



Postupci obrade odvajanjem čestica alatima nedefinirane geometrije oštrice

OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Postupci obrade odvajanjem čestica (DIN8580)

RUČNI

- ručnim alatima:
- turpijanje,
- bušenje,
- piljenje,
- glodanje

STROJNI

Rezni alat s oštricom

Geometrijski definirana oštrica

- Tokarenje
- Glodanje
- Bušenje, upuštanje, razvrtavanje
- Blanjanje, dubljenje
- Piljenje
- Provlačenje

Geometrijski nedefinirana oštrica

- Brušenje
- Superfinaš
- Honanje
- Lepanje

Rezni alat bez oštrice

- Elektroerozija - EDM
- Elektrokemijska obrada - ECM
- Obrada laserom
- Obrada vodenim mlazom - WJM



Postupci alatima nedefinirane geometrije oštrice

Postupci obrade odvajanjem čestica (DIN8580)

- Brušenje
- Superfinaš
- Honanje
- Lepanje

**Postupci OOČ reznim alatom s
geometrijski nedefiniranom
(neodređenom) oštricom**



BRUŠENJE





BRUŠENJE

Brušenje je vrlo precizan postupak obrade odvajanjem čestica (rezanjem) koji se upotrebljava za finu i pretežito završnu obradu, pretežito tvrdih površina ravnog, cilindričnog ili složenog oblika.

Kod najzastupljenijeg, klasičnog brušenja dodatak materijala za obradu brušenjem je od 0,1 do 0,2 mm. Ostvarivi razred hrapavosti površina je N3 – N6, a nosivost površine do 40%

Izvodi se na alatnim strojevima, pretežito brusilicama, pri čemu je glavno (režno) gibanje kružno, kontinuirano i pridruženo je alatu. Posmično gibanje je pridruženo (najčešće) obratku, a njegov oblik ovisi o vrsti brušenja.

Alat za brušenje je brus, s većim brojem reznih oštrica. Rezne oštrice nalaze se na brusnim zrnima, koja su nedefinirane geometrije reznoga dijela i koja su osnovni sastojak brusa. Za izradu brusnog zrna najčešće se koriste: korund (Al_2O_3), silicijev karbid (SiC), kubični borov nitrid (CBN) i polikristalični dijamant (PCD)



PODJELA POSTUPKA

Brušenje se može podijeliti na osnovi više kriterija podjele:

Prema učinku:

klasično

$$v_b < 35 \text{ ms}^{-1}$$

$$v_o < 1,5 \text{ ms}^{-1}$$

$$a_p < 0,12 \text{ mm}$$

učinsko

duboko

$$v_b < 35 \text{ ms}^{-1}$$

$$v_o < 0,05 \text{ ms}^{-1}$$

$$a_p < 30 \text{ mm}$$

povećanim brzinama

$$v_b < 120 \text{ ms}^{-1}$$

$$v_o < 2,5 \text{ ms}^{-1}$$

$$a_p < 0,2 \text{ mm}$$

visokoučinsko

$$v_b < 120 \text{ ms}^{-1}$$

$$v_o < 0,03 \text{ ms}^{-1}$$

$$a_p < 30 \text{ mm}$$

Prema kinematici postupka:

istosmjerno i protusmjerno

Prema položaju reznih oštrica na brusu:

obodno i čeono

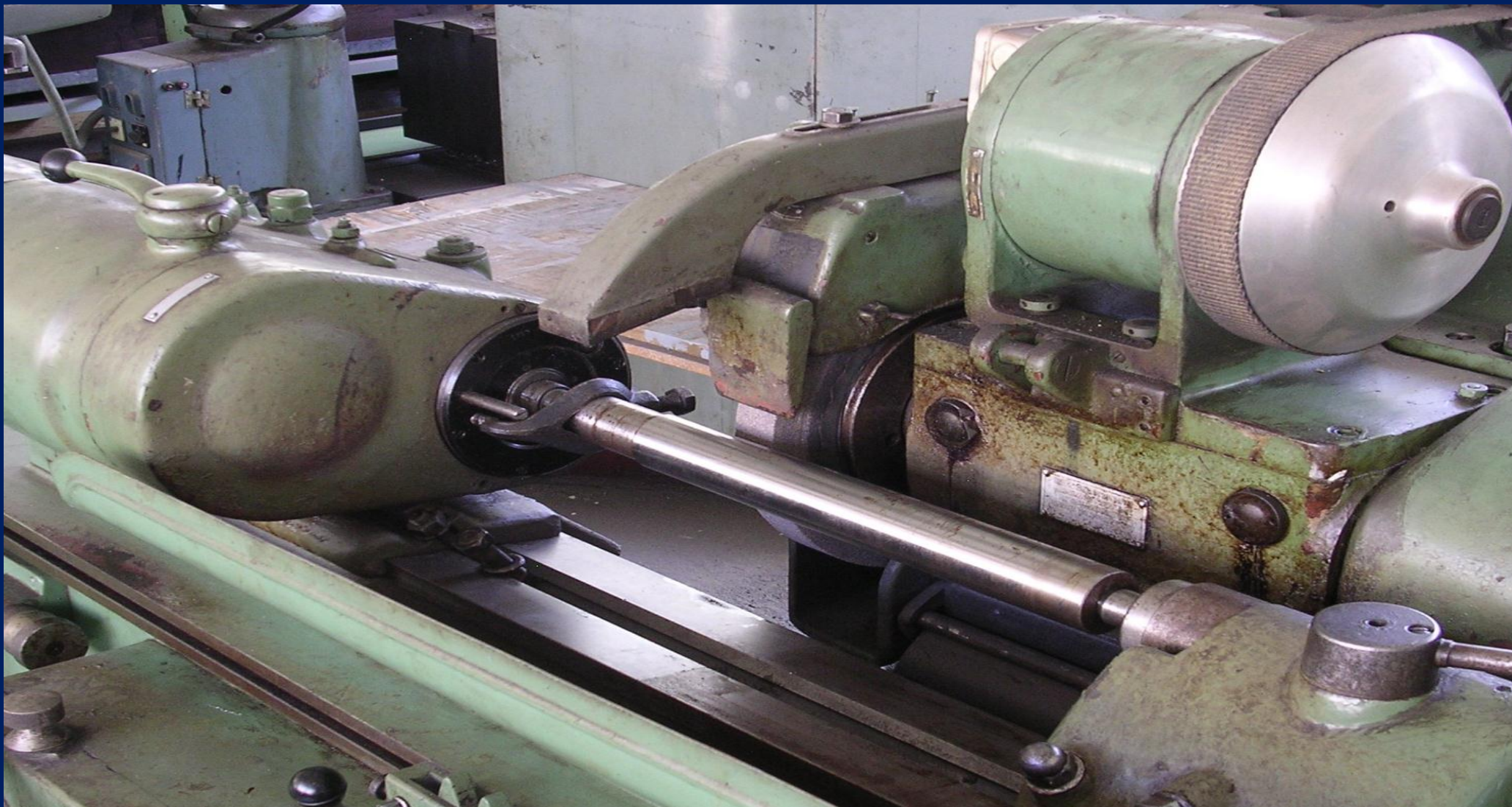
Prema obliku obrađene površine: (elementarne površine)

okruglo (vanjsko i unutarnje), **ravno** (obodno i čeono), **brušenje složenih površina**



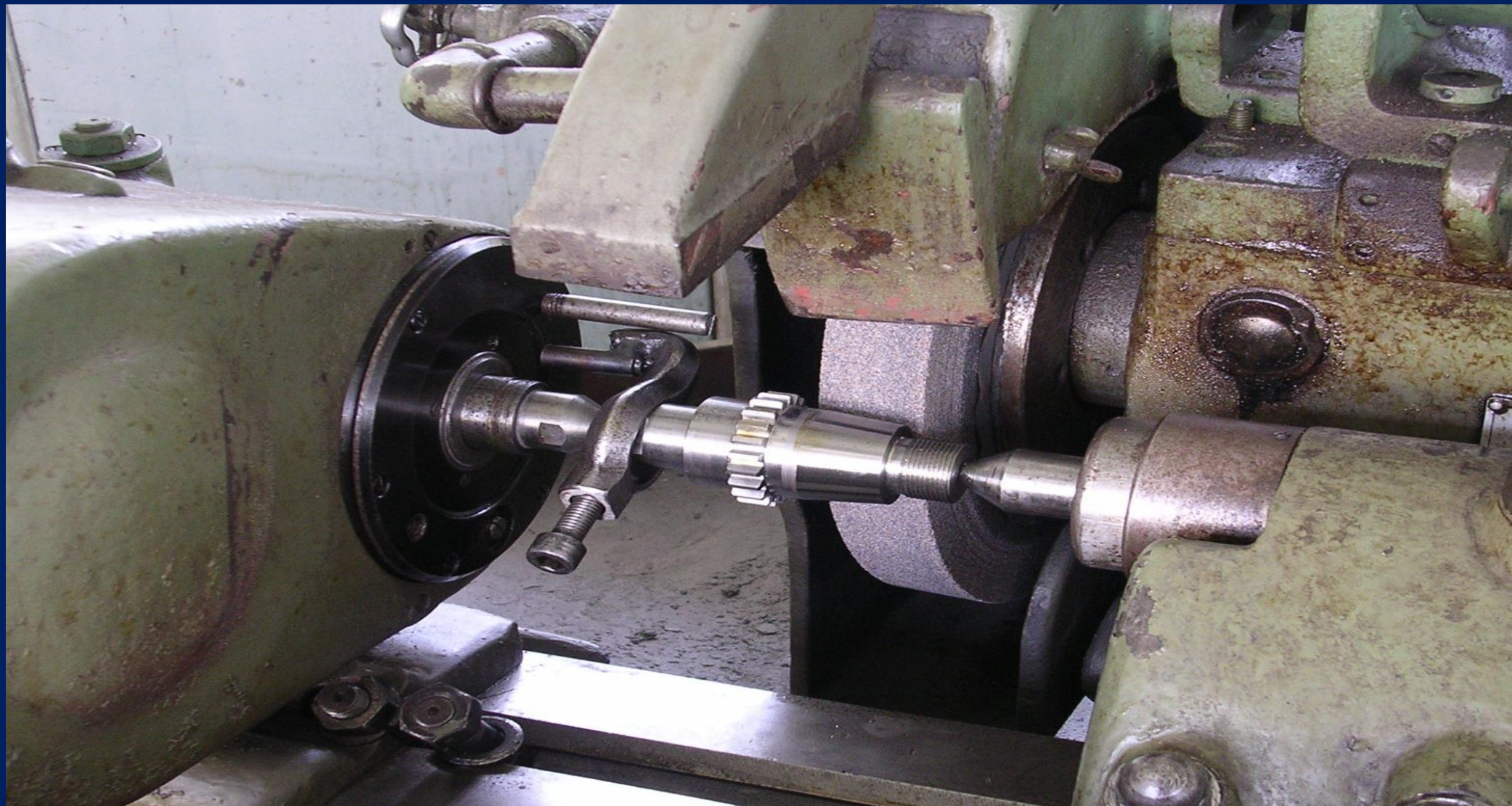
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem čestica



Vanjsko obodno okruglo brušenje dugih obradaka

FSB ZAGREB, PROIZVODNO INŽENJERSTVO, OD I 00



Vanjsko obodno okruglo brušenje konusa

OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem čestica

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu

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



Vanjsko obodno okruglo brušenje bez šiljaka

FSB ZAGREB, PROIZVODNO INŽENJERSTVO, OD I 00

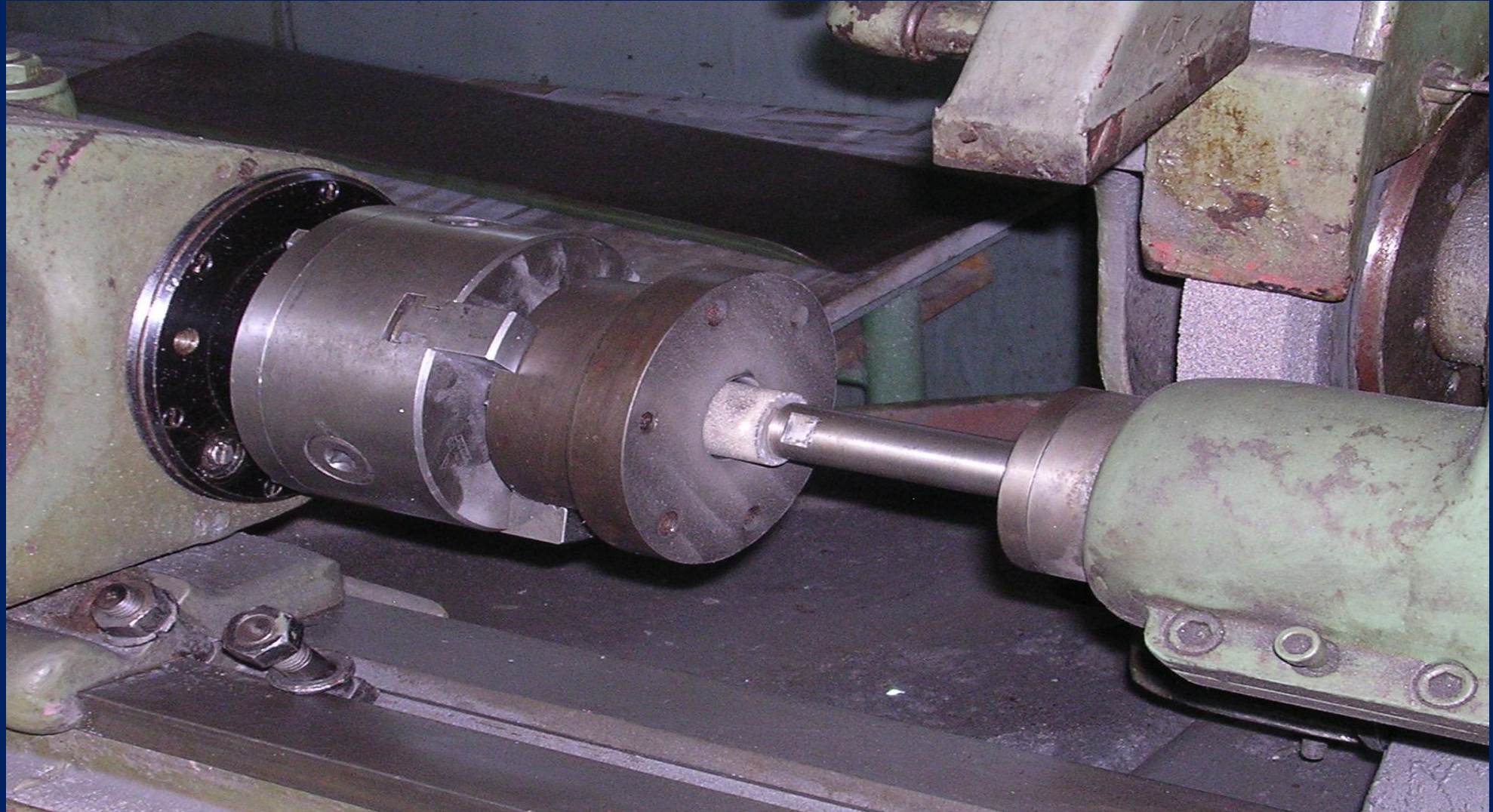
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem čestica

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu

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



Unutarnje obodno okruglo brušenje

FSB ZAGREB, PROIZVODNO INŽENJERSTVO, OD I OO

OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem čestica

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu

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



Vanjsko obodno ravno brušenje

FSB ZAGREB, PROIZVODNO INŽENJERSTVO, OD I OO

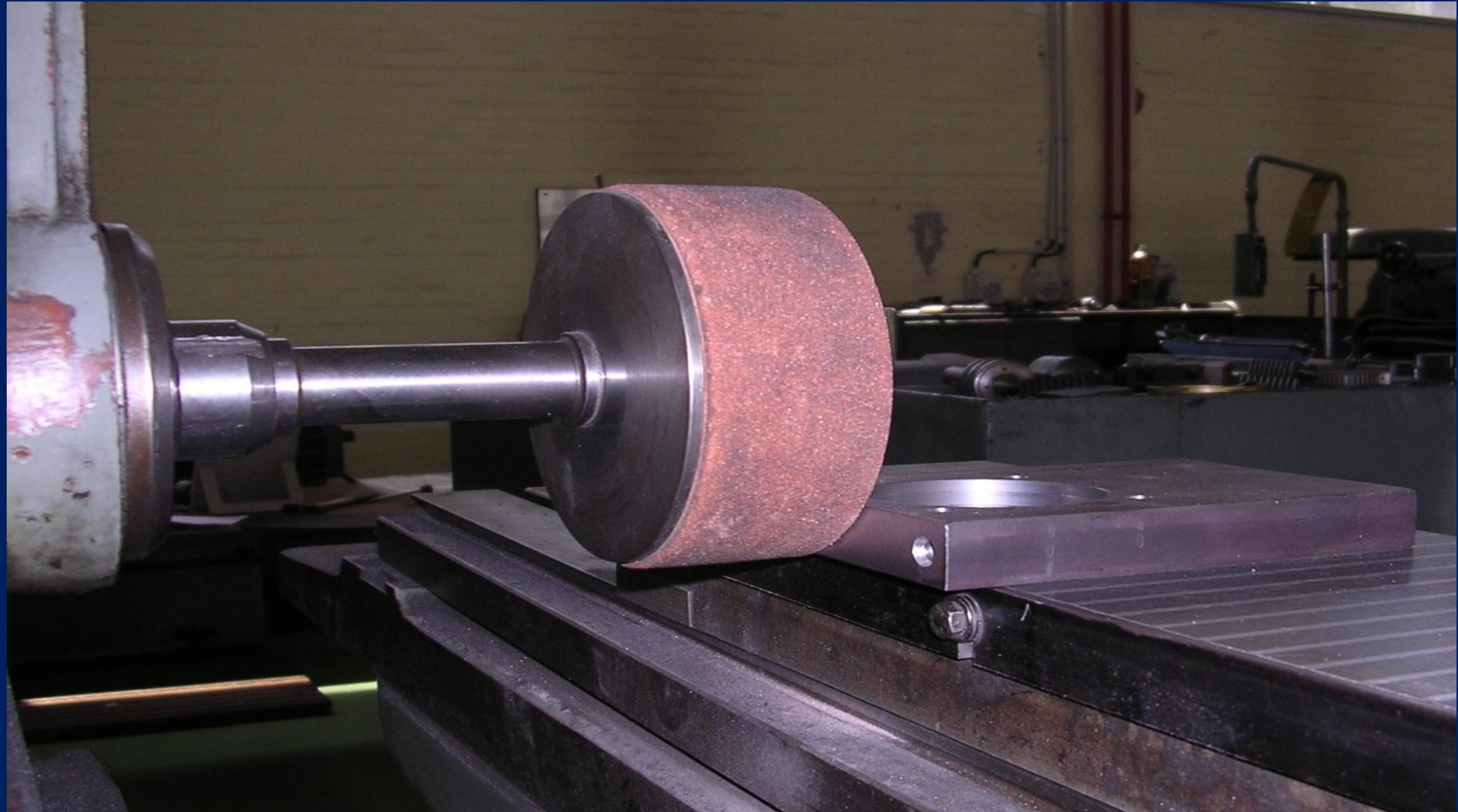
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem čestica

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu

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



Vanjsko čeono ravno brušenje

FSB ZAGREB, PROIZVODNO INŽENJERSTVO, OD 1 00

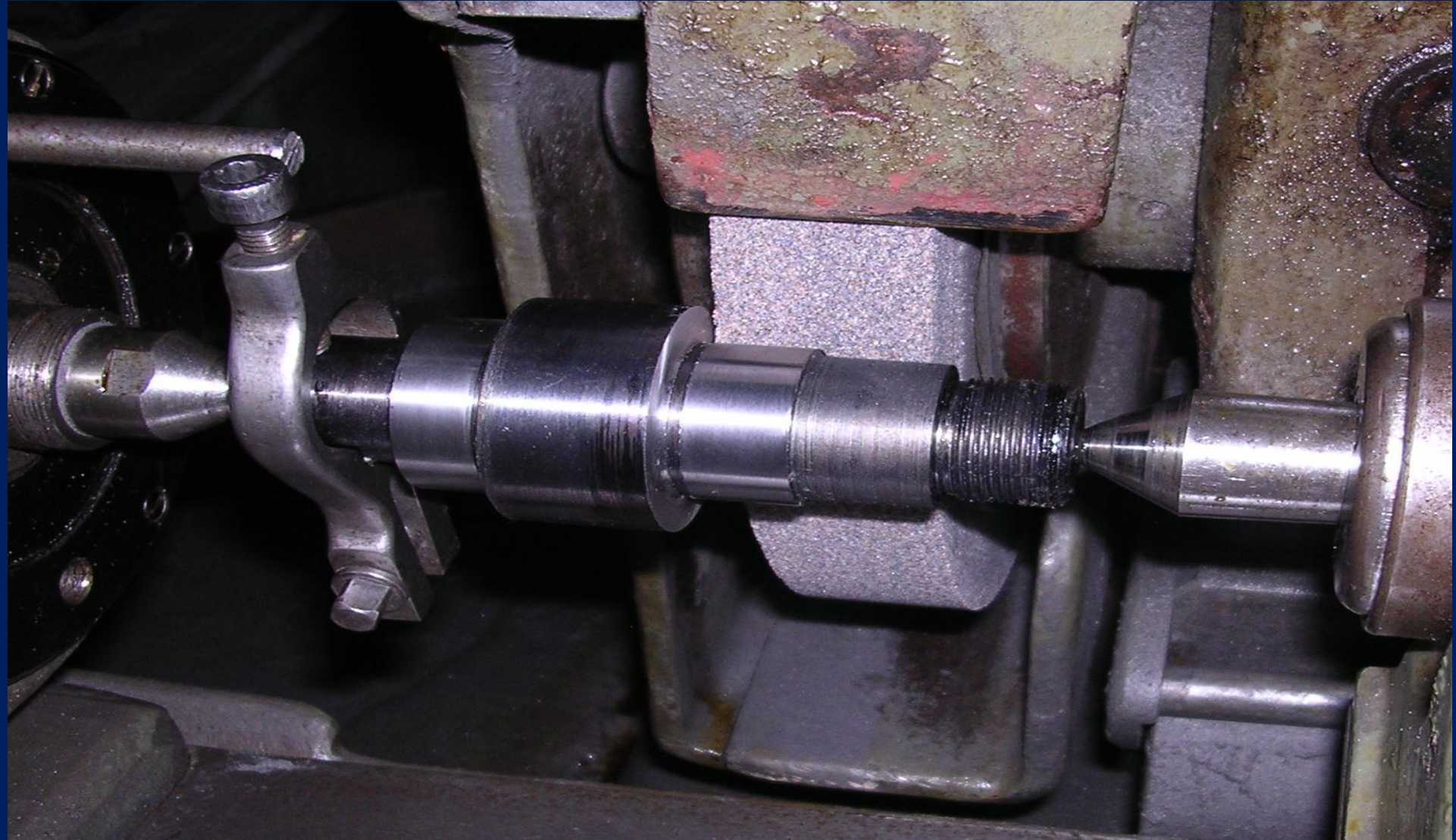
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem čestica

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu

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



Brušenje složenih površina

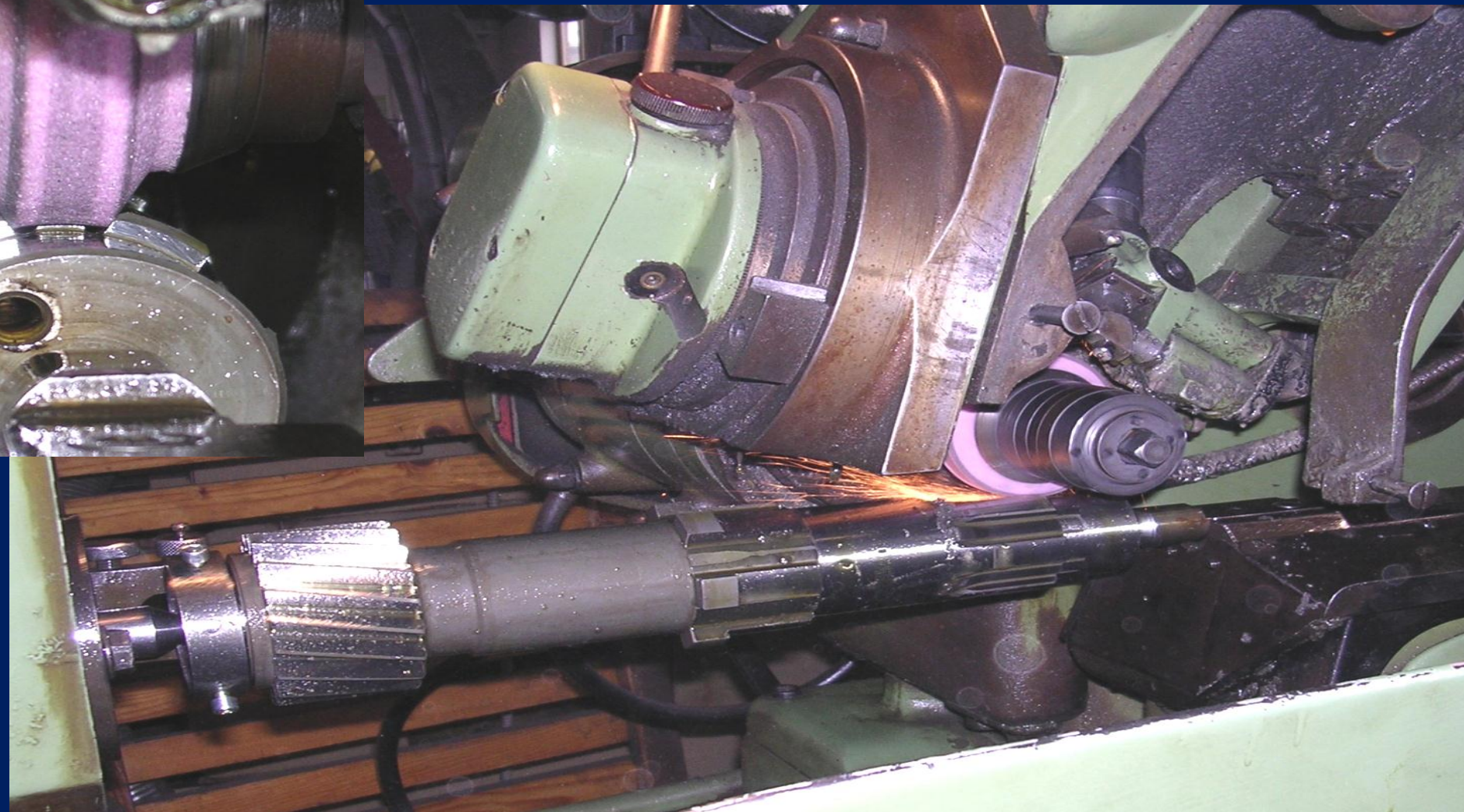
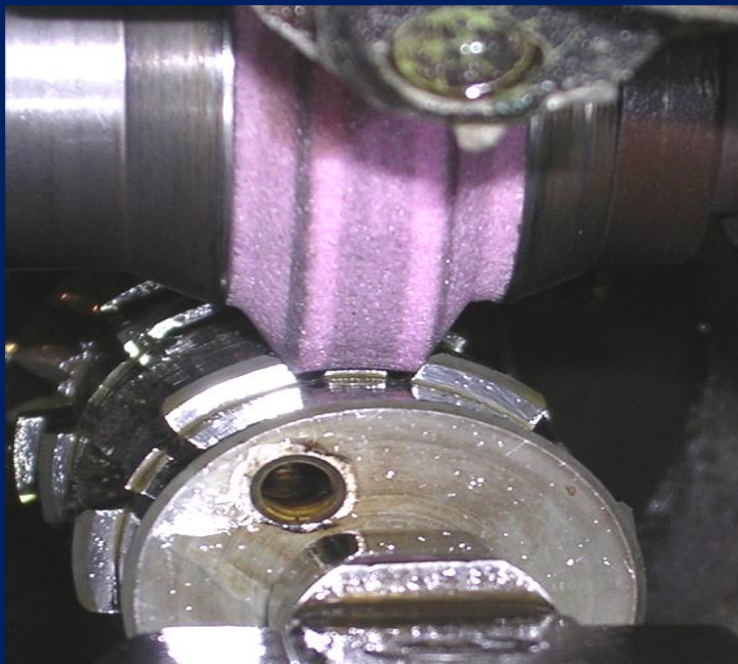
FSB ZAGREB, PROIZVODNO INŽENJERSTVO, OD I OO



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem čestica

Brušenje složenih površina (brusjenje žljebova)



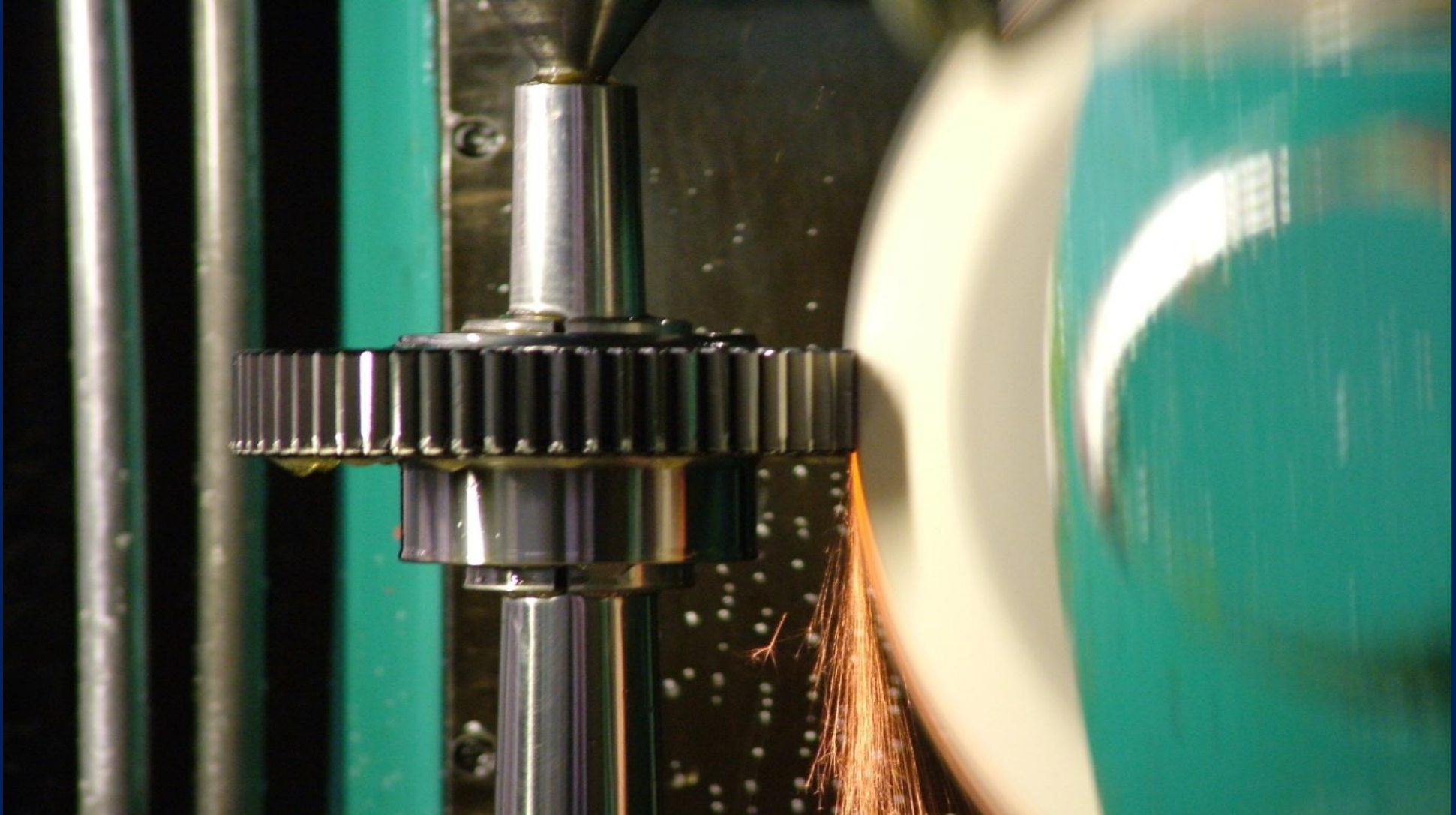
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem čestica

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu

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



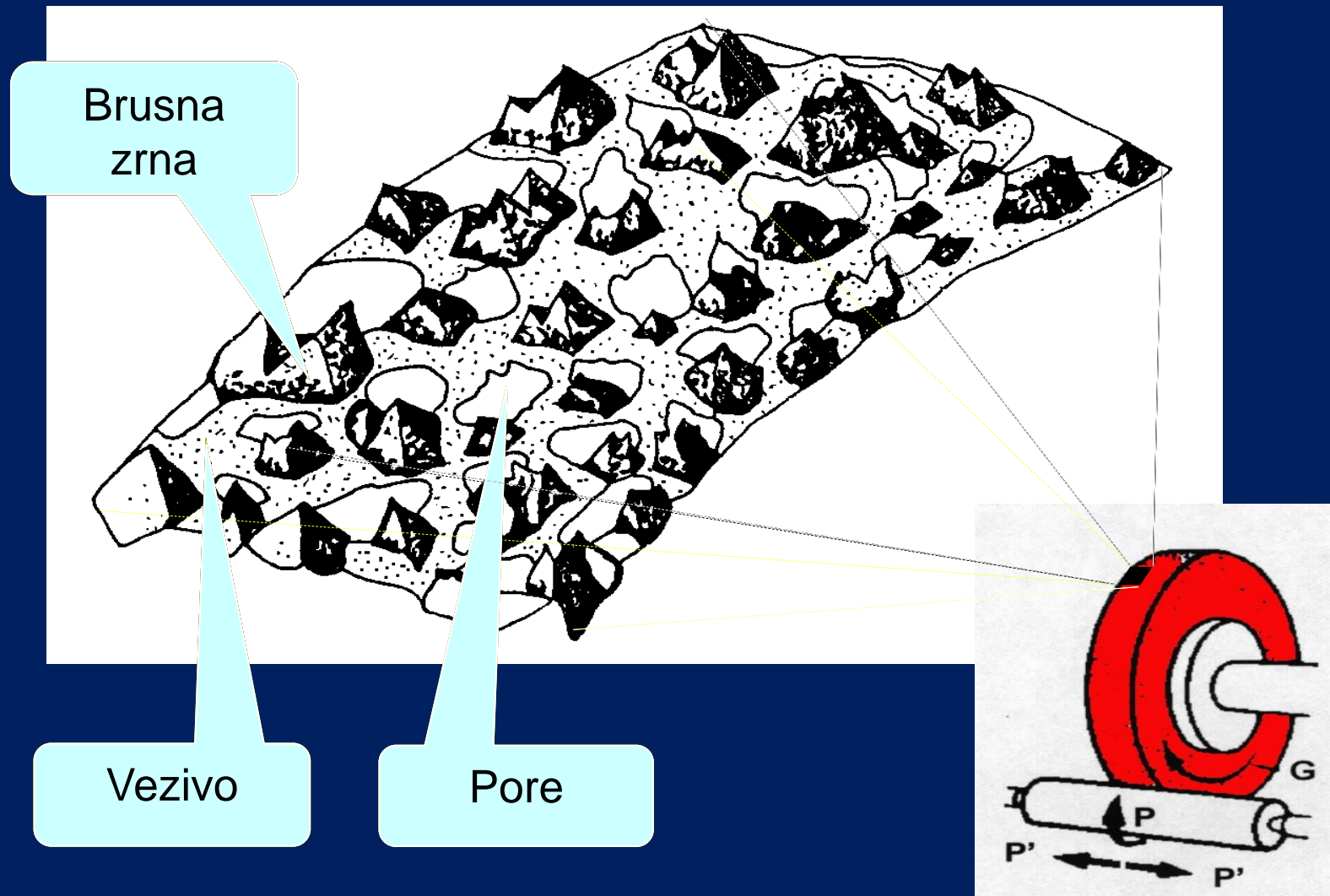
Brušenje složenih površina (odvalno brušenje zupčanika)

FSB ZAGREB, PROIZVODNO INŽENJERSTVO, OD I OO



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

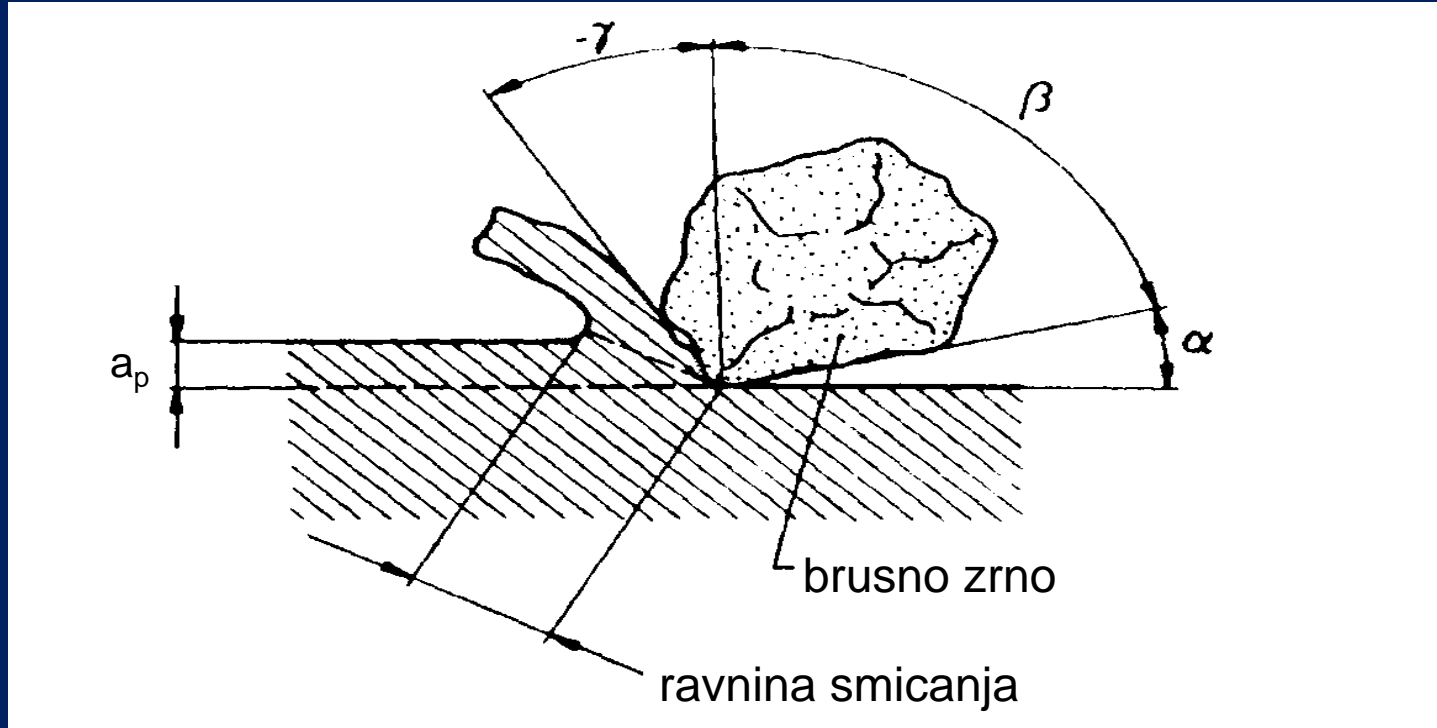
Obrada odvajanjem čestica



**STRUKTURA
AKTIVNE
(REZNE)
POVRŠINA
BRUSA**

BRUSNA ZRNA

- **Neujednačene i nedefinirane rezne geometrije,**
- **nejednoliko raspoređena na reznoj površini brusa,**
- **najčešće negativni prednji kut (do -45°) - sile ?**



- **korund (Al_2O_3),**
- **silicijev karbid (SiC),**
- **kubični borov nitrid (CBN)**
- **polikristalični dijamant (PCD)**

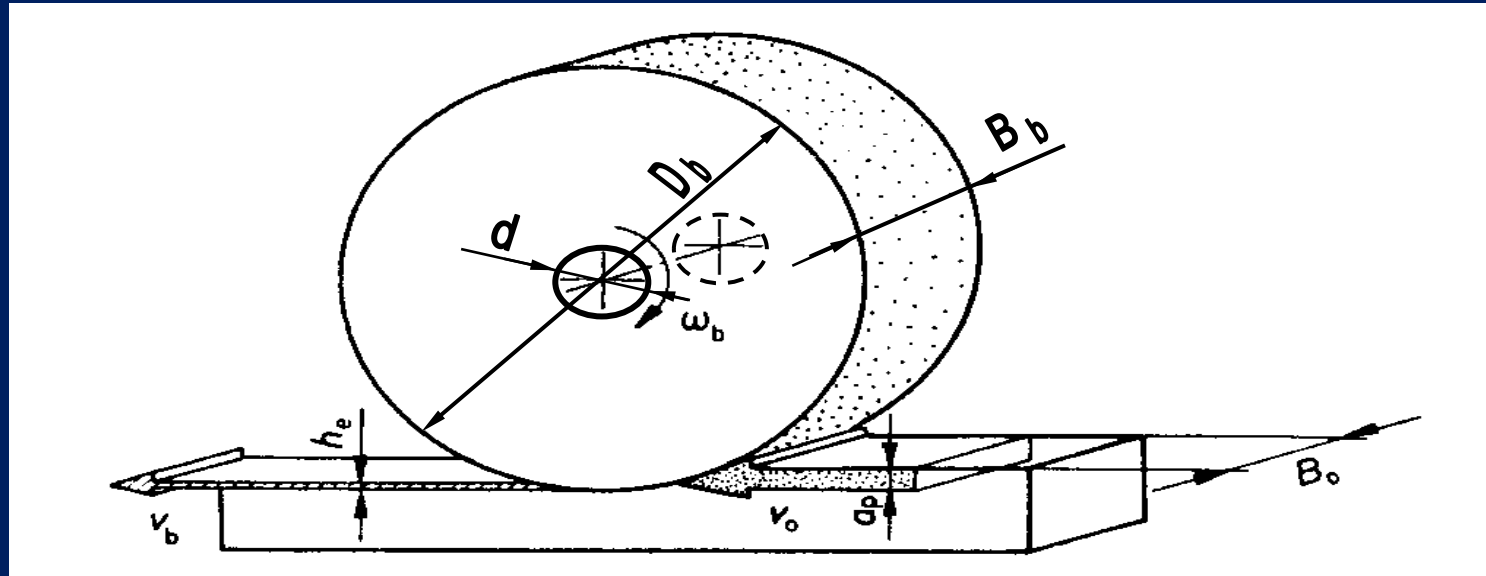


Reducirani učinak brušenja:

a) $Q_{br} = a_p v_f \text{ mm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (po jedinici širine)

b) $Q_{br} = h_e v_b \text{ mm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (po jedinici širine)

Ekvivalentna debljina brušenja: $h_e = a_p \frac{v_f}{v_b} \text{ mm}$



$$v_b = v_c = D_b \pi n_b$$

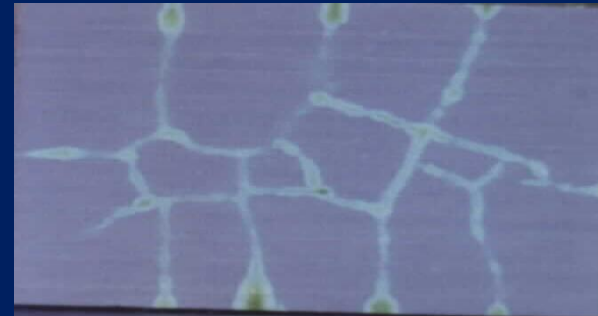


ISPRAVNO BRUŠENJE

$$Q_{br} < Q_{br-g}$$

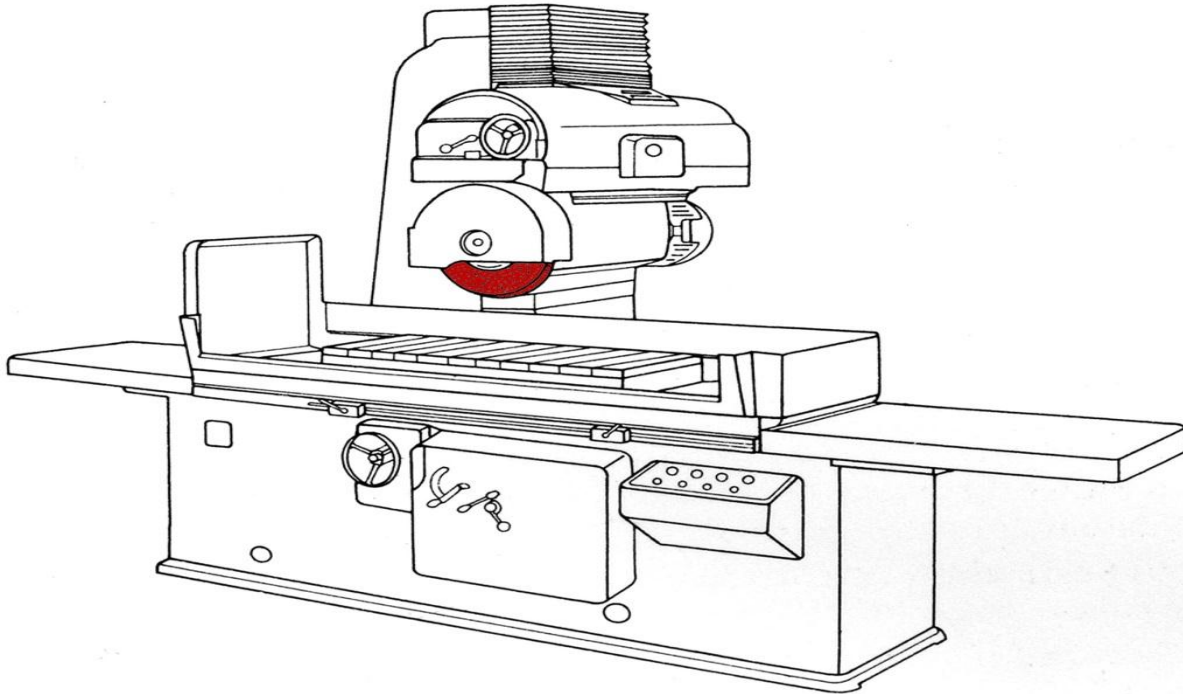
POGREŠKE BRUŠENJA :

- promjena mikrostrukture
- promjena tvrdoće
- spaljivanje ili oksidacija
- pojava zaostalih naprezanja
- nastajanje napuklina



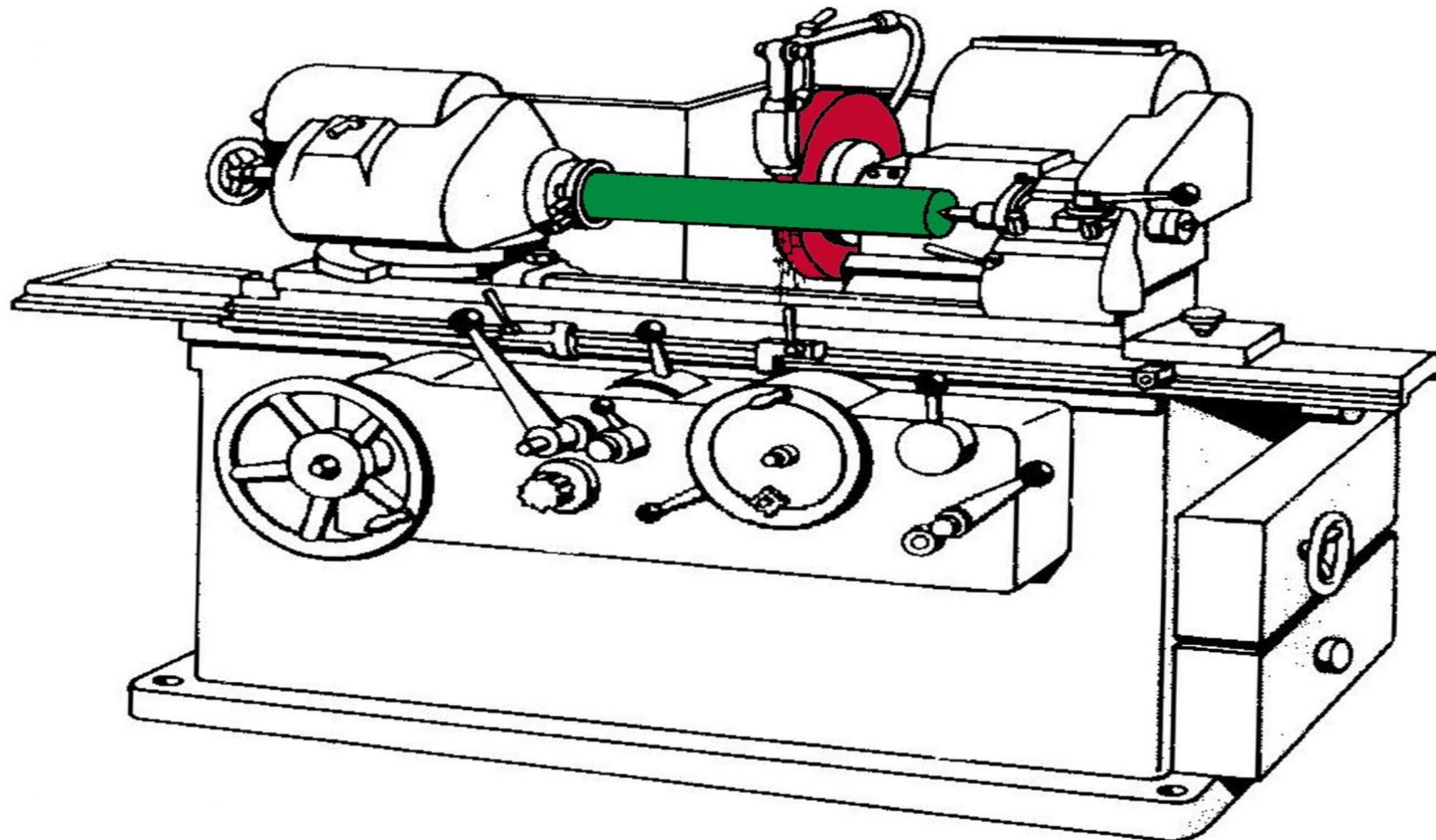
TOPLINSKO OŠTEĆENJE POVRŠINE OBRATKA

BRUŠENJE





BRUŠENJE

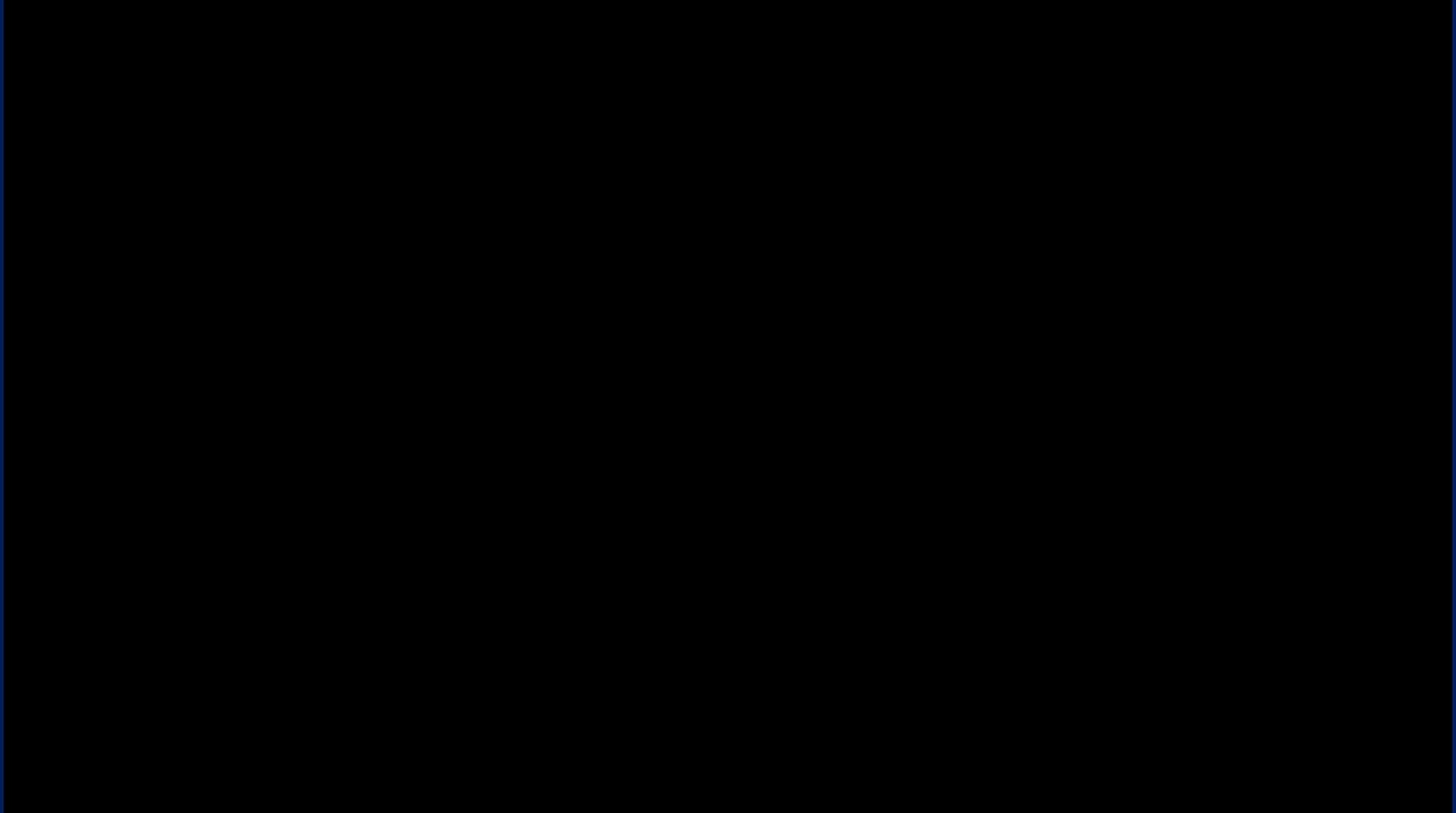




BRUŠENJE



BRUŠENJE





SUPERFINIŠ (kratkohodno honanje)

postupak završne obrade za vanjske rotacione cilindrične površine (rjeđe za unutarnje cilindrične i vanjske ravne površine).

za razliku od postupka brušenja, superfiniš daje najvišu kvalitetu obrađenoj površini (N1 - N3) i povećava nošenje površine, jer se tim postupkom skidaju samo vrhovi neravnina na prethodno obrađenoj površini.

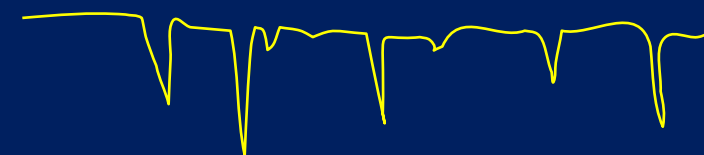
vrsta obrade	$R_{max}, \mu m$	$R_a, \mu m$	nošenje, %
fino tokarenje	4 do 12	0.6 do 1.5	20
normalno brušenje	2 do 5	0.3 do 0.8	25
fino brušenje	0.8 do 2	0.15 do 0.3	40
superfiniš	0.05 do 0.4	0.012 do 0.06	70 do 95



SUPERFINIŠ



izgled površine obratka prije
superfiniša



izgled površine obratka nakon
superfiniša



SUPERFINIŠ

Superfinaš, ili kratkohodno honanje, je postupak završne obrade odvajanjem čestica (rezanjem) koji se upotrebljava za superfinu obradu (N1-N3) i za povećanje nosivosti (do 95%) vanjskih okruglih površina. Za razliku od drugih postupaka, obrada se sastoji u tome da se režu (odstranjuju) samo vrhovi neravnina nastali predhodnom obradom (najčešće brušenjem).

Glavno režno gibanje je pravocrtno oscilatorno gibanje alata. Posmično gibanje je pravocrtno uzdužno gibanje alata i istodobno kružno gibanje obradka.

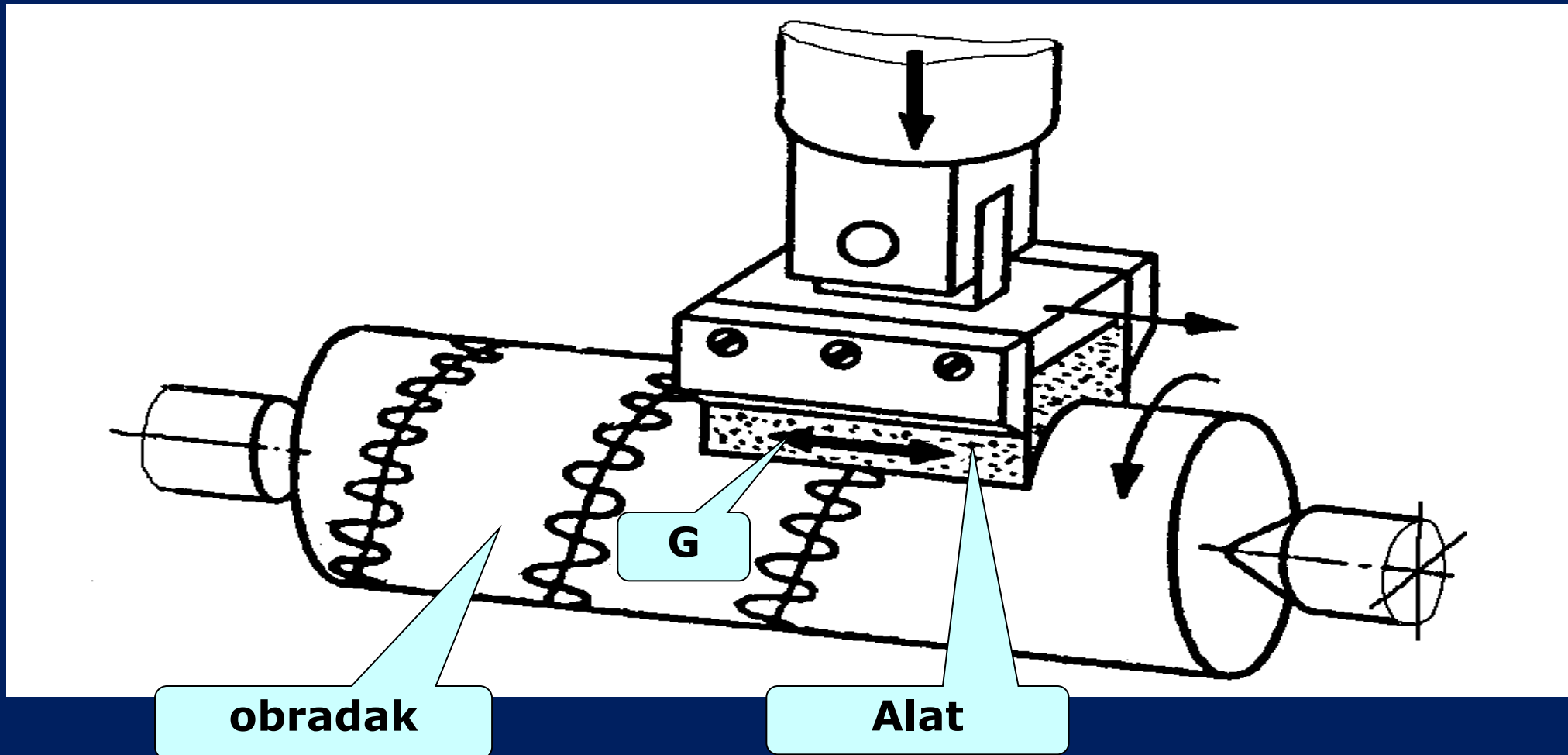
Alat za superfinaš je brusni element dimenzija 30x50x80 mm, s većim brojem reznih oštrica. Rezne oštrice nalaze se na brusnim zrnima, koja su nedefinirane geometrije reznog dijela i koja su osnovni sastojak brusnog elementa (zrnatosti 300-500).

Obavezna je uporaba SHIP-a (smjesa mineralnog ulja i petroleja, ili samo petroleja).



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem čestica





SUPERFINIŠ

GLAVNO GIBANJE IZVODI ALAT :

osciliranje 200 do 3000 dupli hod / min

amplituda osciliranja 1 do 6 mm

pritisak brusnog elementa 0.02- 0.3 MPa (0.2- 3 bara)

POSMIČNO GIBANJE :

rotacija obratka brzinom $v_o = 10$ do 50 m min^{-1}

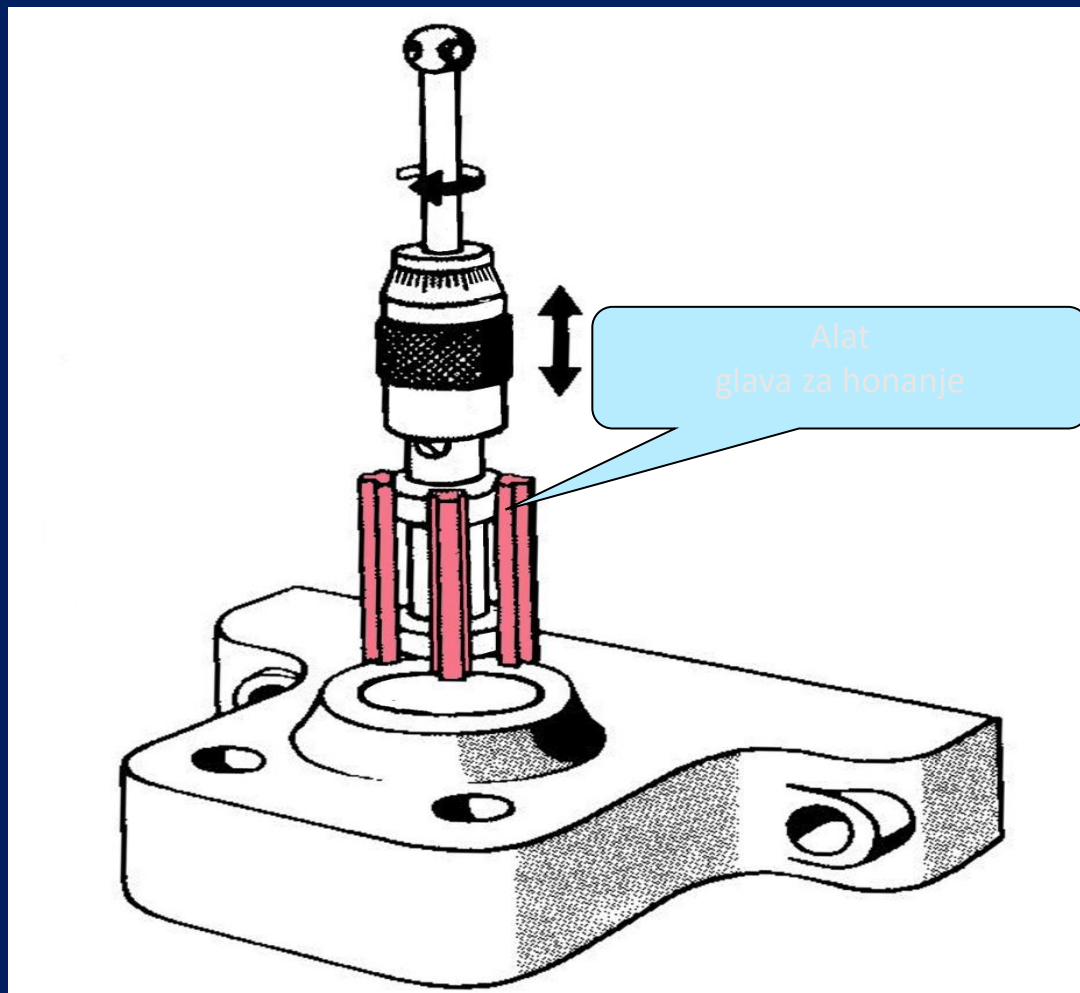
translacija brusnog elementa $f_a = (0.5 - 0.7)B$; $v_{fa} = f_a n_o$

dodatak za obradu 0.005 do 0.02 mm

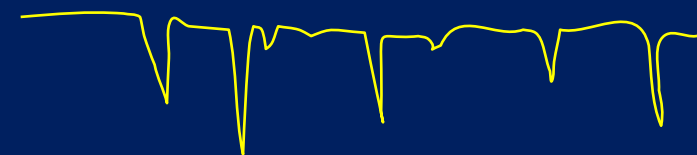
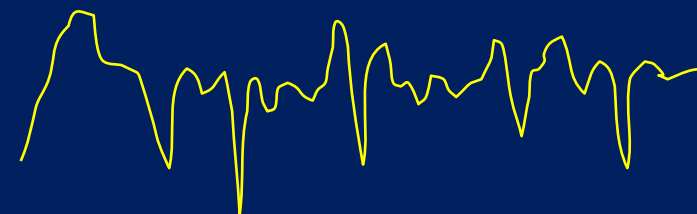
SHIP smjesa mineralnog ulja i petroleja (ispiranje)



HONANJE



izgled površine obratka prije
honanja



izgled površine obratka nakon
honanja



HONANJE

Honanje, je postupak završne obrade odvajanjem čestica (rezanjem) koji se upotrebljava za superfinu obradu (N2-N5) i za povećanje nosivosti (do 95%) unutarnjih okruglih površina. Za razliku od drugih postupaka, obrada se sastoji u tome da se režu (odstranjuju) samo vrhovi neravnina nastali predhodnom obradom (najčešće brušenjem).

Glavno rezo gibanje je rotacijsko gibanje alata. Posmično gibanje je pravocrtno uzdužno gibanje alata u određenom omjeru u odnosu na glavno gibanje.

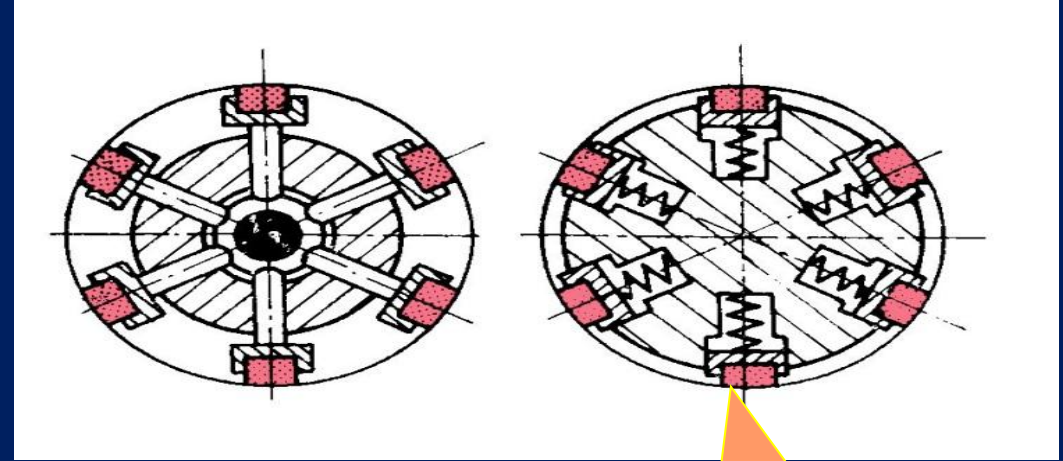
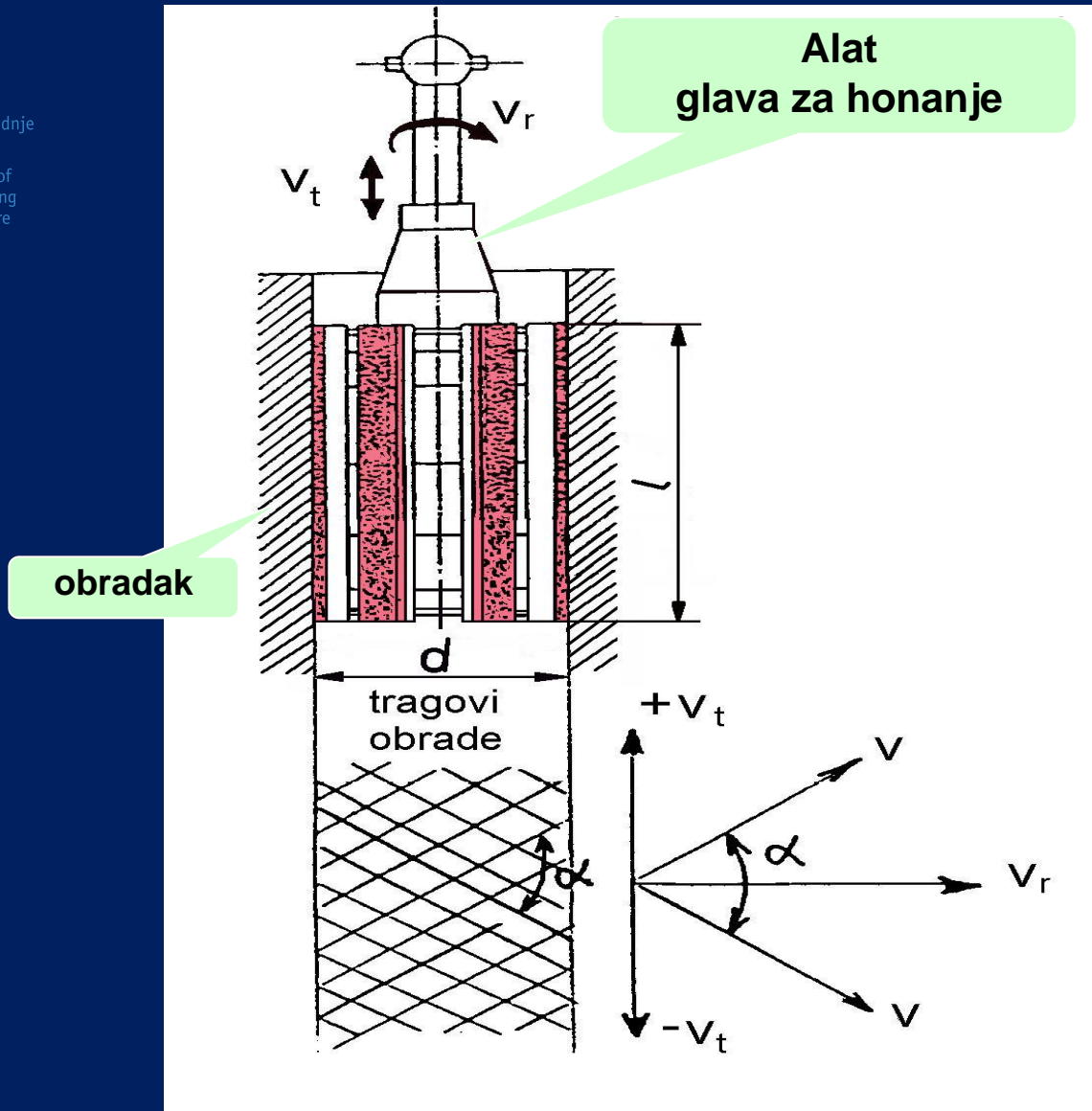
Alat za honanje je glava za honanje s hidrauličkim ili mehaničkim razmicanjem brusnih segmenata. Brusni segmenti mogu biti i fiksni, i u tom slučaju se može neznatno korigirati oblik provrta. Rezne oštrice nalaze se na brusnim zrnima, koja su nedefinirane geometrije reznog dijela i koja su osnovni sastojak brusnog segmenta (zrnatosti 300-500).

Obavezna je uporaba SHIP-a (smjesa mineralnog ulja i petroleja, ili samo petroleja)



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem čestica



Brusni segmenti

$$\operatorname{tg} \alpha/2 = v_f / v_c = v_t / v_r$$

$$(\alpha = 60 \text{ do } 90^\circ \rightarrow v_c / v_f = 1 \div 1,8)$$



HONANJE

Glavno i posmično gibanje izvodi alat :

Rotacija $v_c = v_r = 20$ do 50 mmmin^{-1}

Translacija $v_f = v_t = 15$ do 30 mmmin^{-1}

vodeći računa o omjeru brzina:

$$\text{tg } \alpha/2 = v_f / v_c$$

($\alpha = 60$ do 90°)

Specifični pritisak brusnih segmenata:

0.3 do 0.4 MPa (3 do 4 bara) kod finog honanja

0.4 do 0.7 MPa (4 do 7 bara) kod grubog honanja

Dodatak za obradu 0.03 do 0.05 mm

SHIP rijetko ulje, petrolej, smjesa mineralnog ulja i petroleja (ispiranje).



LEPANJE

Lepanje je postupak završne obrade odvajanjem čestica (rezanjem) koji se upotrebljava za superfinu obradu (N1-N5) površina različitih oblika. Za razliku od drugih postupaka, obrada se sastoji u tome da se režu (odstranjuju) samo vrhovi neravnina nastali prethodnom obradom (najčešće brušenjem).

Glavno režno gibanje je gibanje alata, proizvoljnog smjera i ovisi o konkretnoj vrsti obrade. Ne može se govoriti o posmičnom gibanju.

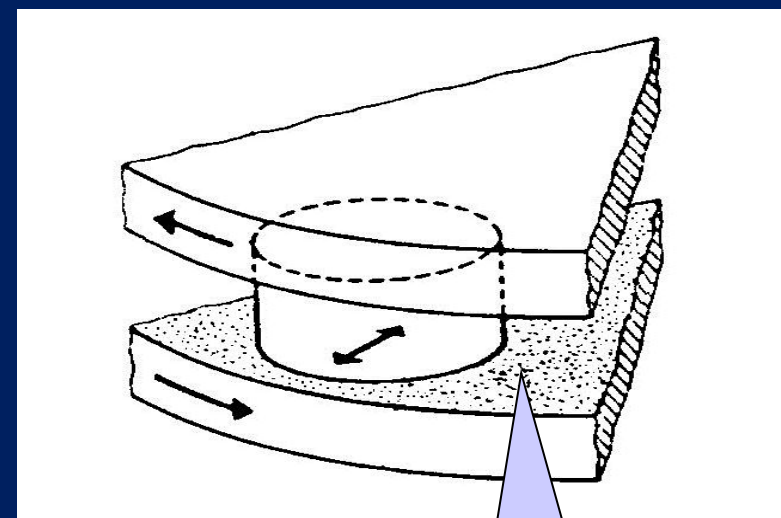
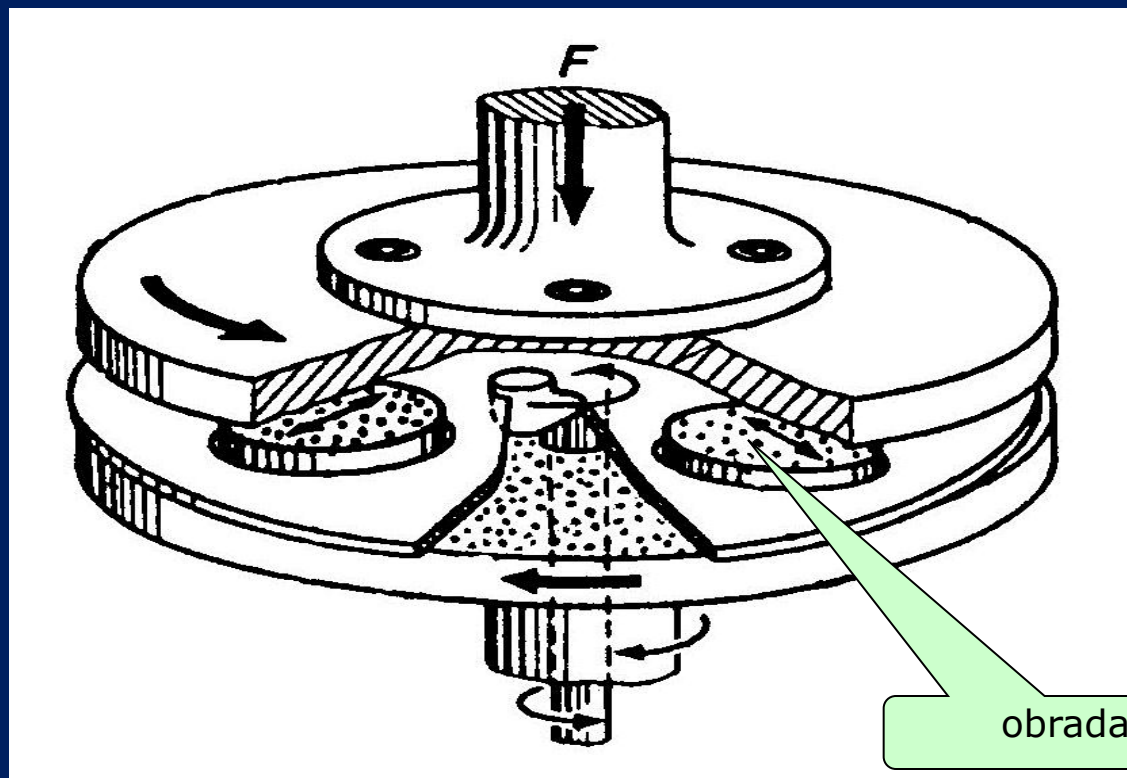
Alat za lepanje je pasta za lepanje koja se sastoji od abrazivnih (brusnih) zrnaca te smjese ulja, petroleja i masti. Rezne oštrice nalaze se na brusnim zrcima, koja su nedefinirane geometrije reznog dijela i zrnatosti 300-800.

Razlikuje se:

**PRISILNO LEPANJE, LEPANJE MLAZOM, LEPANJE UMAKANJEM, POLIRANJE (LEPANJE)
GLAĐENJEM**

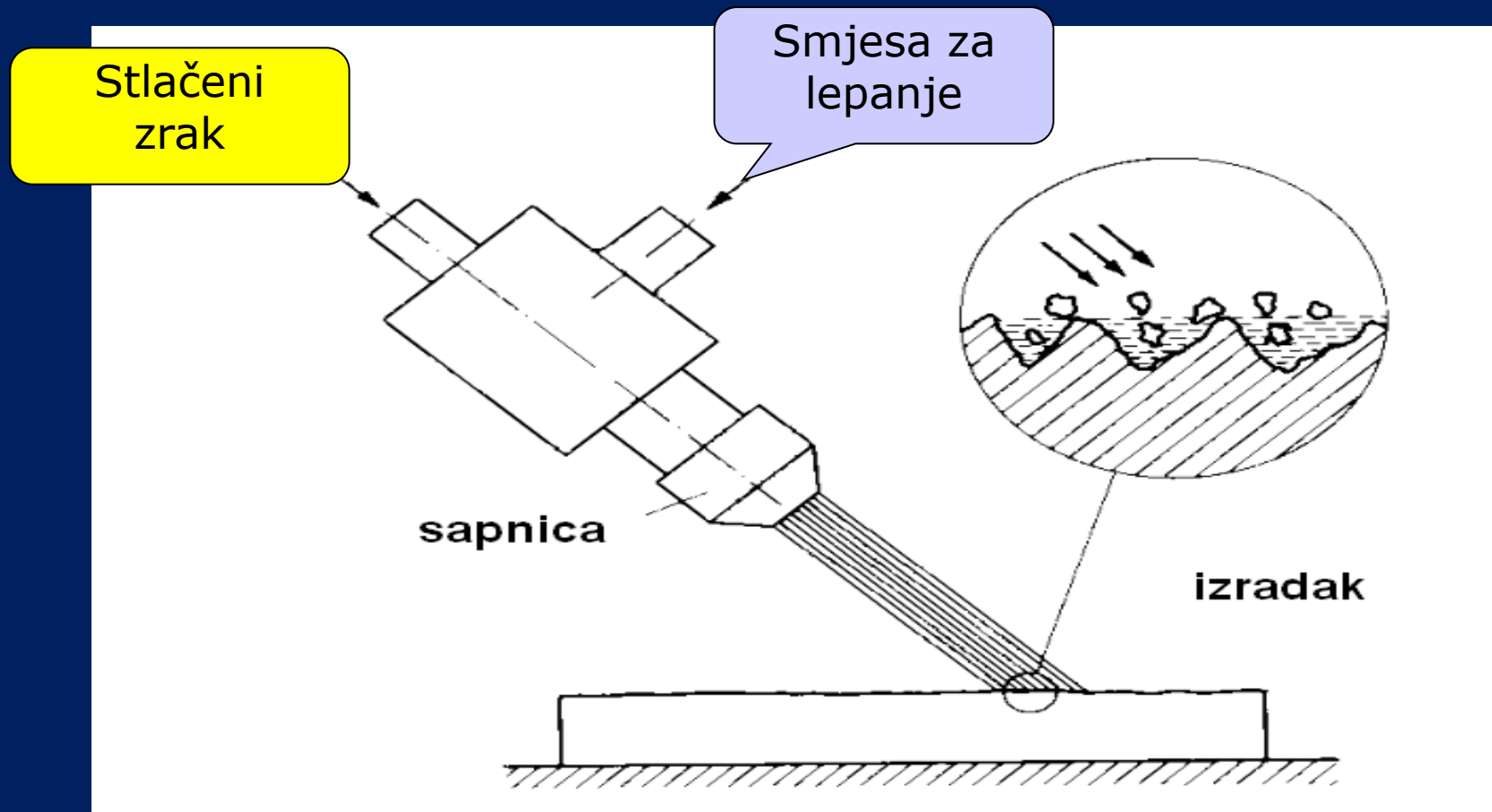
PRISILNO LEPANJE

Može se ostvariti neznatna korekcija oblika površine



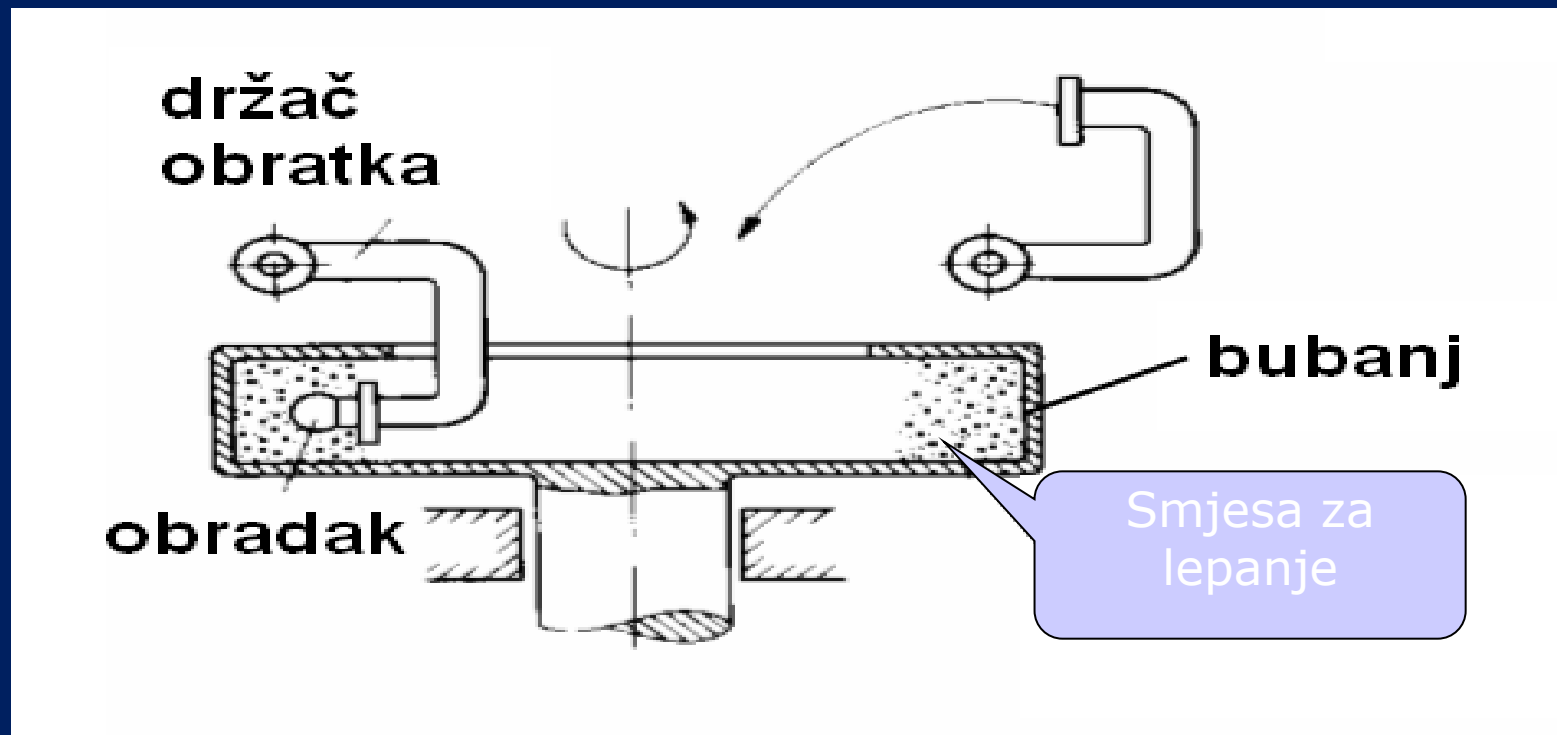


LEPANJE MLAZOM



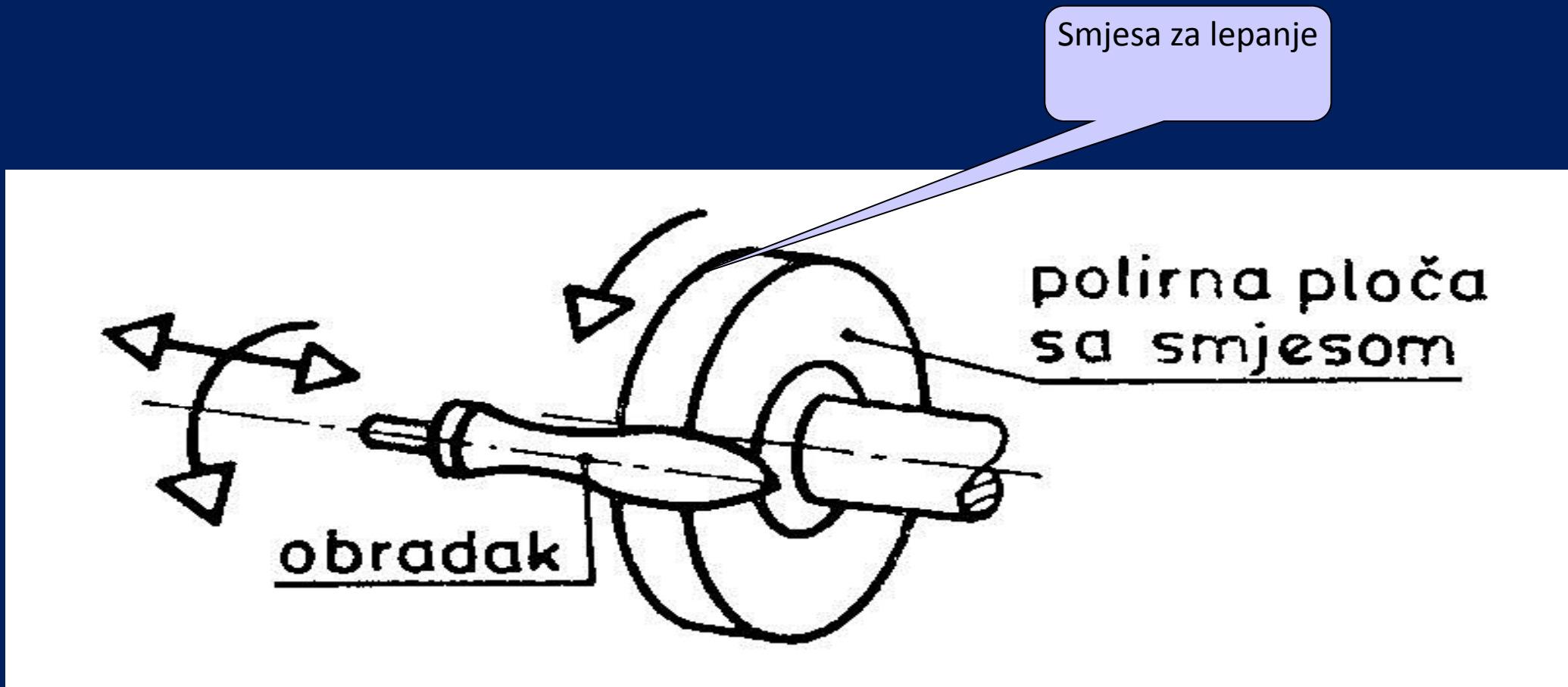


LEPANJE UMAKANJEM





POLIRANJE (LEPANJE GLAĐENJEM)



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM
Obrada odvajanjem čestica

LEPANJE

```
graph TD; A[LEPANJE] --> B[Prisilno lepanje]; A --> C[Lepanje mlazom]; A --> D[Lepanje umakanjem]; A --> E[Poliranje (lepanje glađenjem)];
```

Prisilno lepanje

Lepanje mlazom

Lepanje umakanjem

Poliranje (lepanje glađenjem)

Alat - pasta za lepanje (pasta + abrazivna zrnca) (zrnatosti 300 do 800)

Dodatak za obradu 0.005 do 0.02 mm

Razred hrapavosti obrađene površine (N1 - N5)



NEKONVENCIONALNI POSTUPCI OBRADJE (OBRADA ODNOŠENJEM) (DIREKTNO ENERGETSKI POSTUPCI OBRADJE)

- alat za obradu ne mora biti tvrdi od obratka – nema klina
- praktički nema kontakta niti mehaničkih sila između alata i obratka
- mehanička svojstva obratka (tvrdoća, čvrstoća, žilavost...) ne utječu na proizvodnost obrade ali utječu fizikalna svojstva (el. vodljivost, toplinska vodljivost,...)