

**Prvo predavanje 2019/2020**

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

**Sadržaj**

- Što je proizvodnja
  - Uloga i značaj obrade odvajanjem čestica
  - Položaj OOČ u odnosu na druge tehnologije
  - Tehnologije koje dolaze
  - Prednosti i nedostaci OOČ
- OOČ kao sustav
- Podjela postupaka obrade odvajanjem
- Gibanja kod obrade odvajanjem
- Rezni alat
- Osnovni elementi teorije rezanja

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I  
Obrada odvajanjem čestica

**Proizvodnja**

(engl. Manufacturing)

Riječ "manufacturing" ima latinski korijen:

**Manu – ruka (rukom)**

**Facere – izrađivati (proizvoditi)**

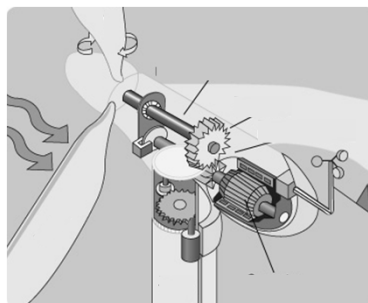
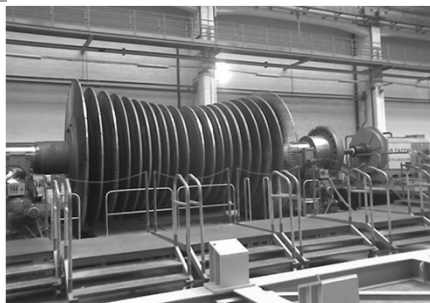
FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I  
Obrada odvajanjem čestica



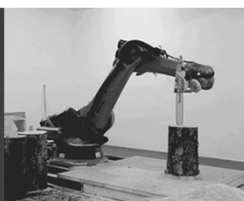
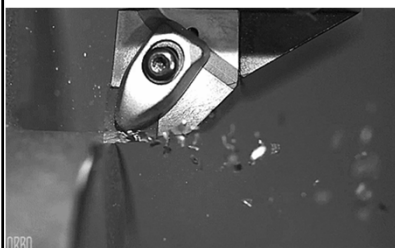
FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

**TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I**  
**Obrada odvajanjem čestica**



FSB, TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

**TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I**  
**Obrada odvajanjem čestica**



FSB, TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I  
Obrada odvajanjem čestica

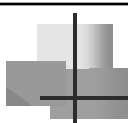


FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I  
Obrada odvajanjem čestica



FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE



## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica

### Proizvodnja

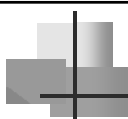
"Proizvodnja je proces pretvorbe ideje i potrebe tržišta ili kupca u proizvod.

(Uključuje niz djelatnosti, od istraživanja tržišta, financija, projektiranja, proizvodnje u užem smislu, održavanja, testiranja, ljudskih potencijala, marketinga, itd., tj. sve djelatnosti u životnom vijeku proizvoda.)

Proizvodnja u užem smislu

Proizvodnja je pretvaranje sirovog materijala (priprema) u koristan proizvod.

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE



## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica



Odvajanje  
(oduzimanje)

“ - ”



Spajanje  
(Sastavljanje)

“ + ”



Deformiranje  
(Premještanje)

“ 0 ”

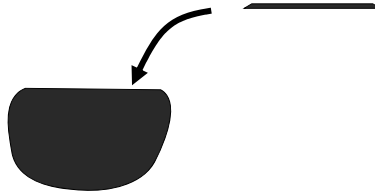
FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica

### Nove tehnologije izrade dijelova (artefakata)

Čitav niz novih tehnologija koje se obično javljaju pod zajedničkim nazivom aditivne tehnologije (često Rapid prototyping ili Layered manufacturing ili Generic manufacturing).

Još uvijek se pretežito koriste za izradu prototipova, premda je već značajna primjena i kod proizvodnje u manjim serijama. Nedostatak im je još uvijek visoka cijena opreme, ograničen broj materijala koji se mogu uspješno koristiti, mehanička svojstva, ...



FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica

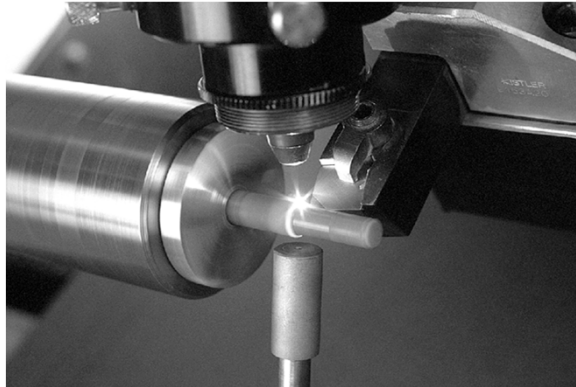
### Prednosti obrade odvajanjem su:

- Omogućuje postizanje točnosti, uskih tolerancija i dobre kvalitete obrađene površine, često bez potrebe za naknadnim završnim obradama.
- Najbolji (jedini) način da se formiraju oštri rubovi, ravne površine, te unutarnji i vanjski profili.
- Može se primjeniti kod gotovo svih poznatih materijala.
- Najbolji (jedini) način oblikovanja otvrdnutih (kaljenih) i krtih materijala.
- Moguće je obrađivati i najsloženije površine.
- Moguće su obrade u širokom rasponu dimenzija (od turbina i aviona do micro obrada).
- Uzrokuje vrlo male promjene u materijalu obratka (samo tanki sloj; HAZ, ...).
- "Jednostavno" se može automatizirati.
- Ekonomičnost i produktivnost (jeftinija i brža) kod maloserijske i pojedinačne proizvodnje.

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

**TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I**  
**Obrada odvajanjem čestica**

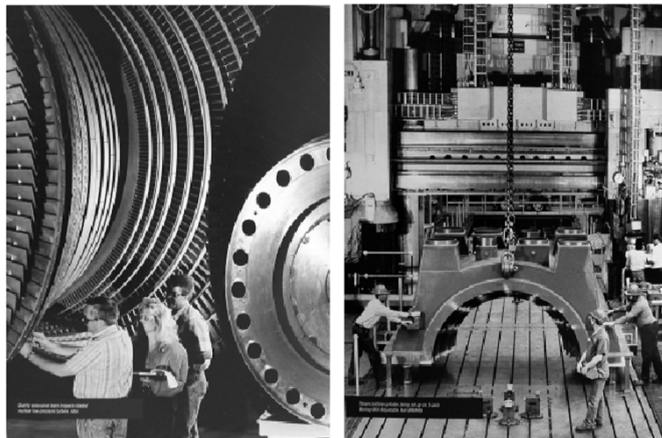
**Obrada dijelova visoke tvrdoće**



FSB, TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

**TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I**  
**Obrada odvajanjem čestica**

**Obrada dijelova vrlo velikih dimenzija**

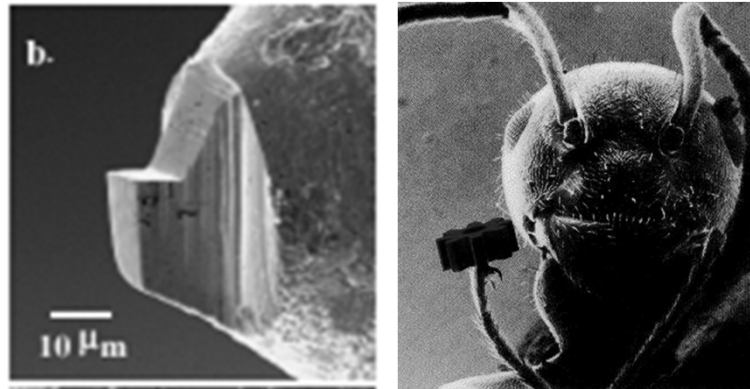


FSB, TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I

### Obrada odvajanjem čestica

#### Obrada dijelova vrlo malih dimenzija – mikro-obrađe



FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I

### Obrada odvajanjem čestica

#### Nedostaci obrade odvajanjem čestica su:

- Generira odvojene čestice.
- Ponekad je za formiranje jednog elementa obratka (tolerirani provrti, utori, ...) potrebno primjeniti više postupaka obrade i više alatnih strojeva.
- Neki dijelovi zahtijevaju primjenu CNC strojeva i složenog programiranja.
- Alatni strojevi i potreba za rukovanjem alatima i obracima zahtijevaju velik prostor.
- Mikroklima je pod jakim utjecajem obradnih procesa (toplina, buka, rashladne tekućine, ulja, ...).
- Veliki udio pomoćnih i pripremnih vremena (vrijeme zahvata alata i obratka je često manje od 2% ukupnog vremena protoka pozicije).

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE



## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica

### Literatura

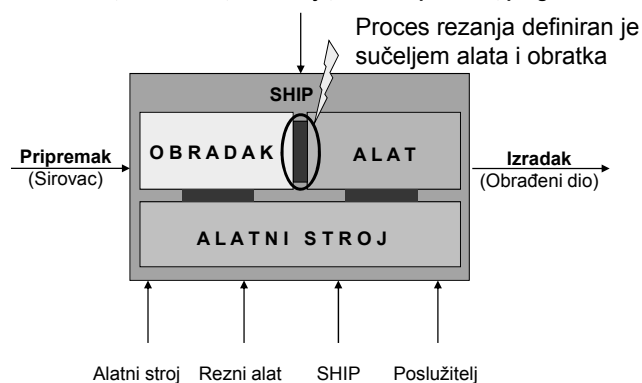
1. Š. Šavar: Obrada odvajanjem čestica I i II, Zagreb, 1991.
2. R. Zdenković: Obrada skidanjem materijala
3. W. Spur: Fertigungstechnik, Springer
4. M.C. Shaw, 1984. Metal Cutting Principles, Oxford University Press, New York, 1984
5. M. Weck: Werkzeugmaschinen, band 1, VDI Verlag, Düsseldorf 1998
6. E.M. Trent and P.K. Wright: Metal Cutting, Elsevier 2000.
7. Y. Altintas: Manufacturing Automation, Cambridge University Press, Cambridge 2012
8. Internet, ...

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

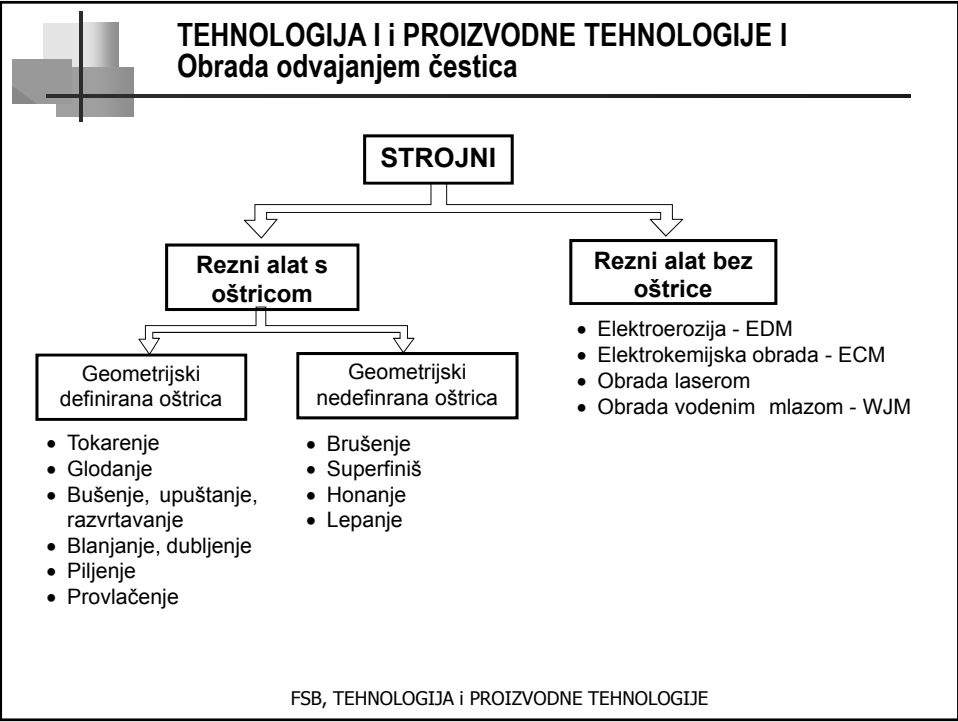
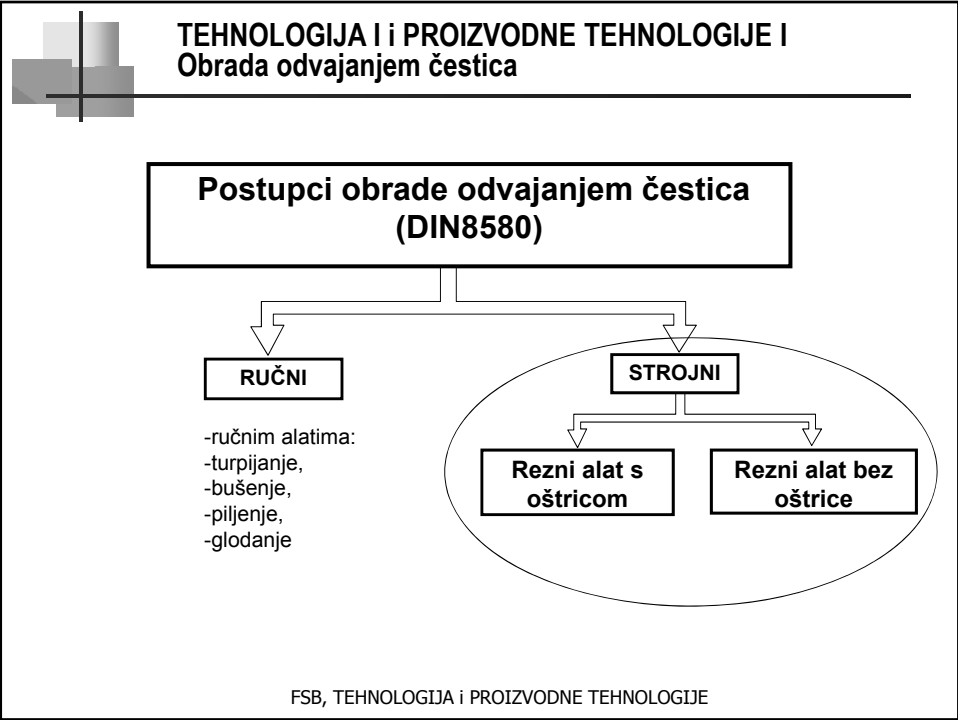
## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica

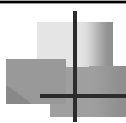
### OOČ kao sustav

Nacrti, CAD model, tolerancije, kvaliteta površine, program



FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE





## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I

### Obrada odvajanjem čestica

---

#### Alat bez oštrice – Nekonvencionalni postupci ooč

- Kemijski postupci
  - Kemijska obrada
  - Termokemijska obrada
- Elektrokemijski postupci
  - Elektrokemijska obrada
  - Elektrokemijsko brušenje
- Mehanički postupci
  - Ultrazvučna obrada
  - Obrada vodenim mlazom
- Toplinski postupci
  - Elektroerozijska obrada – EDM
  - Obrada elektronskim mlazom
  - Obrada laserom

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE



## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I

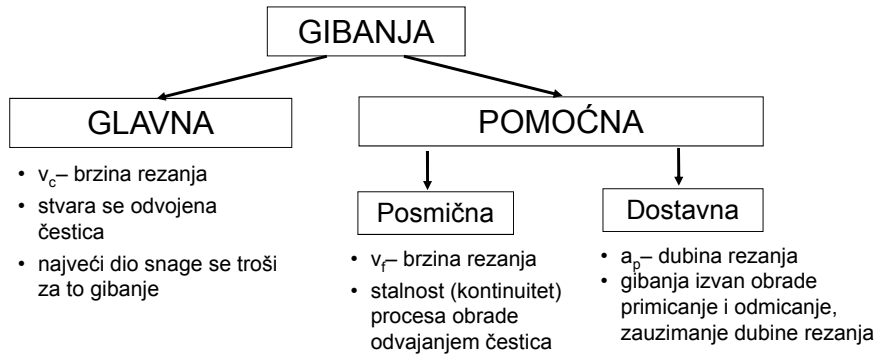
### Obrada odvajanjem čestica

---

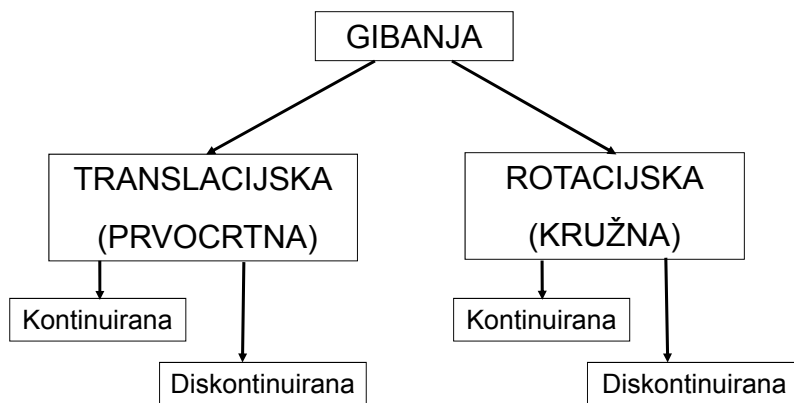
#### Gibanja kod postupaka koji koriste rezne alate s oštricom

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

Gibanja kod obrade odvajanjem čestica,  
 odnosno kod alatnih strojeva



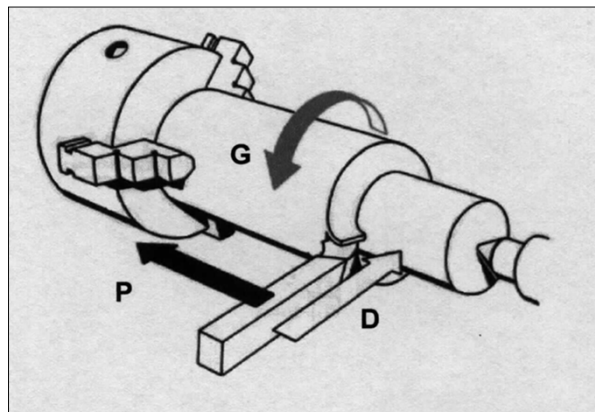
Gibanja – općenito (oblik i način gibanja)



TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I  
Obrada odvajanjem čestica

Gibanja kod obrade odvajanjem čestica

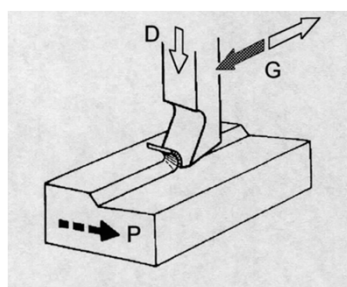
Gibanja kod tokarenja



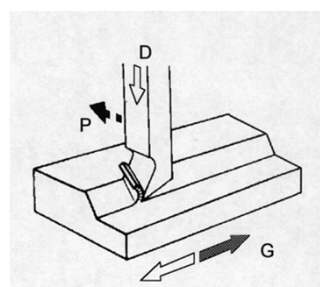
FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I  
Obrada odvajanjem čestica

Gibanja kod blanjanja



kratkohodno blanjanje

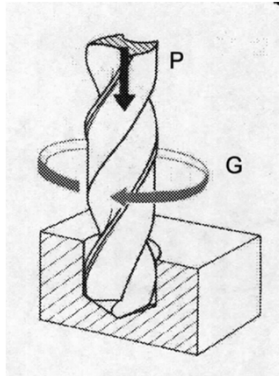


dugohodno blanjanje

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

**TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I**  
**Obrada odvajanjem čestica**

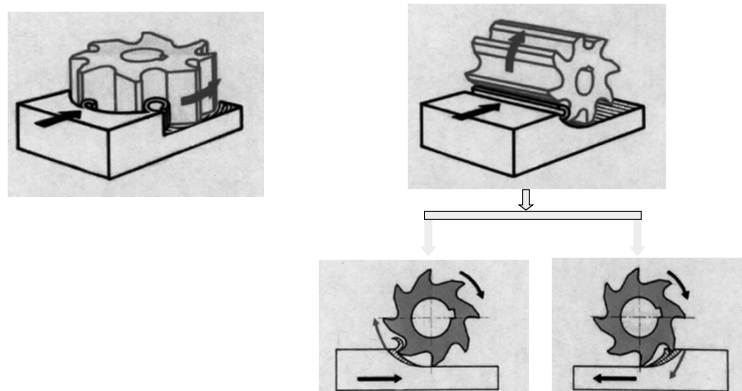
**Gibanja kod bušenja**



FSB, TEHNOLOGIJA i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

**TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I**  
**Obrada odvajanjem čestica**

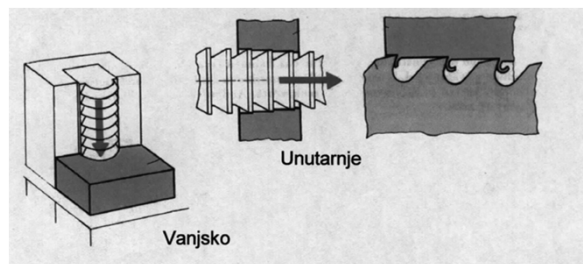
**Gibanja kod glodanja**



FSB, TEHNOLOGIJA i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I  
Obrada odvajanjem čestica

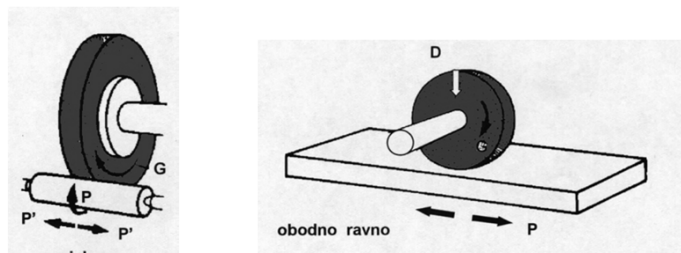
Gibanja kod provlačenja



FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

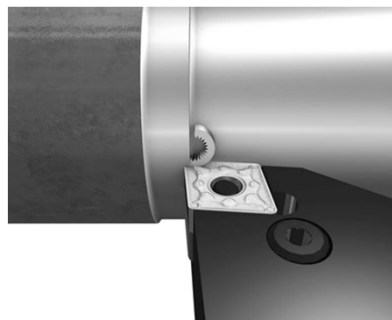
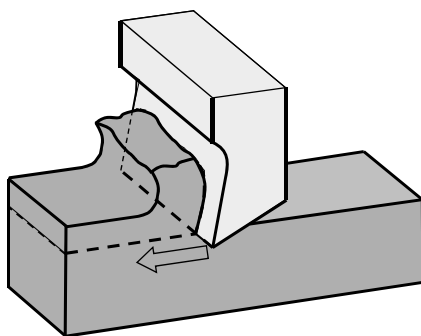
TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I  
Obrada odvajanjem čestica

Gibanja kod brušenja



FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica



Proces obrade (rezanja, odvajanja) odvija se na sučelju alata i obratka.

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

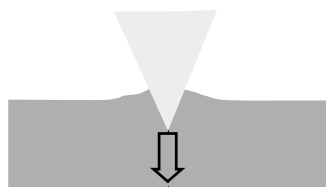
## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica

### Osnovni princip konvencionalnih postupaka ooč

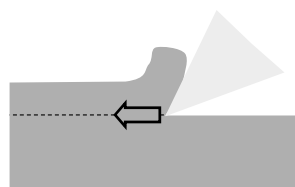
Alat je sredstvo za ooč, tj. sredstvo za preoblikovanje pripremljena (sirovca).

Osnovni oblik svih reznih alata s oštricom je **klin**.

Obzirom na smjer gibanja klina u odnosu na obradak razlikujemo: razdvajanje (sječenje) i odvajanje (rezanje).



**Razdvajanje  
(sječenje)**



**Odvajanje  
(rezanje)**

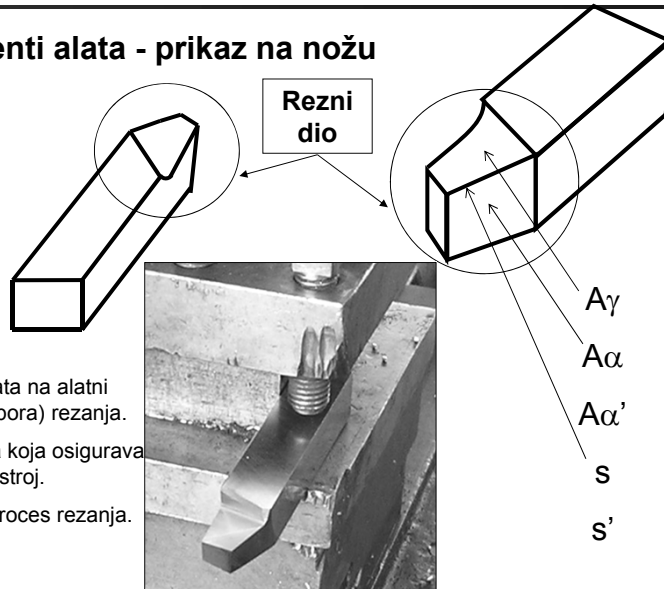
FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE



## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica

### Osnovni elementi alata - prikaz na nožu

- drška
- rezni dio



Drška služi za prihvat alata na alatni stroj i za prijenos sile (otpora) rezanja.

Osnova alata je površina koja osigurava pravilan prihvat alata na stroj.

Rezni dio alata obavlja proces rezanja.

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica

Rezni dio alata definiran je s tri površine:

$A_\gamma$  - prednja površina; površina koja je u kontaktu s odlazećom česticom (površina po kojoj klizi odvojena čestica)

$A_\alpha$  - stražnja (slobodna) površina; površina koja je u nepoželjnom kontaktu s površinom obrade

$A' \alpha$  - pomoćna stražnja površina

Ove površine mogu biti sastavljene od više ravnina ili zakrivljenih površina.

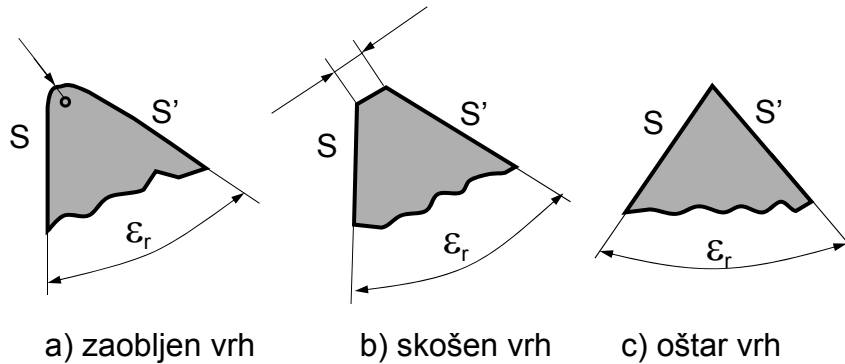
Glavna oštrica, S, je presječna površina  $A_\gamma$  i  $A_\alpha$ .

Pomoćna oštrica, S', je presječna površina  $A_\gamma$  i  $A' \alpha$ .

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica

Mjesto spajanja glavne i pomoćne oštrice, S i S', je **vrh alata**, a može biti: zaobljen, skošen i oštar.



FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica

### Kutovi alata

Kutovi alata su neophodni za određivanje položaja rezne oštrice, prednje i stražnje površine reznoga dijela alata.

Kutovi se uvijek odnose na određenu točku na reznoj oštrici. Kada su rezna oštrica, prednja i stražnja površina zakrivljene, za određivanje kutova su mjerodavne tangente, odnosno tangencijalne ravnine kroz odabranu točku.

Svaki kut je označen slovom grčkog alfabeta i sufiksom koji odgovara ravnini u kojoj se kut mjeri. (Primjer  $\gamma_n$  – prednji kut u normalnoj ravnini . ) Za radne (kinematske) kutove dodaje se još i sufiks "e".

Ako su prednja i stražnja površina sastavljen od većeg broja površina nagnutih pod raznim kutovima numerirani su brojevima 1, 2, 3, ...počevši od oštrice.

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

### Tehnološki (geometrijski) kutovi reznog klina

definiraju se pomoću tehnološkog referentnog sustava ravnina.

$\gamma$  – **prednji kut (kut prednje površine)** - mjeri se između prednje površine  $A_\gamma$  i osnovne ravnine  $P_r$ ; može se mjeriti u raznim ravninama te se označava kao  $\gamma_n, \gamma_f, \gamma_p, \gamma_o$  i  $\gamma_g$ .

$\beta$  – **kut klina** - mjeri se između prednje i stražnje površine; može se mjeriti u više ravnina te se označava kao  $\beta_n, \beta_f, \beta_p$  i  $\beta_o$ .

$\alpha$  – **stražnji kut (kut stražnje površine)** - mjeri se između stražnje površine  $A_\alpha$  i ravnine rezanja  $P_s$ ; može se mjeriti u raznim ravninama te se označava kao  $\alpha_n, \alpha_f, \alpha_p, \alpha_o$  i  $\alpha_b$ .

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

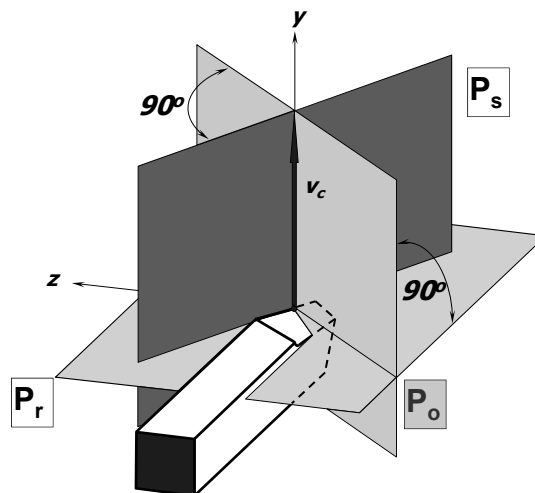
FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

### Tehnološki referentni sustav ravnina

- $P_r$  - osnovna ravnina: je okomita na pravac glavnog gibanja u promatranoj točki oštrice i istodobno je okomita ili paralelna na neku površinu ili os alata a koja je bitna za izradu, oštrenje ili kontrolu alata
- $P_f$  - ravnina kretanja: je okomita na  $P_r$  i paralelna pravcem posmičnog gibanja u promatranoj točki oštrice
- $P_s$  - ravnina rezanja: je okomita na  $P_r$  i paralelna sa tangetom na oštricu u promatranoj točki štrice
- $P_o$  - ortogonalna ravnina: je okomita na  $P_r$  i  $P_s$
- $P_n$  – ravnina okomita na oštricu (oštrica joj je normala)

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

### Tehnološki referentni sustav ravnina



FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

### Tehnološki (geometrijski) kutovi

Definiraju se pomoću tehnološkog referentnog sustava ravnina.  
kutovi za orijentaciju prednje površine,  $P_r$

$\gamma$  – **prednji kut** (kut prednje površine); može se mjeriti u više ravnina  
te se označava kao  $\gamma_n$ ,  $\gamma_f$ ,  $\gamma_p$ ,  $\gamma_o$  i  $\gamma_g$ .

$\beta$  – **kut klina**; može se mjeriti u više ravnina te se označava kao  $\beta_n$ ,  
 $\beta_f$ ,  $\beta_p$  i  $\beta_o$ .

$\alpha$  – **stražnji kut** (kut stražnje površine); kut između stražnje površine  
 $A_\alpha$  i ravnine rezanja  $P_s$  mjereno u raznim ravninama te se označava  
kao  $\alpha_n$ ,  $\alpha_f$ ,  $\alpha_p$ ,  $\alpha_o$  i  $\alpha_b$ .

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

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica

### Tehnološki (geometrijski) kutovi

Za orijentaciju rezne oštrice mjere se u osnovnoj ravnini  $P_r$ :

$\kappa_r$  – kut namještanja glavne oštrice

$\kappa_r'$  – kut namještanja pomoćne oštrice

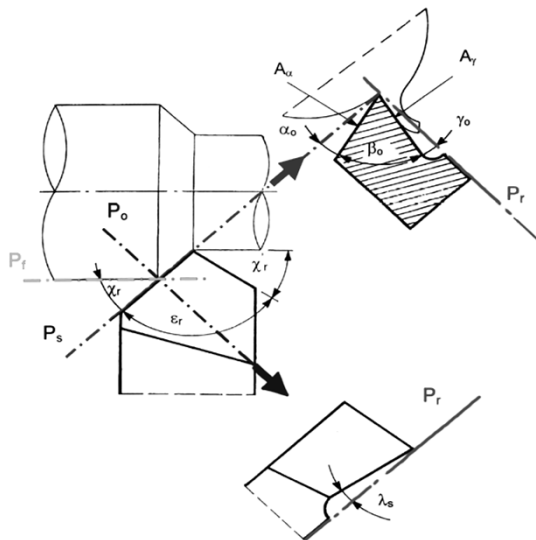
$\varepsilon_r$  – vršni kut alata

Za kutove vrijede izrazi:  $\kappa_r + \kappa_r' + \varepsilon_r = 180^\circ$

Položaj oštrice alata određuje još i kut nagiba glavne oštrice,  $\lambda_s$ , koji se mjeri u ravnini  $P_s$ .

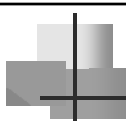
FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica



| Kut                                       | mjeri se između         | u ravnini |
|---|-------------------------|-----------|
| kut namještanja glavne oštrice $\kappa_r$ | $P_s$ i $P_f$           | $P_r$     |
| kut vrha alata $\varepsilon_r$            | $P_s$ i $P_s'$          | $P_r$     |
| kut nagiba oštrice $\lambda_s$            | $P_r$ i $s$             | $P_s$     |
| prednji kut $\gamma_0$                    | $A_\gamma$ i $P_r$      | $P_0$     |
| kut klina $\beta_0$                       | $A_\gamma$ i $A_\alpha$ | $P_0$     |
| stražnji kut $\alpha_0$                   | $P_s$ i $A_\alpha$      | $P_0$     |

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE



## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I

### Obrada odvajanjem čestica

---

#### Radni (kinematski) kutovi

Ovi kutovi se definiraju u radnom referentnom sustavu ravnina, te se svakoj oznaci dodaje još i sufiks "e" – effective. Sve rečeno za geometrijske kutove vrijedi i za radne kutove, a kao primjer se može uzeti tokarski nož u zahvatu.

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE



## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I

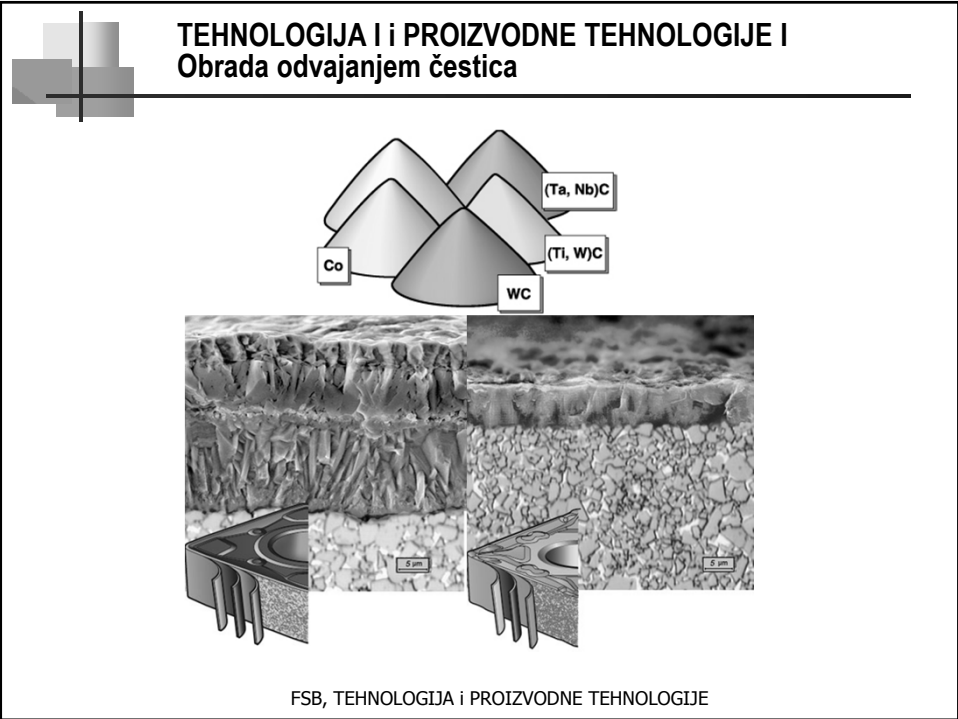
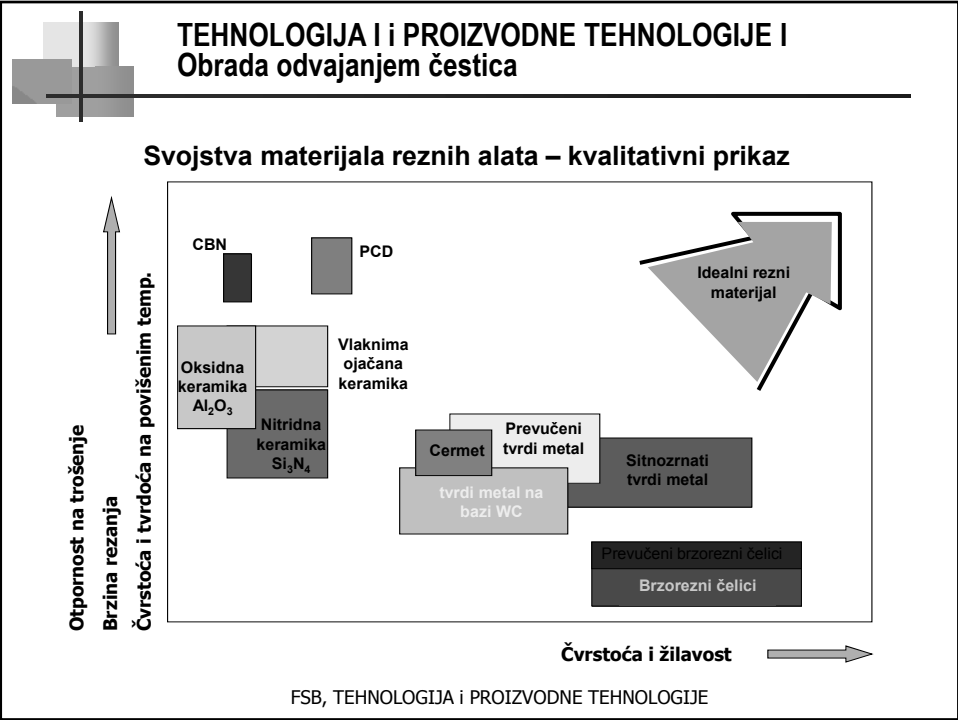
### Obrada odvajanjem čestica

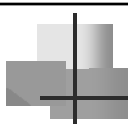
---

#### Materijali reznih alata (reznog dijela alata)

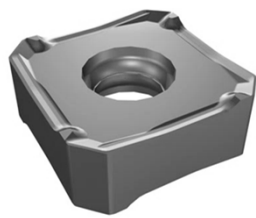
- **Alatni čelici:** 0,6-1,5% C; brzina ~10m/min; temp. Izdr. 300°C
- **Brzorezni čelici:** legirani s Cr, W, Co, V i Mo; brzina 30-40m/min; 600°C
- **Tvrđi metal:** sinterirani od tvrdih metalnih karbida (W, Ti, Ta) i veziva; višedjelan (držka od konstrukcijskog čelika);
- **Prevučeni tvrdi metali:** TiN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiCN, ... CVD i PVD postupci prevlačenja, nanoslojevi
- **Sitno-zrnati tvrdi metali**
- **Keramike:**
  - oksidna na bazi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i nitridna na bazi Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>; ojačana vlaknima
- **CBN** – kubni nitrid bora
- **PCD** – polikristalni dijamant

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

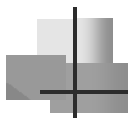




**TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I**  
**Obrada odvajanjem čestica**



FSB, TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE



**TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I**  
**Obrada odvajanjem čestica**

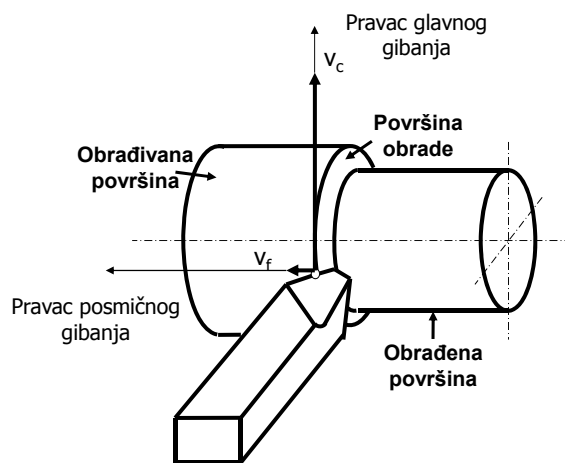


FSB, TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE



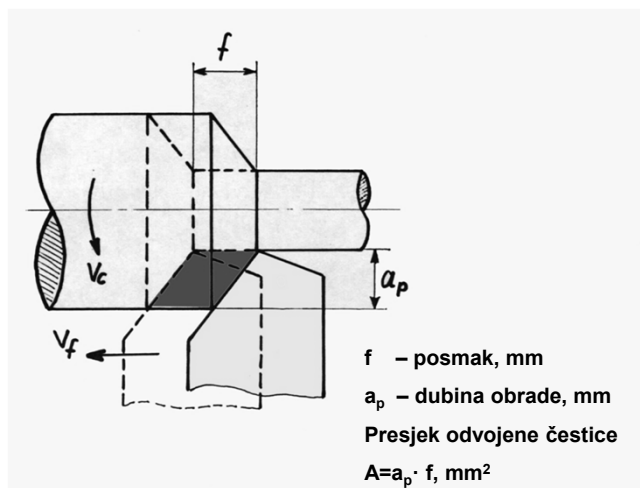
TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I  
Obrada odvajanjem čestica

Alat i obradak u gibanju

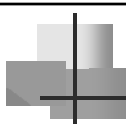


FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

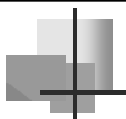
TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I  
Obrada odvajanjem čestica



FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE



## Teorija rezanja



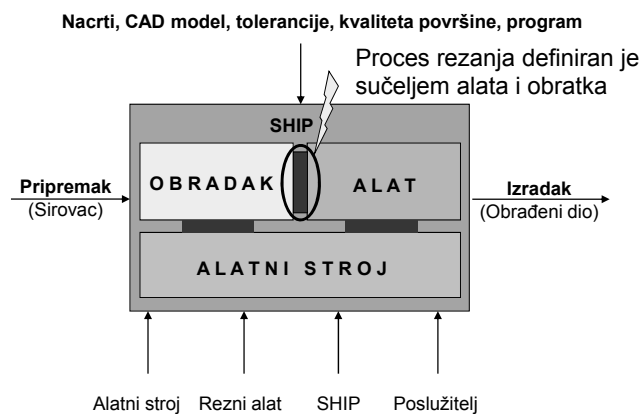
### Što je teorija rezanja ?

Znanstvena disciplina kojom se nastoji objasniti utjecaj uvjeta obrade na:

- tijek formiranja odvojene čestice,
- sile i naprezanja koje se javljaju pri obradi i
- deformacije pri obradi

## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica

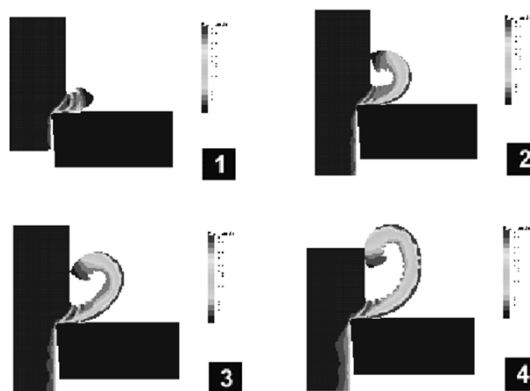
### OOČ kao sustav



FSB, TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica

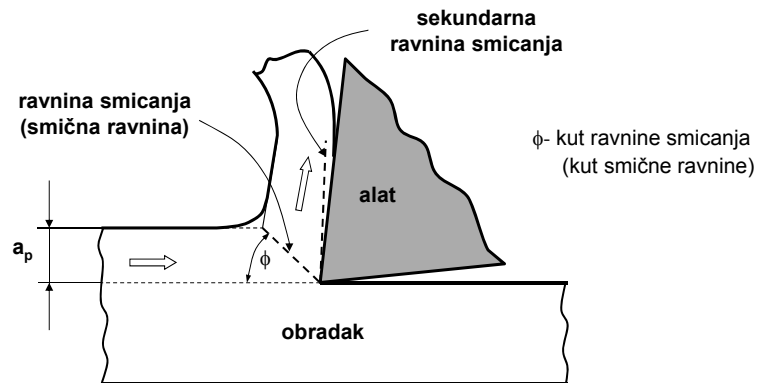
### Formiranje odvojene čestice - simulacija



FSB, TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I  
Obrada odvajanjem čestice

Plastična deformacija i formiranje odvojene čestice  
– ravninski prikaz

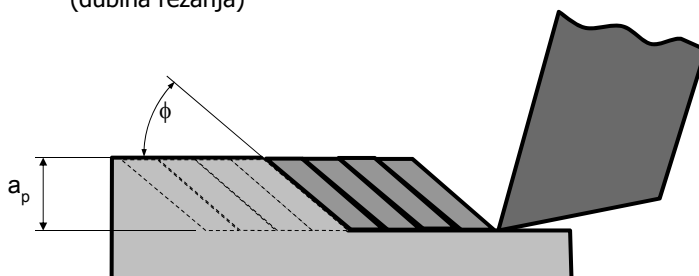


FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

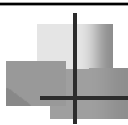
TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I  
Obrada odvajanjem čestice

“Card model” – model elementarnih lamela

$a_p$  - dubina obrade  
(dubina rezanja)



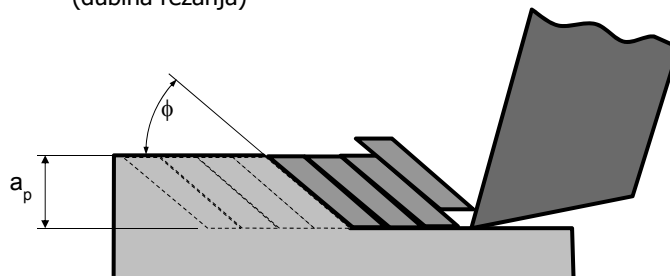
FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE



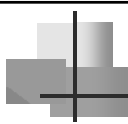
**TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I**  
**Obrada odvajanjem čestica**

**“Card model” – model elementarnih lamela**

$a_p$  - dubina obrade  
(dubina rezanja)



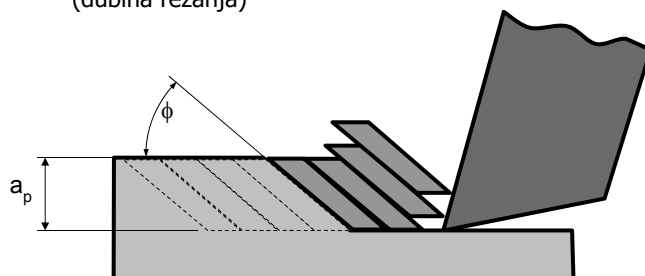
FSB, TEHNOLOGIJA i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE



**TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I**  
**Obrada odvajanjem čestica**

**“Card model” – model elementarnih lamela**

$a_p$  - dubina obrade  
(dubina rezanja)



FSB, TEHNOLOGIJA i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

**TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I**  
**Obrada odvajanjem čestica**

---

**“Card model” – model elementarnih lamela**

$a_p$  - dubina obrade  
(dubina rezanja)

The diagram illustrates the 'Card model' for chip removal. It shows a workpiece being cut by a tool. The cutting depth is labeled as  $a_p$ . The angle of the chip formation is labeled as  $\phi$ . The chip is shown as a series of overlapping lamellae (chips) being removed from the workpiece.

FSB, TEHNOLOGIJA i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

**TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I**  
**Obrada odvajanjem čestica**

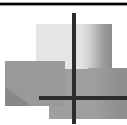
---

**“Card model” – model elementarnih lamela**

$a_p$  - dubina obrade  
(dubina rezanja)

The diagram illustrates the 'Card model' for chip removal. It shows a workpiece being cut by a tool. The cutting depth is labeled as  $a_p$ . The angle of the chip formation is labeled as  $\phi$ . The chip is shown as a series of overlapping lamellae (chips) being removed from the workpiece.

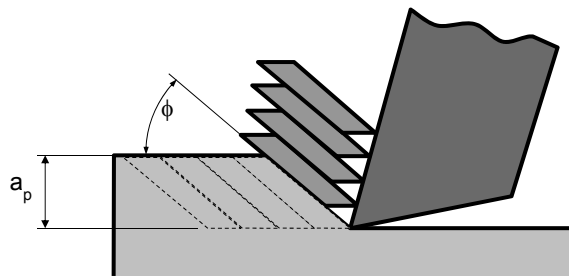
FSB, TEHNOLOGIJA i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE



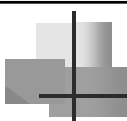
## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica

### “Card model” – model elementarnih lamela

$a_p$  - dubina obrade  
(dubina rezanja)



FSB, TEHNOLOGIJA i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

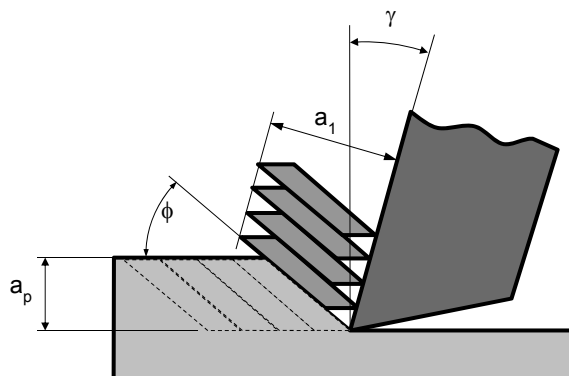


## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica

### “Card model” – model elementarnih lamela

$a_p$  - dubina obrade  
(dubina rezanja)

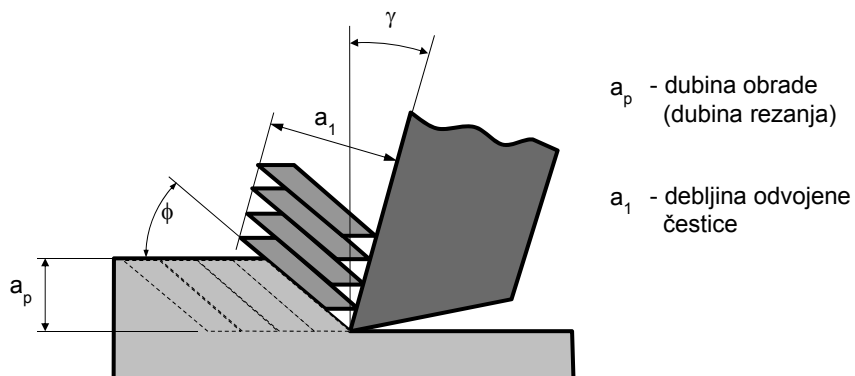
$a_1$  - debljina odvojene  
čestice



FSB, TEHNOLOGIJA i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I  
Obrada odvajanjem čestica

“Card model” – model elementarnih lamela



FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I  
Obrada odvajanjem čestica

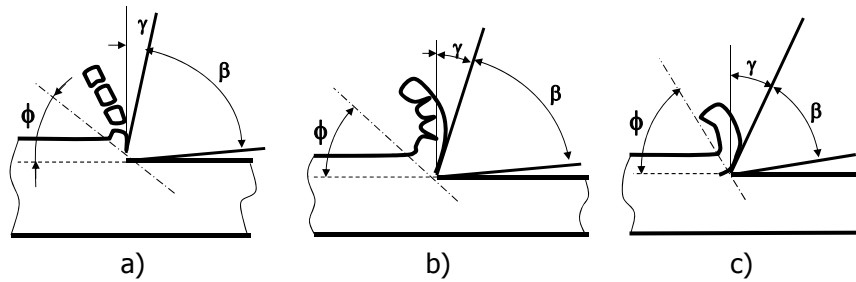
Formiranje čestica - film



FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE



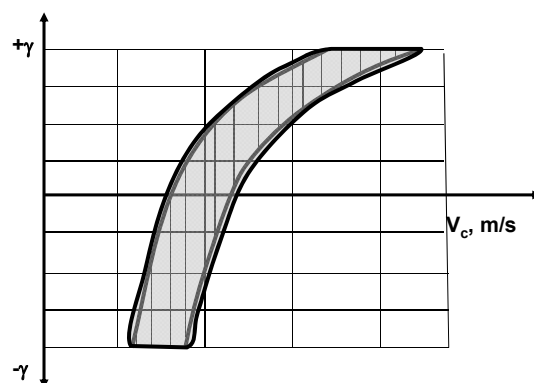
### Vrste odvojene čestice



- a) - lomljena (elementarna) odvojena čestica
- b) - nasječena odvojena čestica (više lamela zajedno)
- c) - tekuća (kontinuirana) odvojena čestica

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

### Područje stvaranja naljepka (BUE)



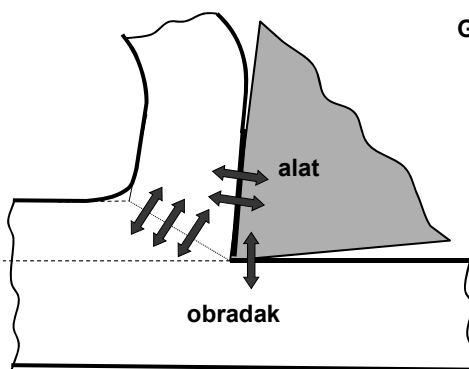
Zbog porasta brzina obrade i temperatura koji pri tome nastaju, kao i novih alata, naljepak danas više nije tako značajan problem.

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I  
 Obrada odvajanjem čestica

Toplinske pojave kod procesa obrade odvajanjem

Uz pretpostavku da nema gubitaka  $Q = F \cdot v \cdot t$



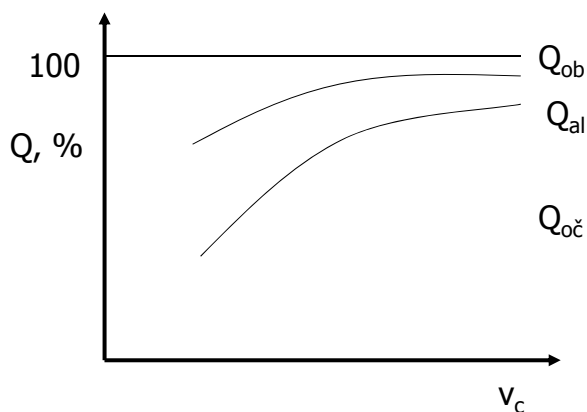
Glavni izvori topline:

- $Q_d$ , deformacija i
- $Q_{tr}$ , trenje na prednjoj i trenje na stražnjoj površini alata

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I  
 Obrada odvajanjem čestica

Toplinske pojave kod procesa obrade odvajanjem-raspodjela



Nastala toplina se prenosi na:

- odvojenu česticu,  $Q_{oč}$
- alat,  $Q_{al}$
- obradak,  $Q_{ob}$

$$Q = Q_{oč} + Q_{al} + Q_{ob}$$

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

**Toplinske pojave kod procesa obrade odvajanjem  
- bilanca**

**Toplinska bilanca**

$$Q_d + Q_{tr} = Q_{oč} + Q_{al} + Q_{ob}$$

**SHIP – sredstva (tekućine) za hlađenje, ispiranje i podmazivanje**

**Svrha uporabe ili tehnološke funkcije SHIP-a**

1. Podmazivanje površina alata na kojima se razvija trenje.
2. Hlađenje alata i obratka, čime se sprečava povećanje temperature i usporava proces trošenja alata (ili omogućuje obrada većim brzinama)
3. Odvođenje (ispiranje) odvojenih čestica i prašine s alata i obratka, čime se smanjuje trošenje alata i poboljšava kvaliteta obrađene površine.
4. Smanjenje sila rezanja.
5. Kemijska zaštita obrađene površine od štetnog djelovanja okoline (zbog toga SHIP treba imati antikorozijska svojstva).

## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I

### Obrada odvajanjem čestica

**SHIP – sredstva (tekućine) za hlađenje, ispiranje i podmazivanje**

#### Vrste SHIP-a

- Tekućine koje imaju primarno svojstvo hlađenja, a sekundarno (samo djelomično) svojstvo podmazivanja. U ovu skupinu pripadaju vodeni rastvori (vodene emulzije).
- Tekućine koje imaju primarno svojstvo podmazivanja, a sekundarno (samo djelomično) svojstvo hlađenja. U ovu skupinu pripadaju mineralna, biljna i životinjska ulja, petrolej i sl.

#### Napomene

Razvijaju se "suhe" obrade (DRY machining) i obrade s minimalnom upotrebom SHIP-a (NEAR DRY machining i MQL)

Sve više pažnje posvećuje se SHIP-u u smislu zaštite okoliša.

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I

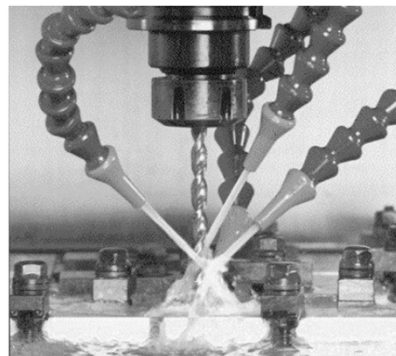
### Obrada odvajanjem čestica

**SHIP – sredstva (tekućine) za hlađenje, ispiranje i podmazivanje**

#### Način dovođenja SHIP-a

- Slobodni mlaz
- Pod niskim tlakom
- Pod visokim tlakom
- U struji zraka (sve češće)

Hlađenje uvijek treba biti ravnomjerno; početak hlađenja treba biti prije prvog kontakta alata i obratka; SHIP treba dovesti na pravu lokaciju.



FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica

### TROŠENJE I POSTOJANOST OŠTRICE REZNIH ALATA

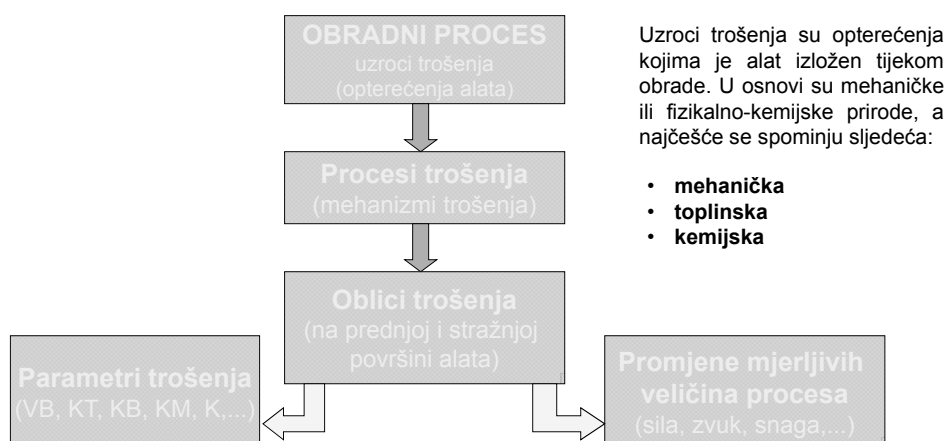
Sve procese obrade odvajanjem neizbježno prati i proces trošenja oštrice reznog alata. Proces obrade je determiniran ulazima, odnosno međusobnim odnosom ulaznih veličina, a kao jedna od posljedica opterećenja kojima je alat izložen tijekom procesa obrade, nastaje i proces trošenja. Ulazni parametri mogu se podijeliti u tri skupine:

- **parametri vezani uz pripremak,**
- **parametri vezani uz alat i**
- **parametri vezani uz uvjete obrade**

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica

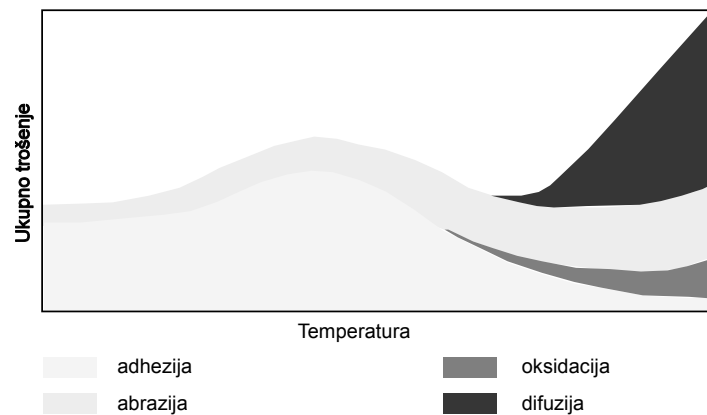
### UZROČNO-POS LJEDIČNI LANAC TROŠENJA ALATA



FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica

### UDJELI POJEDINOG PROCESA TROŠENJA U UKUPNOM TROŠENJU



Kvalitativni udio pojedinog procesa trošenja u ukupnom trošenju ovisno o temperaturi

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

## TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I Obrada odvajanjem čestica

### Kriteriji istrošenosti oštrice reznog alata

Alat koji više ne može obavljati zahtjevanu funkciju je dosegao završetak korisnog vijeka trajanja. Kao kriteriji postojanosti mogu se (sve češće) uzeti granične vrijednosti parametara obratka (hrapavost, promjer ili općenito dimenzije) ili mjerljivih veličina procesa (sile, snaga, moment, vibracije,...)

Za ocjenu trošenja kod alata s ravnom prednjom površinom dominiraju parametri VB, VBmax, KT, KM i KB, a standardi preporučuju samo prva tri. Kod završnih obrada za nadzor trošenja preporuča se trošenje pomoćne stražnje površine,  $Vb_{NS}$ , a granična vrijednost ovisi o toleranciji obratka, dok se kod grubih obrada uzimaju parametri VB i KT. Kao kriterij istrošenosti, kod završne obrade, preporuča se parametar hrapavosti obredene površine Ra.

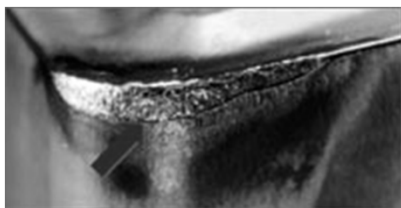
Prema međunarodnim standardima za različite materijale alata (HSS, tvrdi metal, keramika) preporučuju se različiti kriteriji istrošenosti.

FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I  
Obrada odvajanjem čestica

Uobičajeni položaji i oblici trošenja reznih alata

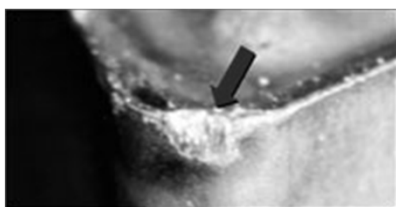
Trošenje stražnje površine



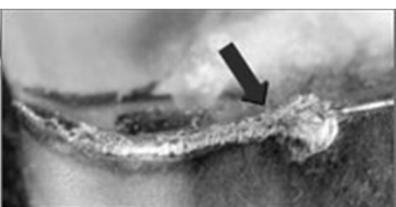
Kratersko trošenje



Krzanje (krhanje)



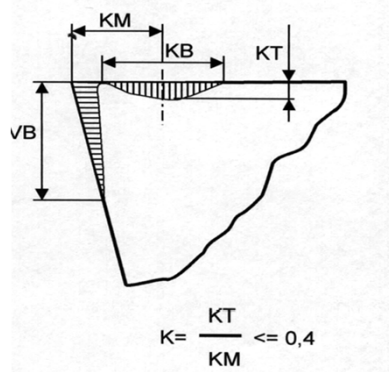
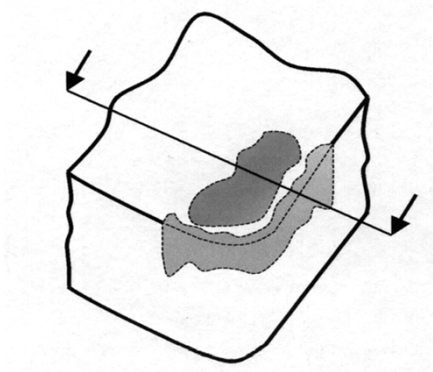
Zarežno trošenje



FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

TEHNOLOGIJA I i PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I  
Obrada odvajanjem čestica

Parametri trošenja oštrice reznog alata



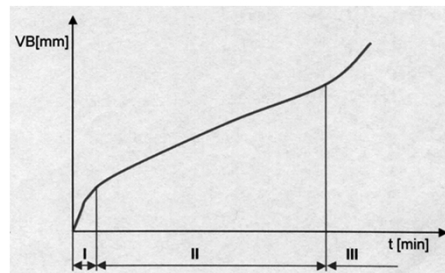
FSB, TEHNOLOGIJA I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

### Tipaska krivulja trošenja reznih alata

Prikazuje promjenu trošenja stražnje površine alata u ovisnosti o vremenu obrade. Tipaska krivulja vrijedi za određenu kombinaciju alat-obradak i pri slijedećim uvjetima obrade:

$$A = a_p \cdot f = \text{konst.}$$

$$v_c = \text{konst.}$$



I Period uhadavanja

- veliki intenzitet, ali mali iznos trošenja

II Period "normalnog trošenja

- pravocrtna promjena trošenja u vremenu

III Period naglog trošenja

- veliki porast trošenja (kraj vijeka trajanja)  
(katastrofalno trošenje)