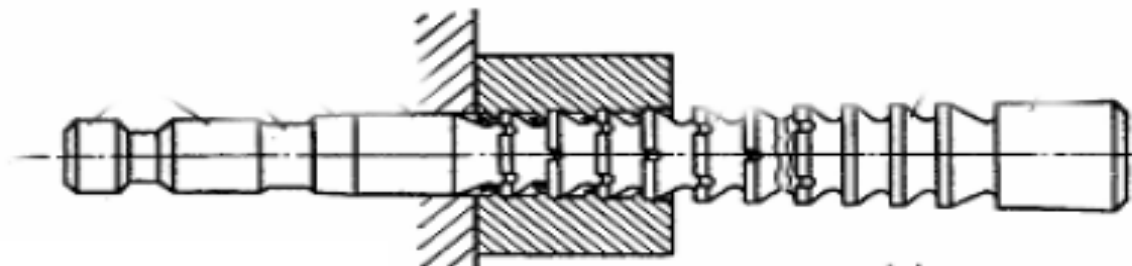
Provlačenje karakterizira:

- ❑ prema načinu rada:
 - provlačenje vučenjem (tanje igle)
 - provlačenje tlačenjem (deblje igle)
- ❑ postupno rezanje materijala male debljine s nekoliko zubi istovremeno u zahvatu
- ❑ male brzine rezanja, najčešće $4-20 \text{ mmin}^{-1}$ (idu i preko 50 m/min)
- ❑ udarna opterećenja alata
- ❑ alat je skup pa se postupak primjenjuje u serijskoj i masovnoj proizvodnji.



**Utori za lomljenje
čestice**

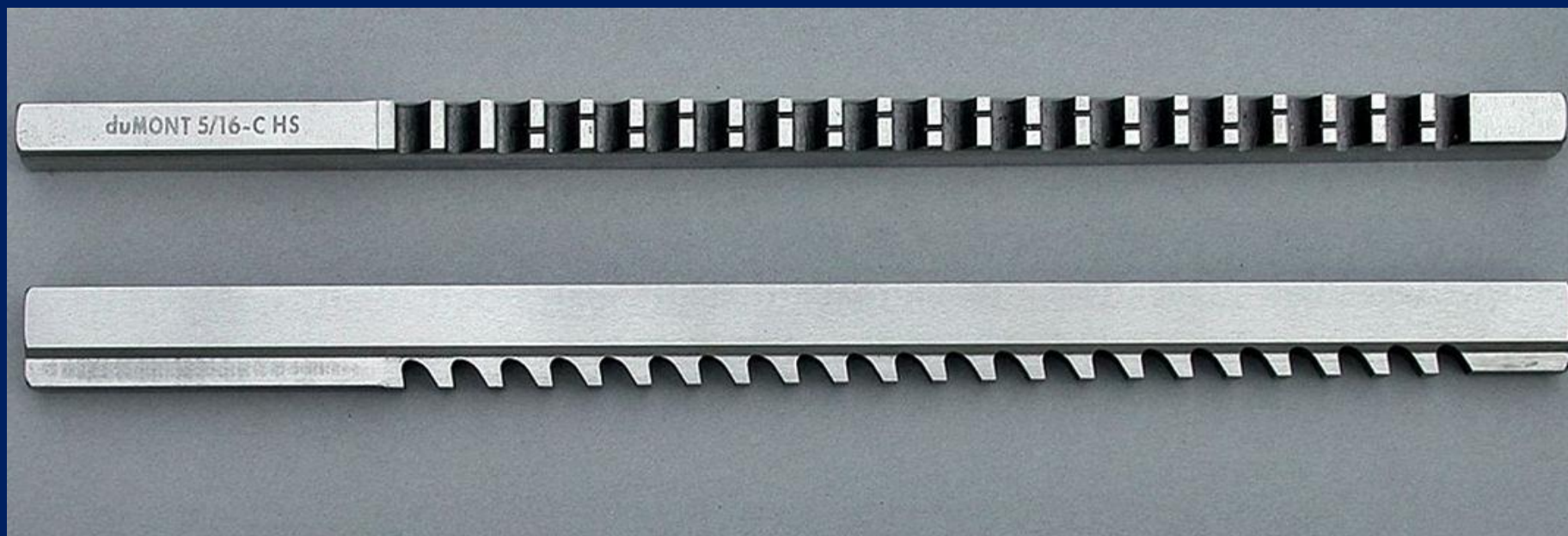
Provlačenje tlačanjem



Provlačenje vučenjem



Alati (igle) za provlačenje:



Najčešći materijal je HSS, a izrađuju se i sa zubima od TM

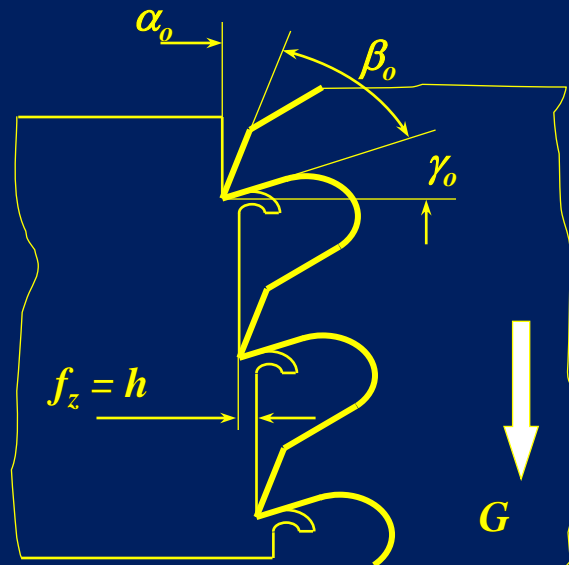


Alati (igle) za provlačenje:

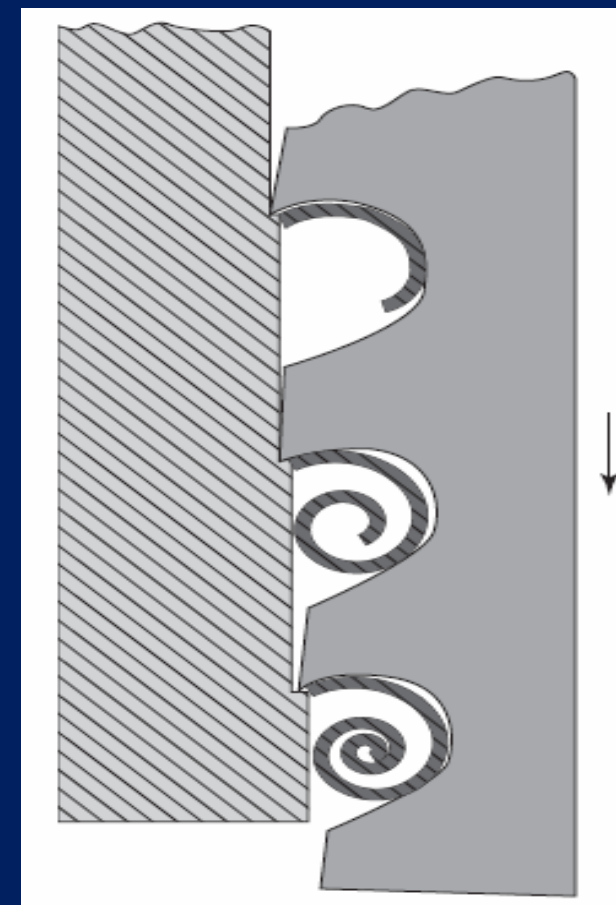




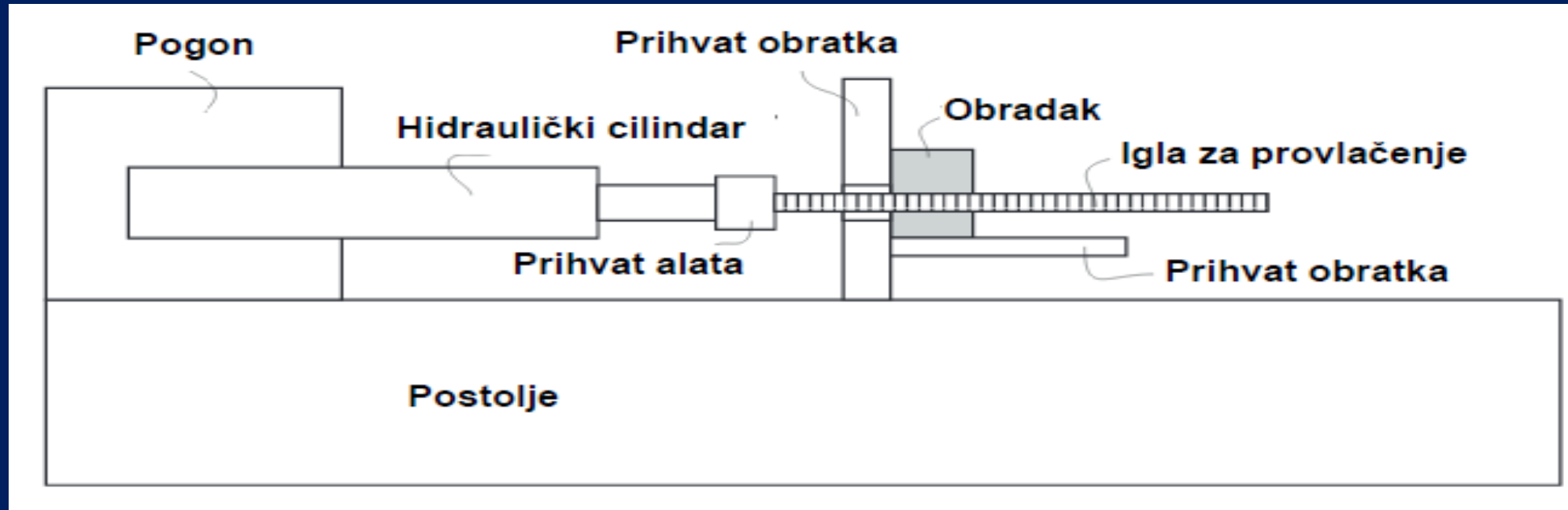
Parametri zahvata kod provlačenja



$$P = (1,25 - 1,5) \cdot L^{1/2}$$

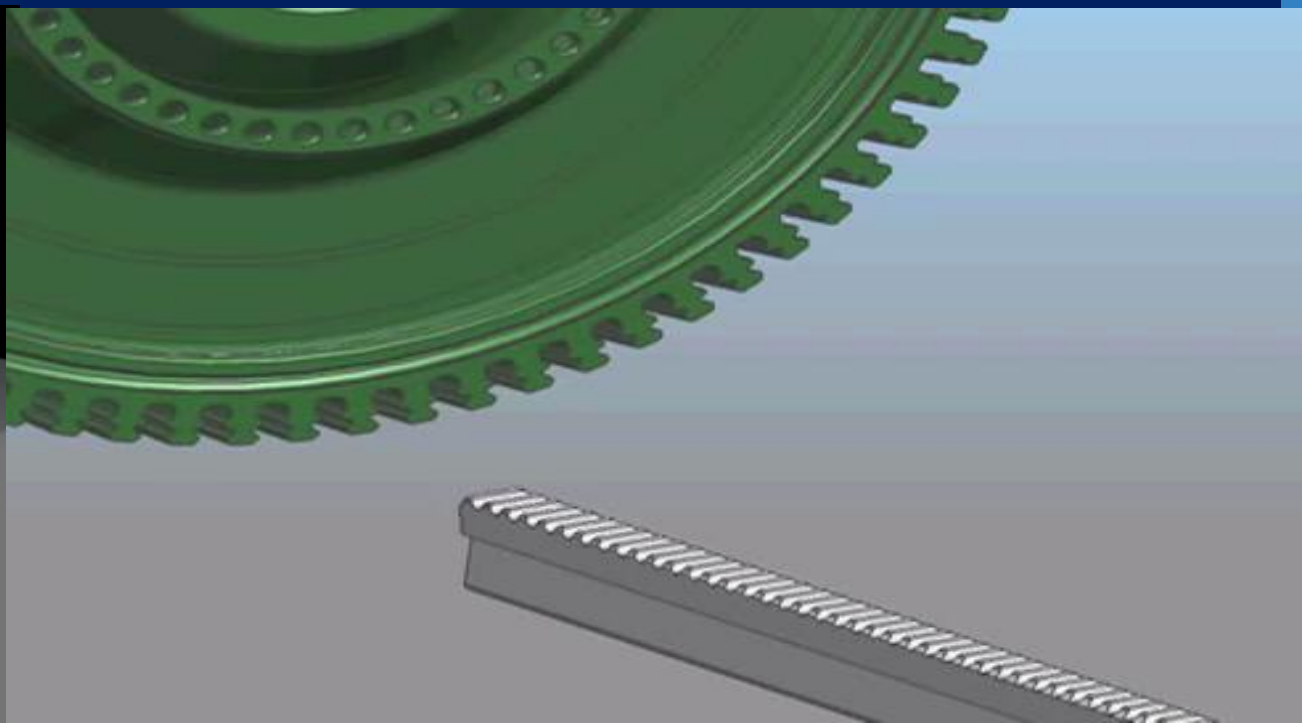
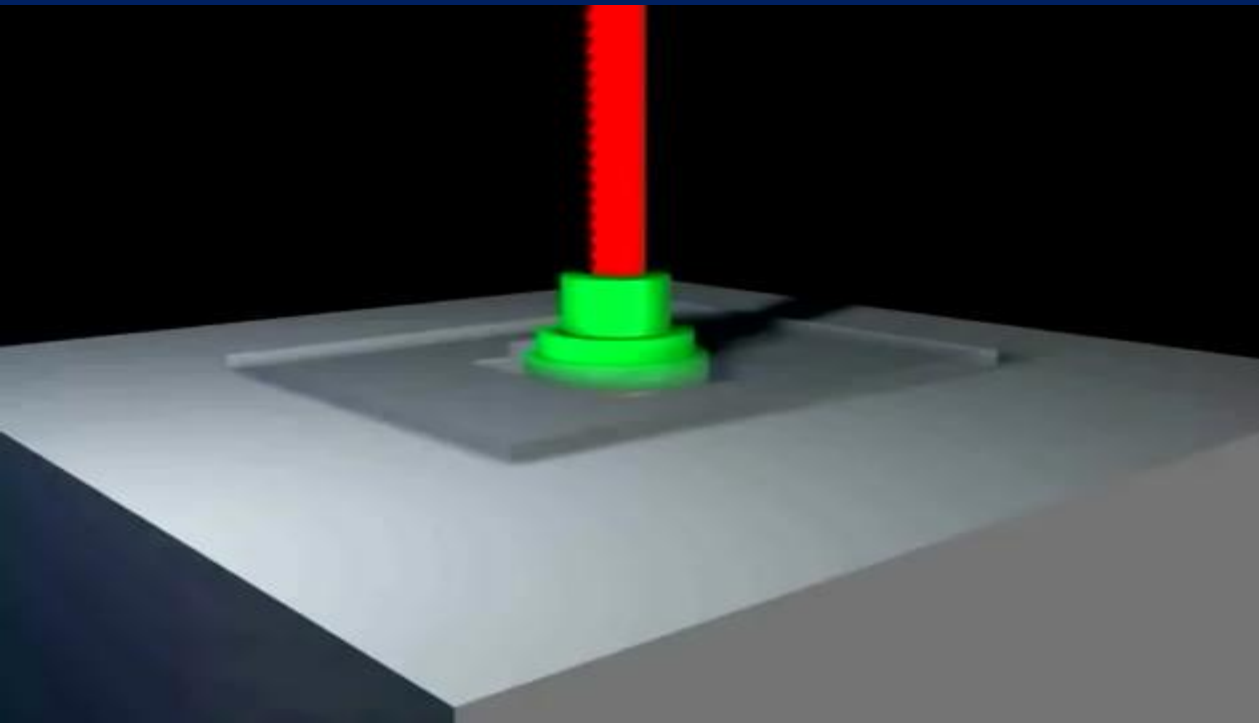


Shematski prikaz stroja za provlačenje



Glavni dijelovi stroja za provlačenje (provlakača)

Provlačenje - animacije



Provlačenje - filmovi





OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

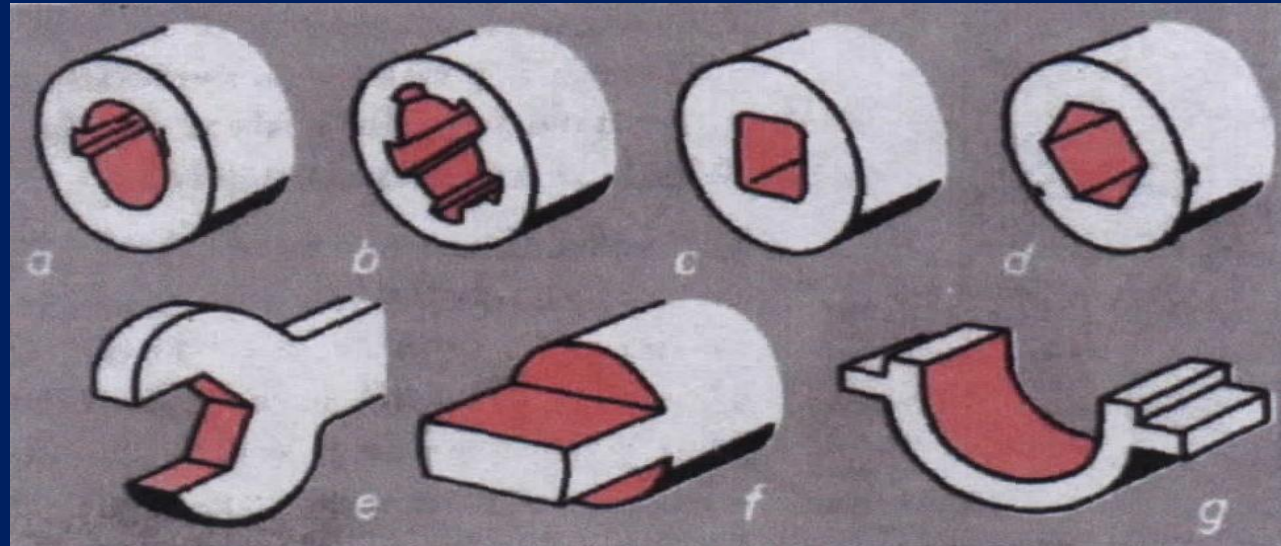
PROVLAČENJE

Provlačenje - visokoproduktivan i vrlo precizan postupak za finu obradu provrta, utora i profilnih oblika. Izvodi se na provlakačicama, pri čemu je glavno gibanje pravolinijsko kontinuirano i izvodi ga alat. Posmično gibanje, u većini slučajeva, nije potrebno.

Alat je igla za provlačenje, definirane geometrije reznog dijela, s više glavnih reznih oštrica, od kojih je svaka, jedna iza druge, smještena na većem promjeru za iznos željene debljine odvojene čestice. Poprečni presjek igle za provlačenje ima oblik poprečnog presjeka obrađene površine (utora). Razlikuju se igle za vanjsku i unutarnju obradu.

Prema načinu rada:

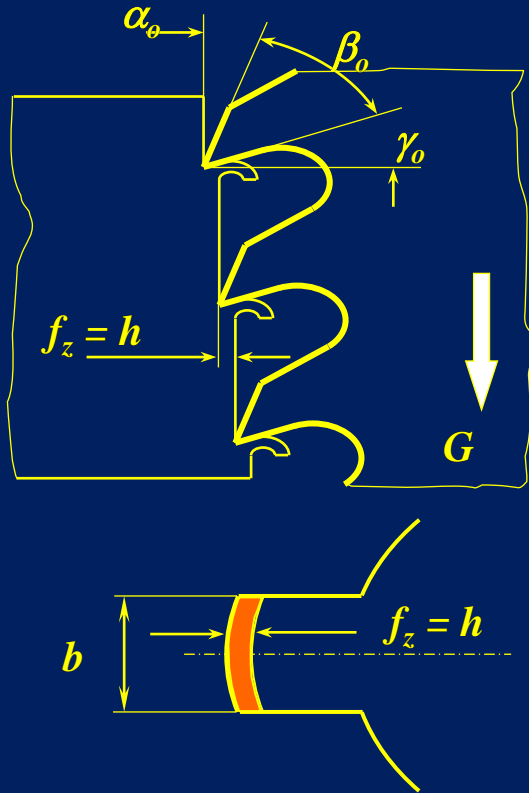
- provlačenje vučenjem (tanje igle)
- provlačenje tlačenjem (deblje igle)



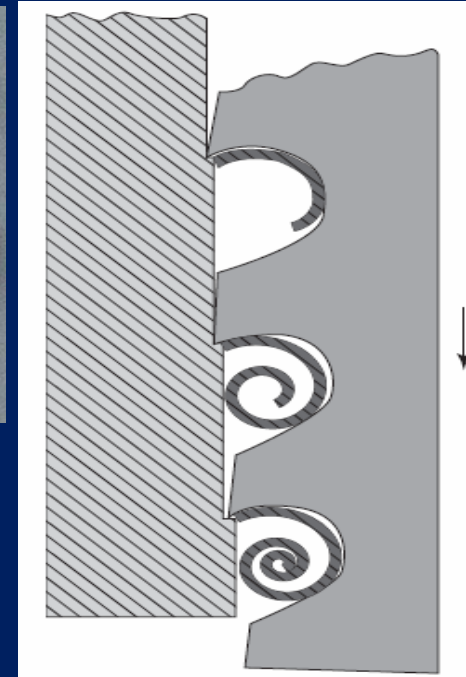
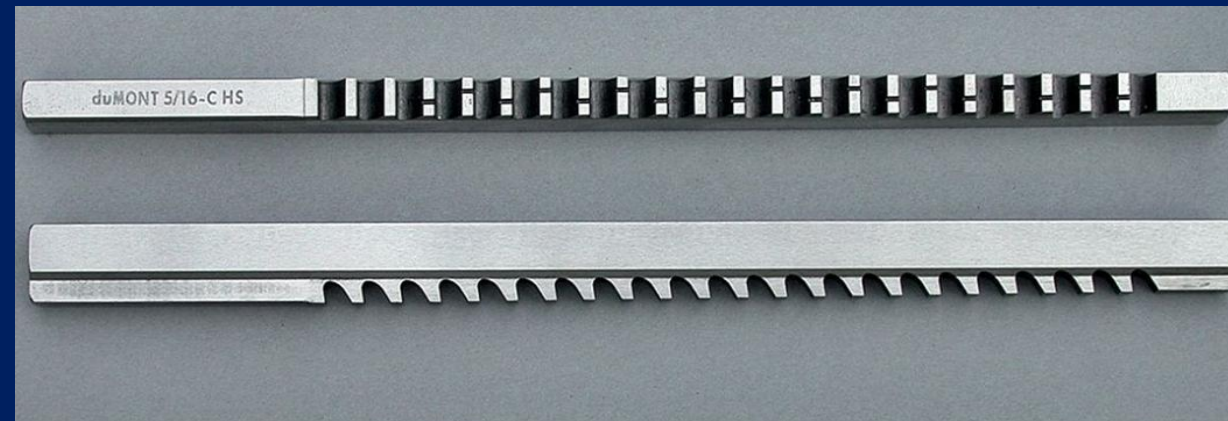
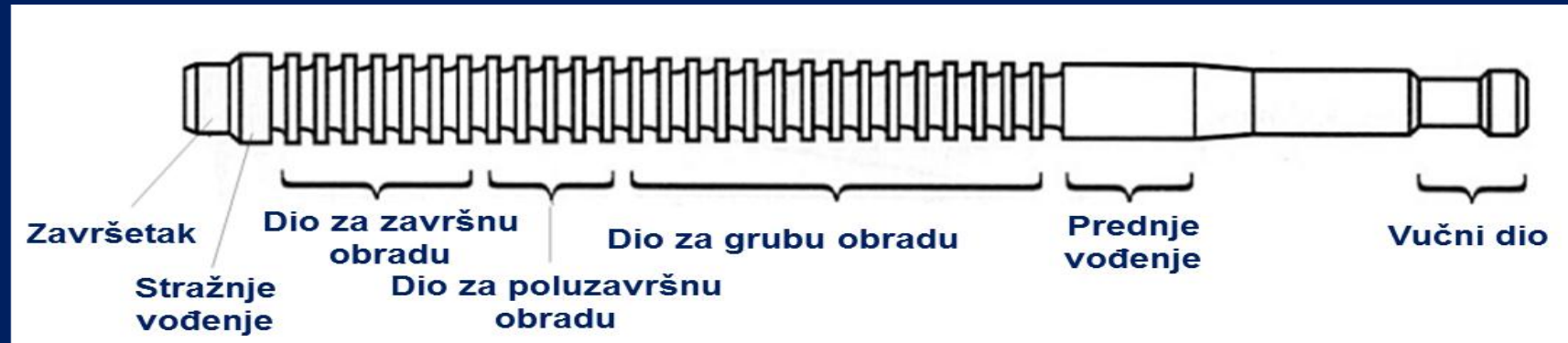
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Parametri zahvata



Alati (igle) za provlačenje:

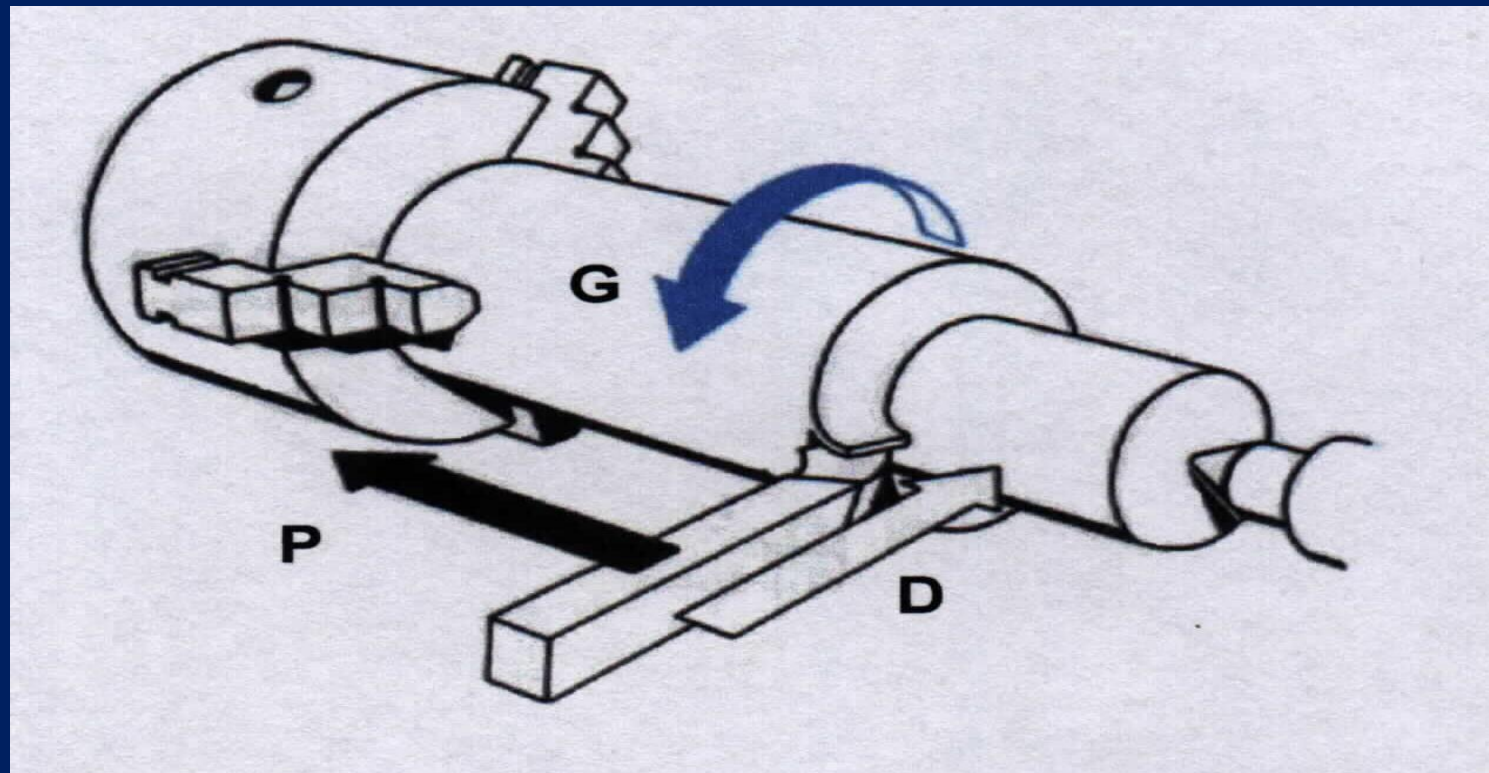


Provlačenje karakterizira:

- postupno rezanje materijala male debljine sa nekoliko zubi istovremeno u zahvatu
- male brzine rezanja, najčešće $4-20 \text{ mmin}^{-1}$ (idu i preko 50 m/min)
- udarna opterećenja alata
- alat je skup pa se postupak primjenjuje u serijskoj i masovnoj proizvodnji.



TOKARENJE





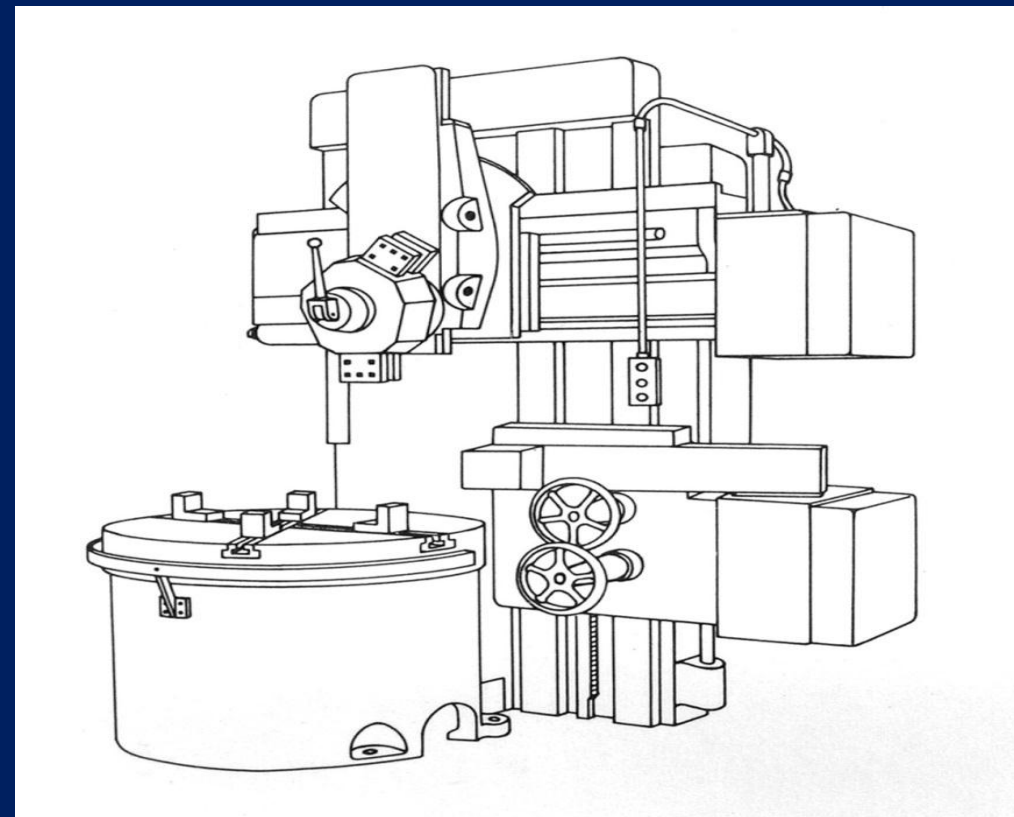
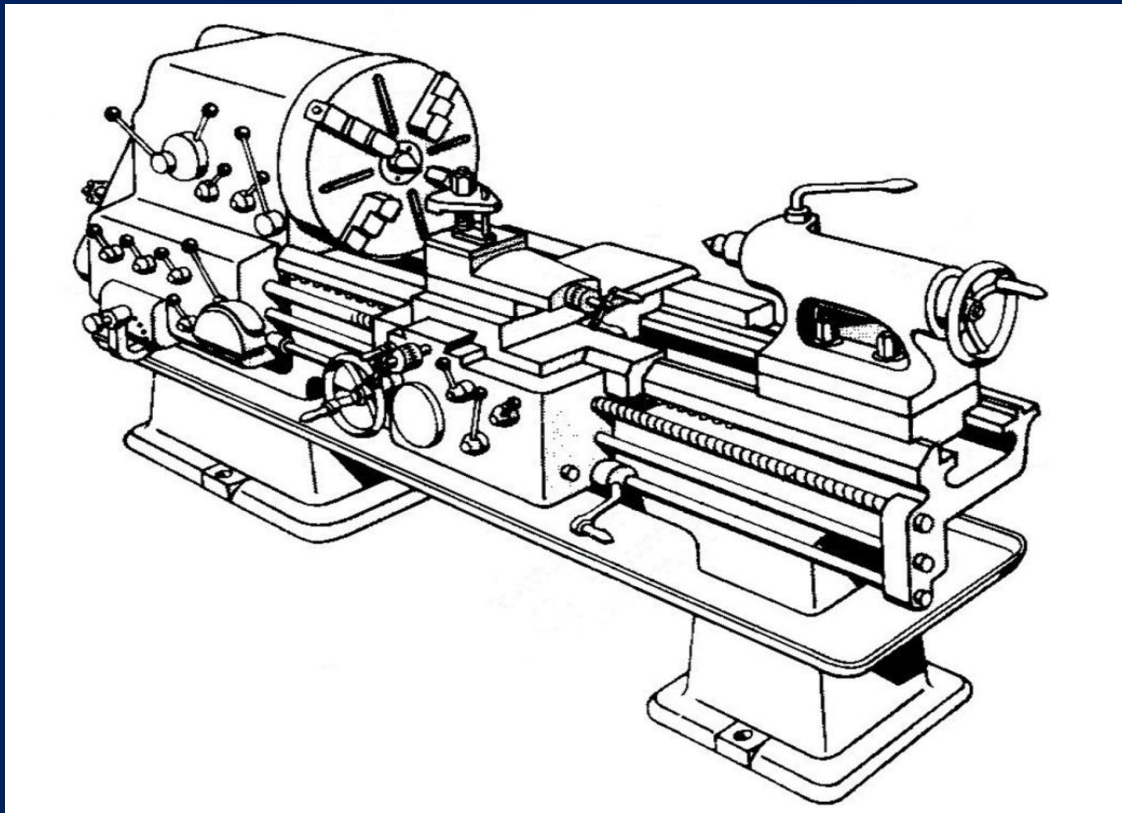
TOKARENJE

Tokarenje je postupak obrade odvajanjem čestica (rezanjem) pretežno rotacijskih (simetričnih i nesimetričnih, okruglih i neokruglih) površina.

Izvodi se na alatnim strojevima, tokarilicama, pri čemu je glavno (režno) gibanje kružno, kontinuirano i pridruženo obratku.

Posmično gibanje je pravolinijsko kontinuirano u ravnini koja je okomita na pravac brzine glavnog gibanja i pridruženo je alatu. Os okretanja glavnog gibanja zadržava svoj položaj prema obratku bez obzira na smjer brzine posmičnog gibanja.

Alat za tokarenje je tokarski nož definirane geometrije reznog dijela, s jednom glavnim reznom oštricom.



Horizontalna i vertikalna (karusel) tokarilica

OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

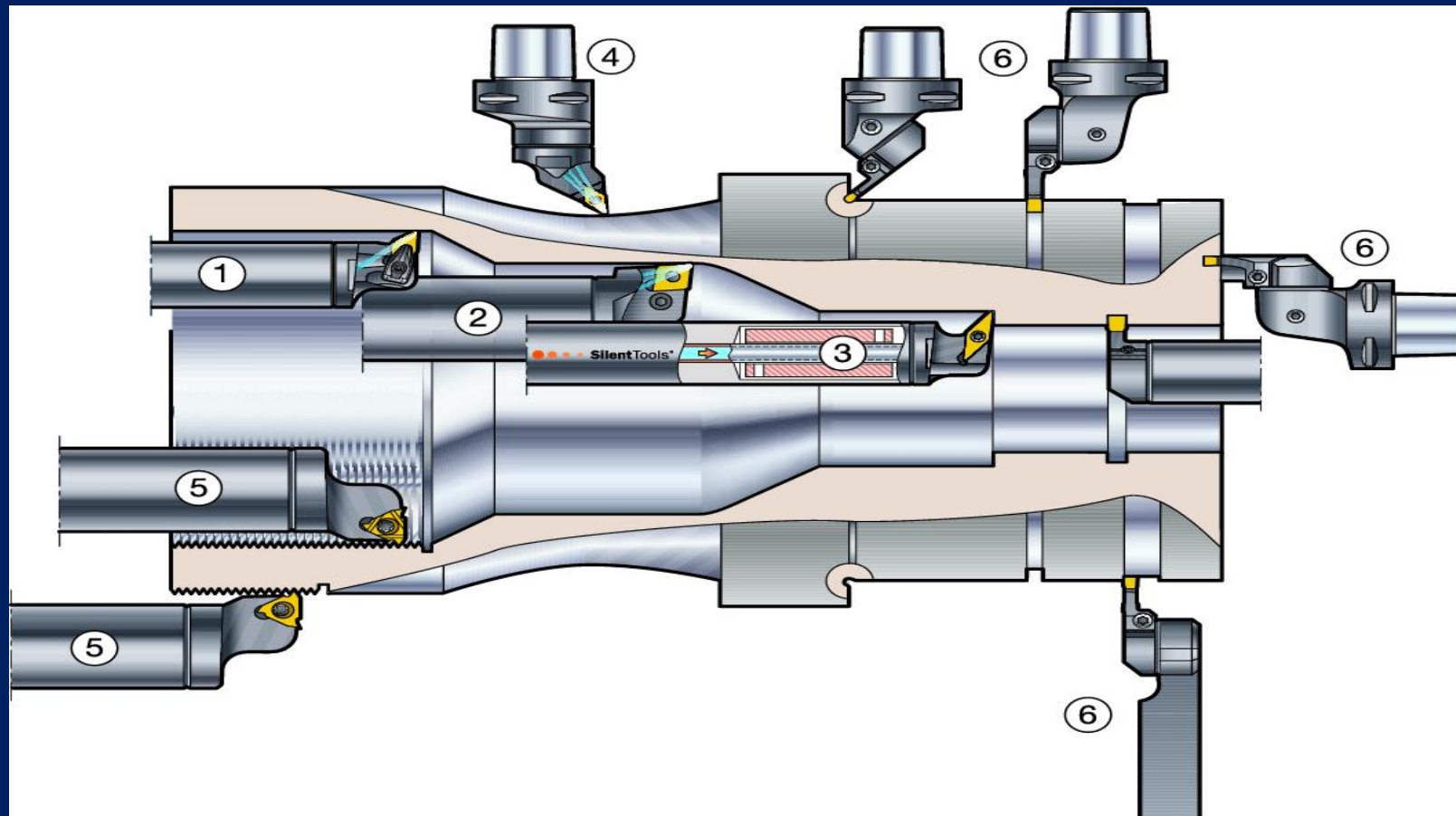
Obrada odvajanjem



CNC tokarski stroj (2003. godina)



2014. godina



Primjeri alata i površina kod tokarenja



PODJELA POSTUPKA

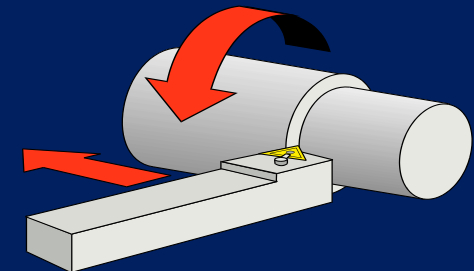
Tokarenje se može podijeliti na osnovi više kriterija podjele:

- *Prema proizvedenoj kvaliteti obrađene površine:*
grubo, završno i fino tokarenje
- *Prema kinematici postupka:*
uzdužno i poprečno
- *Prema položaju obrađene površine:*
vanjsko i unutarnje.
- *Prema obliku obrađene površine (elementarne površine):*
okruglo, plansko (poprečno), konusno, profilno, oblikovno (kopirno), tokarenje navoja i neokruglo tokarenje.

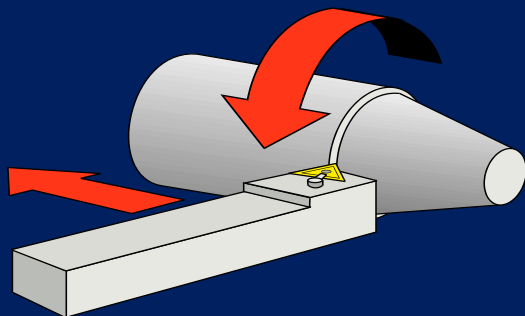
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

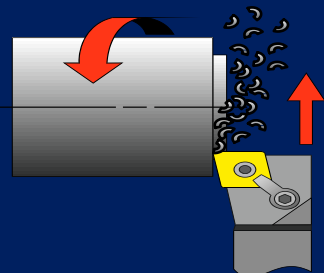
PODJELA POSTUPKA



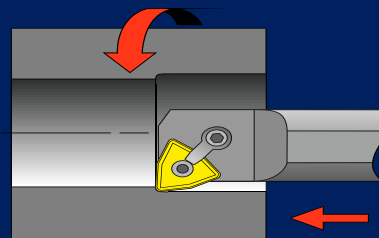
Uzdužno tokarenje - vanjsko



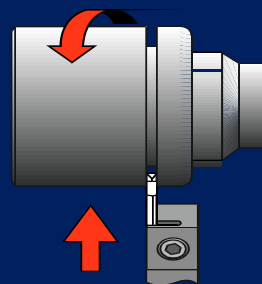
Profilino tokarenje



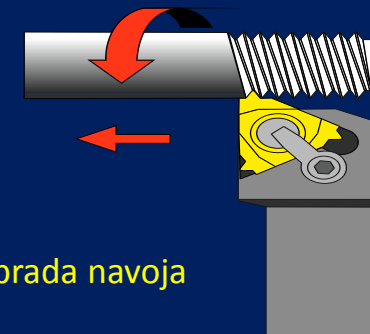
Poprečno (čeono) tokarenje



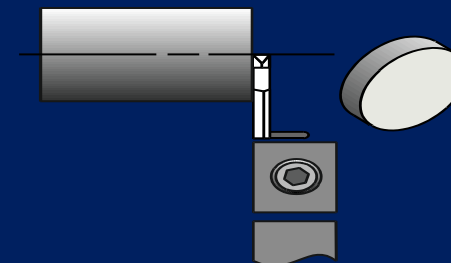
Uzdužno tokarenje - unutarne



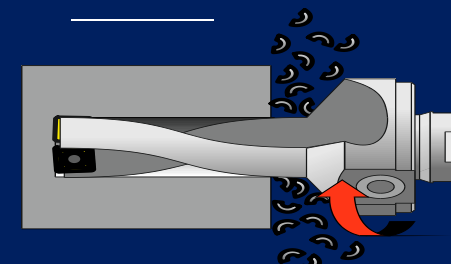
Obrada utora



Obrada navoja



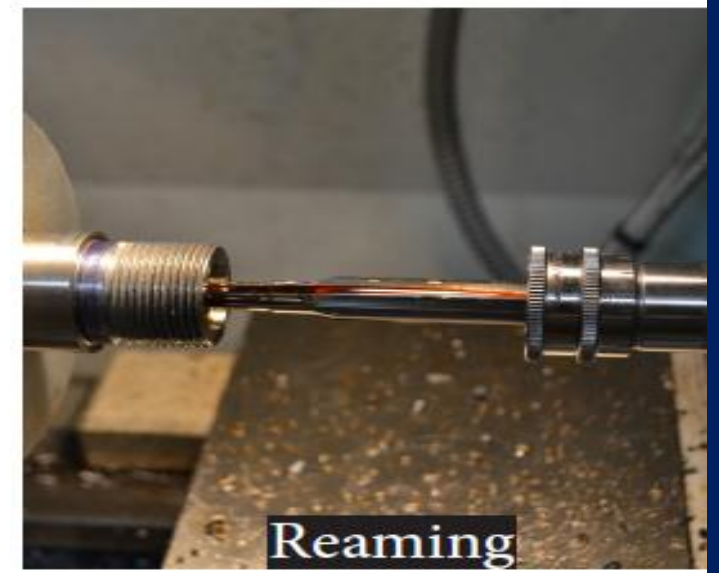
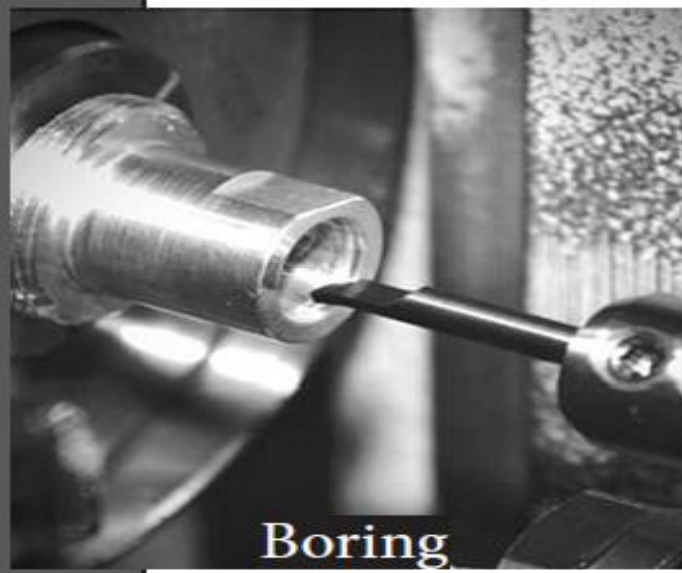
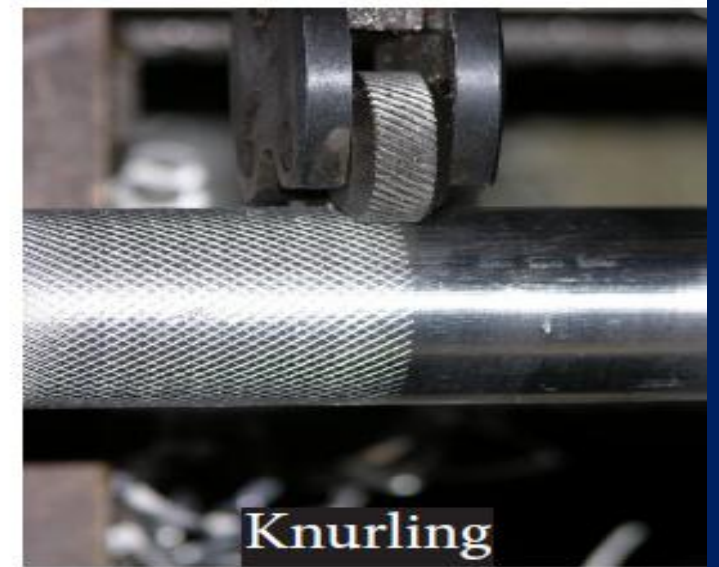
Odsjecanje



Bušenje

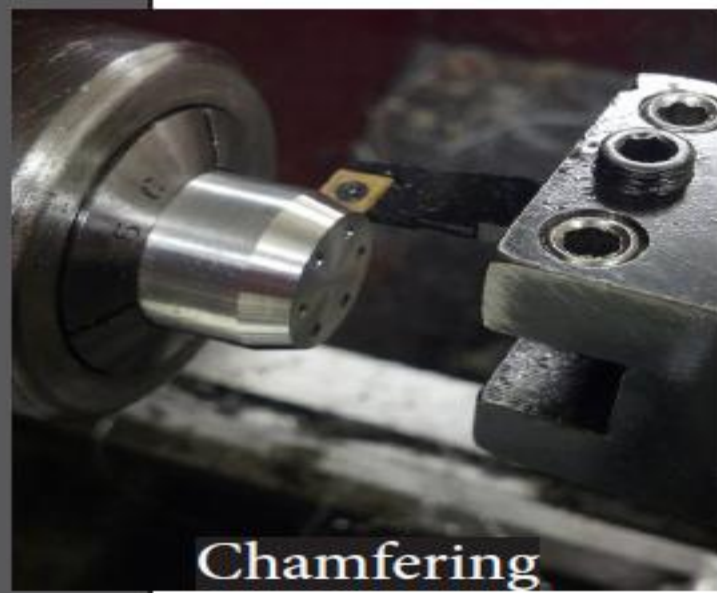
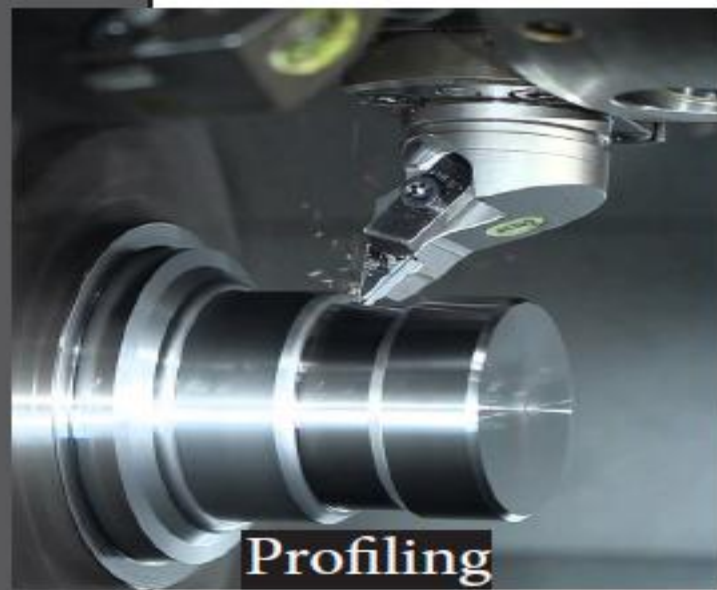
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

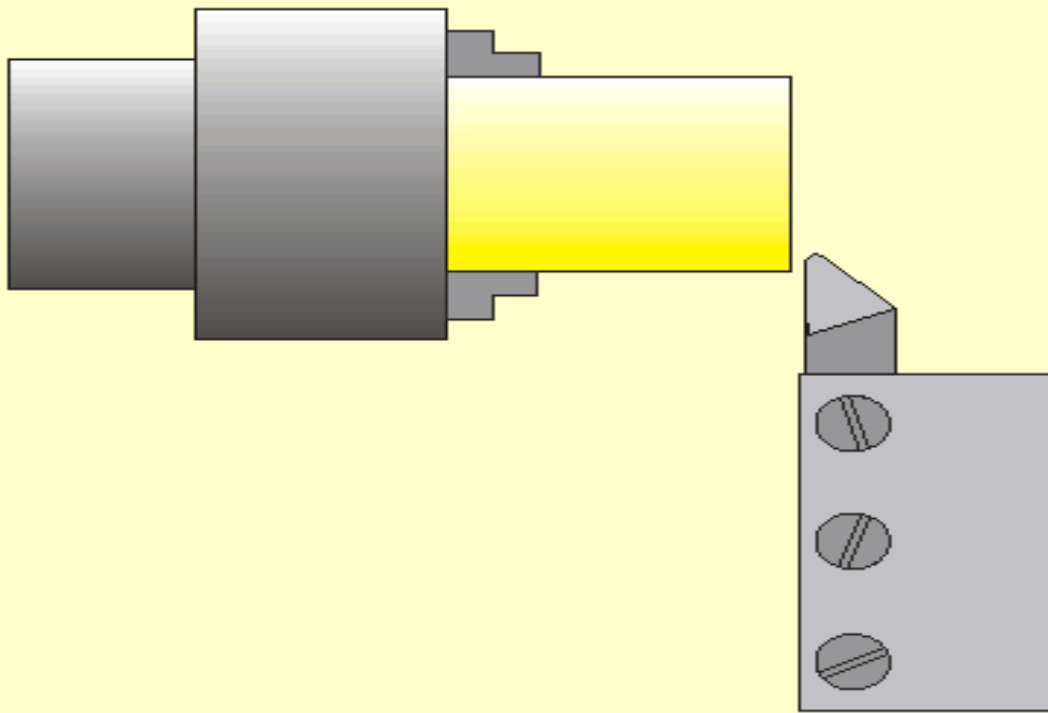
Obrada odvajanjem



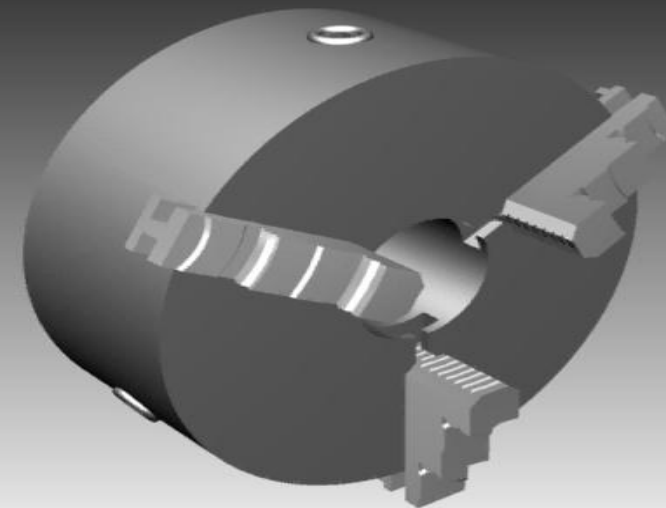
Uzdužno vanjsko tokarenje

OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

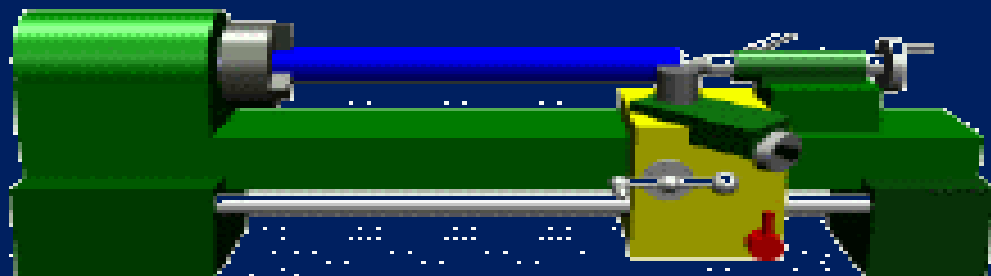
Obrada odvajanjem



Uzdužno vanjsko tokarenje -2D



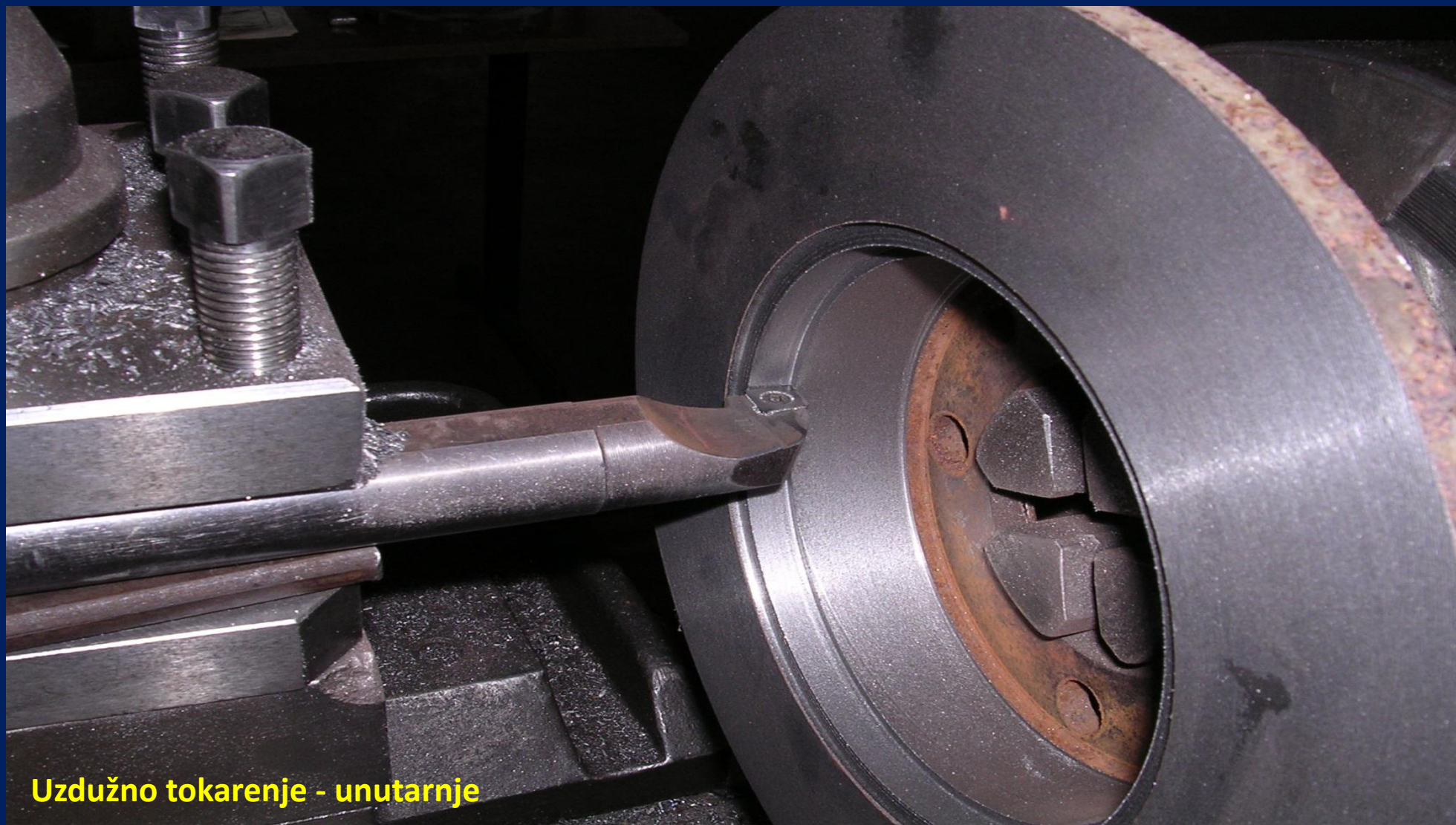
Uzdužno vanjsko tokarenje -3D



Tokarenje uzdužno vanjsko-simulacija



Tokarenje uzdužno vanjsko-lom_cestica_1.5



Uzdužno tokarenje - unutarne

OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem



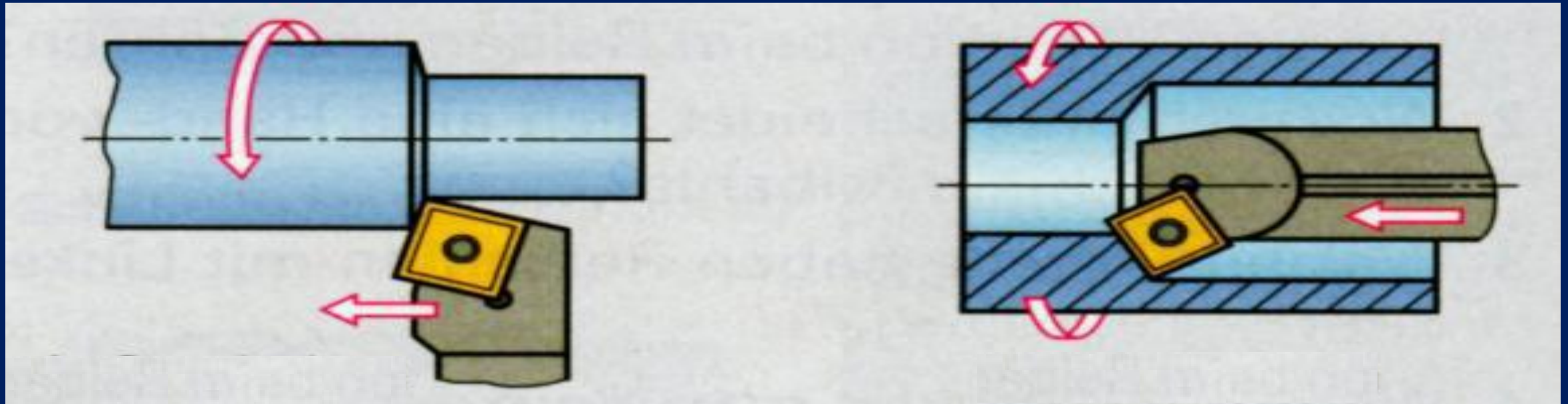
Alat (držač s pločicom) za uzdužno unutarne tokarenje



Alat (držač s pločicom) za obradu navoja

OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem



Uzdužno tokarenje - vanjsko

Uzdužno tokarenje - unutarnje

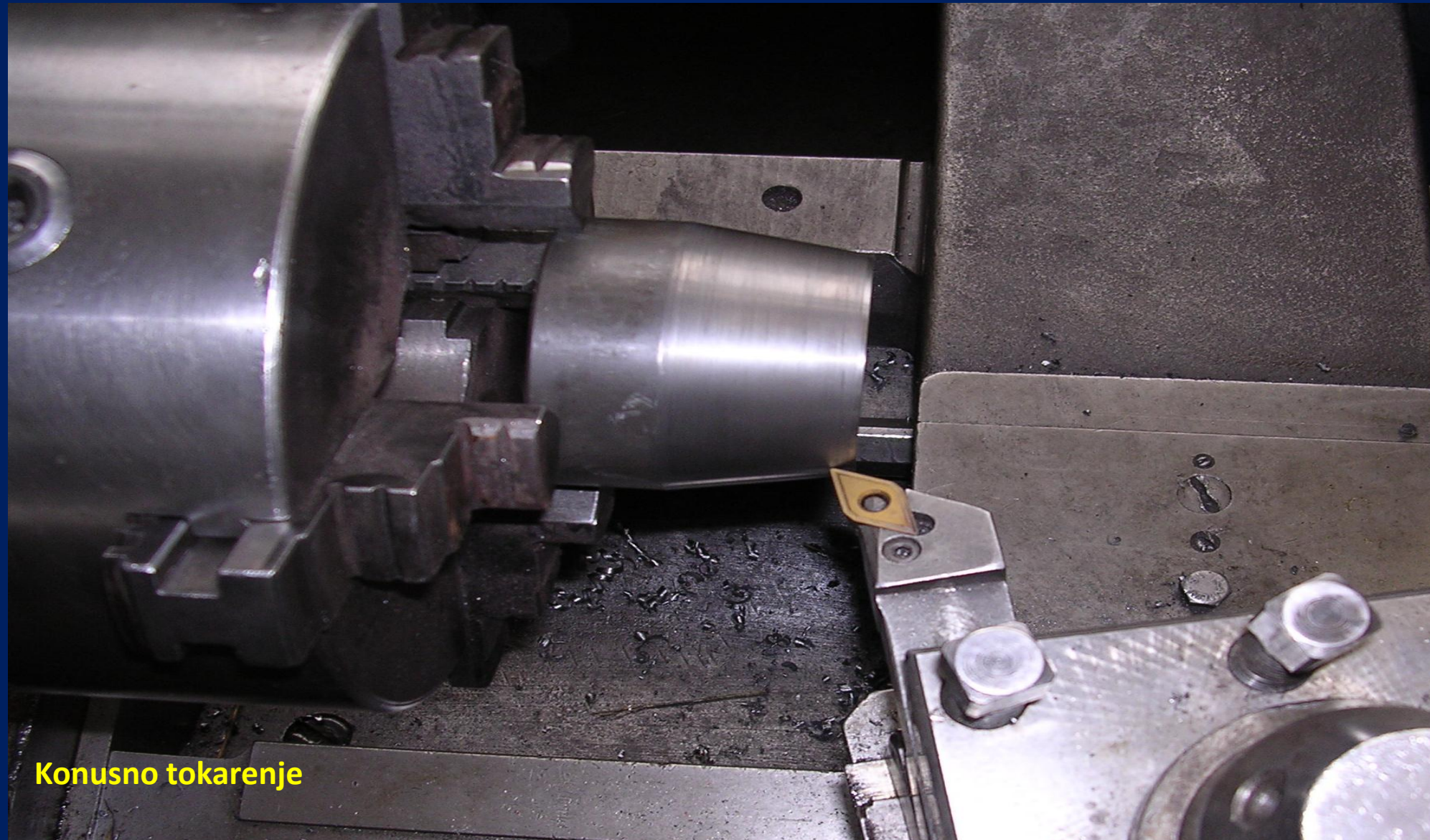
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu

100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



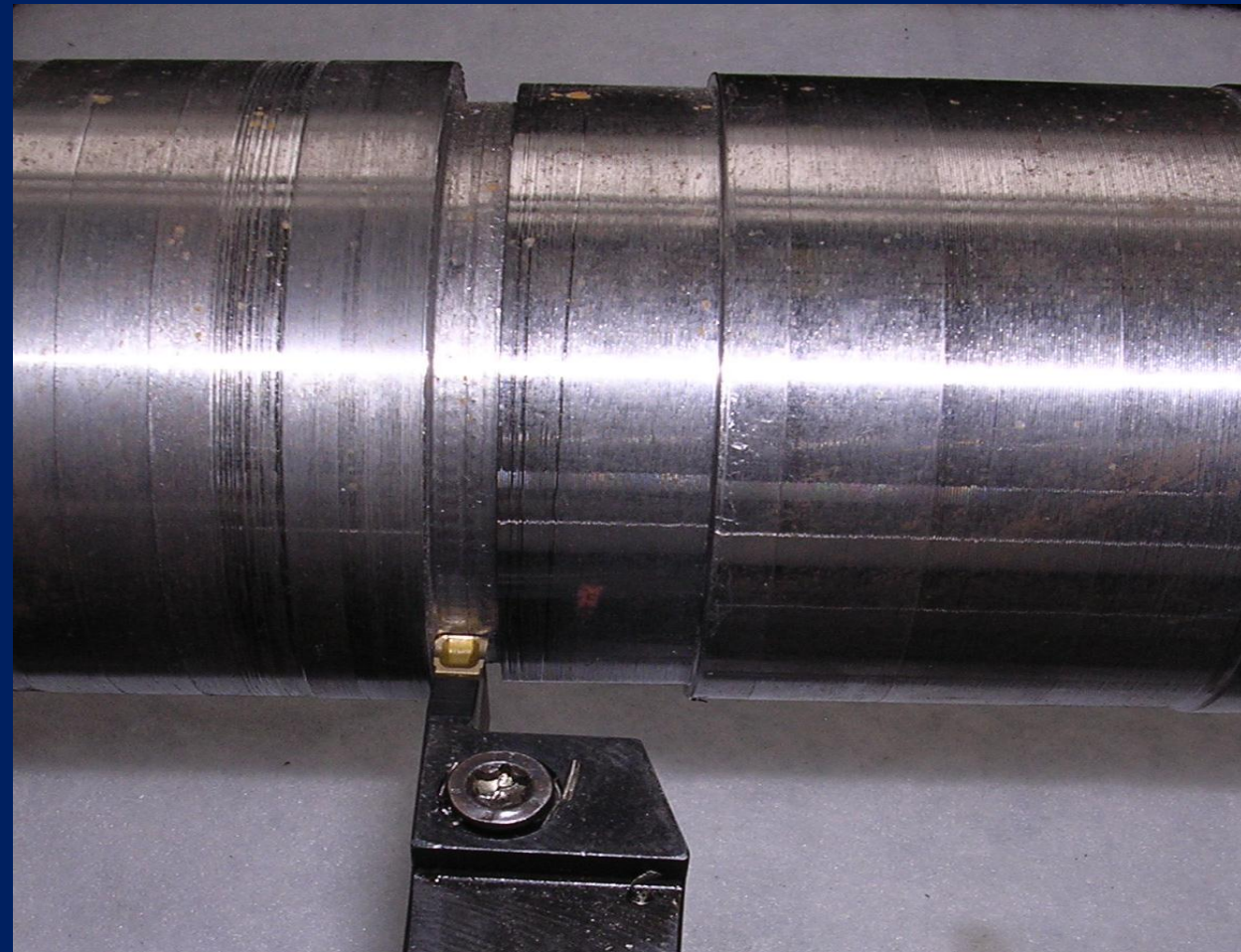
Konusno tokarenje

OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem



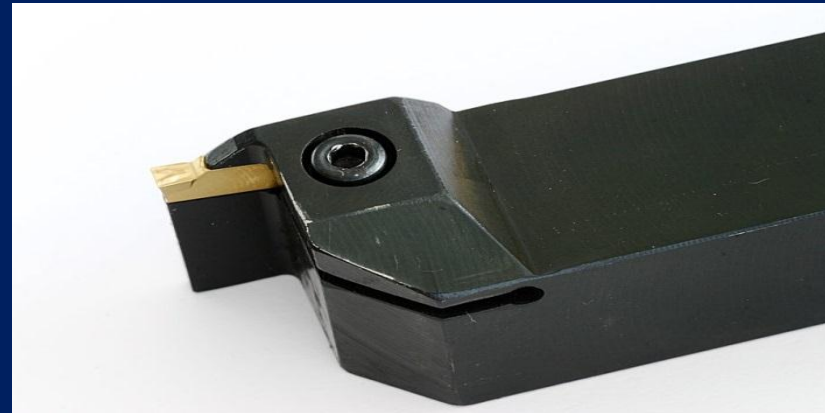
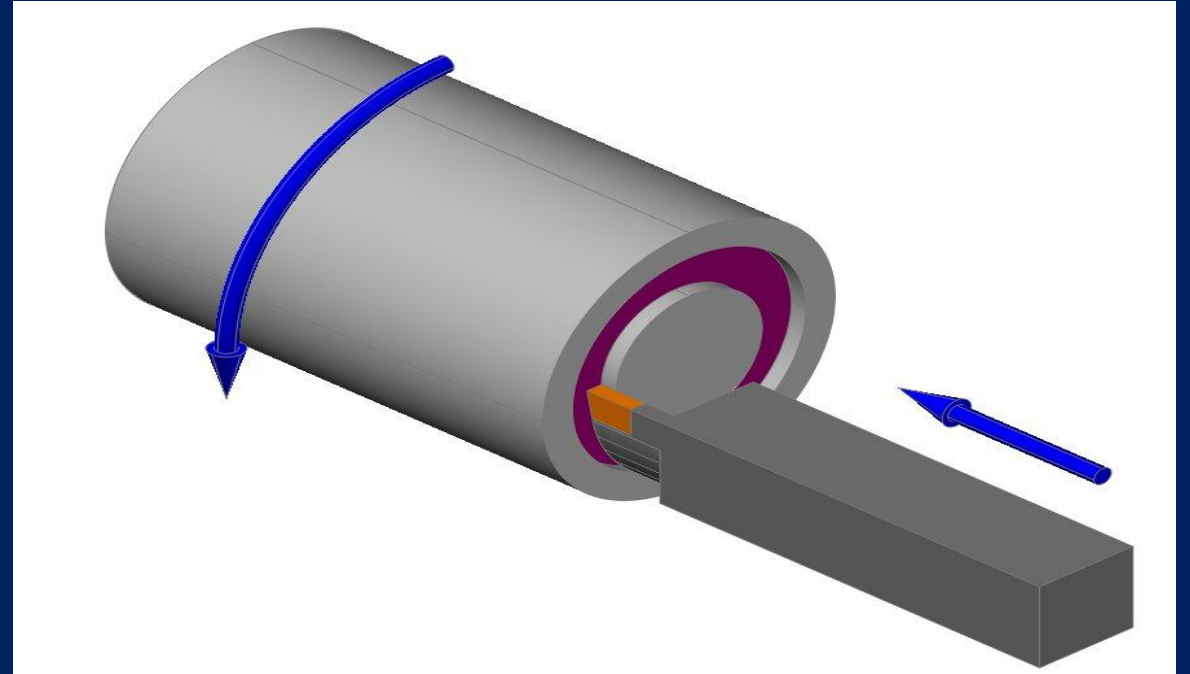
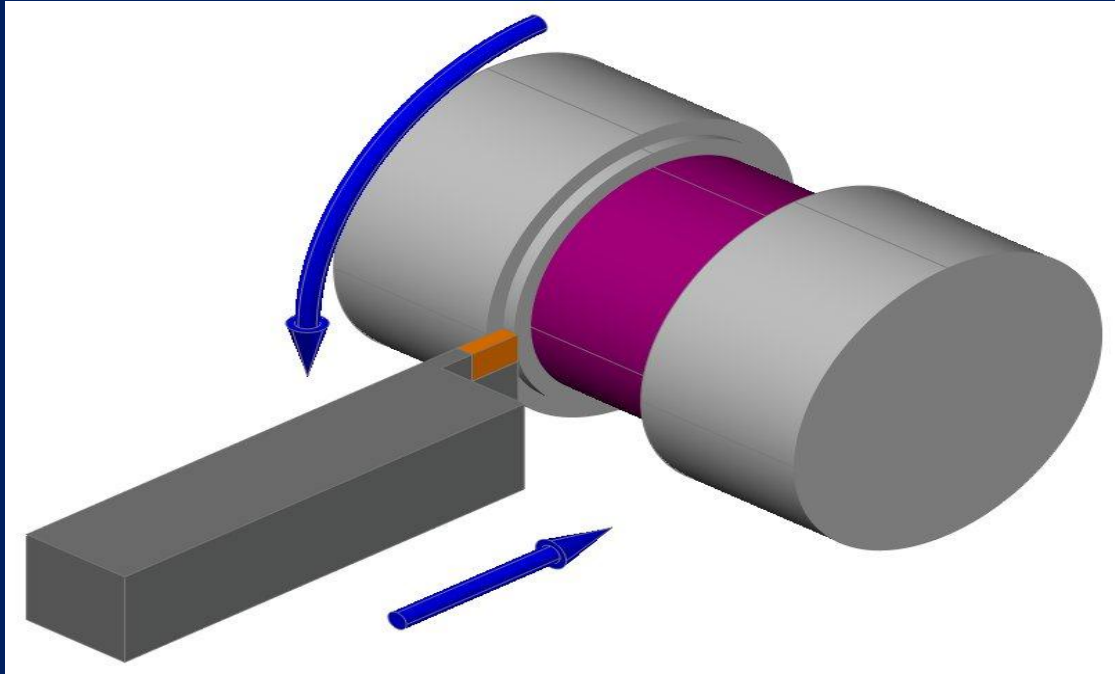
Profilno tokarenje - polukugla



Profilno tokarenje - utor

OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem



Profilno tokarenje - utor

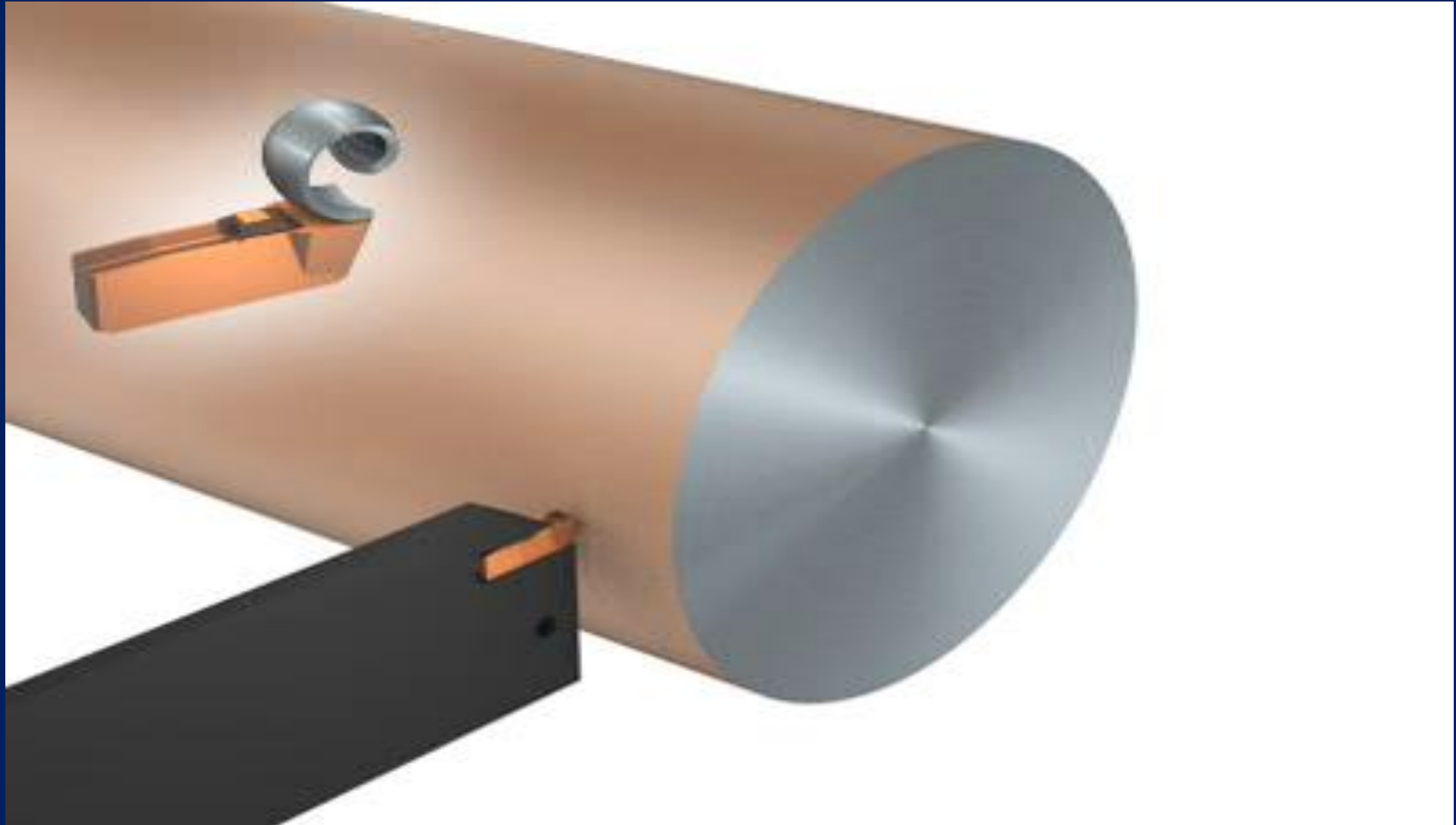
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

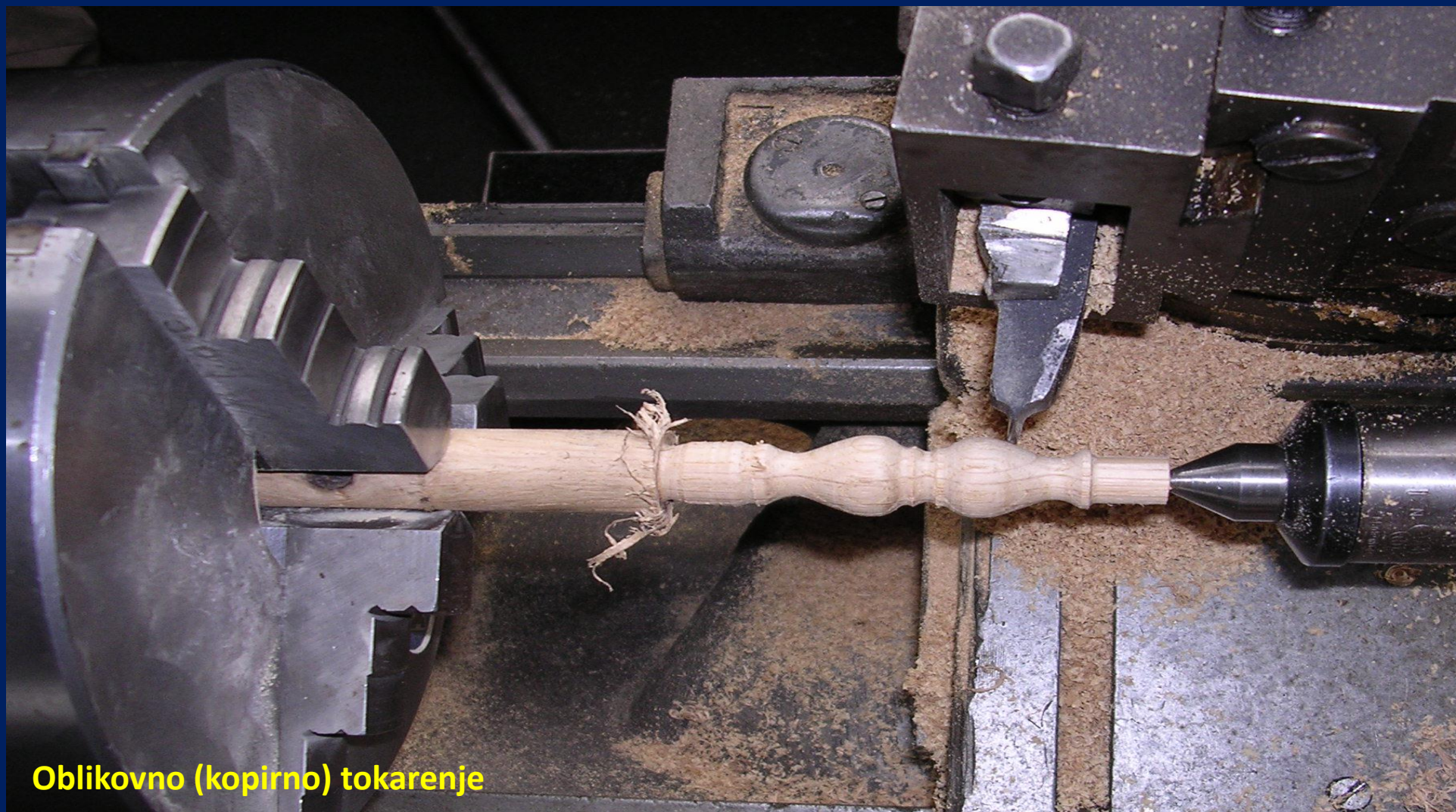
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu

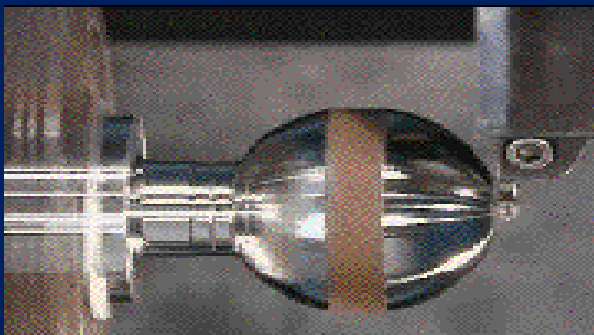
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



Poprečno tokarenje - odsjecanje
FSB, PROIZVODNO INŽENJERSTVO, OD I OO



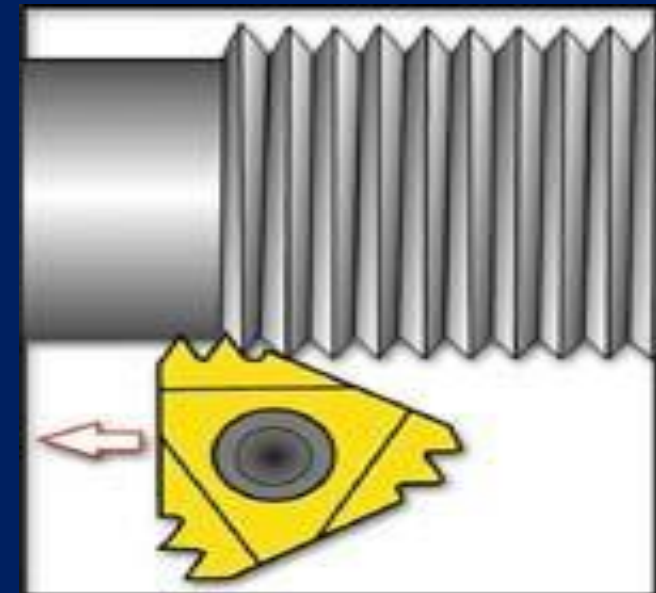
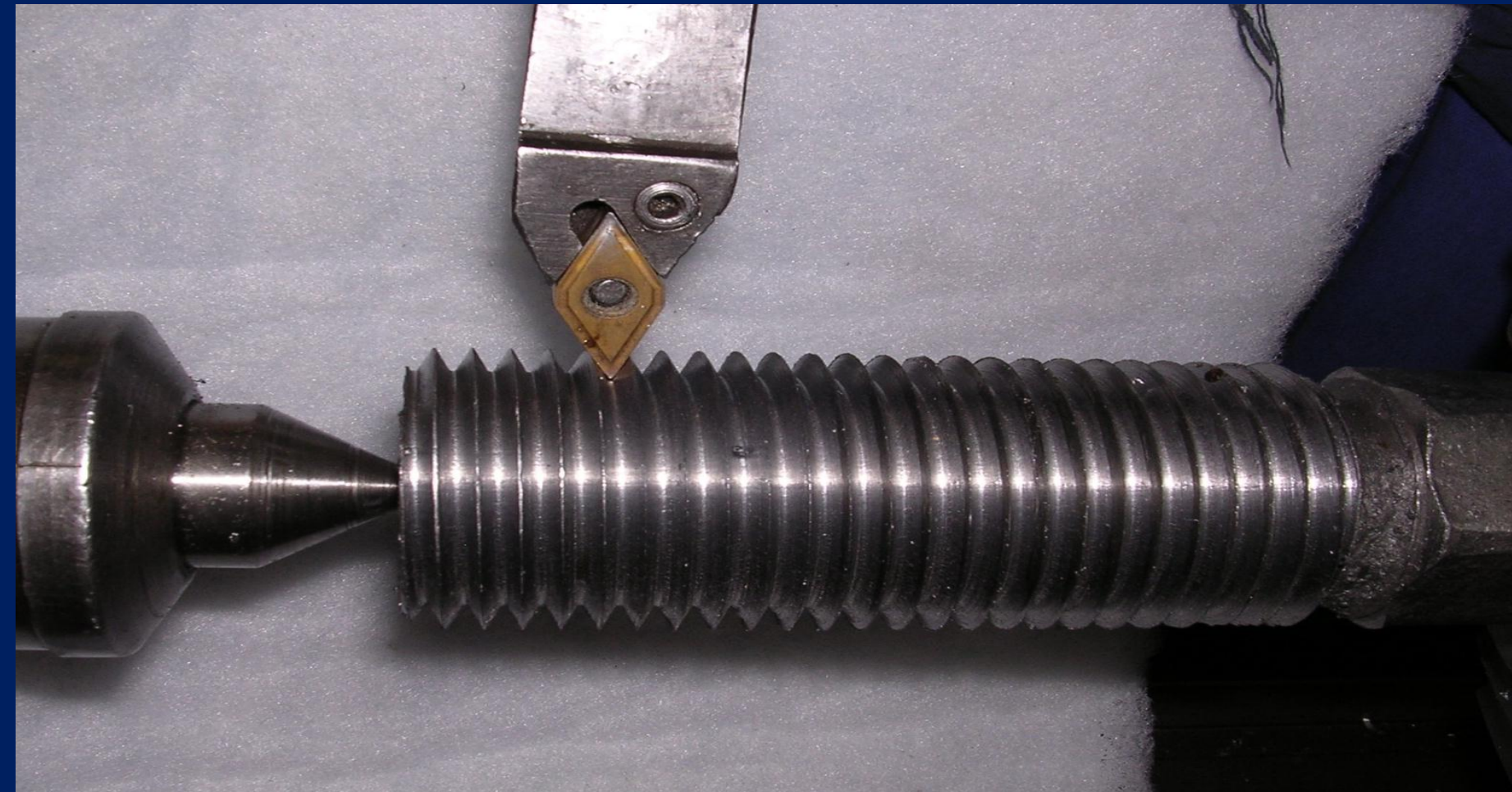
Oblikovno (kopirno) tokarenje



Oblikovno (kopirno) tokarenje, 1.5 min

OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem



Tokarenje navoja

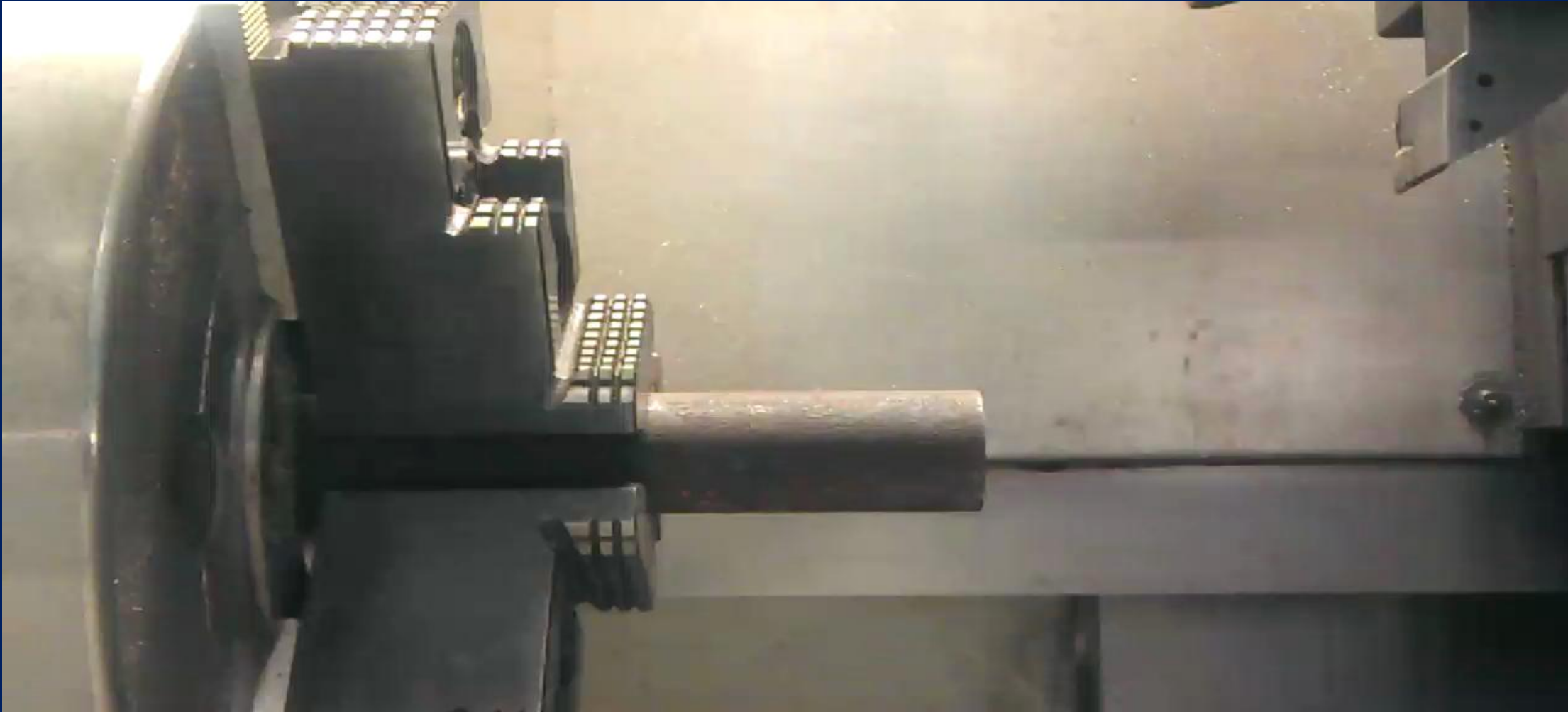
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu

100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



Tokarenje uzdužno, poprečno, kopirno i tokarenje navoja

FSB, PROIZVODNO INŽENJERSTVO, OD I OO



Neokruglo tokarenje



Tokarenje_horizontalno-32t



Tokarenje_horizontalno-najveća-
tokarilica

Tokarenje_vertikalno-gibanja



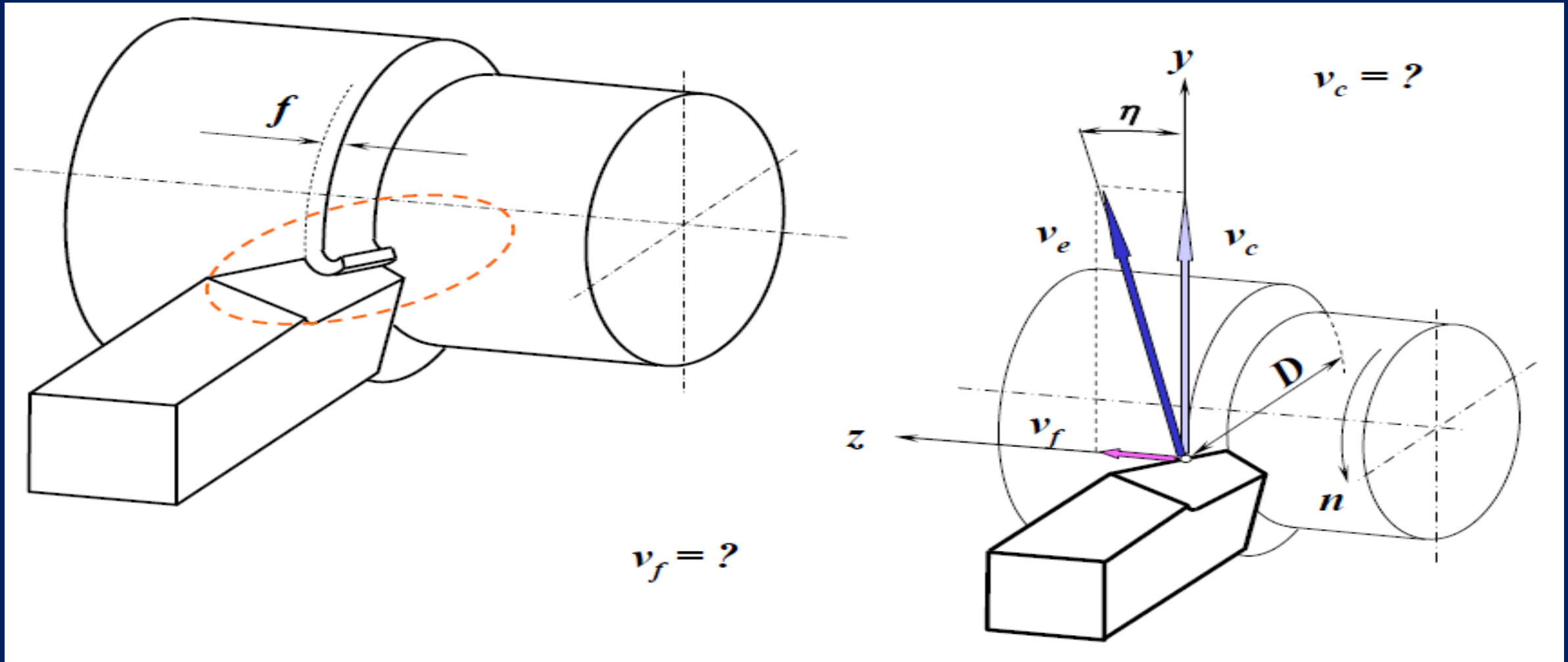
Tokarenje_vertikalno-obicno



Tokarenje_vertikalno-posmak-
obradak

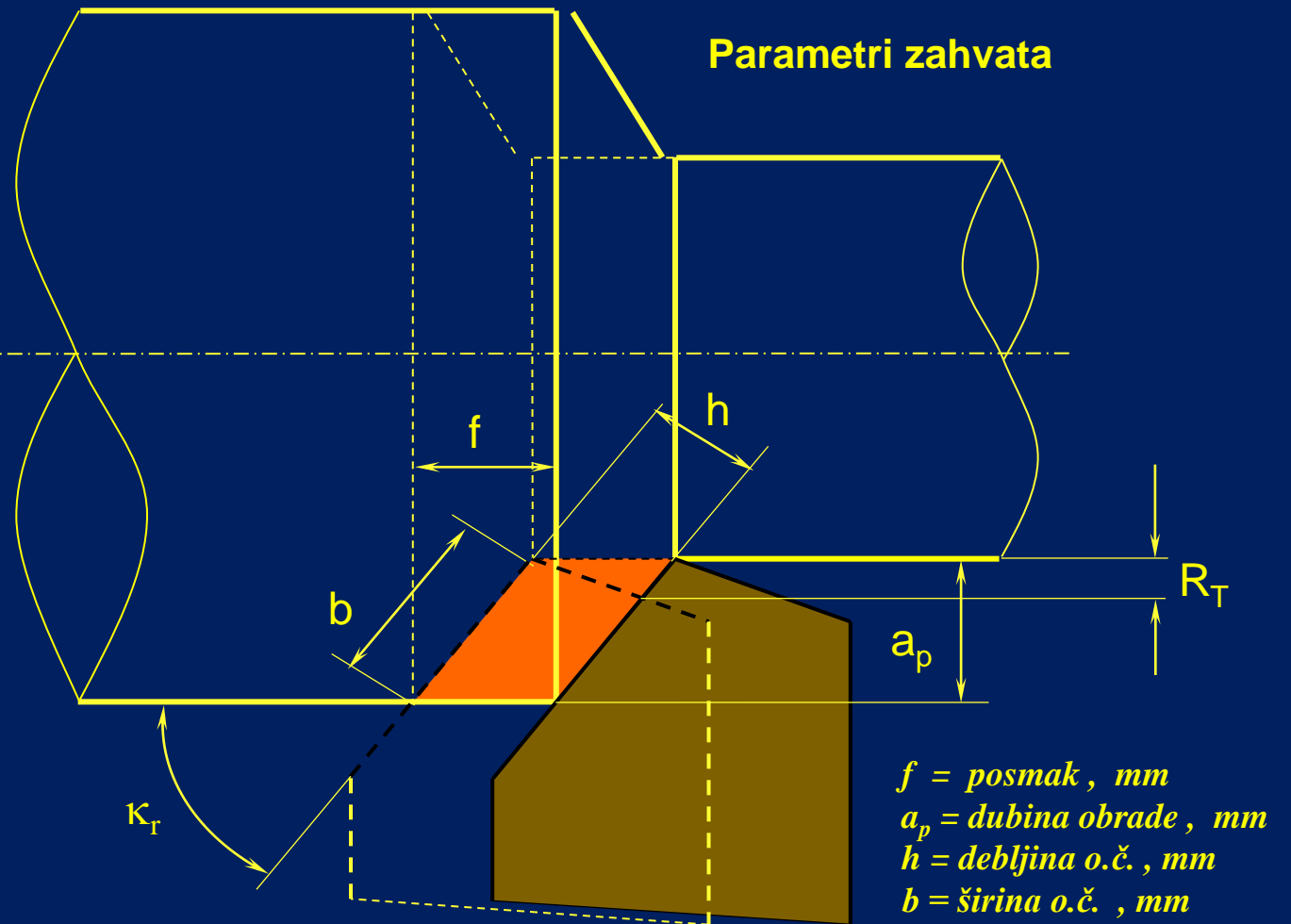
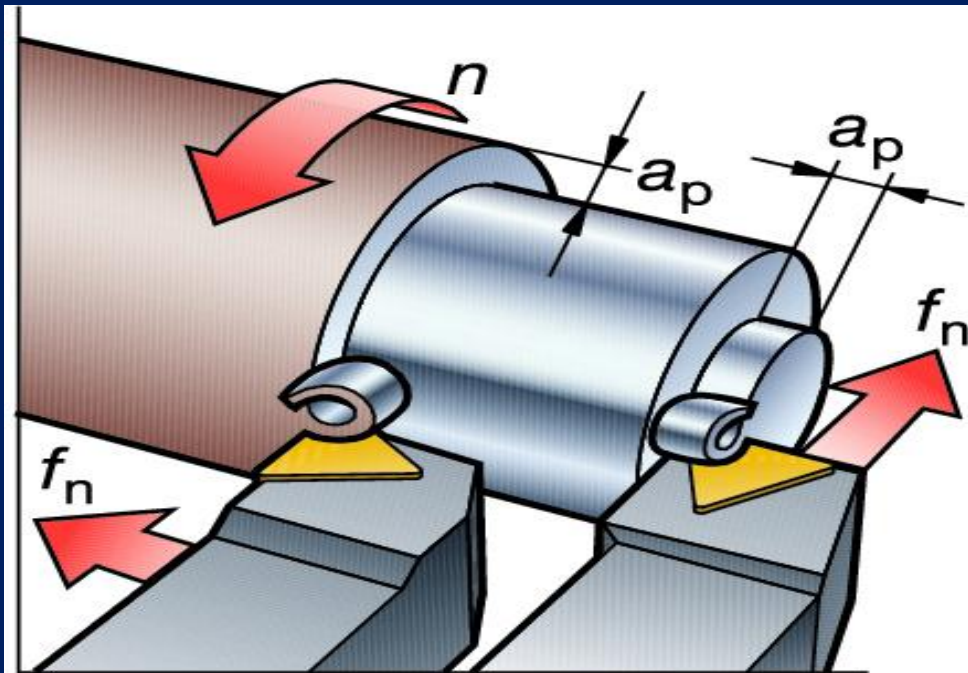
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

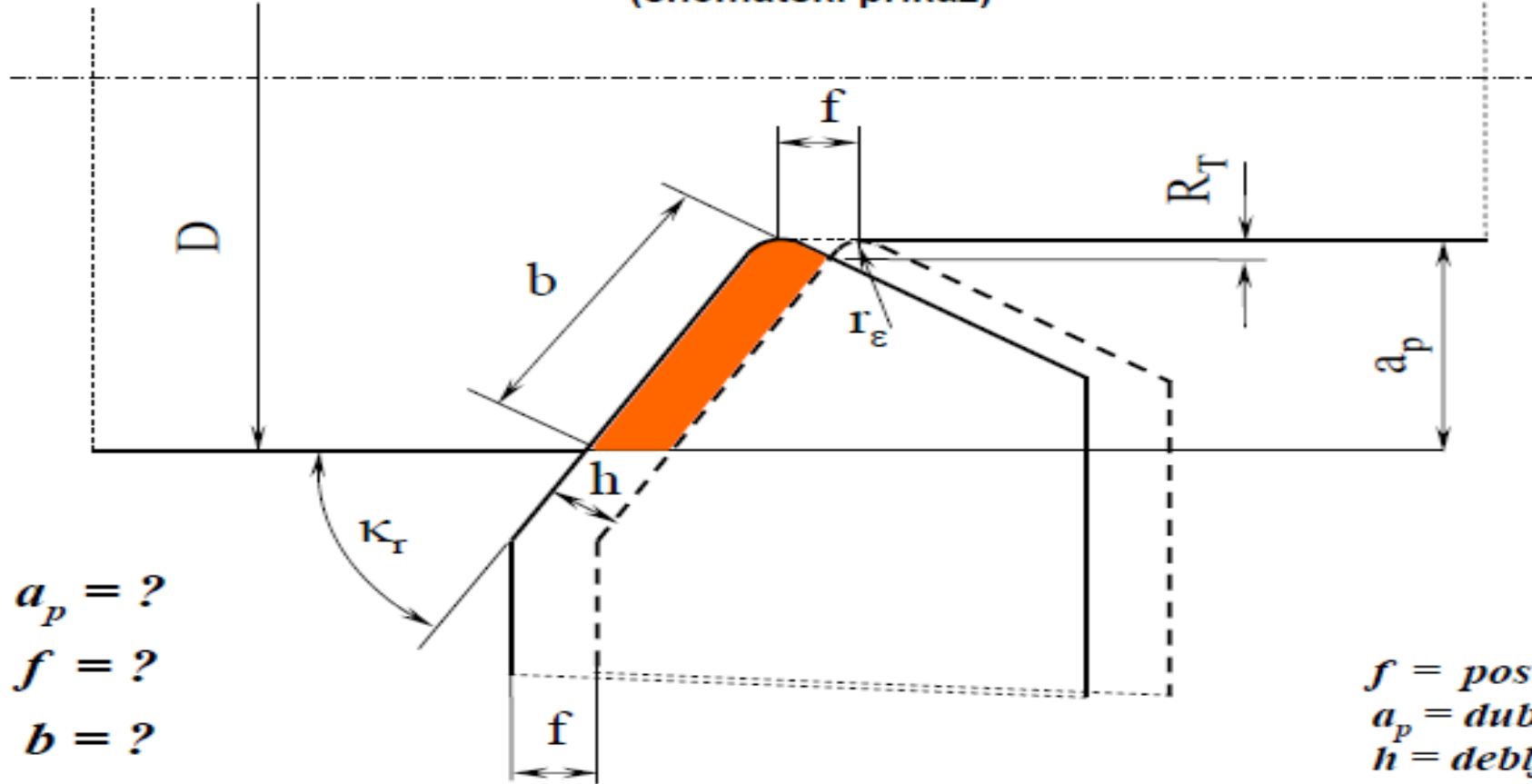
Obrada odvajanjem



Površina presjeka rezanja: $A = b \cdot h = a_p \cdot f$, mm²



Parametri zahvata
(shematski prikaz)



$R_T = ?$

$a_p = ?$

$f = ?$

$b = ?$

$h = ?$

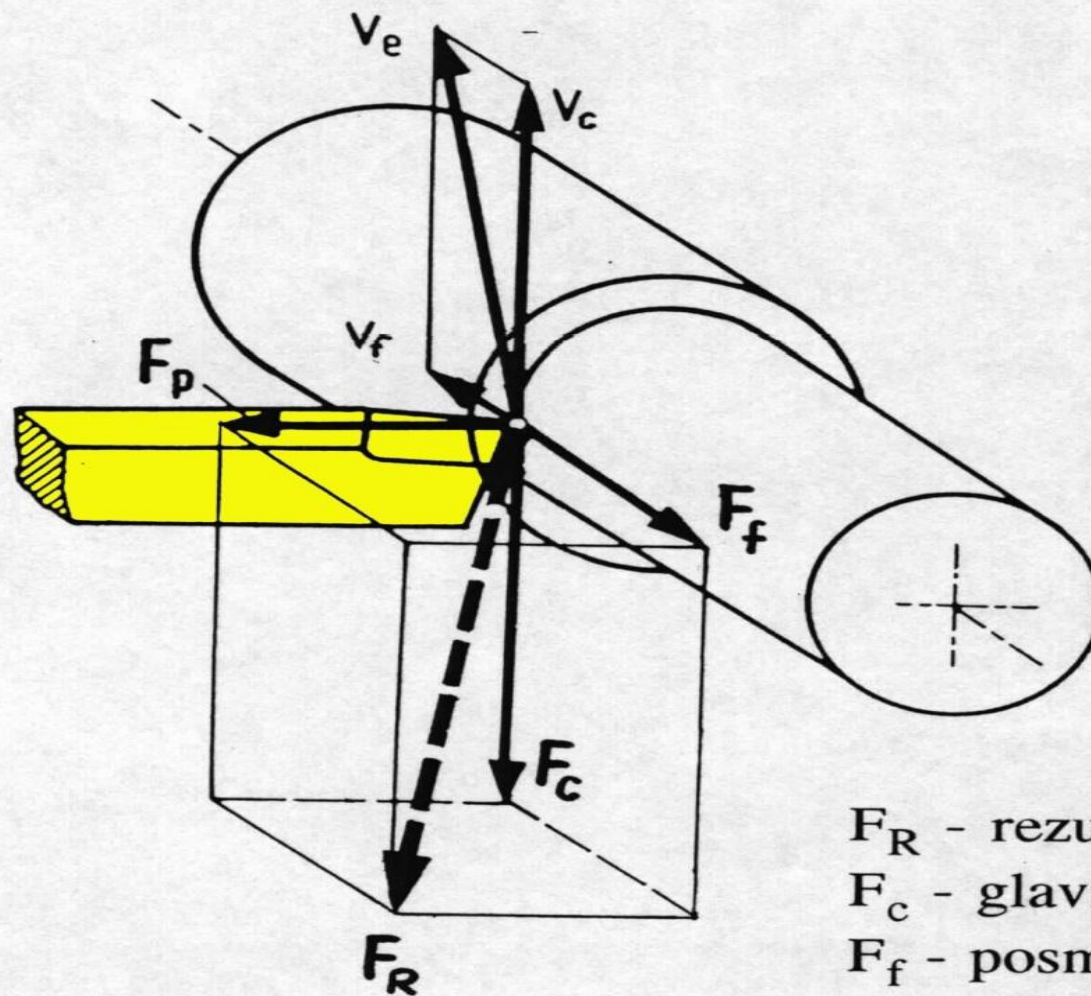
f = posmak, mm
 a_p = dubina obrade, mm
 h = debljina rezanja, mm
 b = širina rezanja, mm

Površina presjeka rezanja: ?



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem



- F_R - rezultatna sila rezanja
- F_c - glavna sila rezanja
- F_f - posmična sila rezanja
- F_p - natražna sila rezanja



Alat (tokarski nož)

brzorezni čelik, tvrdi metal, cermet, keramika, CBN, dijamant



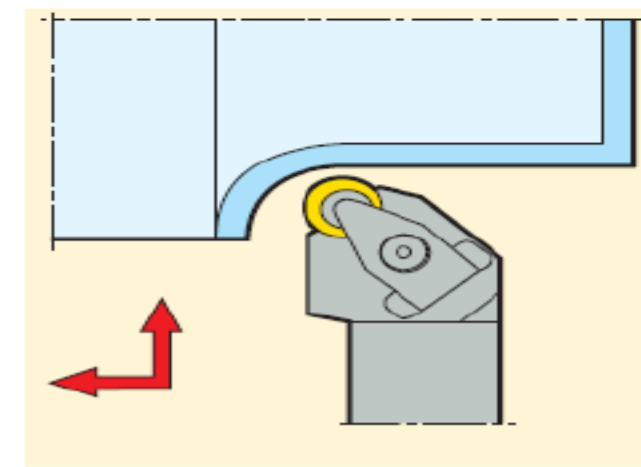
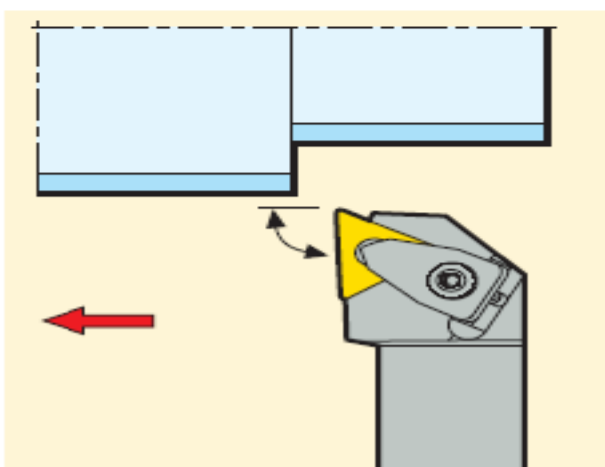
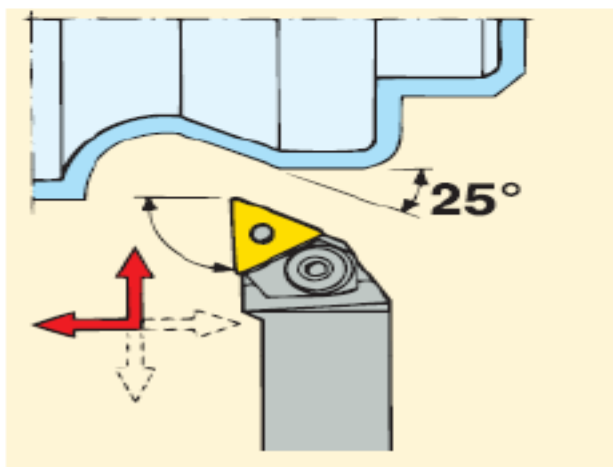
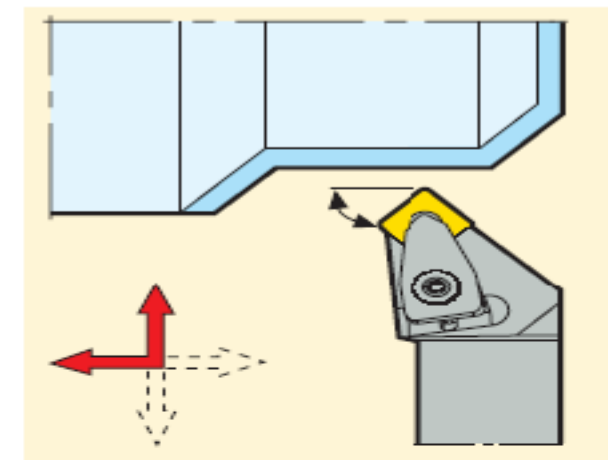
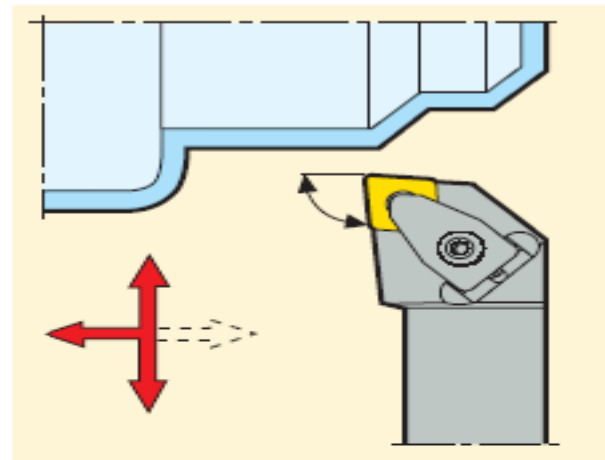
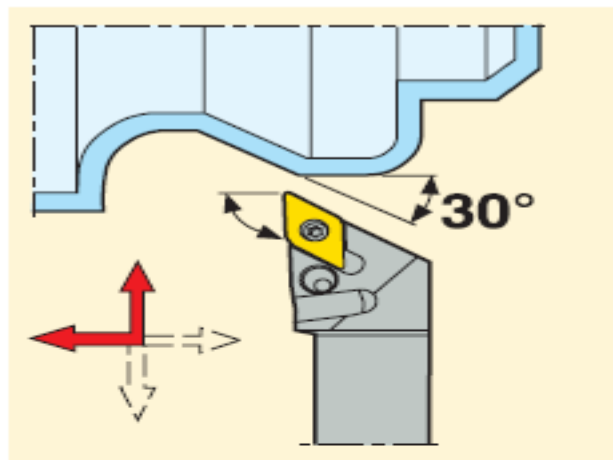


Rezne pločice



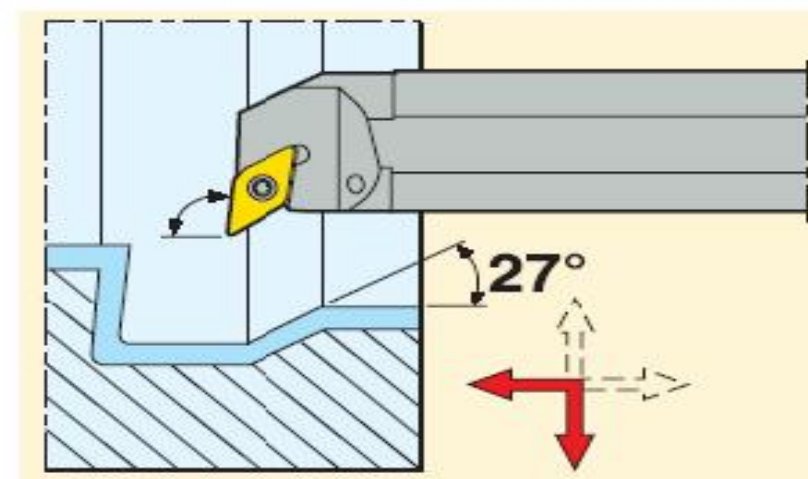
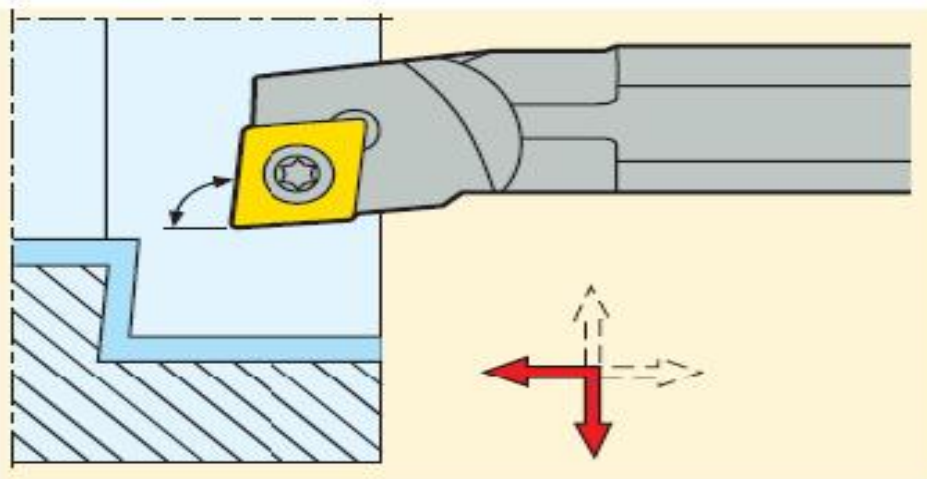


Oblici alata (tokarskih noževa) za vanjsku obradu



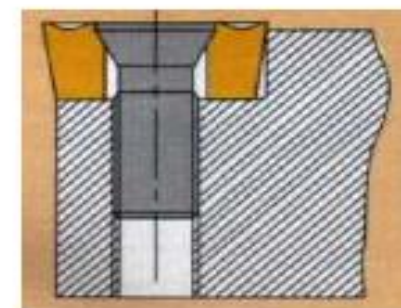
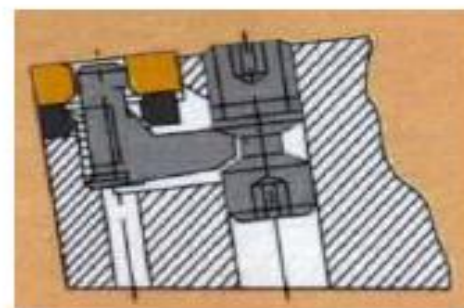
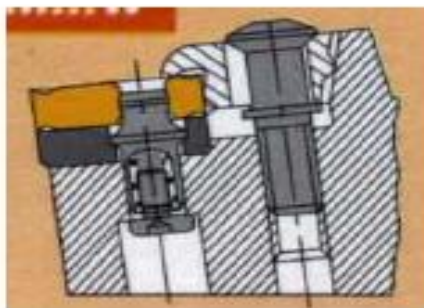
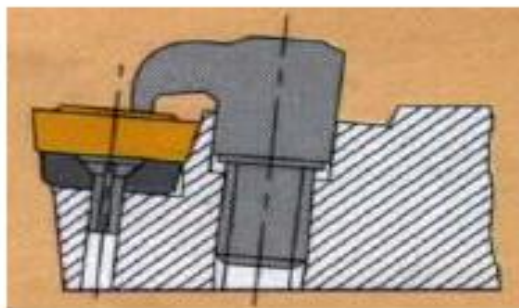
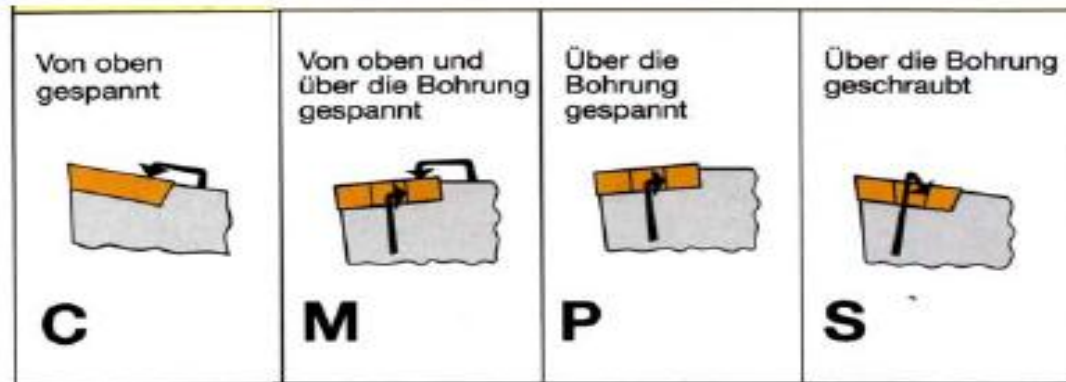


Oblici alata (tokarskih noževa) za unutarnju obradu





Način stezanja pločice





GLAVNO (TEHNOLOŠKO, STROJNO) VRIJEME OBRADJE

$$t_g = \frac{L_{uk}}{v_f} \cdot i = \frac{L_{ul} + L + L_{iz}}{f \cdot n} \cdot i$$

L_{uk} – ukupna duljina puta u smjeru posmične brzine

L_{ul} – duljina ulaznog puta (prije samoga kontakta)

L – duljina obrade

L_{iz} – duljina izlaznog puta (nakon kontakta, nakon obrade)

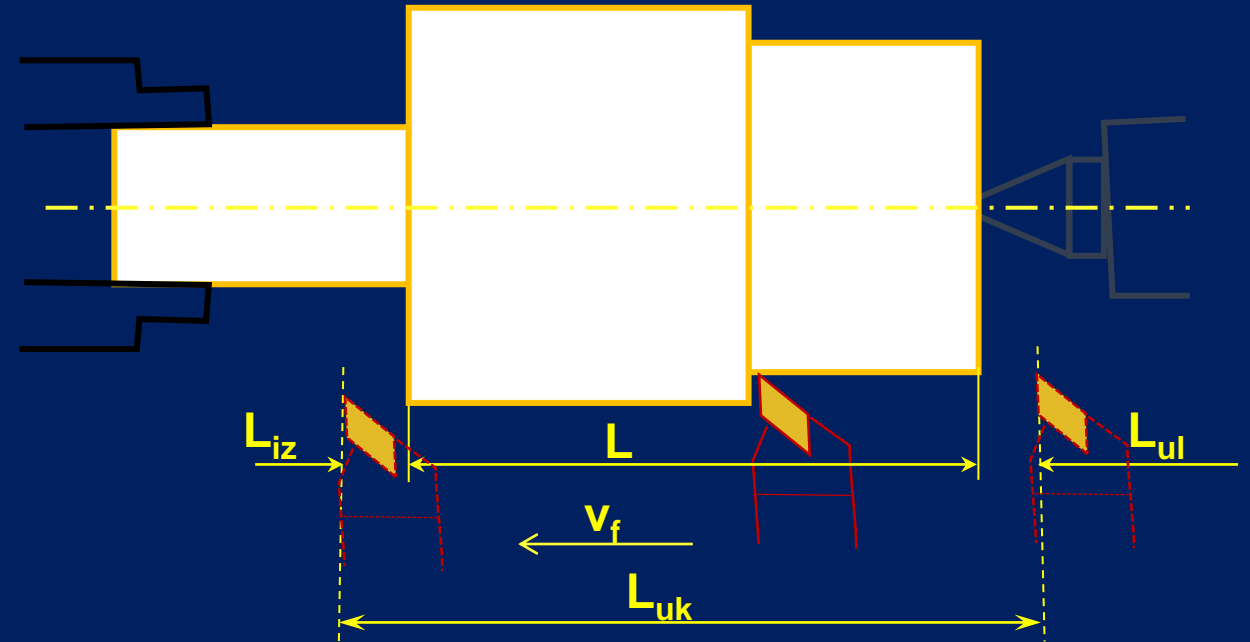
v_f – posmična brzina

i – broj prolaza



GLAVNO (TEHNOLOŠKO, STROJNO) VRIJEME OBRADE

Uzdužno tokarenje



$$t_g = \frac{L_{uk}}{v_f} \cdot i = \frac{L_{ul} + L + L_{iz}}{f \cdot n} \cdot i$$

GLAVNO (TEHNOLOŠKO, STROJNO) VRIJEME OBRADE

Poprečno tokarenje

a) Stalan (konstantan) broj okretaja

$$t_g = \frac{L_{uk}}{v_f} \cdot i = \frac{L_{ul} + L + L_{iz}}{f \cdot n} \cdot i$$

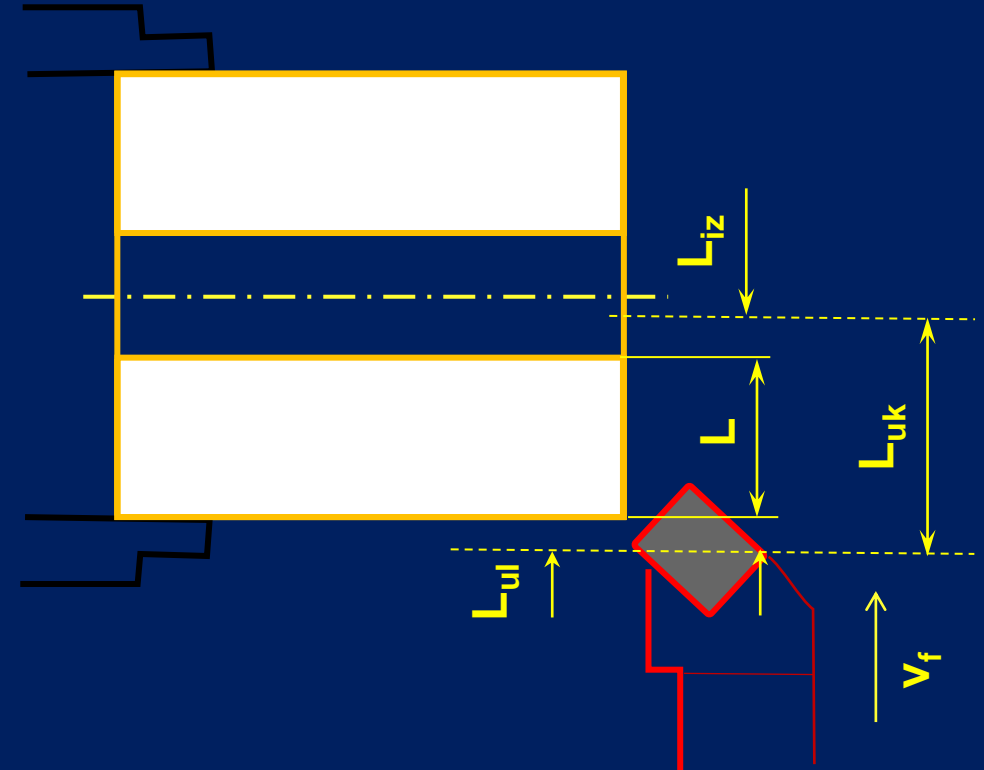
b) Stalna (konstantna) brzina rezanja

$$t_g = \frac{L_{uk}}{v_f} \cdot i \text{ za jedan prolaz} \quad t_g = \frac{L_{uk}}{v_f}$$

Smanjenjem promjera povećava se broj okretaja,
a time i posmična brzina

$$t_g = \frac{L_{uk}}{v_{f_{sr}}} \text{ za primjer na skici} \quad t_g = \frac{(D_1 - D_2)/2}{f \cdot \frac{v_c}{D_{sr} \cdot \pi}}$$

$$t_g = \frac{(D_1 - D_2)/2}{f \cdot v_c} \cdot \frac{1}{(D_1 + D_2)/2} = \frac{\pi(D_1^2 - D_2^2)}{4 \cdot f \cdot v_c}$$





GLAVNO (TEHNOLOŠKO, STROJNO) VRIJEME OBRADE

Oštrica (vrh) iznad i ispod osi obratka

Negativna geometrija



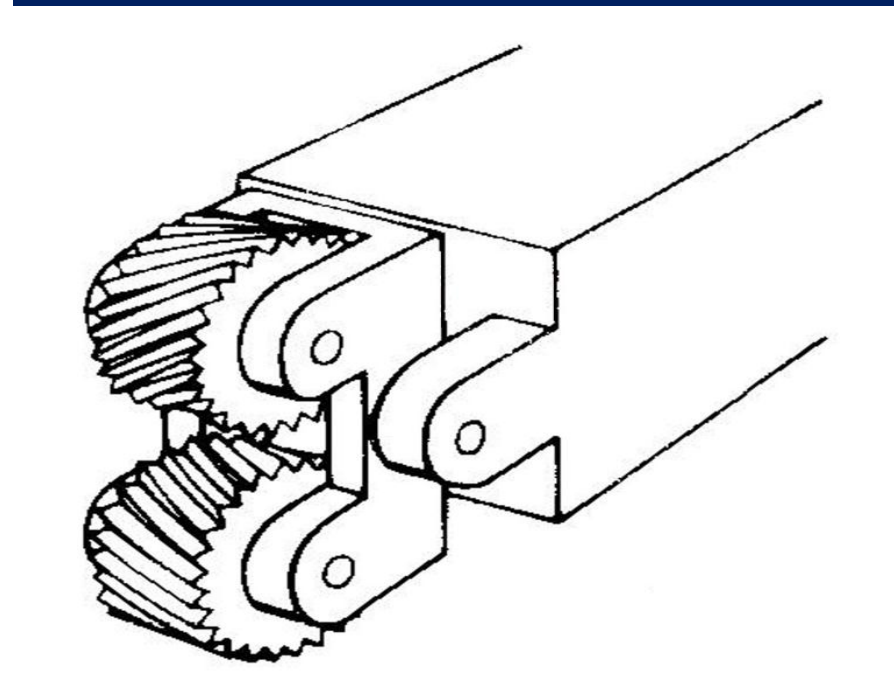
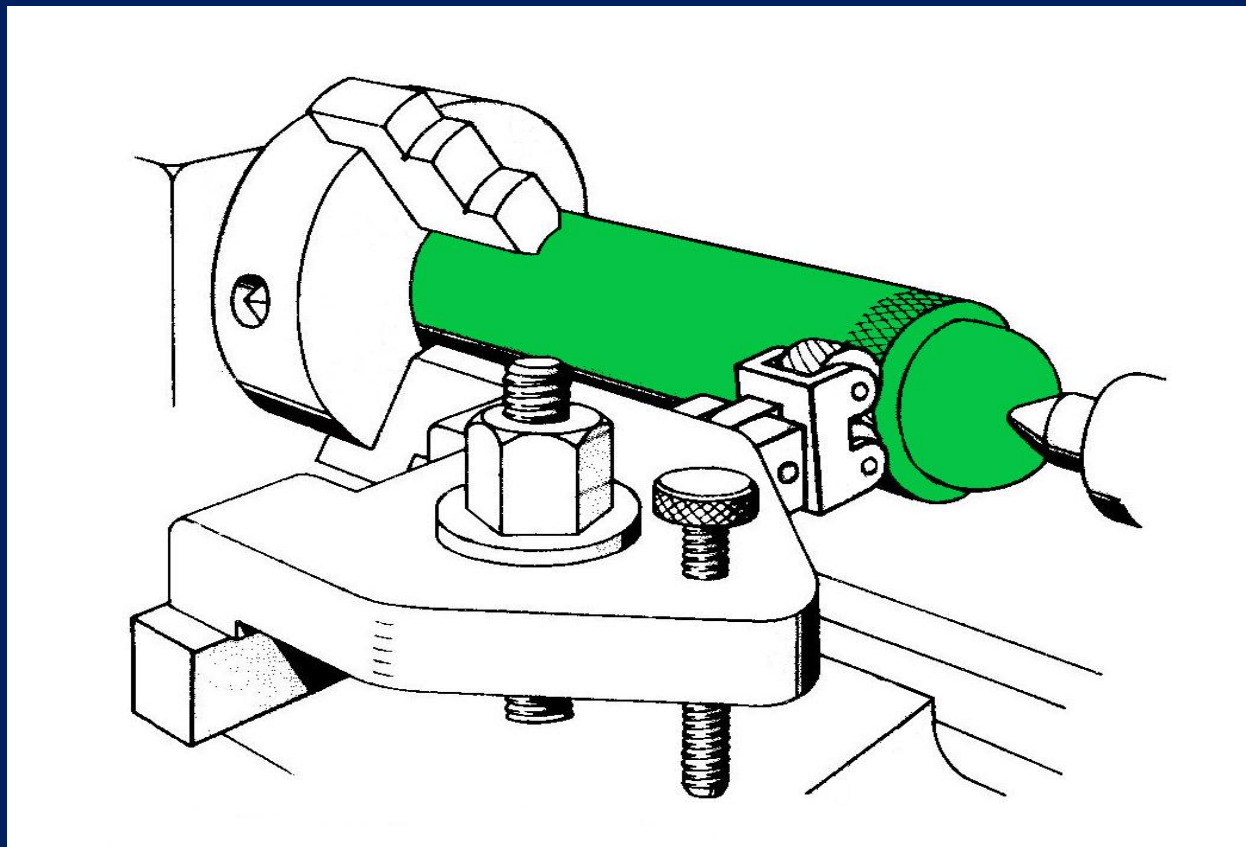
Rovašenje

Proces utiskivanja teksture na okrugle površine koji se najčešće primjenjuje kako bi se olakšalo rukovanje, a ponekad zbog povećanja promjera dijela radi utiskivanja u druge dijelove te zbog boljeg vizualnog efekta površine.



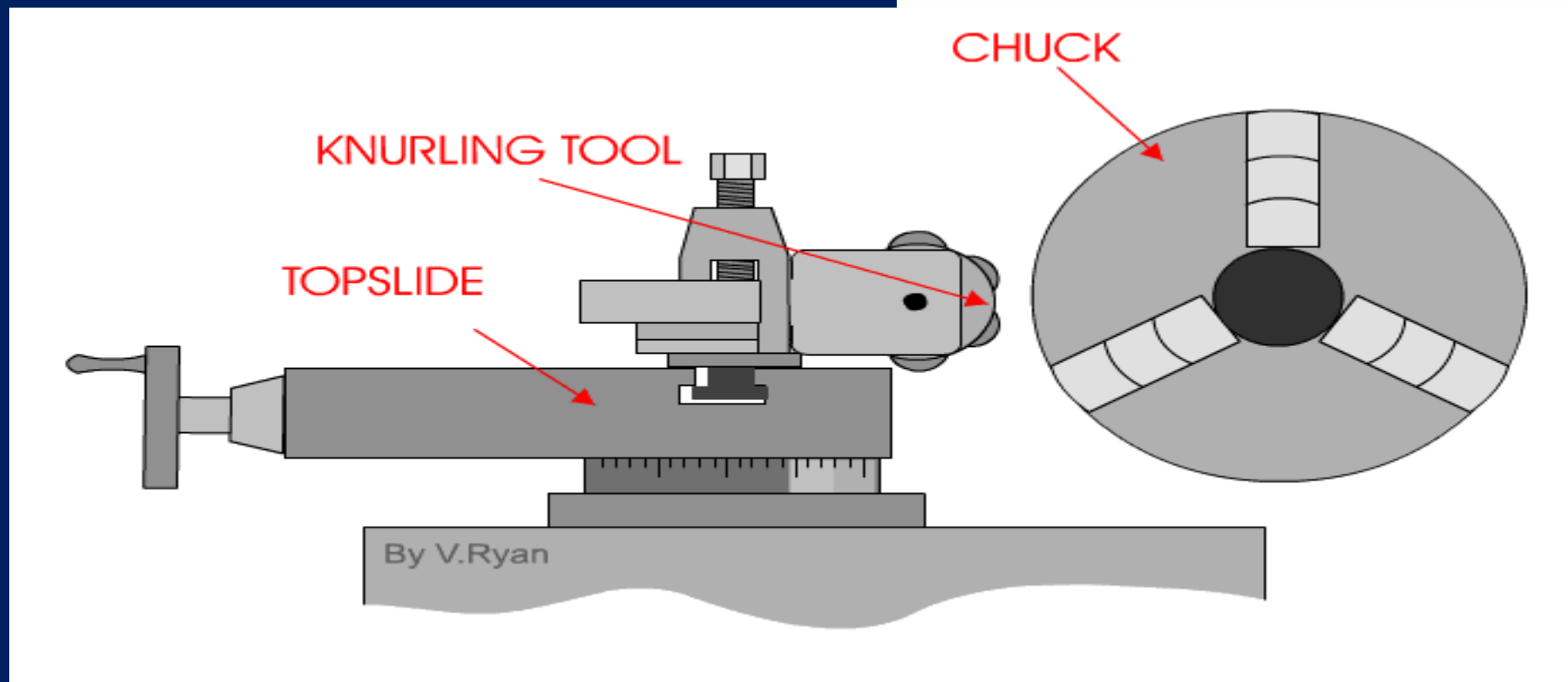
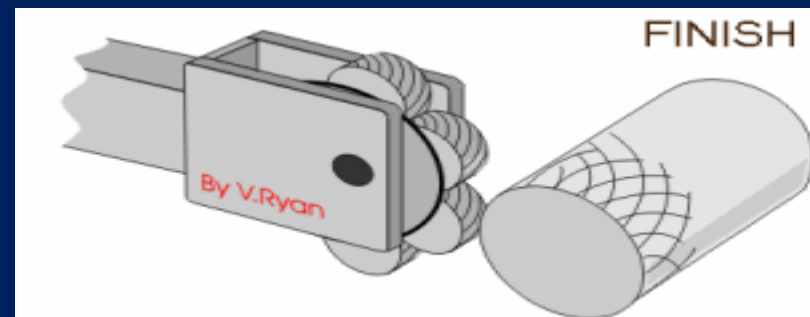


Rovašenje





Rovašenje





Rovašenje





Posebности kod tokarenja

Tvrdo tokarenje

Mikro tokarenje

Tokarski obradni centri (TOC)

HS tokarenje (visokobrzinsko tokarenje)

HF tokarenje (tokarenje velikim posmacima)

DRY tokarenje (suho tokarenje)

MQL(C) tokarenje