



100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu

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



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

4. semestar, PI

Dio: OBRADA ODVAJANJEM

Drugo predavanje

FSB Zagreb, PI



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Sažetak 1. predavanja

Cilj:

Upoznavanje osnova teorije rezanja i postupaka ooč.

Ishodi učenja:

- Klasificirati konvencionalne i nekonvencionalne postupke ooč.
- Skicirati i opisati konvencionalne i nekonvencionalne postupke obrade
- Procijeniti postojanost oštrice alata kao funkciju brzine rezanja.
- Procijeniti obradivost materijala temeljem osnovnih kriterija obradivosti.
- Opravdati i kritički prosuditi primjenu određenog postupka obrade.

Sadržaj predavanja i vježbi

Literatura

Način polaganja: 2 kolokvija i možebitni usmeni.



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem

Uvod - 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

Proizvodnja generira 15% - 25% bruto nacionalnog proizvoda -

Proizvodnjom se dodaje vrijednost proizvodu.



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem

Zašto je proizvodnja značajna ?

- Proizvodnja generira 20% - 30% bruto nacionalnog proizvoda.
- Proizvodnjom se dodaje vrijednost proizvodu.
- Proizvodnja je djelatnost kojom se generira blagostanje naroda (AIT).
- 15-20% radnih mjesta je u tom sektoru.
- Na svako radno mjesto u proizvodnji dolaze još 2-2.5 radna mjesta.

Podjela proizvodnje ?

Diskretna (njome ćemo se baviti) i kontinuirana proizvodnja.

Proizvodnja kao "P"

Proizvodnja je proces pretvorbe ideje i potrebe tržišta ili kupca u artefakt. – PLM

Proizvodnja kao "p"

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



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

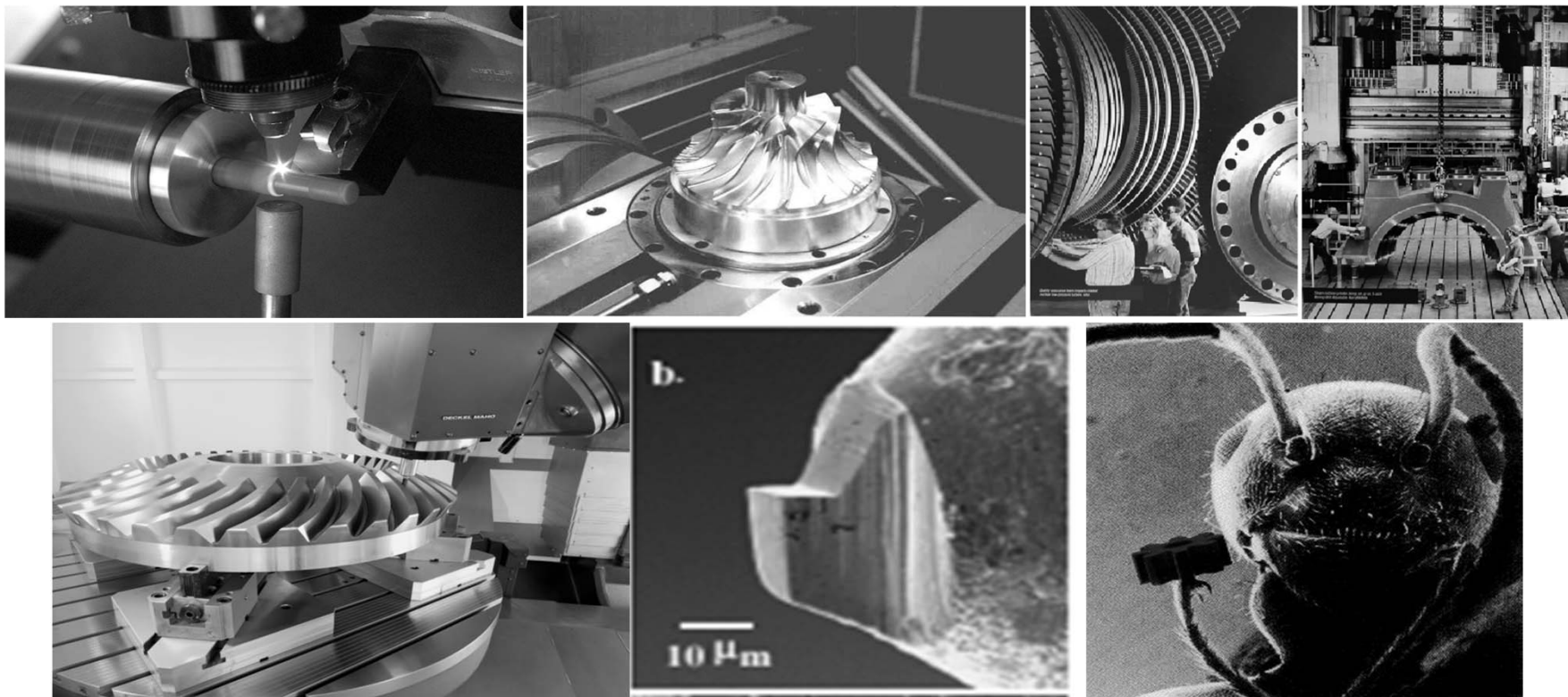
Prednosti obrade odvajanjem su:

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



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem

Mogućnosti obrade odvajanjem





OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

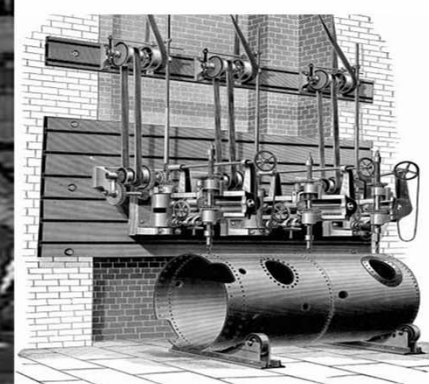
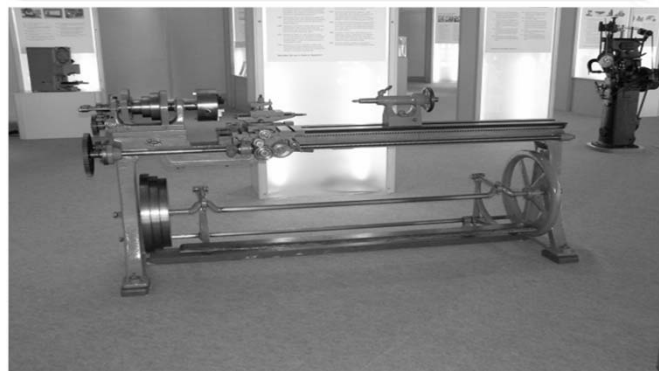
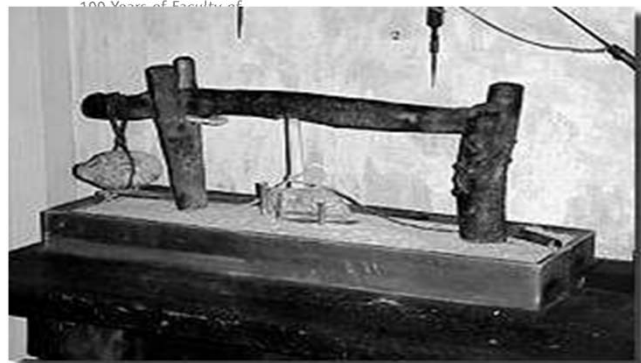
Obrada odvajanjem

Nedostaci obrade odvajanjem čestica su:

- Generira odvojene čestice.
- Ponekad je za formiranje jednog elementa obratka (tolerirani provrti, utori, ...) potrebno primijeniti više postupaka obrade i alatnih strojeva.
- Neki dijelovi zahtijevaju primjenu CNC strojeva i složenog programiranja (više se ne bi trebalo smatrati nedostatkom).
- AS i potreba za rukovanjem alatima i obratcima zahtijevaju velik prostor.
- Mikroklima je pod jakim utjecajem procesa (toplina, buka, SHIP, ulja, ...).
- Veliki udio pomoćnih i pripremnih vremena (vrijeme zahvata alata i obratka je ponekad manje od 5% ukupnog vremena protoka pozicije).

OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem

Razvitak OOČ i alatnih strojeva



FSB ZAGREB, PROIZVODNO INŽENJERSTVO, OD I OO

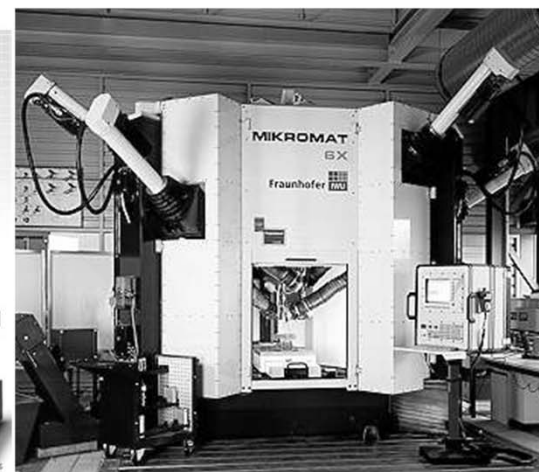
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu

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



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem



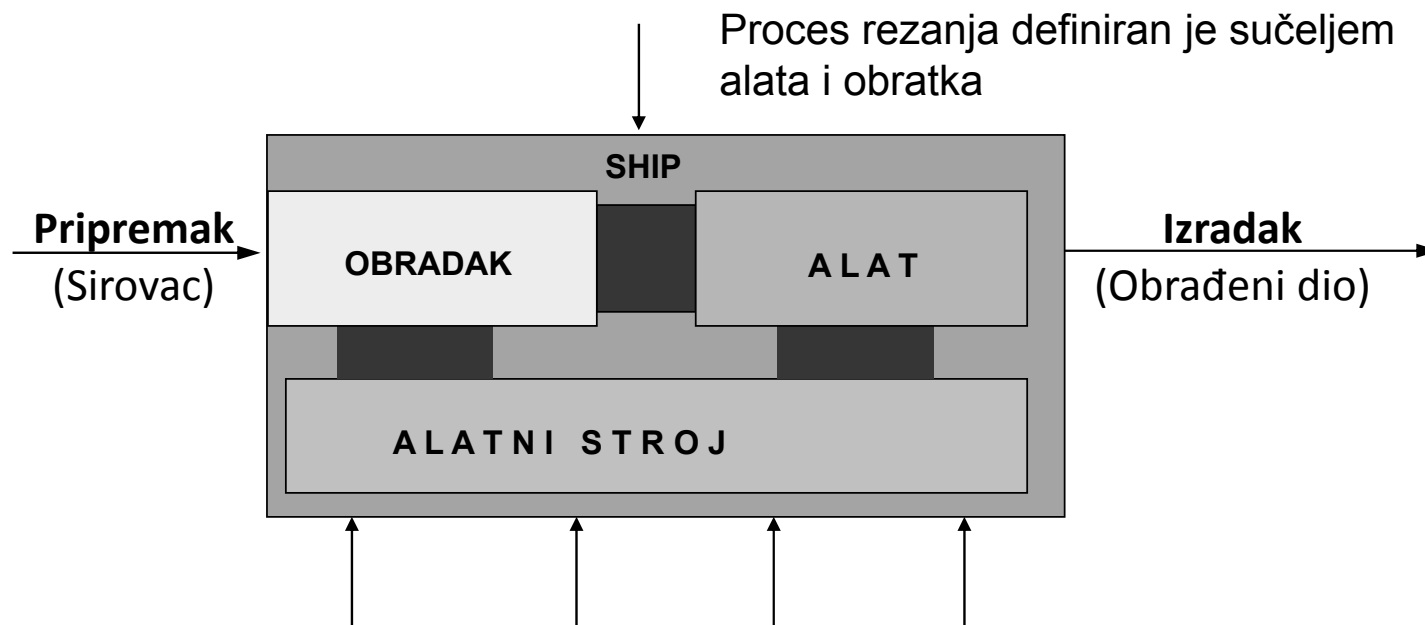
FSB ZAGREB, PROIZVODNO INŽENJERSTVO, OD I OO



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

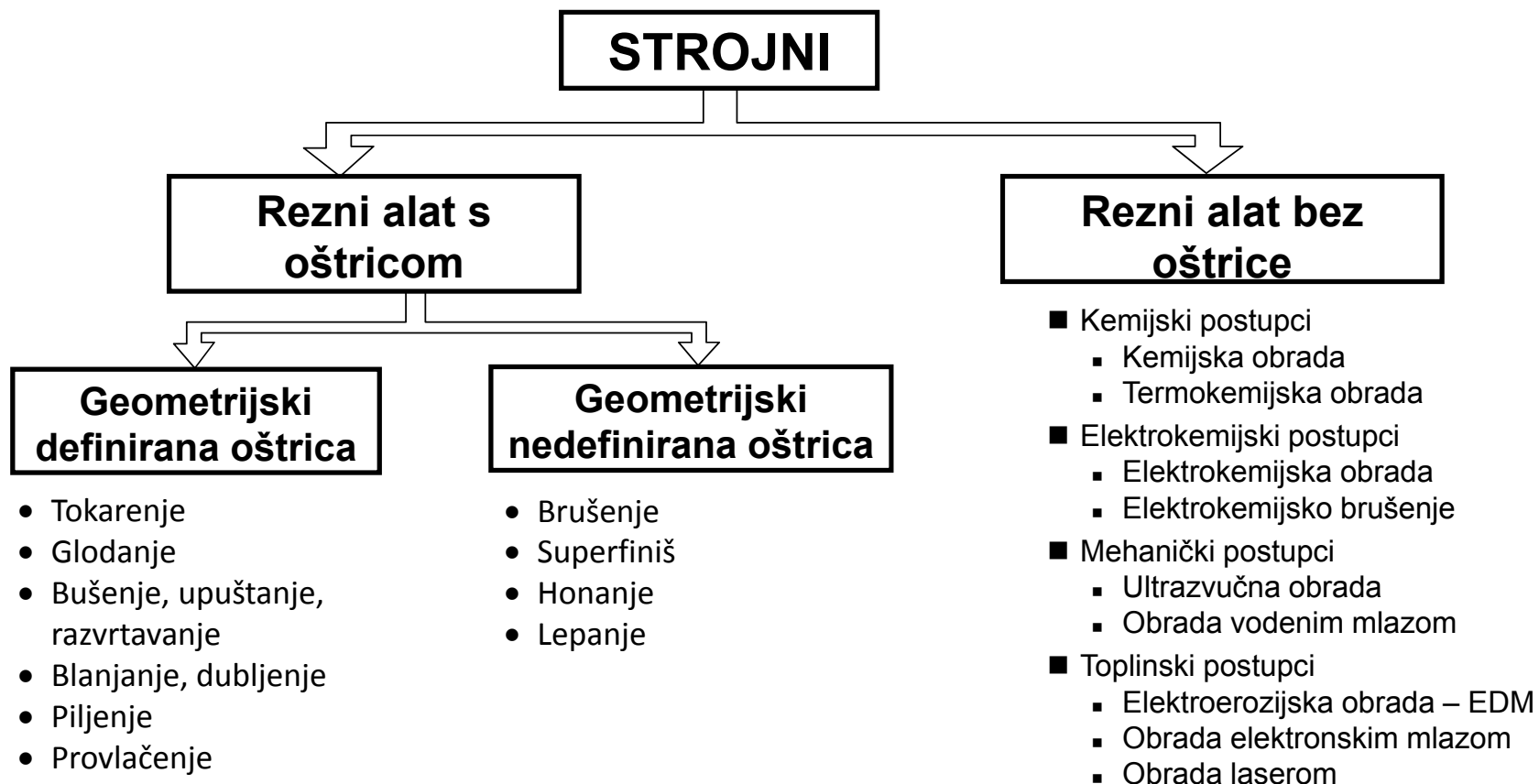
OOČ kao sustav





OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

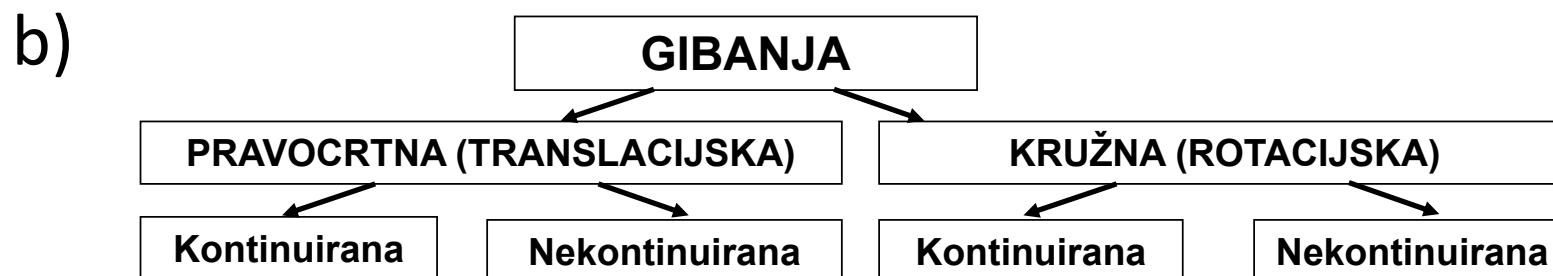
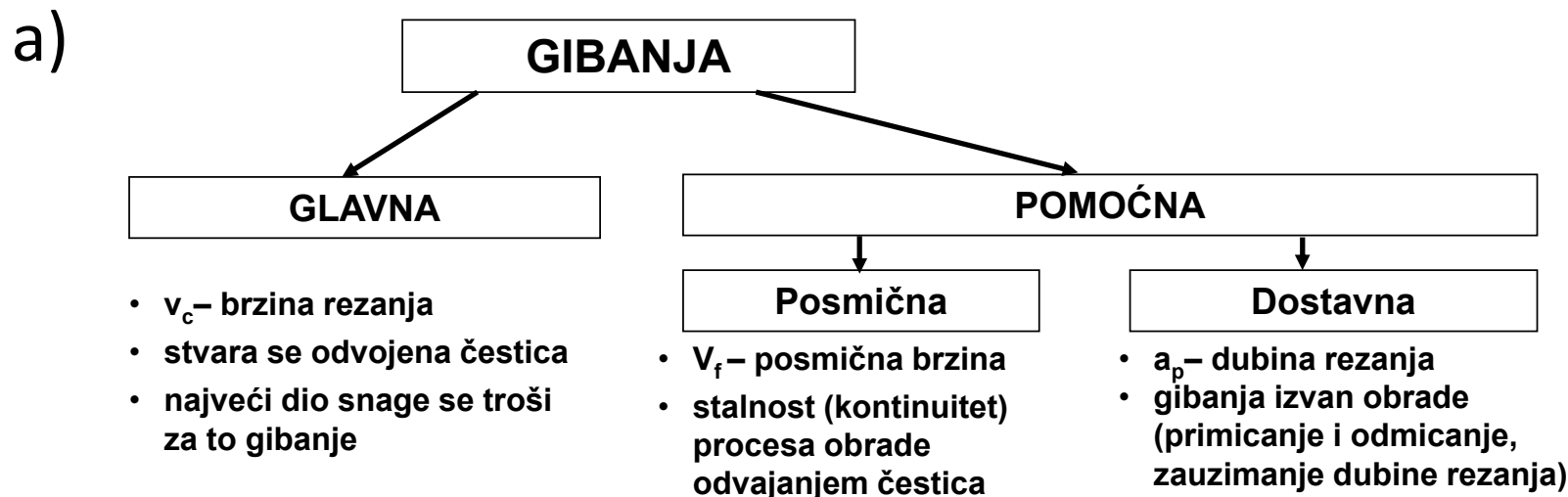
Obrada odvajanjem





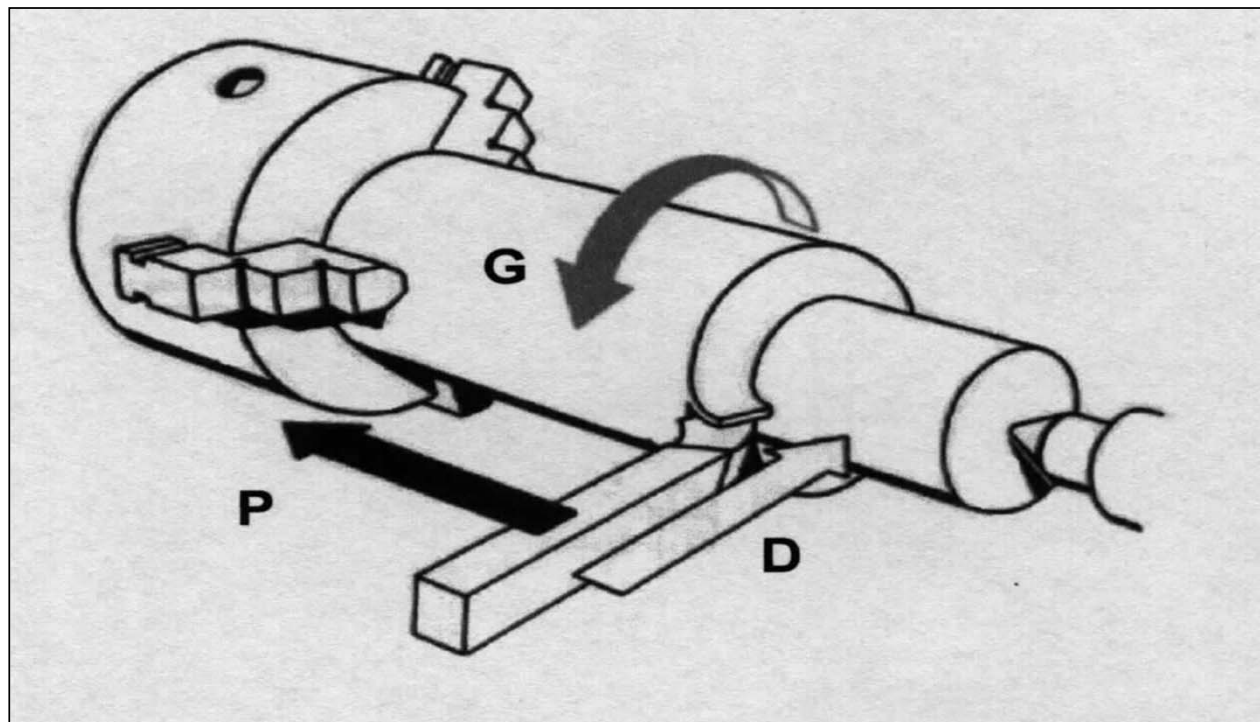
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM
Obrada odvajanjem

Gibanja – općenito (način gibanja)



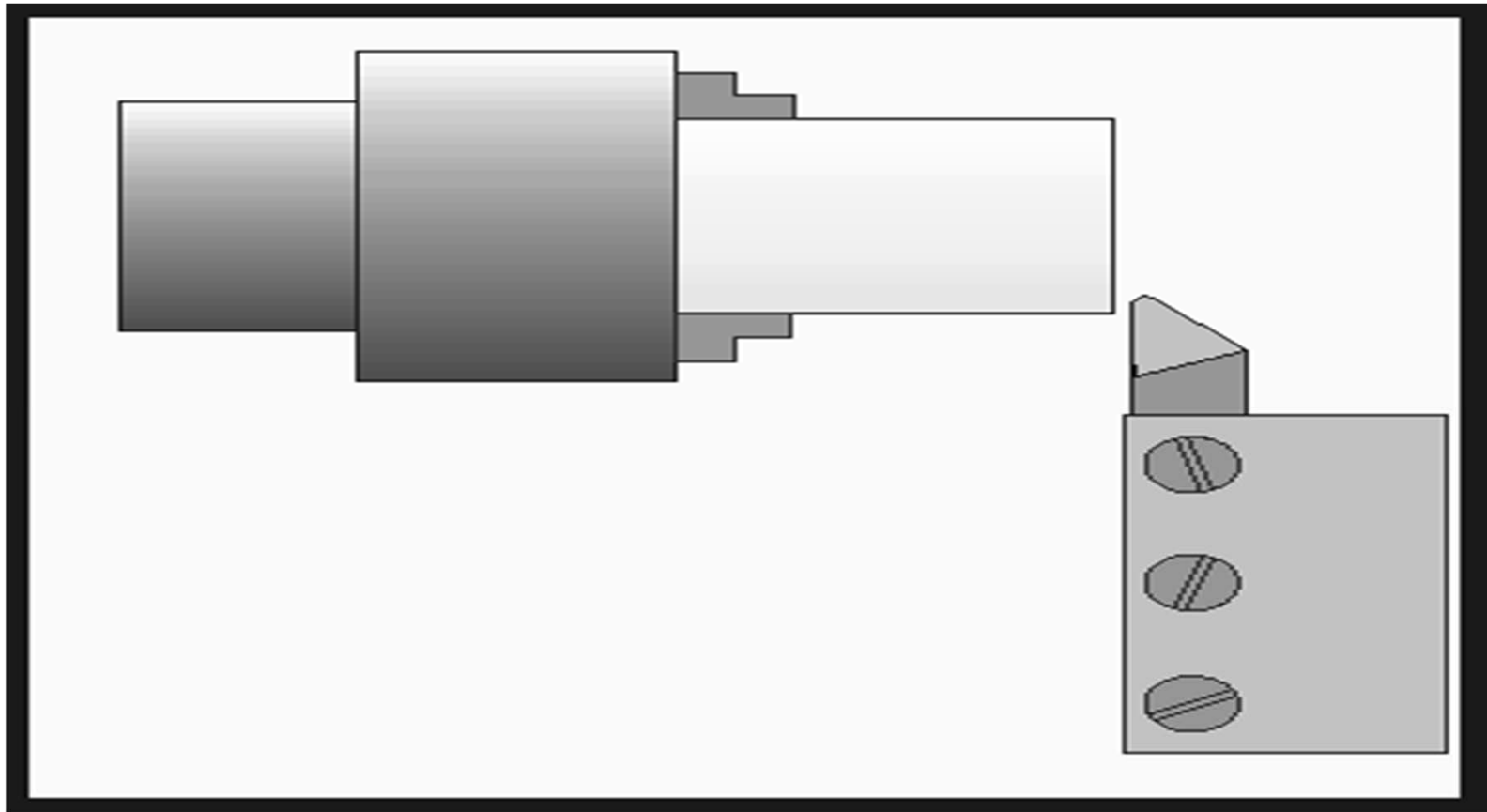
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem

Gibanja kod tokarenja



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem



FSB
100

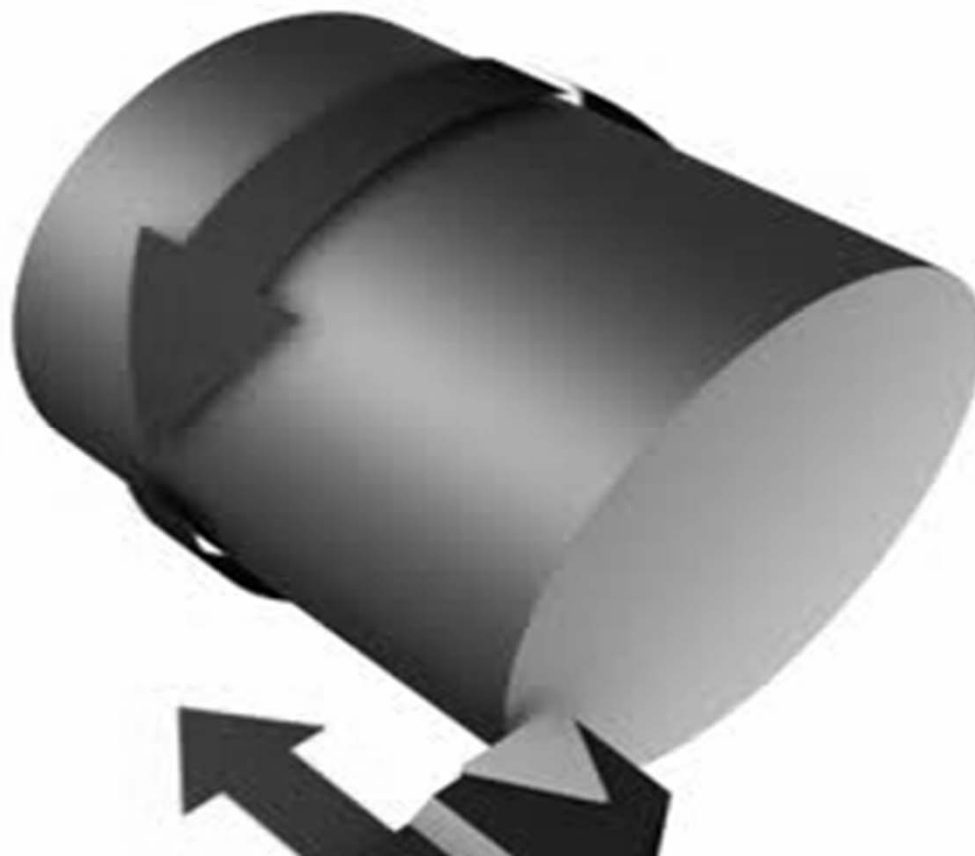
100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu

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



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

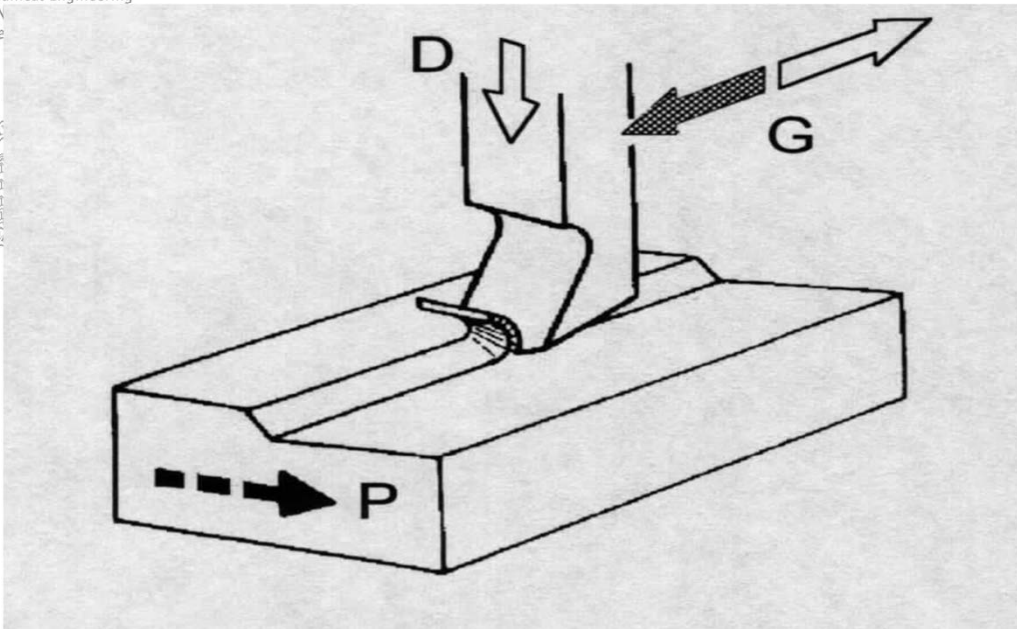
Obrada odvajanjem



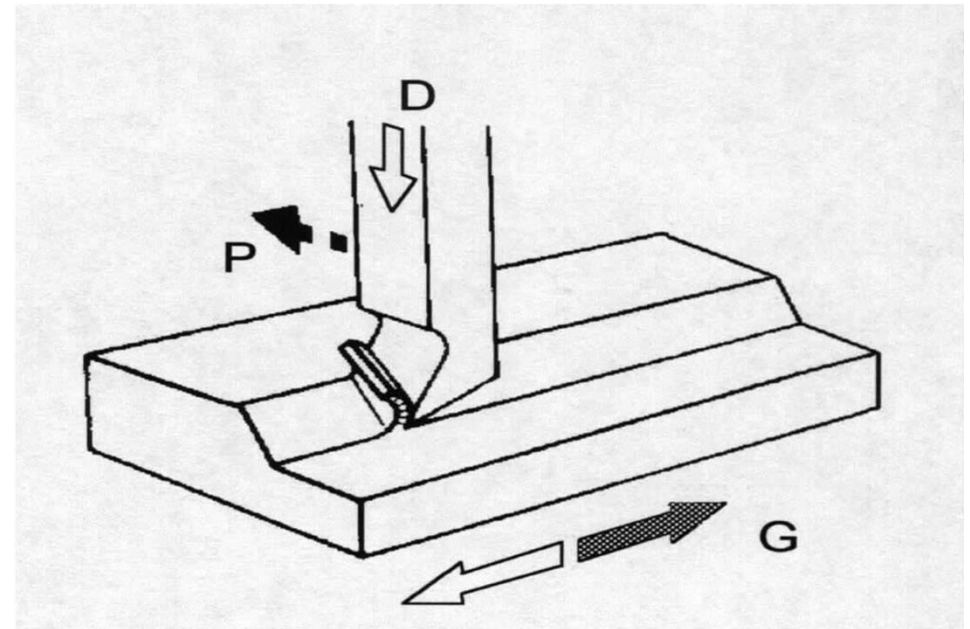
FSB ZAGREB, PROIZVODNO INŽENJERSTVO, OD I OO

OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem

Gibanja kod blanjanja



Kratkohodno blanjanje

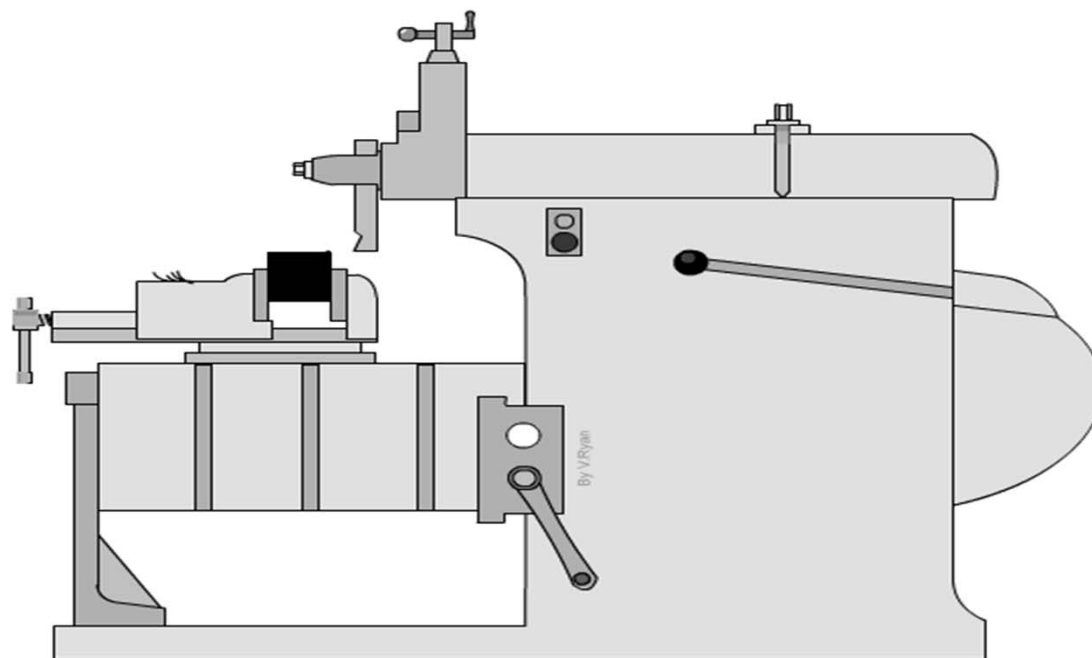
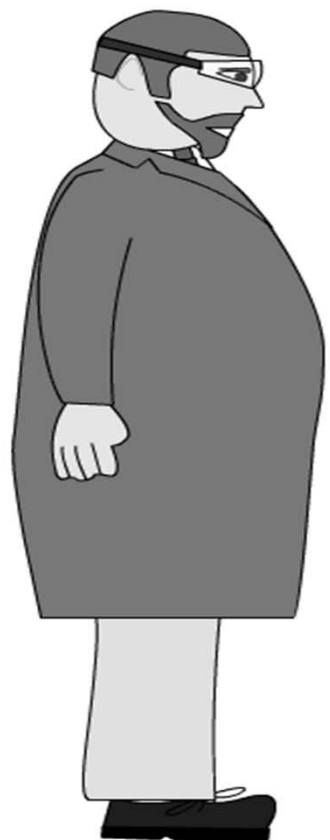


Dugohodno blanjanje



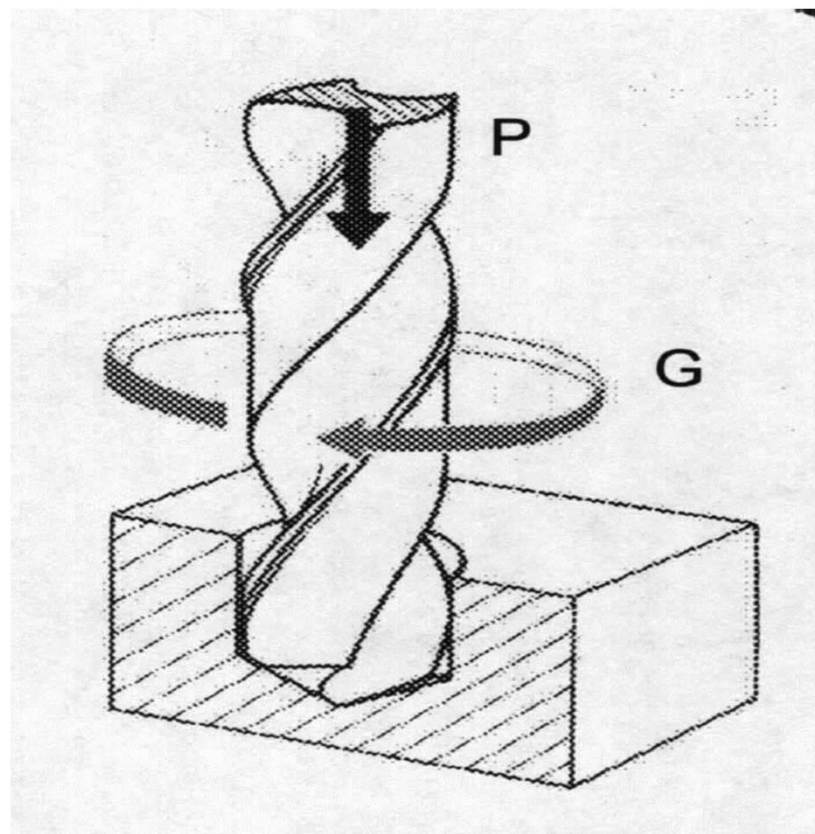
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem

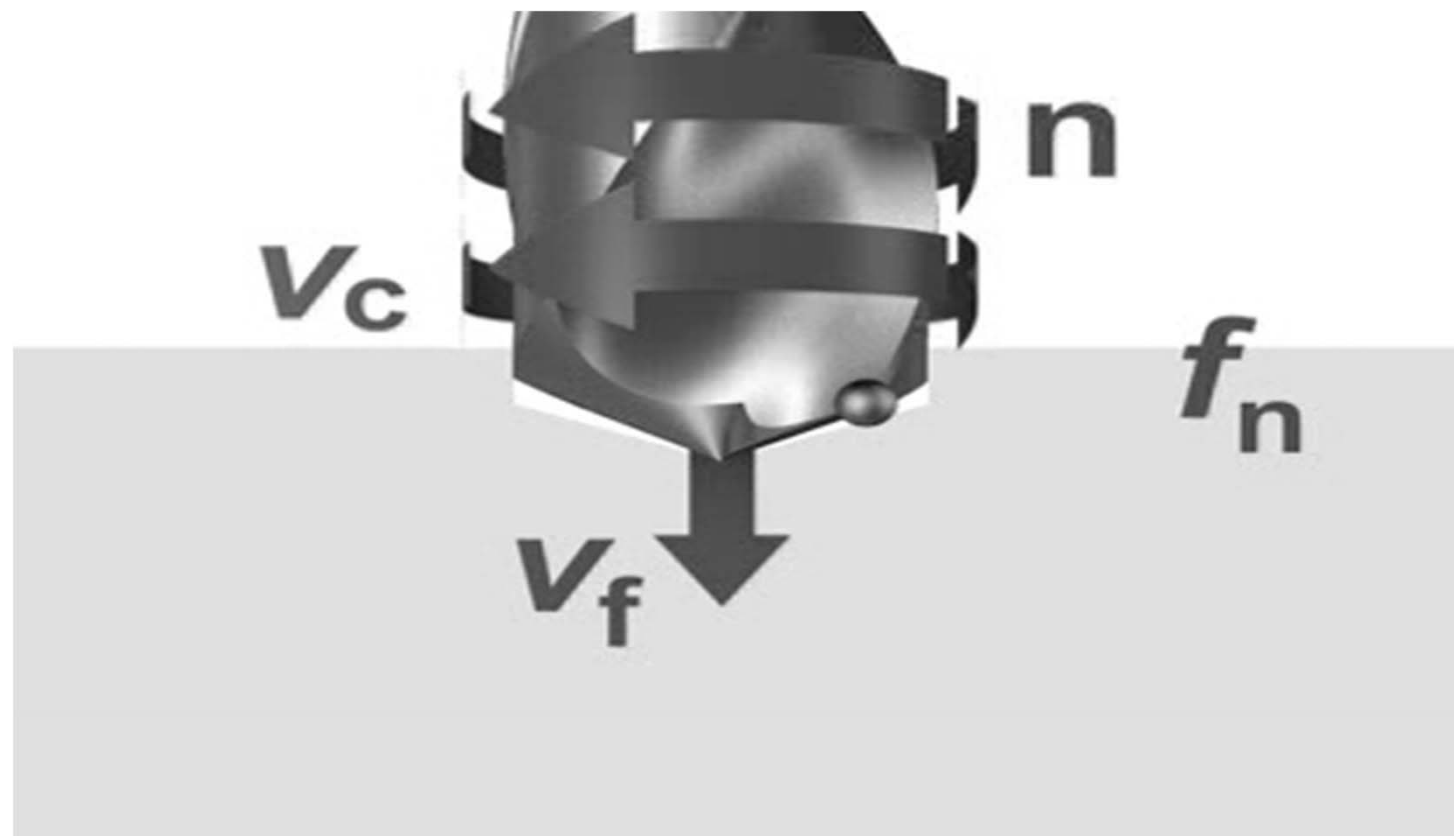
Gibanja kod bušenja





OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

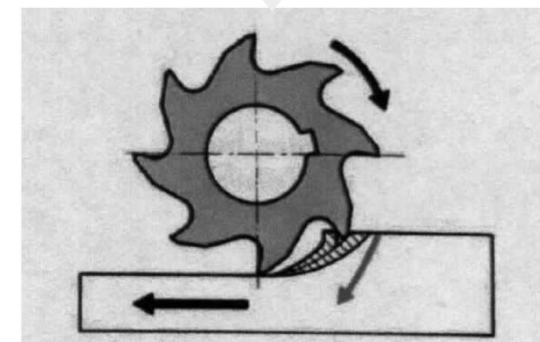
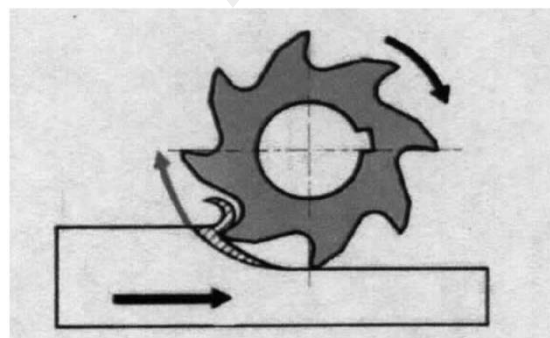
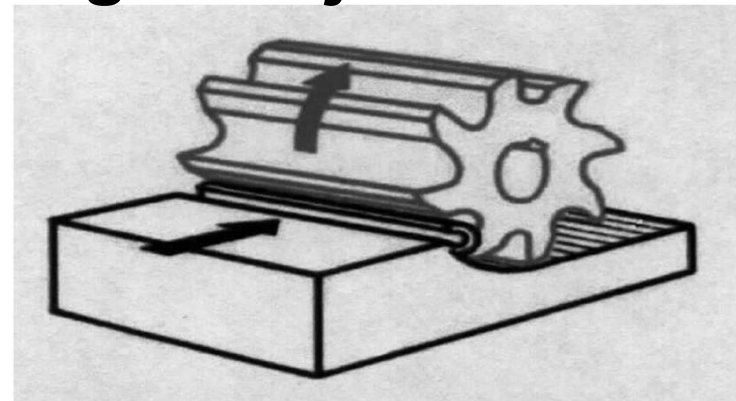
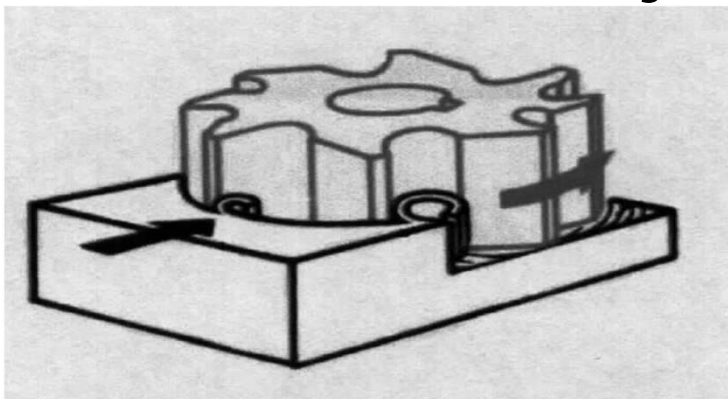
Obrada odvajanjem



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

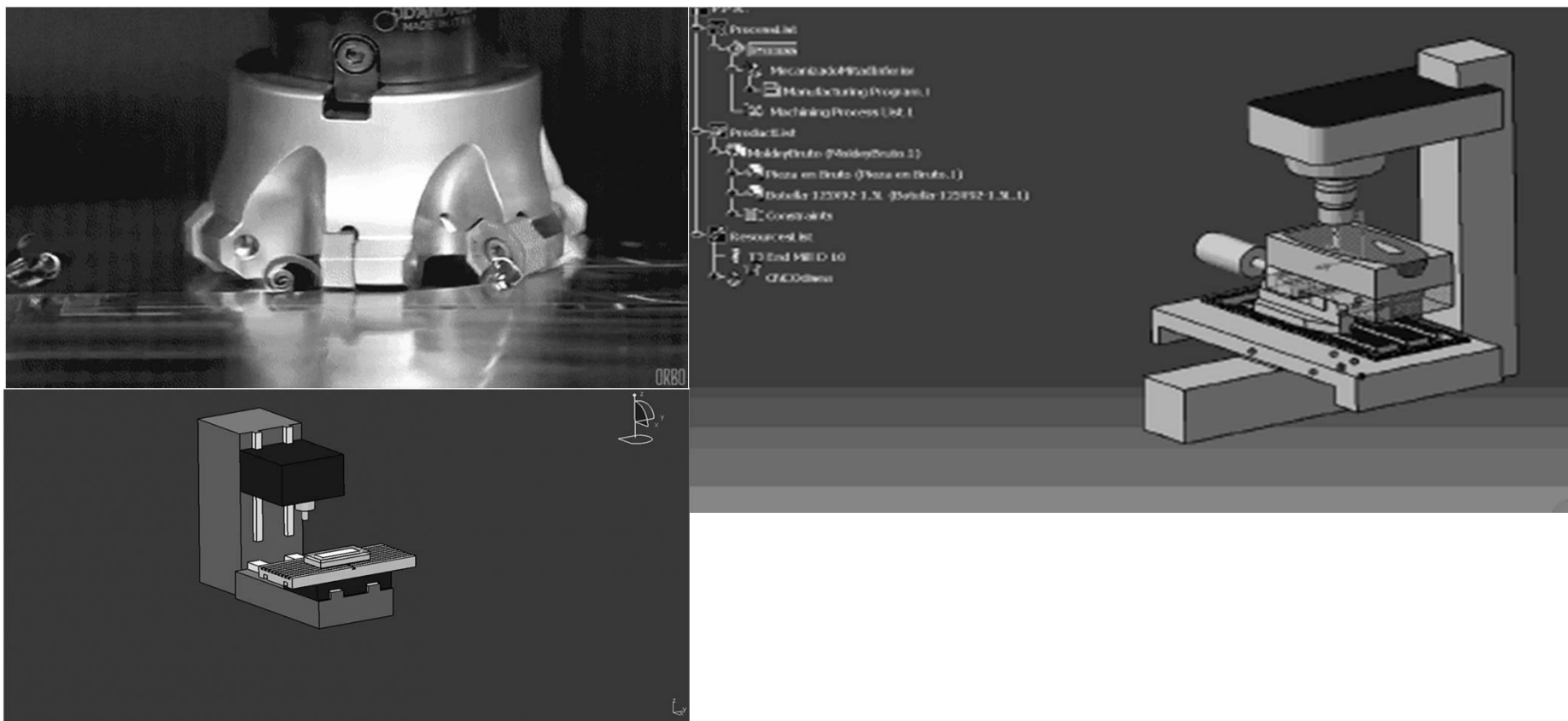
Gibanja kod glodanja





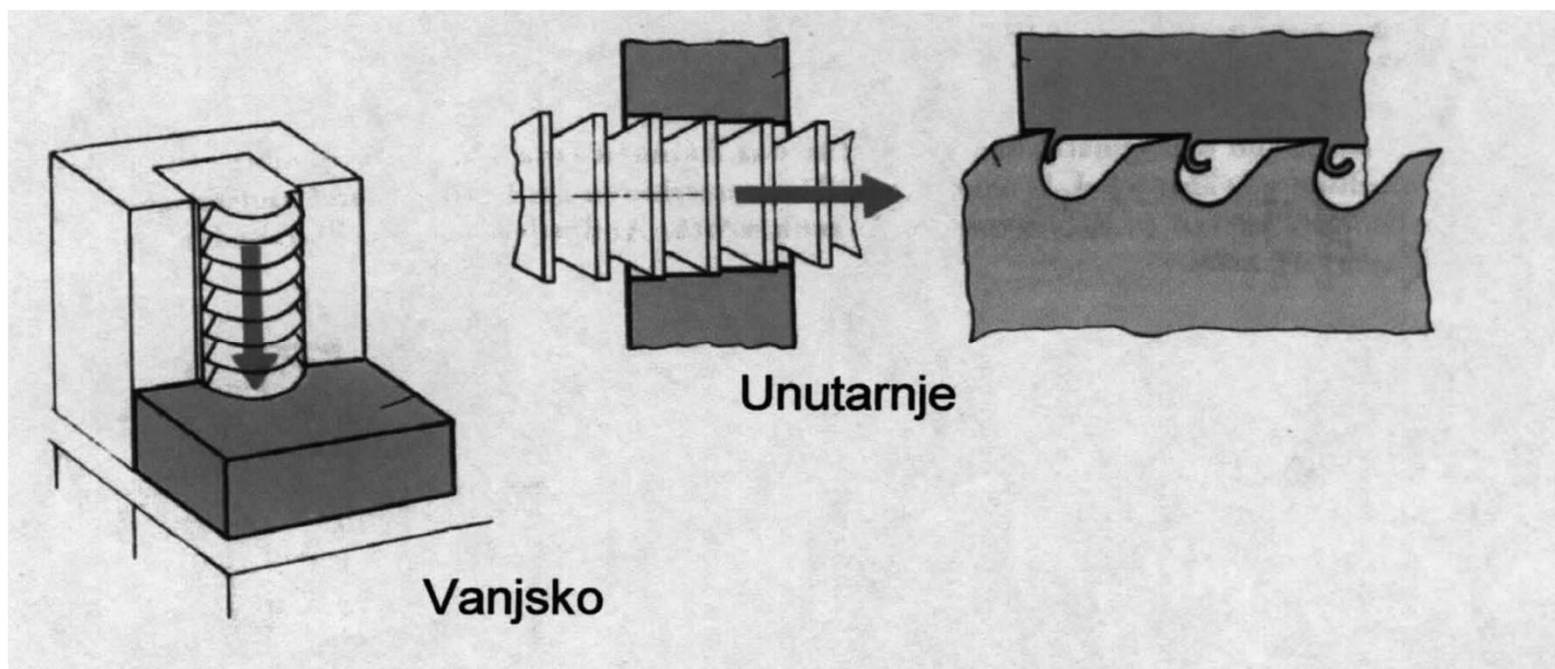
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem

Gibanja kod glodanja



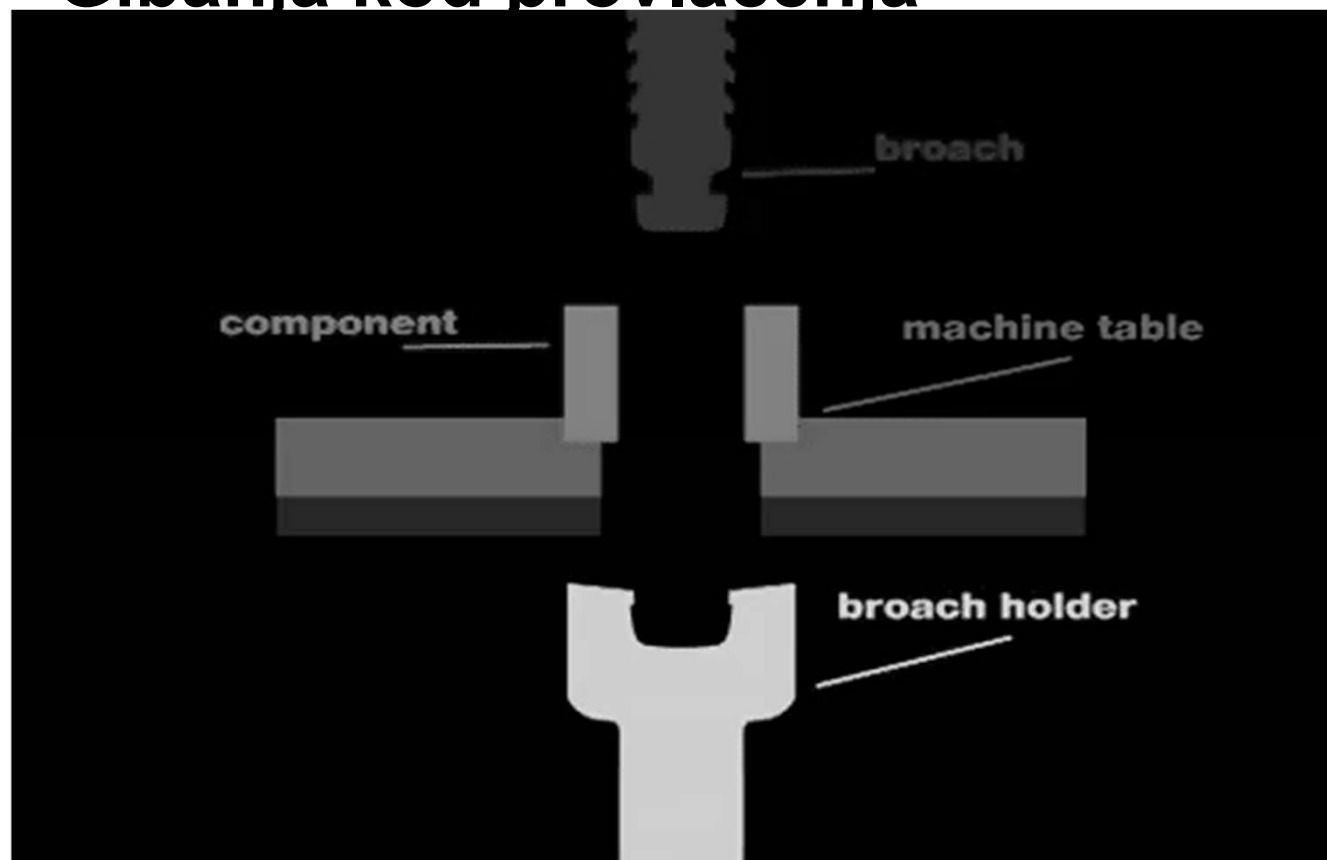
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrađivanje odvajanjem

Gibanja kod provlačenja



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem

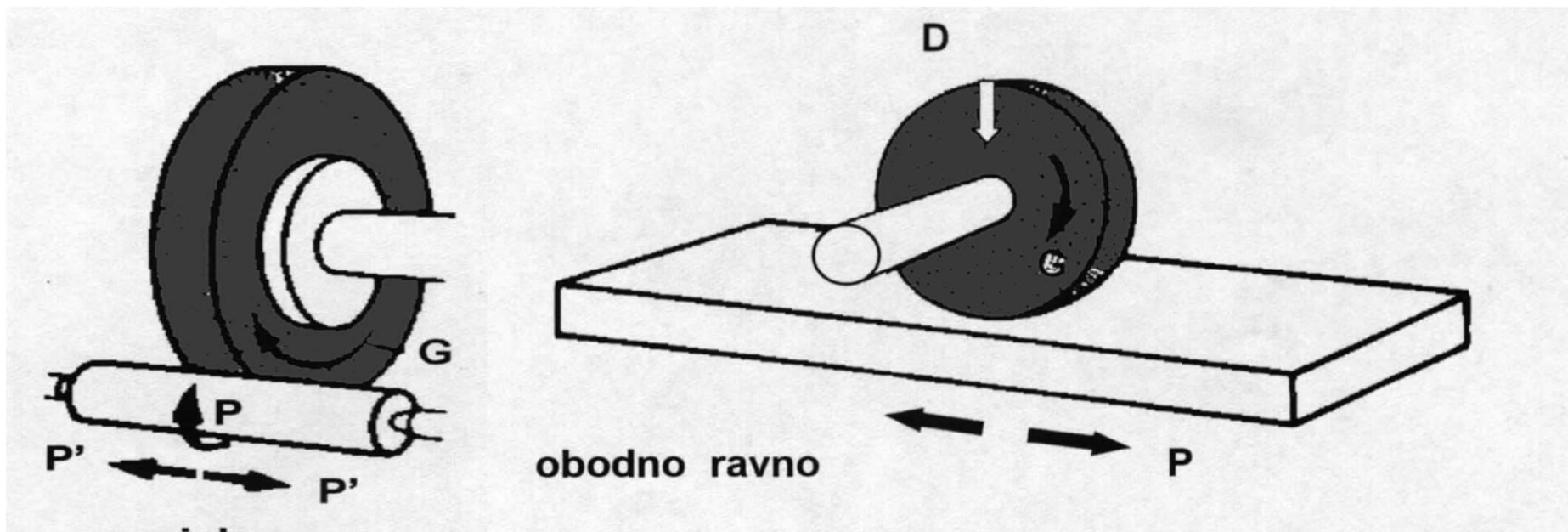
Gibanja kod provlačenja





OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem

Gibanja kod brušenja





OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

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

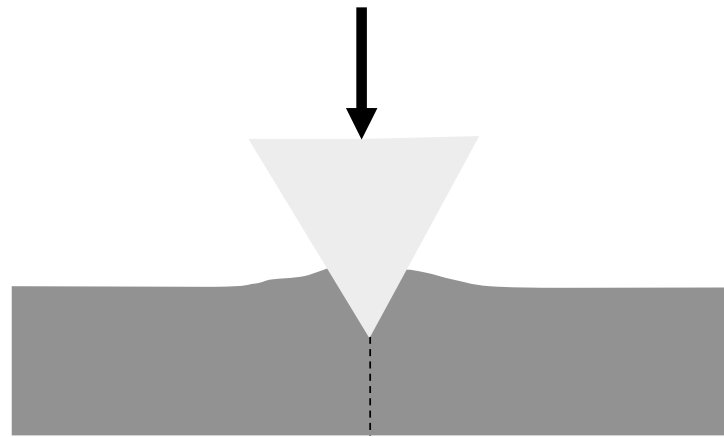
Osnovni oblik svih reznih alata s oštricom je **klin**.

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

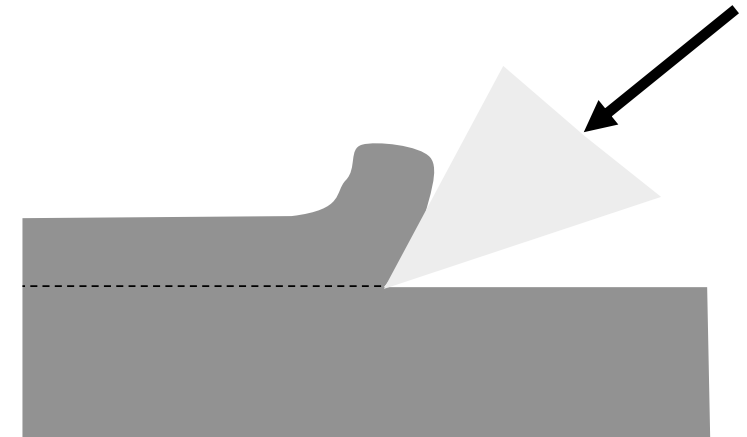
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM
Obrada odvajanjem

Osnove postupaka s reznim alatom s oštricom

Osnovni princip konvencionalnih postupaka ooč: **REZNI KLIN**



Razdvajanje (sječanje)



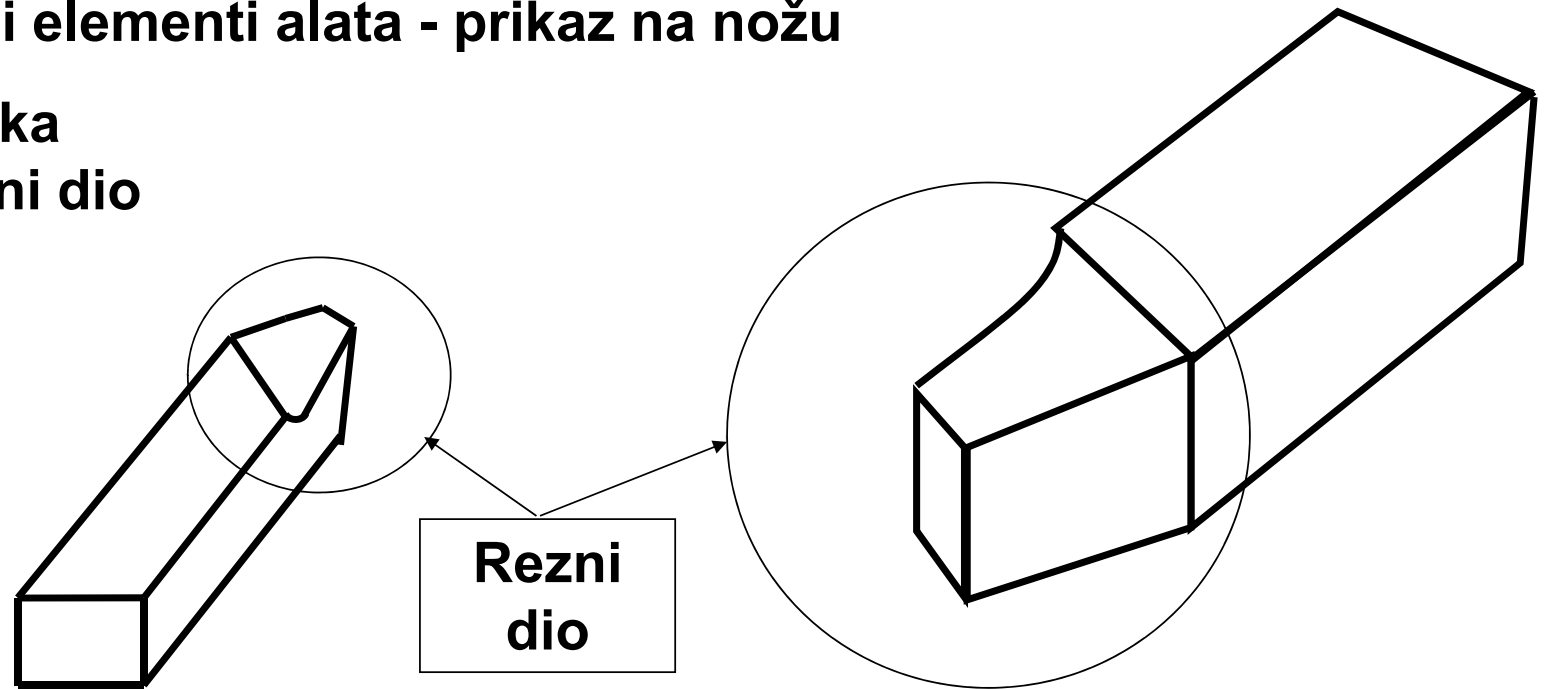
Odvajanje (rezanje)

OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Osnovni elementi alata - prikaz na nožu

- drška
- rezni dio





Osnovni elementi alata

Rezni dio alata obavlja proces rezanja.

***Zajedno s obratkom definira sučelje
alat-obrađak (proces).***

***Drška služi za prihvatanje alata na alatni stroj i za prijenos sila (otpora)
rezanja.***

***Zajedno sa strojem i/ili nosačem alata definira sučelje
alat-stroj (prihvatanje alata).***

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



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Materijali reznih alata (reznog dijela alata)

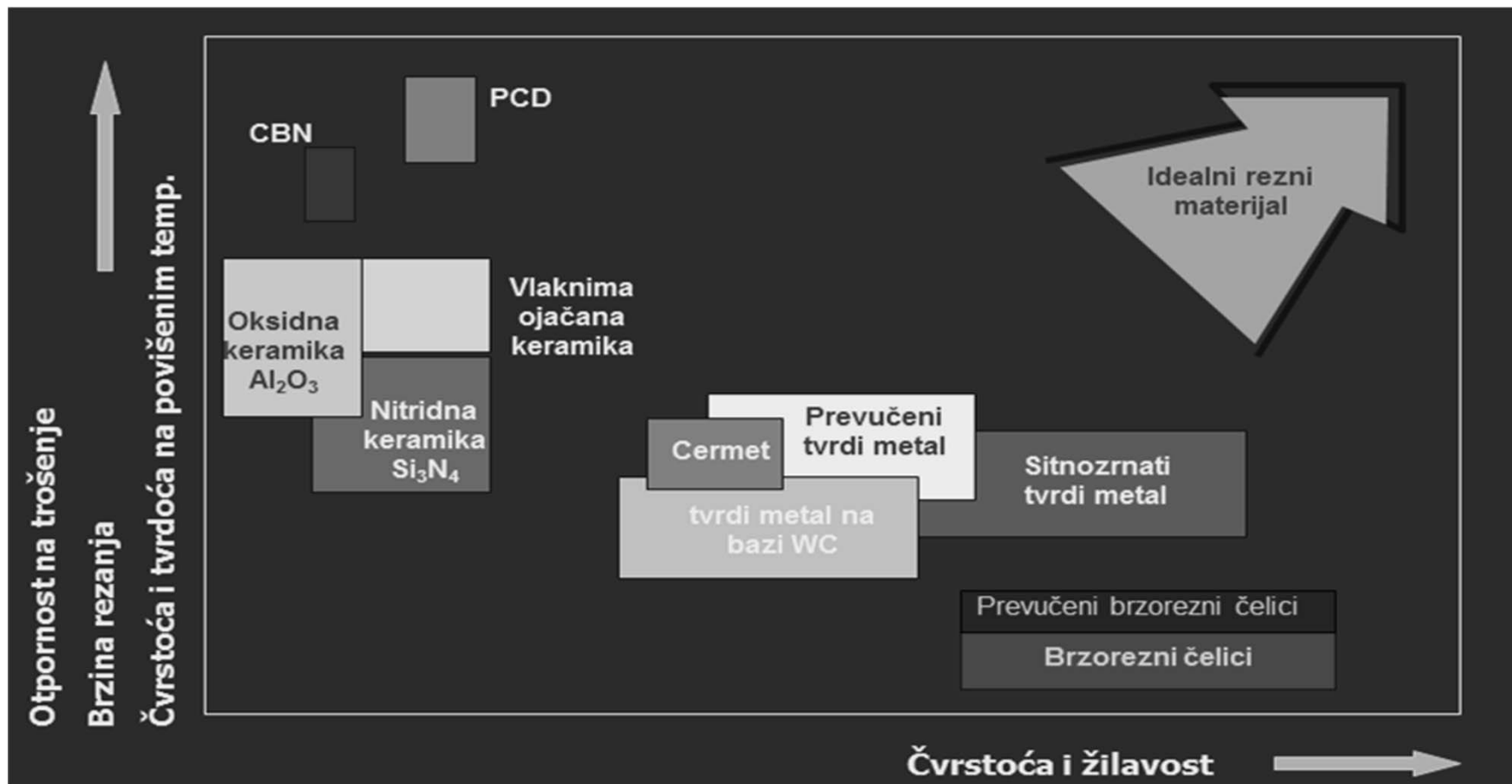
- **Alatni čelici: 0,6-1,5% C; brzina ~10m/min; temp. izdr. 300°C**
- **Brzorezni čelici: legirani Cr, W, Co, V i Mo; brzina 30 - 50m/min; 600°C**
- **Tvrđi metal: sinterirani od tvrdih metalnih karbida (W, Ti, Ta, Nb) i veziva; višedjelan (držka od konstrukcijskog čelika) ili “puni” (cijeli alat je TM);**
- **Prevučeni tvrdi metali: TiN, Al₂O₃, TiCN, ... CVD i PVD postupci prevlačenja; nano prevlake**
- **Sitno-zrnati tvrdi metali**
- **Keramike: oksidna na bazi Al₂O₃ i nitridna Si₃N₄; ojačana vlaknima**
- **CBN – kubični borov nitrid**
- **PCD – polikristalni dijamant**



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Utjecaj materijala reznih alata

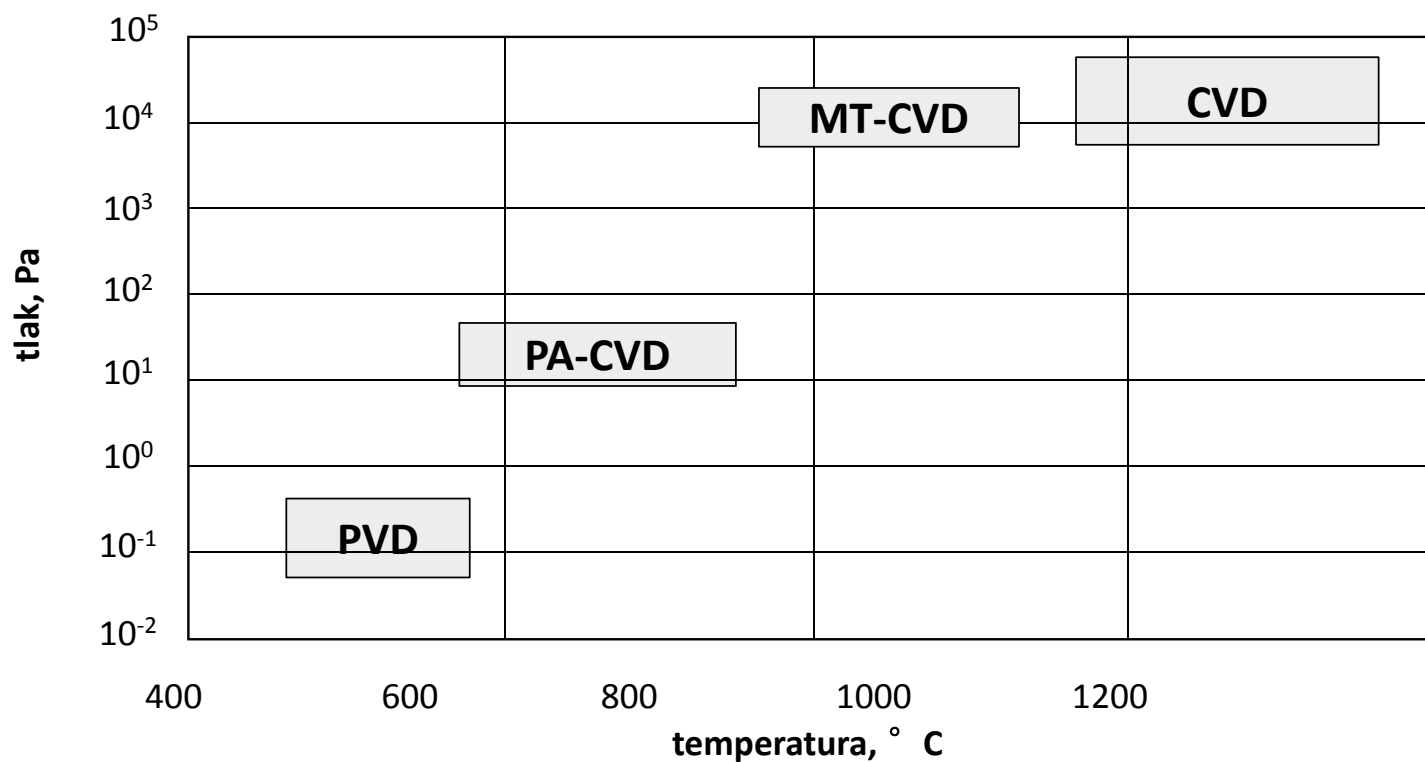




OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Temperature i tlakovi kod postupaka prevlačenja

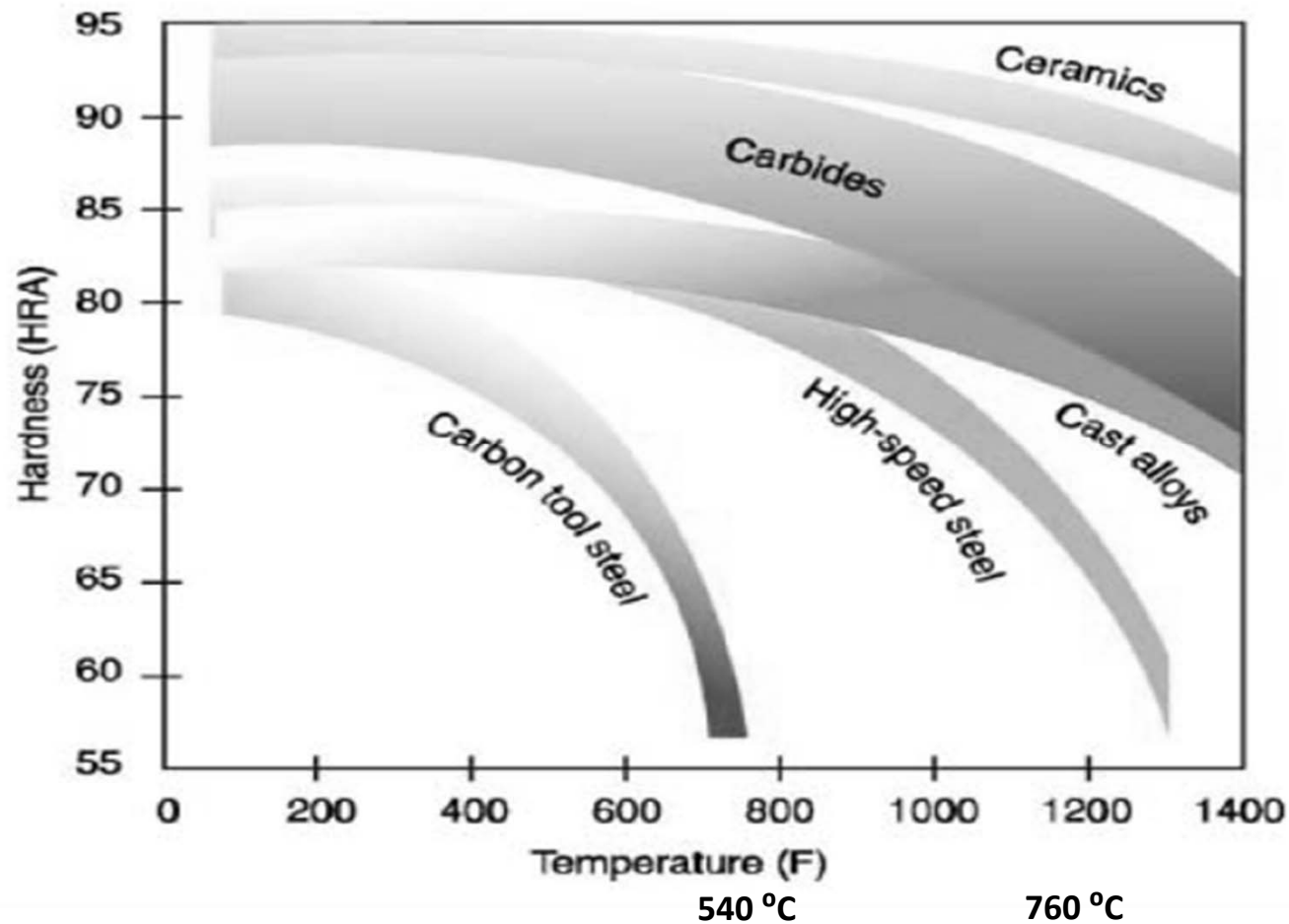


Izvor: KD. Bouzakis, CIRP



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem





OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

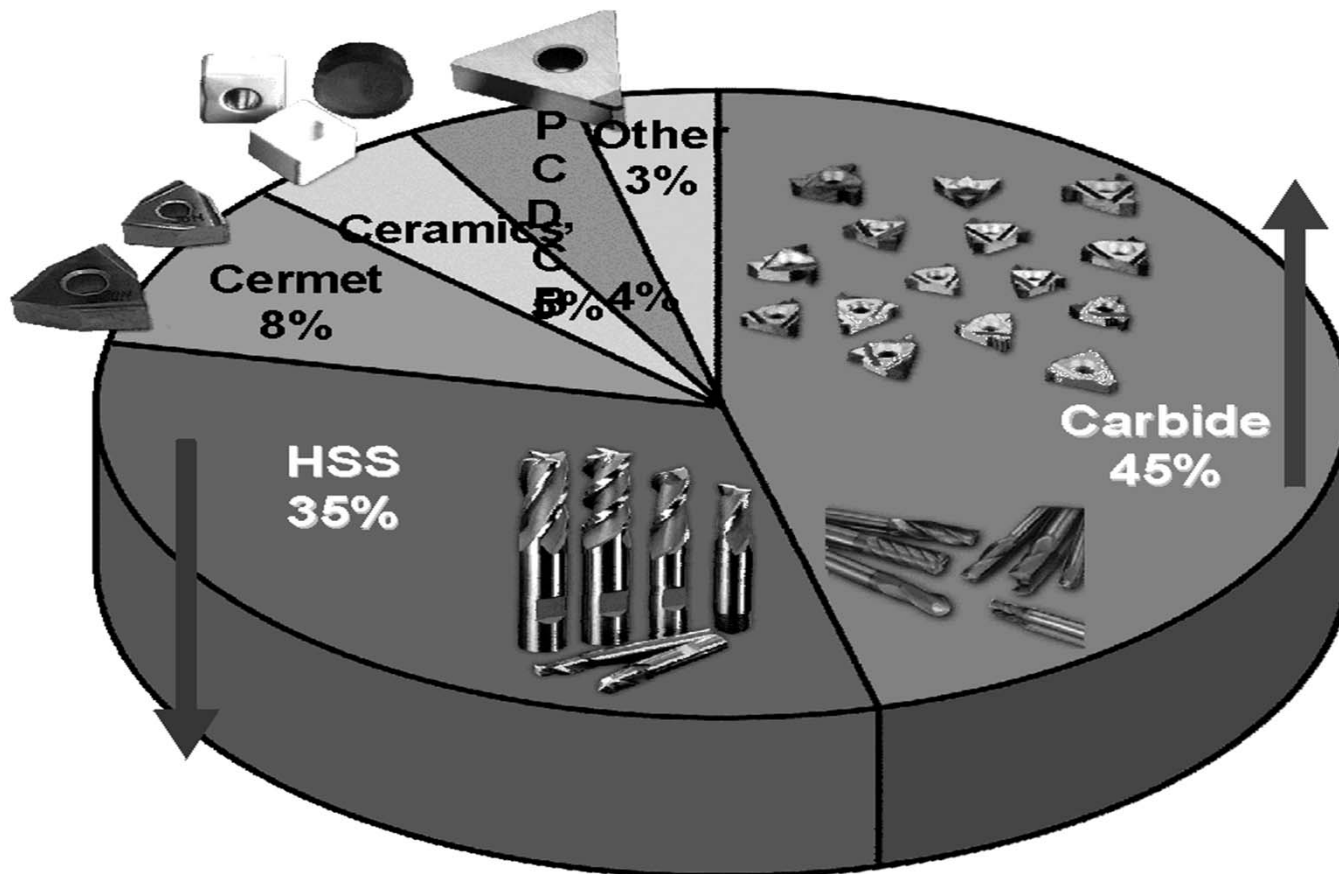


FSB ZAGREB, PROIZVODNO INŽENJERSTVO, OD I OO



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

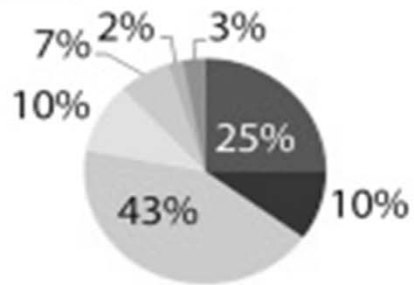


Zastupljenost materijala reznih alata (2007.)

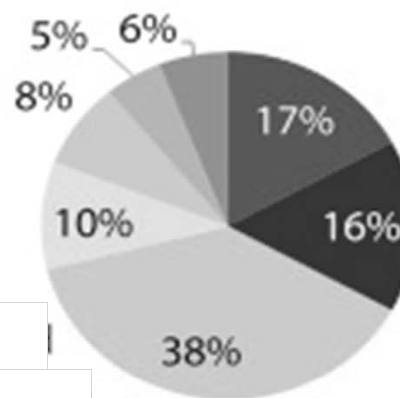


OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem

1998

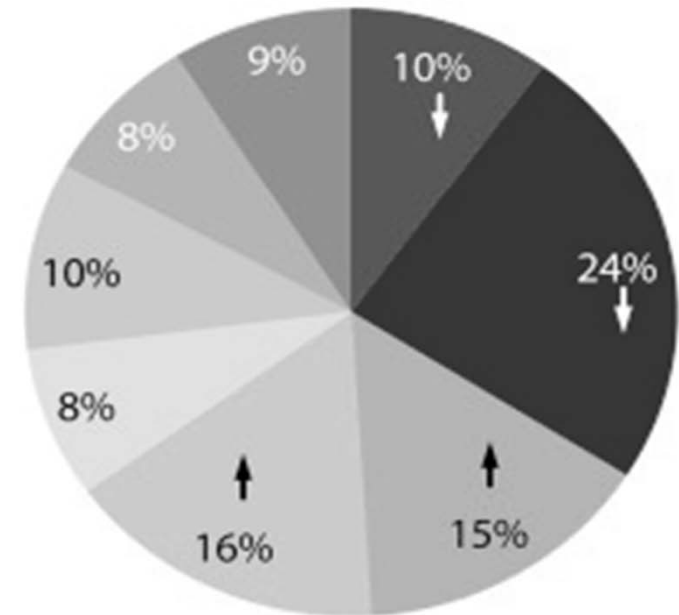


2003



2013

Tržište alata >15 milijardi \$

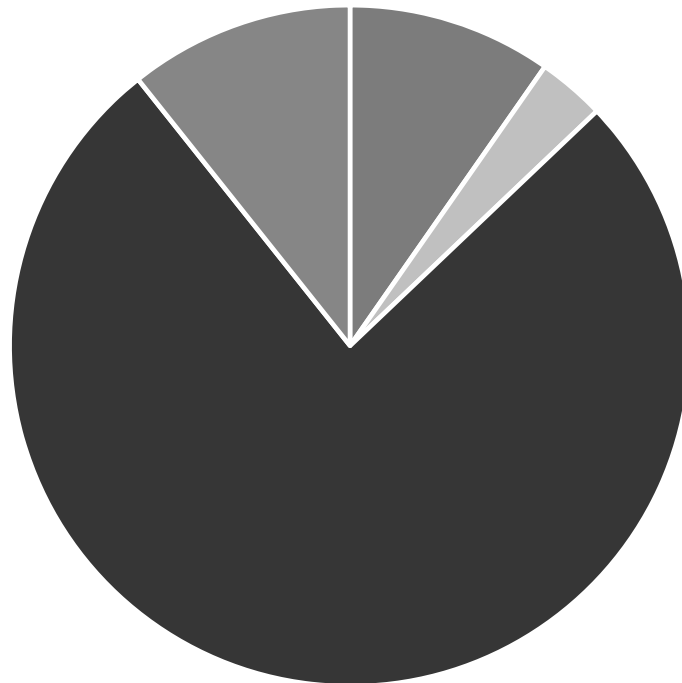


- Neprevučeni TM
- TM s PVD prevlakama
- TM s PVD nanoprevlakama
- TM s CVD prevlakama
- Cermet
- Keramike
- CBN / PCBN
- PCD



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM
Obrada odvajanjem

Udio materijala reznih alata 2016. godine



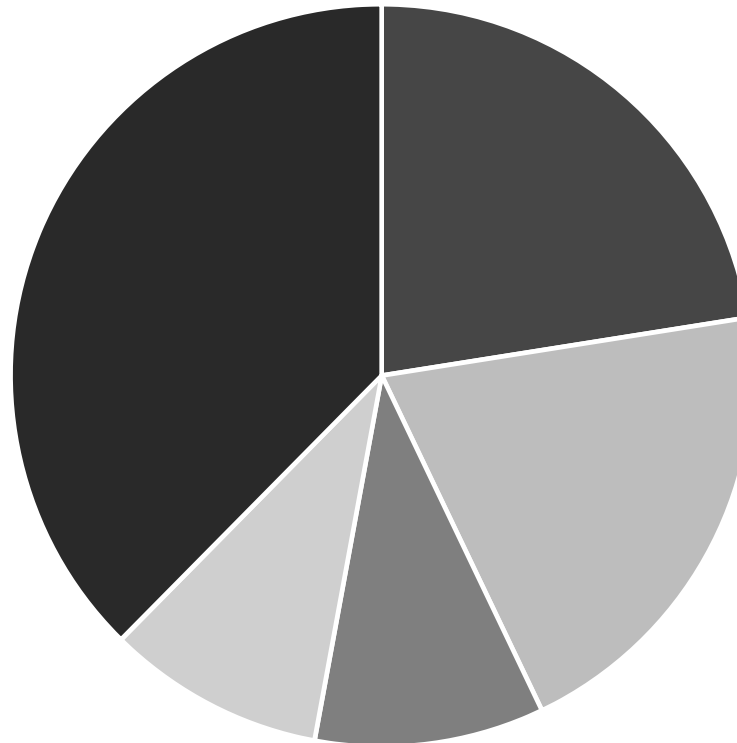
- KERAMIKA
- OSTALO
- TVRDI METAL
- CBN

KERAMIKA	9,7
OSTALO	3,2
TVRDI METAL	76,4
CBN	10,7



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM
Obrada odvajanjem

Udio alata po postupcima obrade (2016.)



- Glodanje
- Bušenje
- Tokarenje
- Rotary
- Ostali

Glodanje	22,5
Bušenje	20,4
Tokarenje	10
Rotary	9,5
Ostali	37,6

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu

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



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem



FSB ZAGREB, PROIZVODNO INŽENJERSTVO, OD I OO



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM
Obrada odvajanjem

POSTUPCI PREVLAČENJA TM

Skraćenica	PVD	CVD
Naziv postupka	Physical vapor deposition	Chemical vapor deposition
Temperature prevlačenja	200° C do 500° C	1,000° C (MTCVD, 800°C)
Debljina prevalke	2µm do 7µm	2µm do 14µm
Materiali prevalke	TiN, TiCN, TiAlN, ...	TiC, TiCN, TiN, Al ₂ O ₃ , ...
Više slojeva	Da	Da
Primjena	<ul style="list-style-type: none"> • Svi postupci • Alati s oštrim bridom 	<ul style="list-style-type: none"> • Svi postupci (temperature)



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

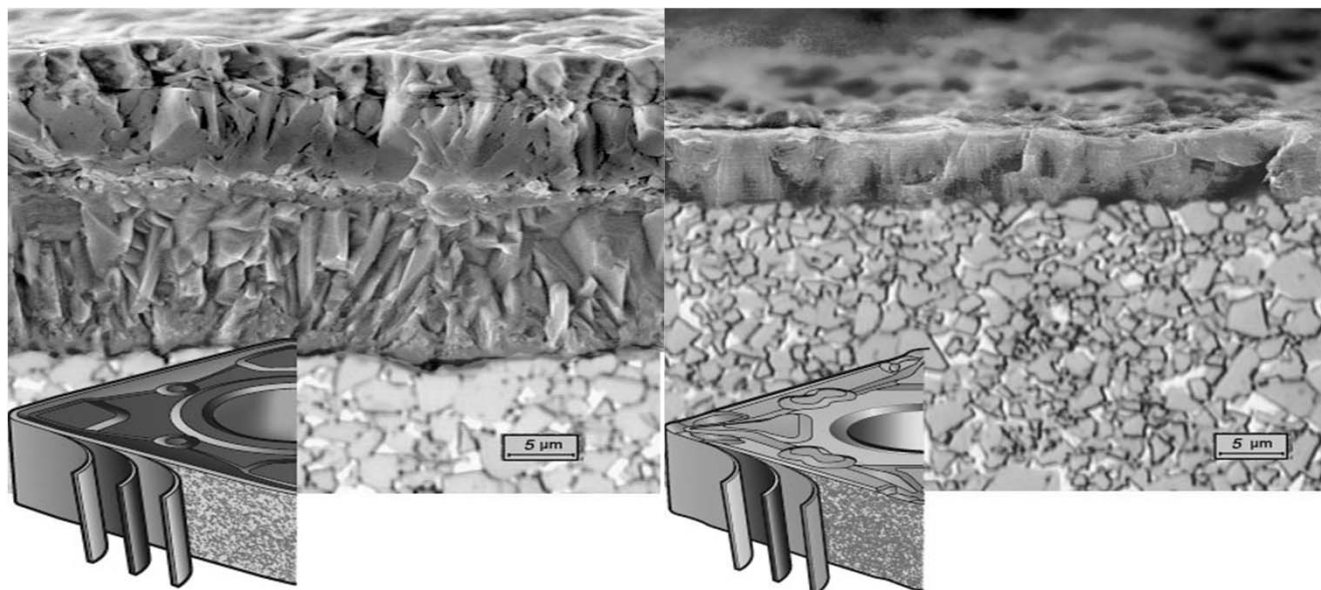
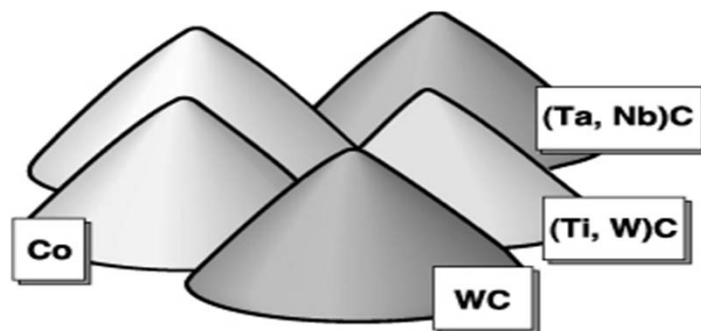
Obrada odvajanjem

Materijal	Tvrdoća (HV)	Boja
Titan karbonitrid - TiCN	4000	srebrna
Titan - aluminij nitrid – TiAlN	2600	smeđa
Titan nitrid - TiN	2900	zlatna
Krom nitrid - CrN	2500	srebrna
Cirkonij nitrid	2800	zlatna
Amorfni DLC	1000 - 5000	crna



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem



FSB
100

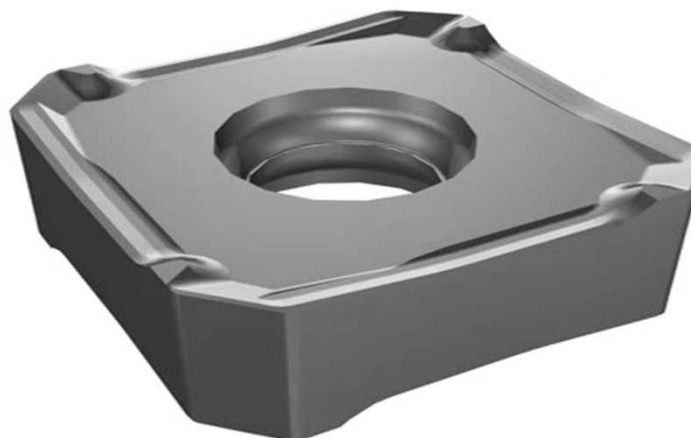
100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu

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



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem



FSB ZAGREB, PROIZVODNO INŽENJERSTVO, OD I OO

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu

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



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem



FSB ZAGREB, PROIZVODNO INŽENJERSTVO, OD I OO

OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem

Europa

Vrijednost godišnje proizvodnje:

Rezni alati:	6 Mrd. Eur
Stezni alati:	2,5 Mrd. Eur
Ukupno:	8,5 Mrd. Eur
Zaposlenika:	60.000
Udio Evropskih alata u svjetskom izvozu alata:	> 50%

(Podaci se odnose na 2012.)

Izvor: Europska udruga za rezne alate - ECTA

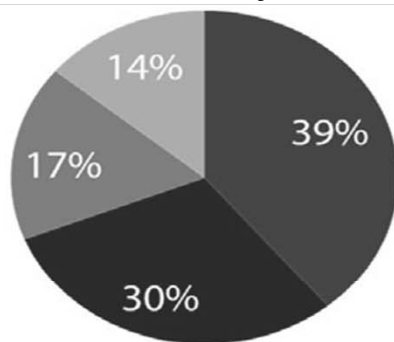




OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem

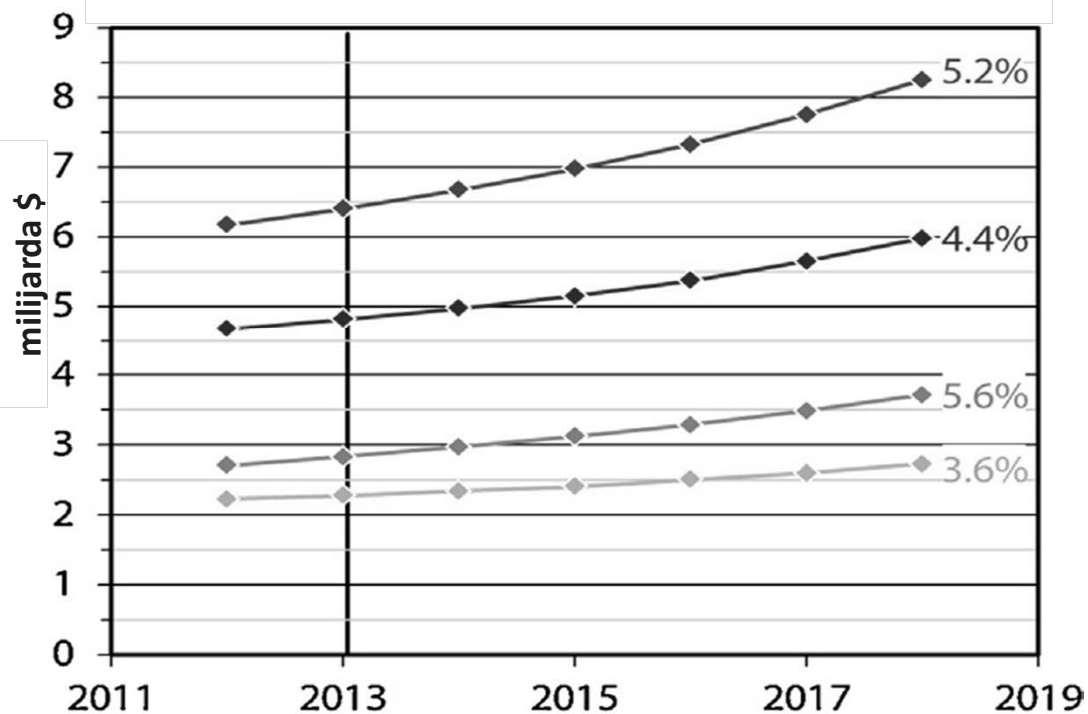
ZASTUPLJENOST ALATA ZA POJEDINE POSTUPKE OBRADE

Ukupna vrijednost 2013.
16,33 milijarde \$



- ◆ Glodanje
- ◆ Tokarenje
- ◆ Bušenje
- ◆ Ostalo

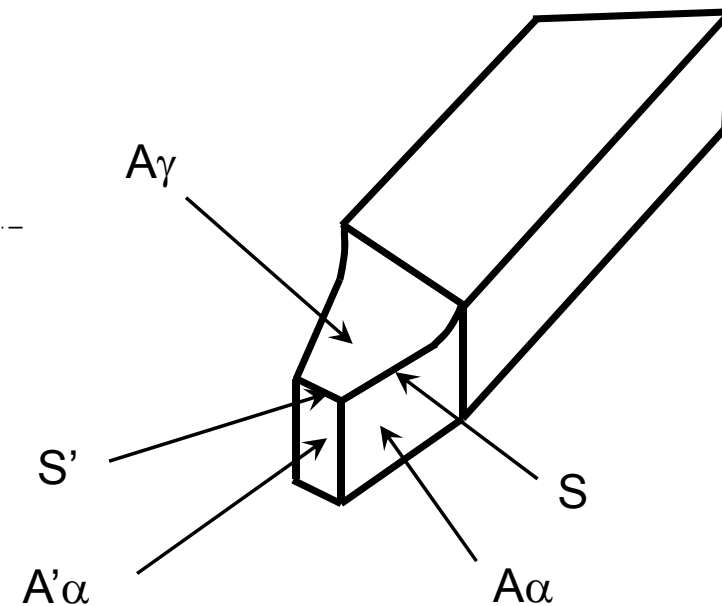
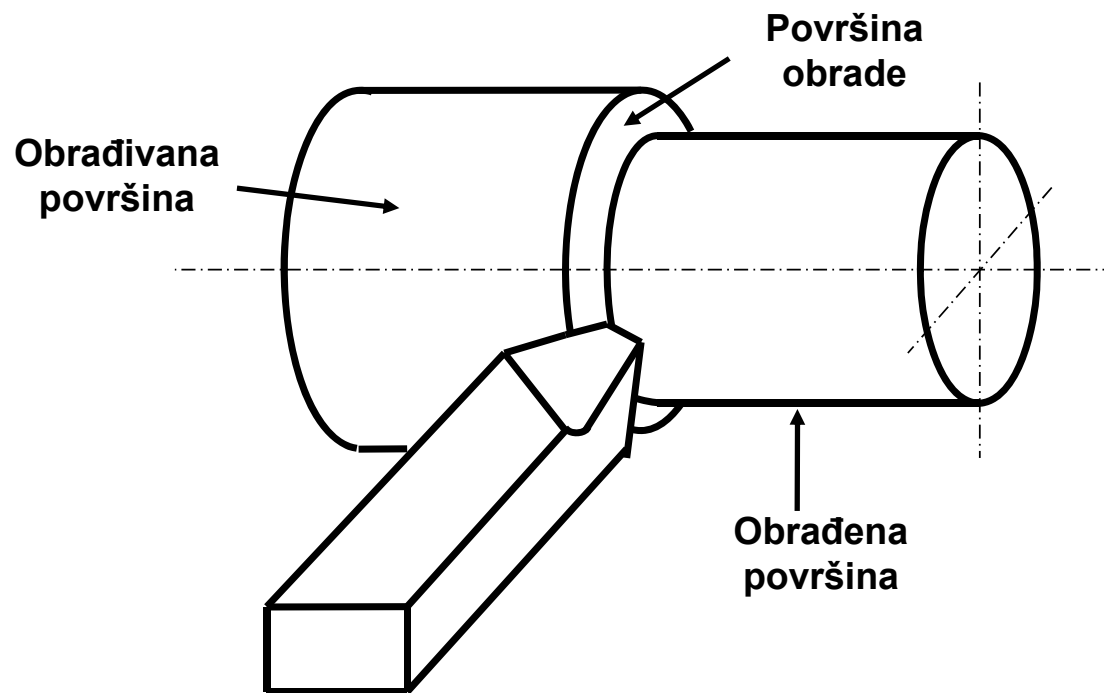
Procjena potrošnje reznih alata 2013. – 2018. , %





OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem

Alat i obradak u gibanju – tokarski nož





OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Rezni dio alata definiran je s tri površine:

- A_γ - prednja površina; površina koja je u kontaktu s odlazećom česticom (površina po kojoj klizi odvojena čestica)
- A_α - stražnja (slobodna) površina; površina koja je u nepoželjnom kontaktu s površinom obrade
- $A'\alpha$ - pomoćna stražnja površina

Glavna oštrica, S, je presječnica površina A_γ i A_α .

Pomoćna oštrica, S', je presječnica površina A_γ i $A'\alpha$.



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Glavna oštrica, S , i pomoćna oštrica, S' , su presječnice spomenutih površina.

Glavna oštrica, S , je presječnica površina A_γ i A_α .

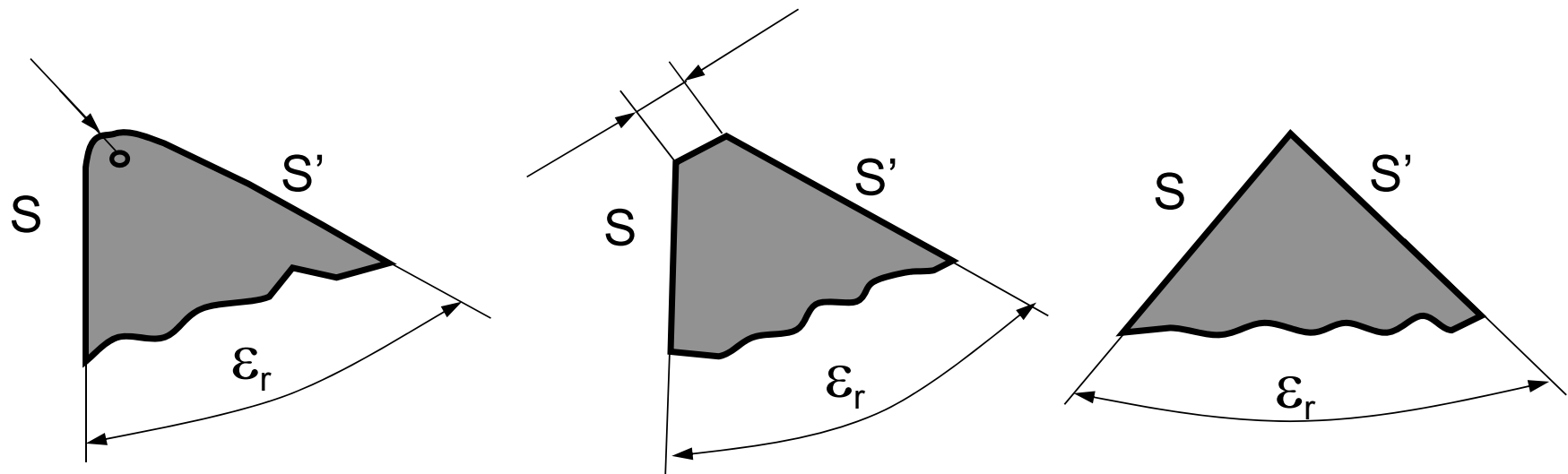
Pomoćna oštrica, S' , je presječnica površina A_γ i $A'\alpha$.

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



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM
Obrada odvajanjem

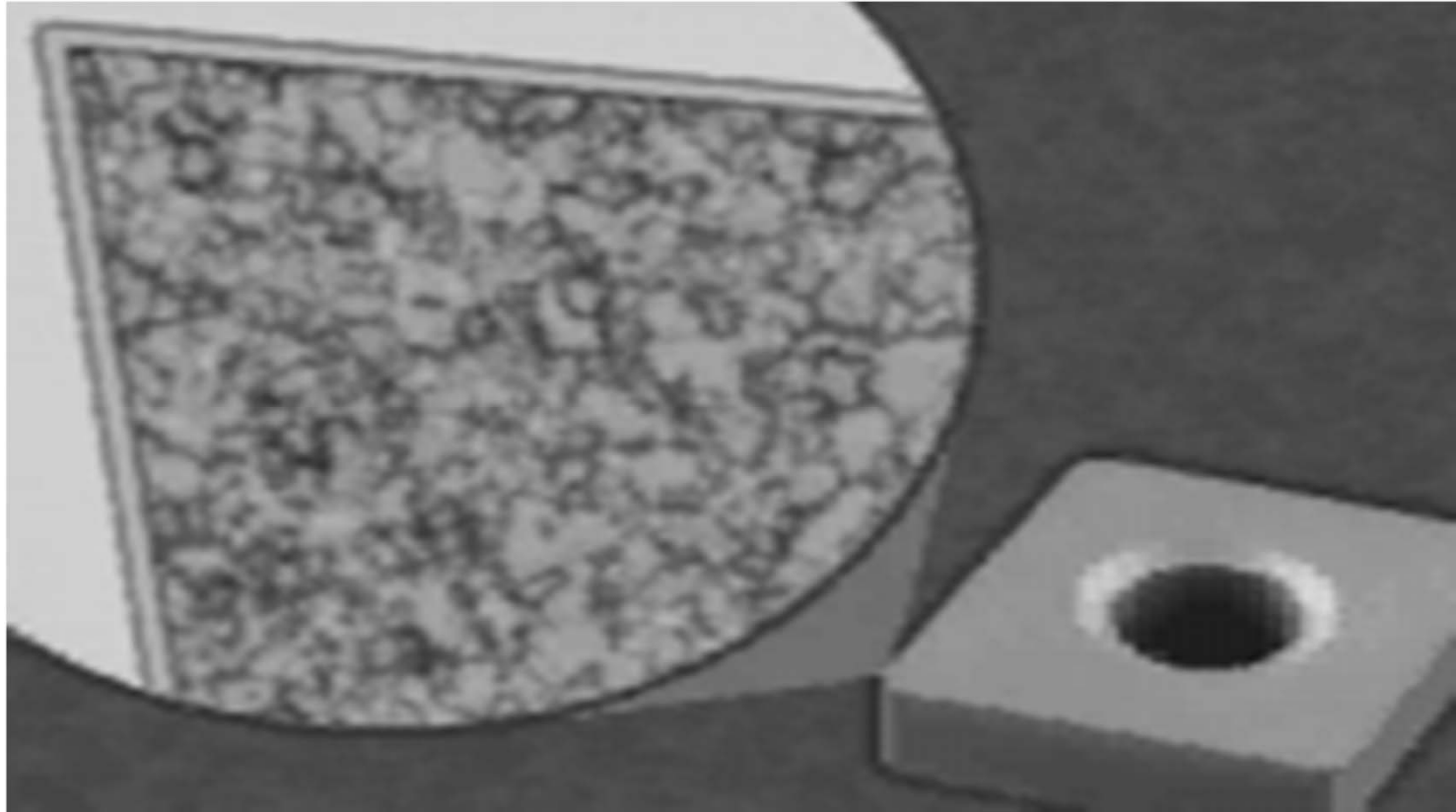
Mjesto spajanja glavne i pomoćne oštrice, S i S' , je vrh alata, a može biti: zaobljen, skošen i oštar.





OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

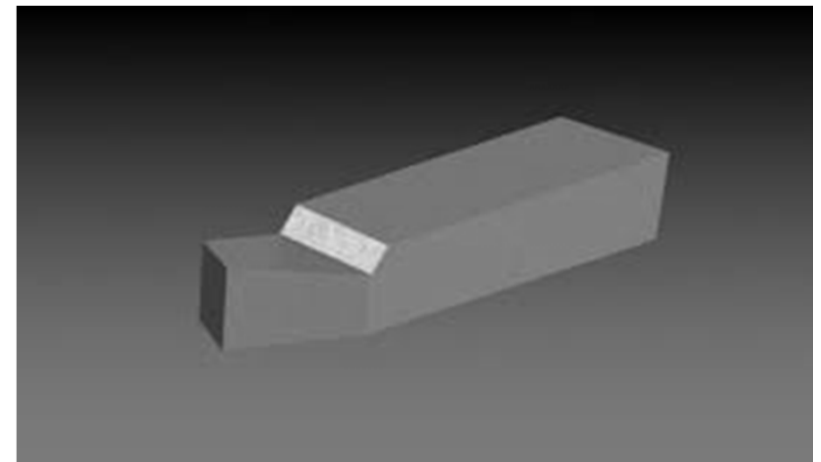
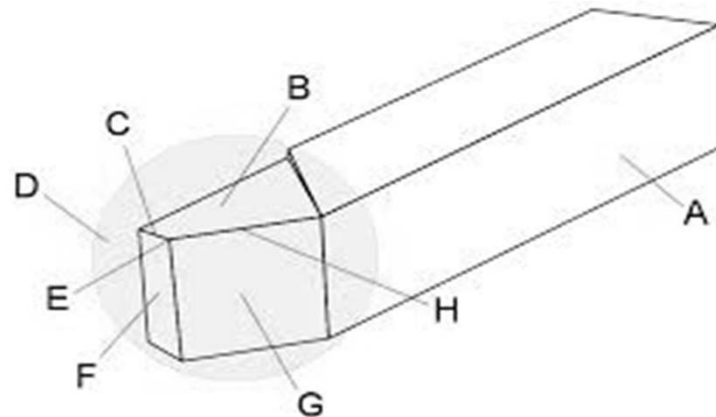
Obrada odvajanjem



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Primjer pitanja



A_γ - prednja površina

A_α - stražnja (slobodna) površina;

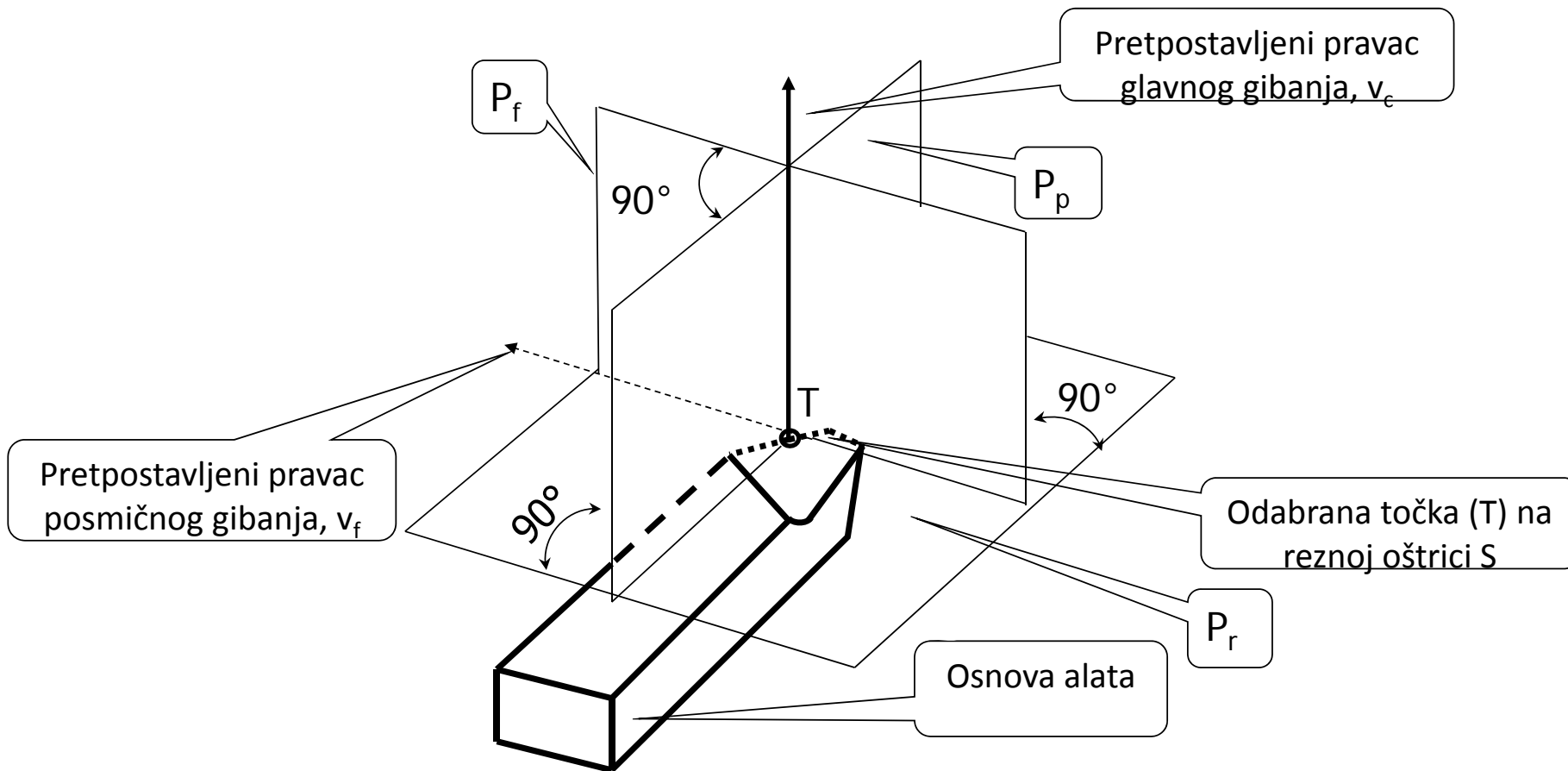
A'_α - pomoćna stražnja površina

S - oštrica



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem





100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu

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



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM
Obrada odvajanjem

OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM

I

OBRADA ODVAJANJEM

Treće predavanje 2017/2018

FSB ZAGREB, PROIZVODNO INŽENJERSTVO, OD I OO



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Rekapitulacija dosadašnjih predavanja

Cilj, ishodi učenja, sadržaj pred. i vj., literatura, način polaganja

Uvod - što je proizvodnja.

Zašto je proizvodnja značajna ?

Podjela proizvodnje ?

- a) diskretna i kontinuirana
- b) „P” i „p”

Prednosti i nedostaci obrade odvajanjem

OOČ kao sustav

Postupci obrade odvajanjem čestica (DIN8580)

Gibanja

- a) Glavna i pomoćna – pomoćna mogu biti posmična i/ili dostavna
- b) Pravocrtna i kružna –
- c) Stalna (kontinuirana) ili prekidna (nekontinuirana)

Rezni alat

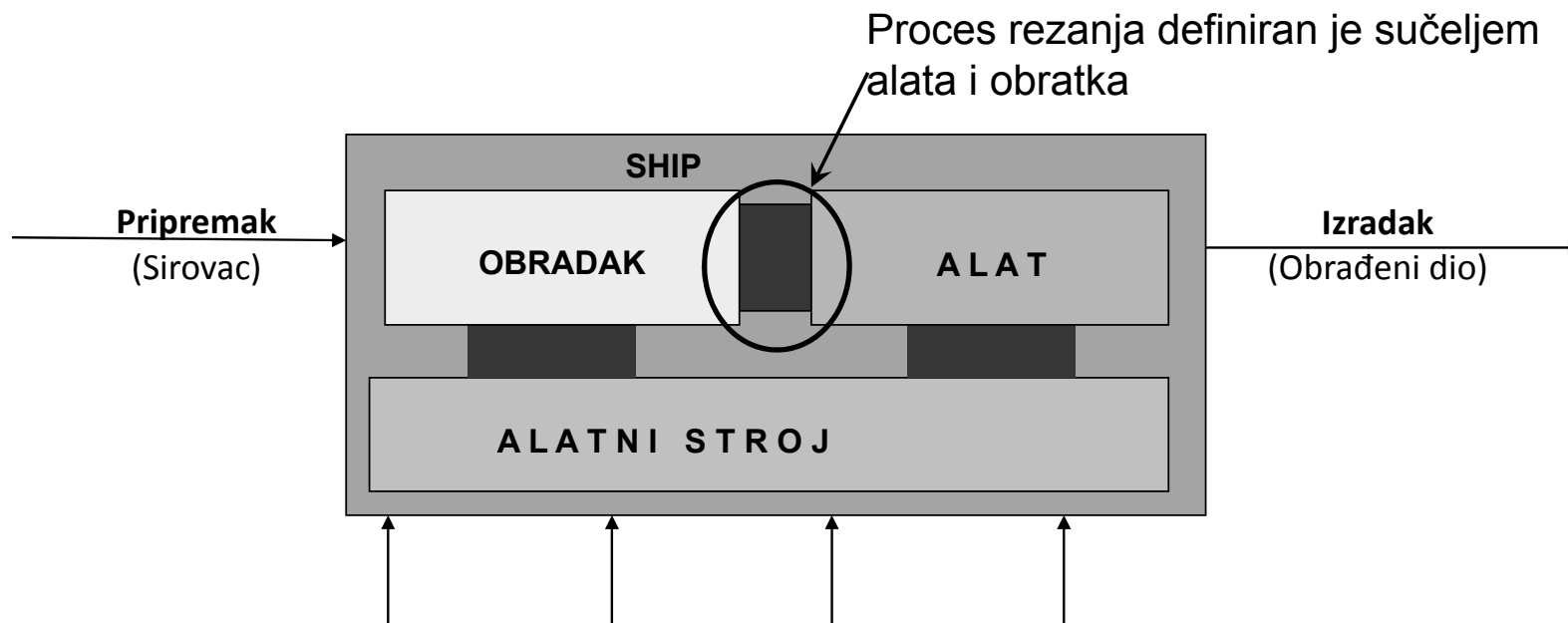
- a) Dijelovi
- b) Materijali
- c) Geometrija



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

OOČ kao sustav



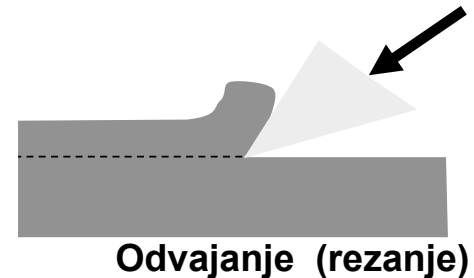
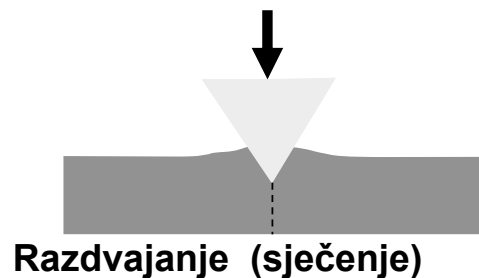
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Alat- sredstvo za ooč (sredstvo za preoblikovanje priprema (sirovca).

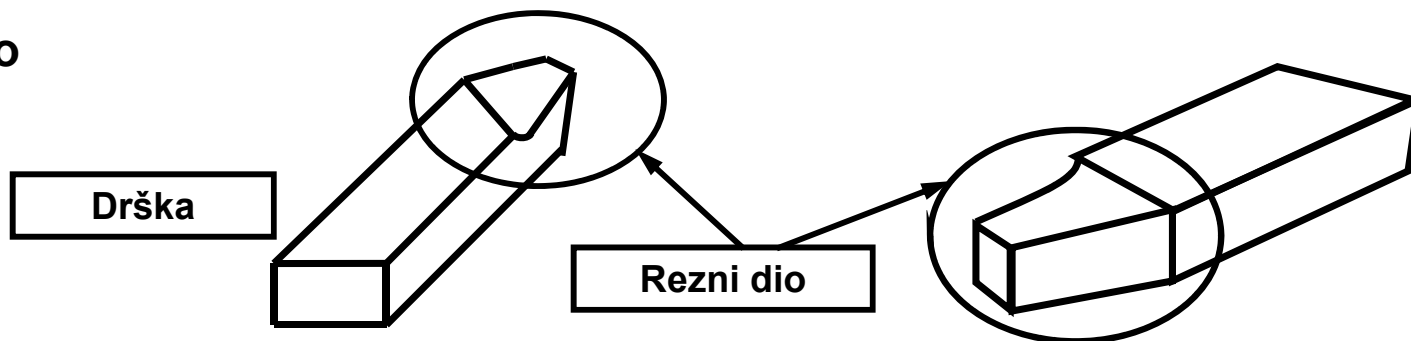
Osnovni oblik svih reznih alata s oštricom je klin.

Obzirom na smjer gibanja klina razlikuje se razdvajanje i odvajanje.



Osnovni elementi alata - prikaz na nožu

- drška i rezni dio





OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem

Osnovni elementi alata

*Rezni dio alata obavlja proces rezanja.
Zajedno s obratkom definira sučelje
alat-obradak (proces)*

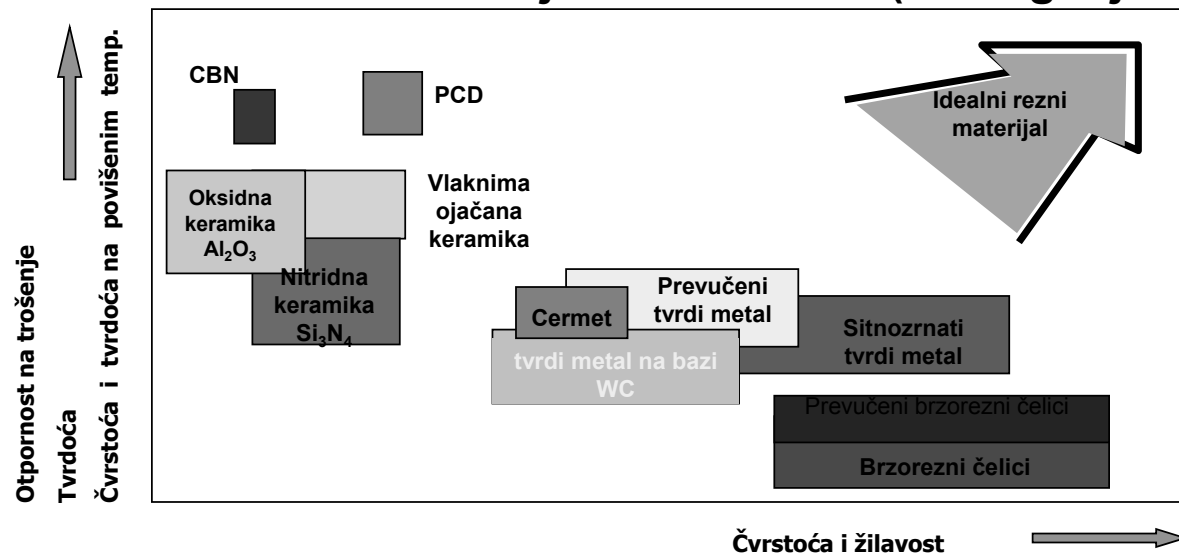
**Drška služi za prihvat alata na alatni stroj i za prijenos sila (otpora) rezanja.
*Zajedno sa strojem i/ili nosačem alata definira sučelje
alat-stroj (prihvat alata)***

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



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem

Materijali reznih alata (reznog dijela alata)



Prevlake

Materijal	Tvrdoća (HV)	Boja
TiCN	4000	srebrna
TiAlN	2600	smeđa
TiN	2900	zlatna
CrN	2500	srebrna
Cirkonij nitrid	2800	zlatna
DLC	1000 - 5000	crna

Skraćenica	PVD	CVD
Naziv postupka	Physical vapor deposition	Chemical vapor deposition
Temperature prevlačenja	200° C do 500° C	1,000° C (MTCVD, 800°C; PACVD 600°C)
Debljina prevalke	2µm do 7µm	2µm do 14µm
Materiali prevalke	TiN, TiCN, TiAlN, ...	TiC, TiCN, TiN, Al2O3, ...
Više slojeva	Da	Da

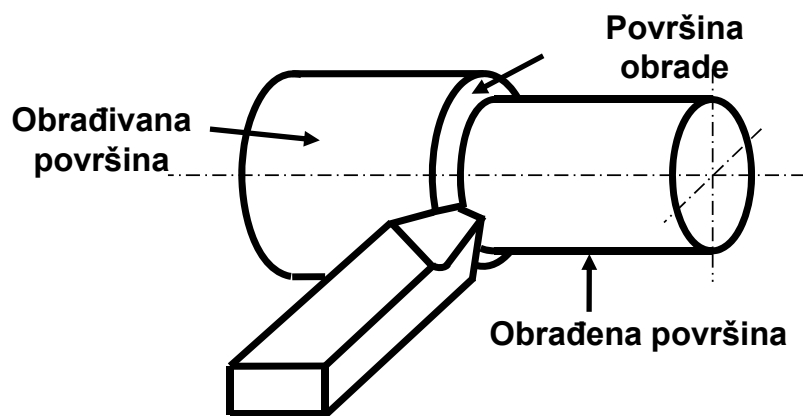


OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

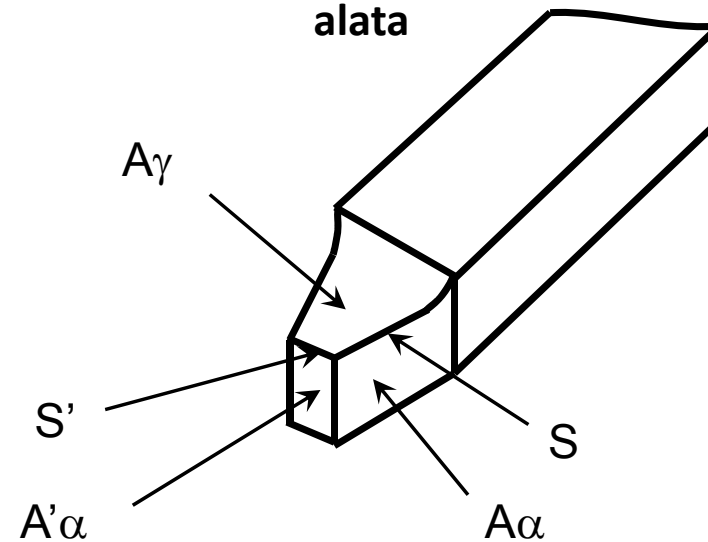
Obrada odvajanjem

Alat i obradak u gibanju – tokarski nož

Površine na obratku



Geometrijski elementi na reznom dijelu alata



A_γ - prednja površina;

A_α - stražnja (slobodna) površina;

$A'\alpha$ - pomoćna stražnja površina

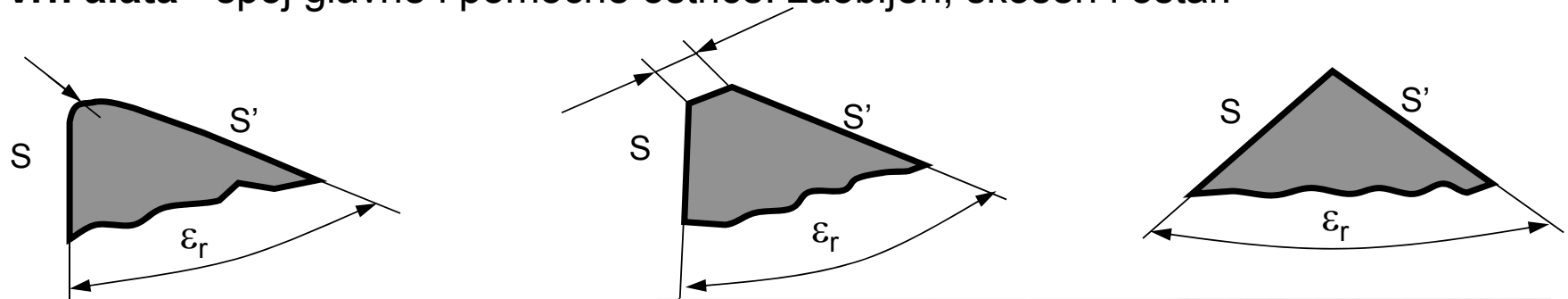
S - glavna oštrica; S' - pomoćna oštrica



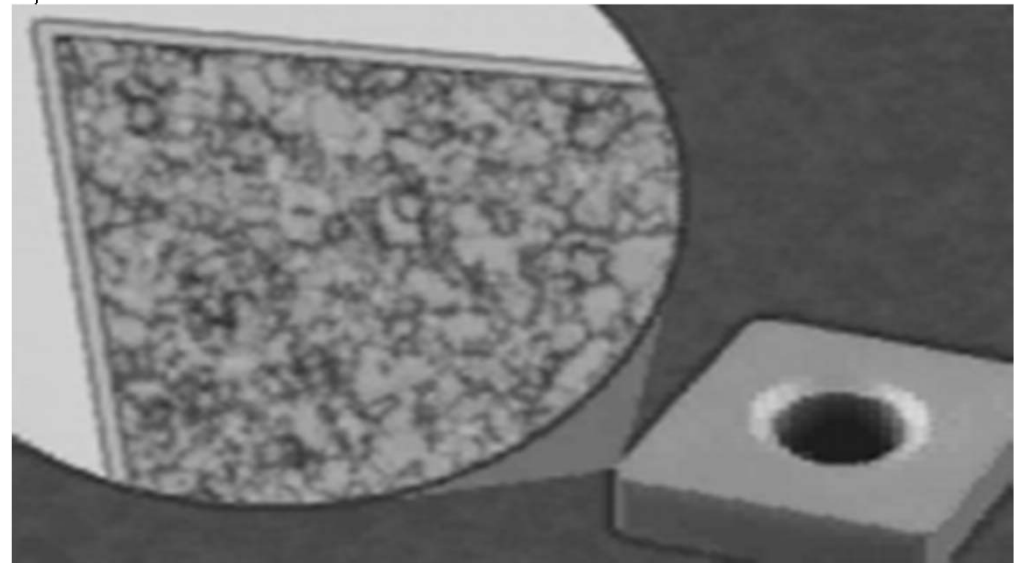
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Vrh alata - spoj glavne i pomoćne oštrice: zaobljen, skošen i oštar.



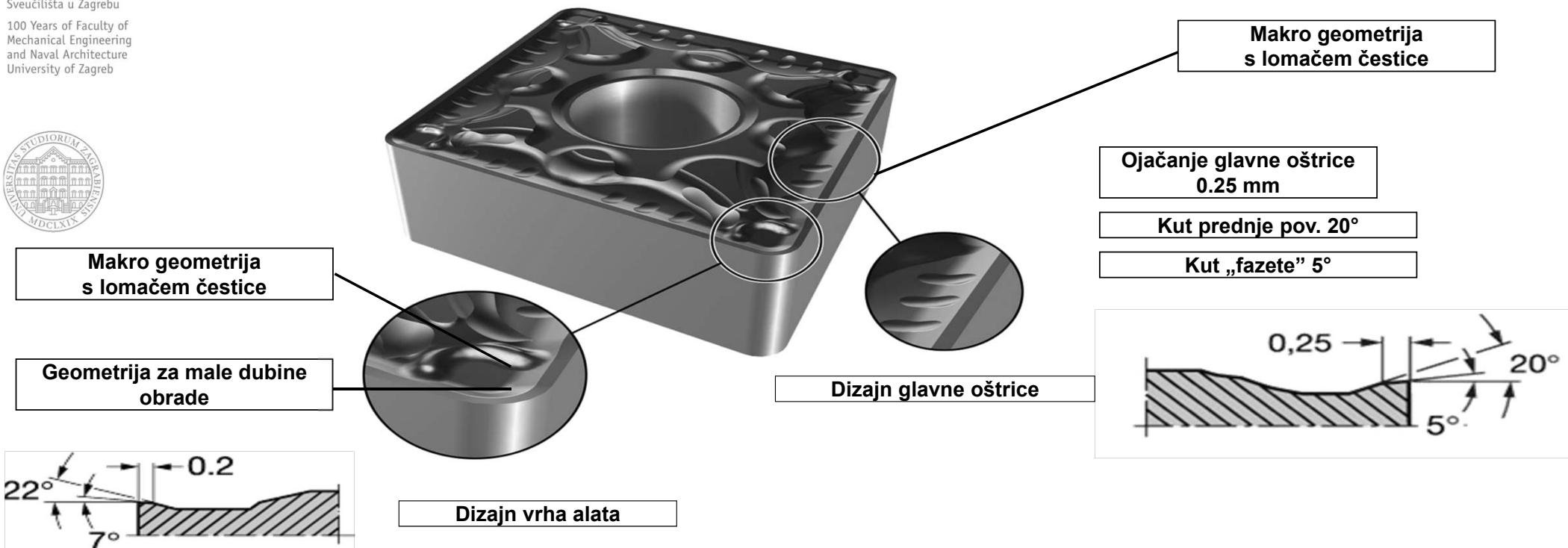
Slično kao vrh alata, ni oštrica alata najčešće nije oštar brid već je zaobljena ili ima malo skošenje („fazetu”).





OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

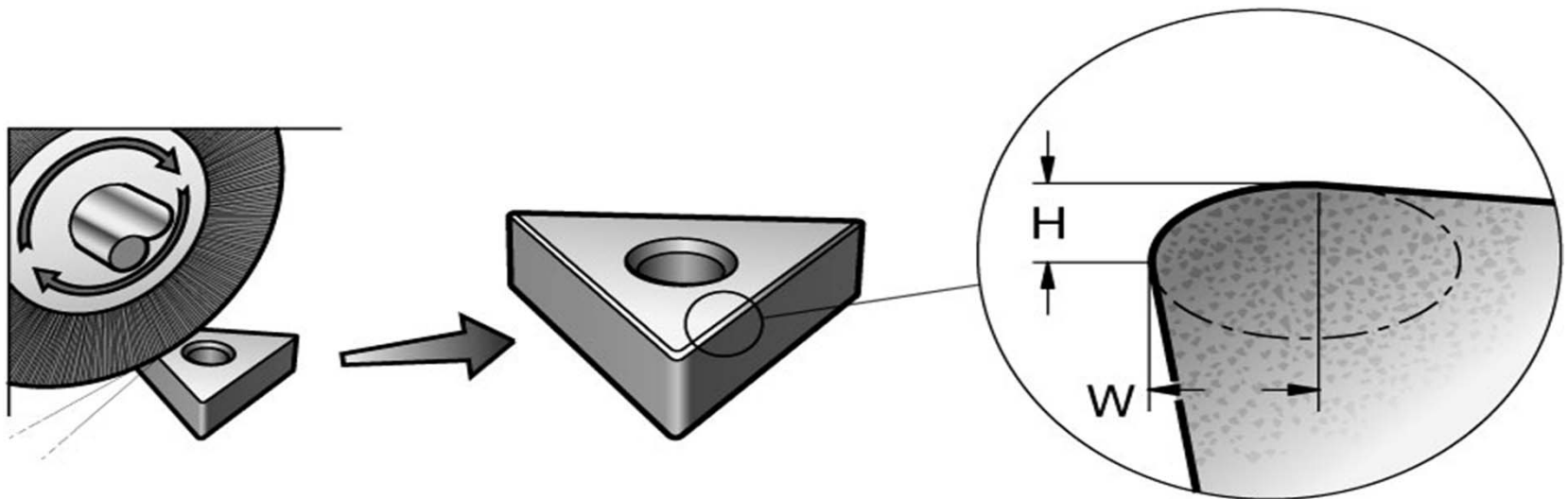
Obrada odvajanjem



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem

Ojačanje rezne oštrice

ER-postupak za postizanje završne geometrije



- ER-postupak se provodi prije prevlačenja i daje konačni oblik reznoj oštrici (mikro geometrija)
- Omjer između W/H ovisi o primjeni

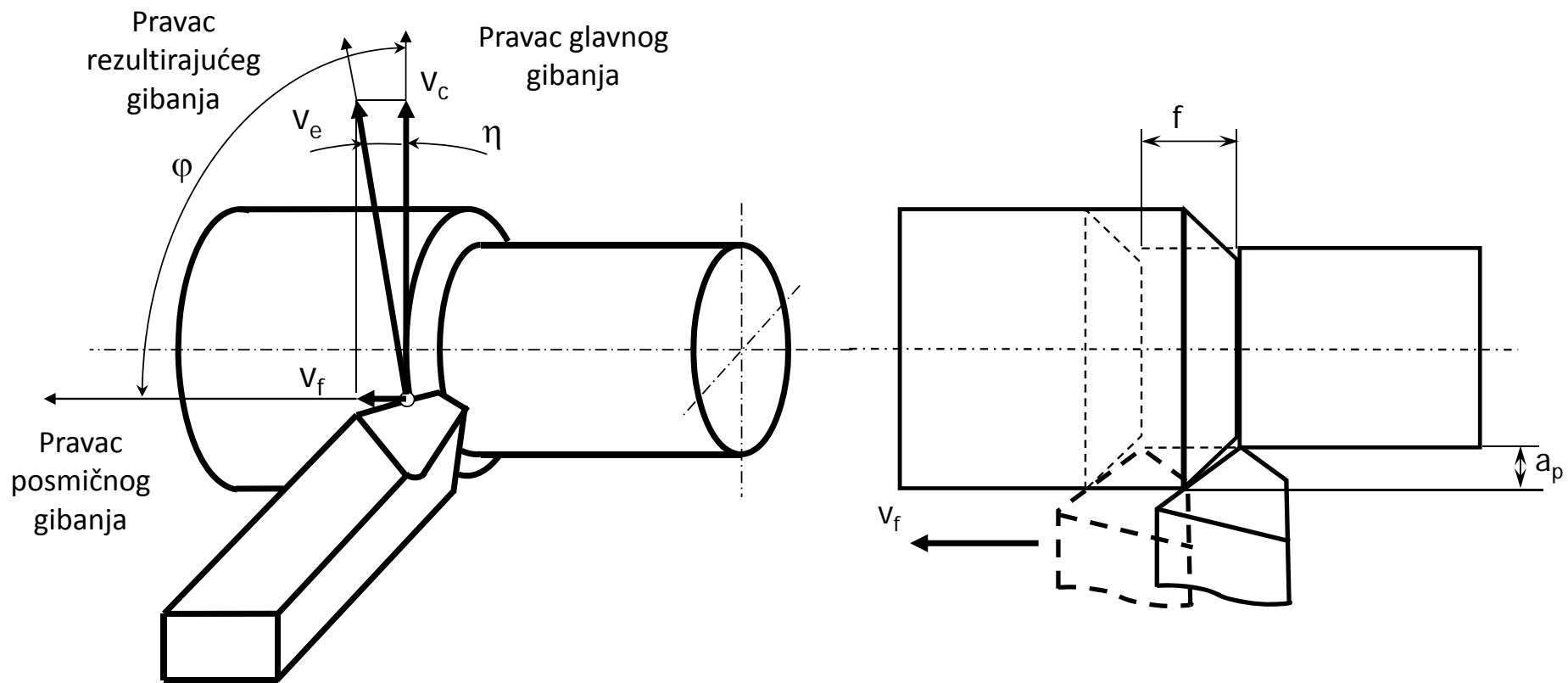
ER – Edge Rounding

Izvor: SANDVIK



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM
Obrada odvajanjem

Alat i obradak u gibanju – tokarski nož





OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

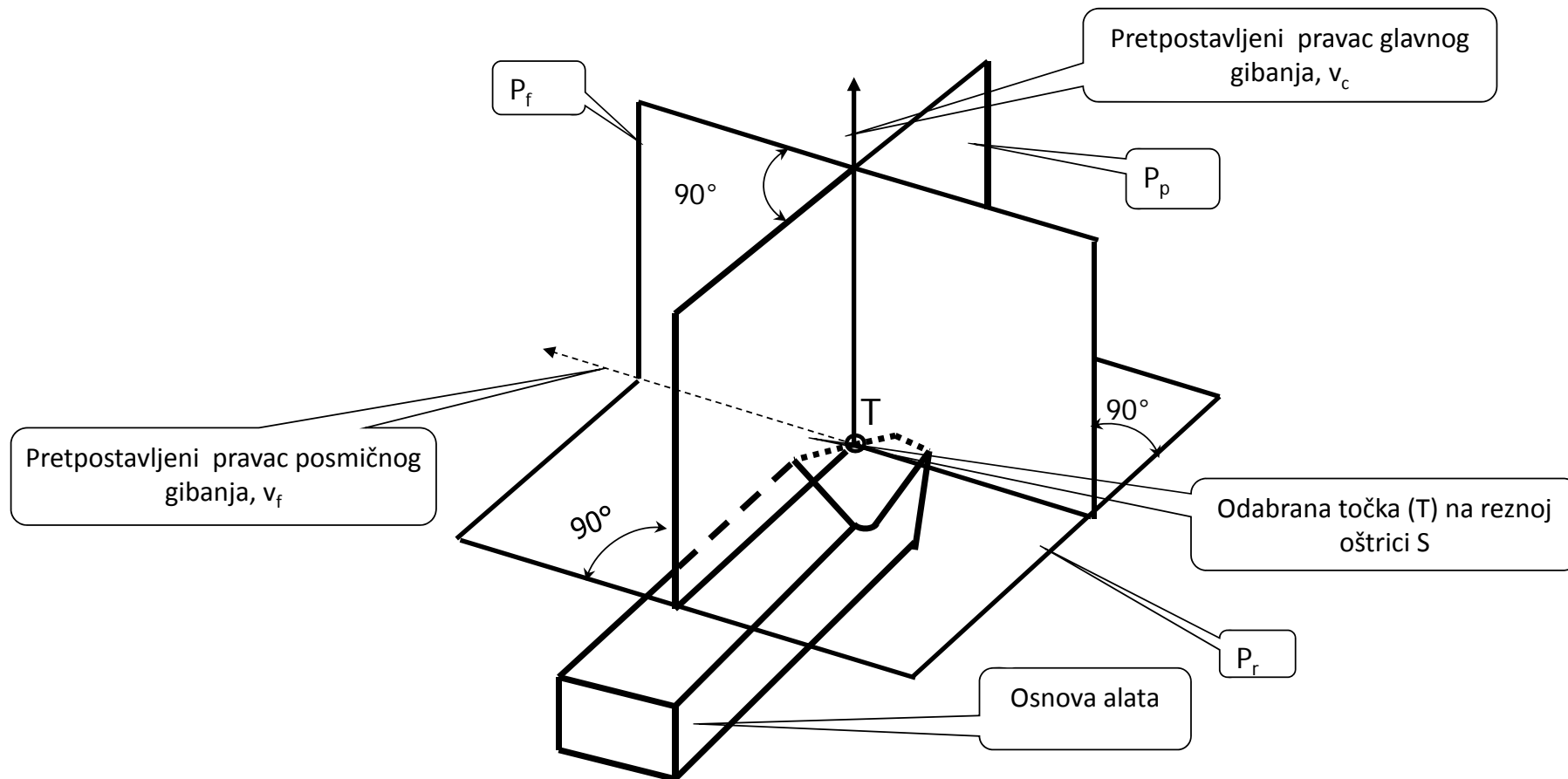
Obrada odvajanjem

Kutovi alata

- **Kutovi alata su neophodni za određivanje položaja rezne oštrice te 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 γ_n – prednji kut u normalnoj ravnini.) Za radne (kinematske) kutove dodaje se još i sufiks “e”.**
- **Ako su prednja i stražnja površina sastavljene od većeg broja površina nagnutih pod raznim kutovima, isti su numerirani brojevima 1, 2, 3, ...počevši od oštrice.**
- **Kutovi se definiraju pomoću referentnog sustava ravnina.**

OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

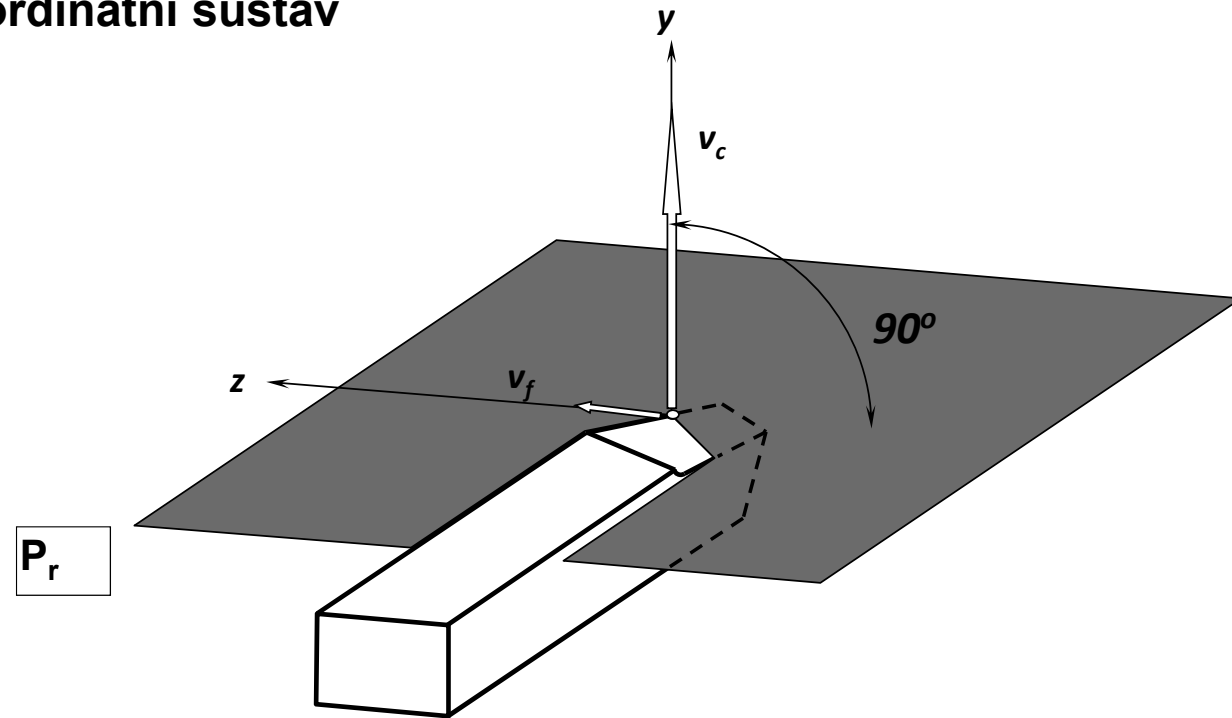
Obrada odvajanjem



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Tehnološki koordinatni sustav

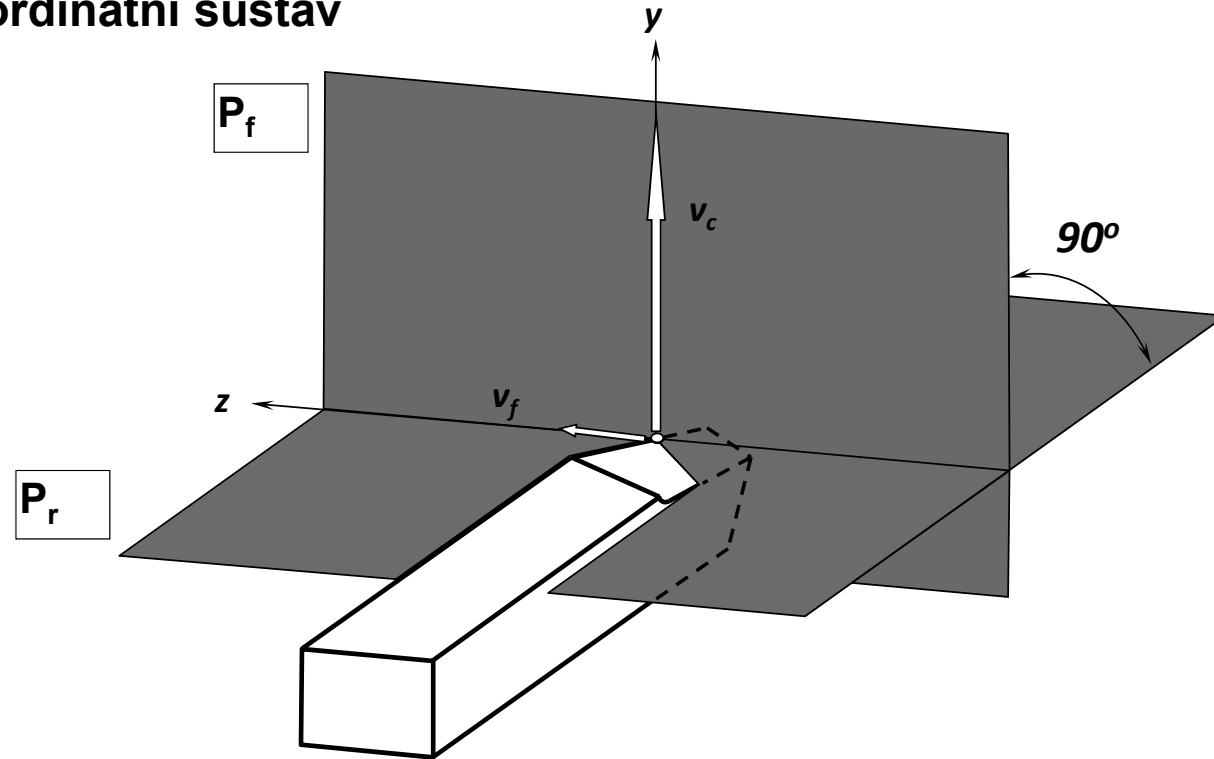


P_r - osnovna ravnina: okomita na pravac glavnog gibanja u promatranoj točki oštrice i istodobno okomita ili paralelna na neku površinu ili os alata, a koja je bitna za izradu, oštrenje ili kontrolu alata

OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Tehnološki koordinatni sustav

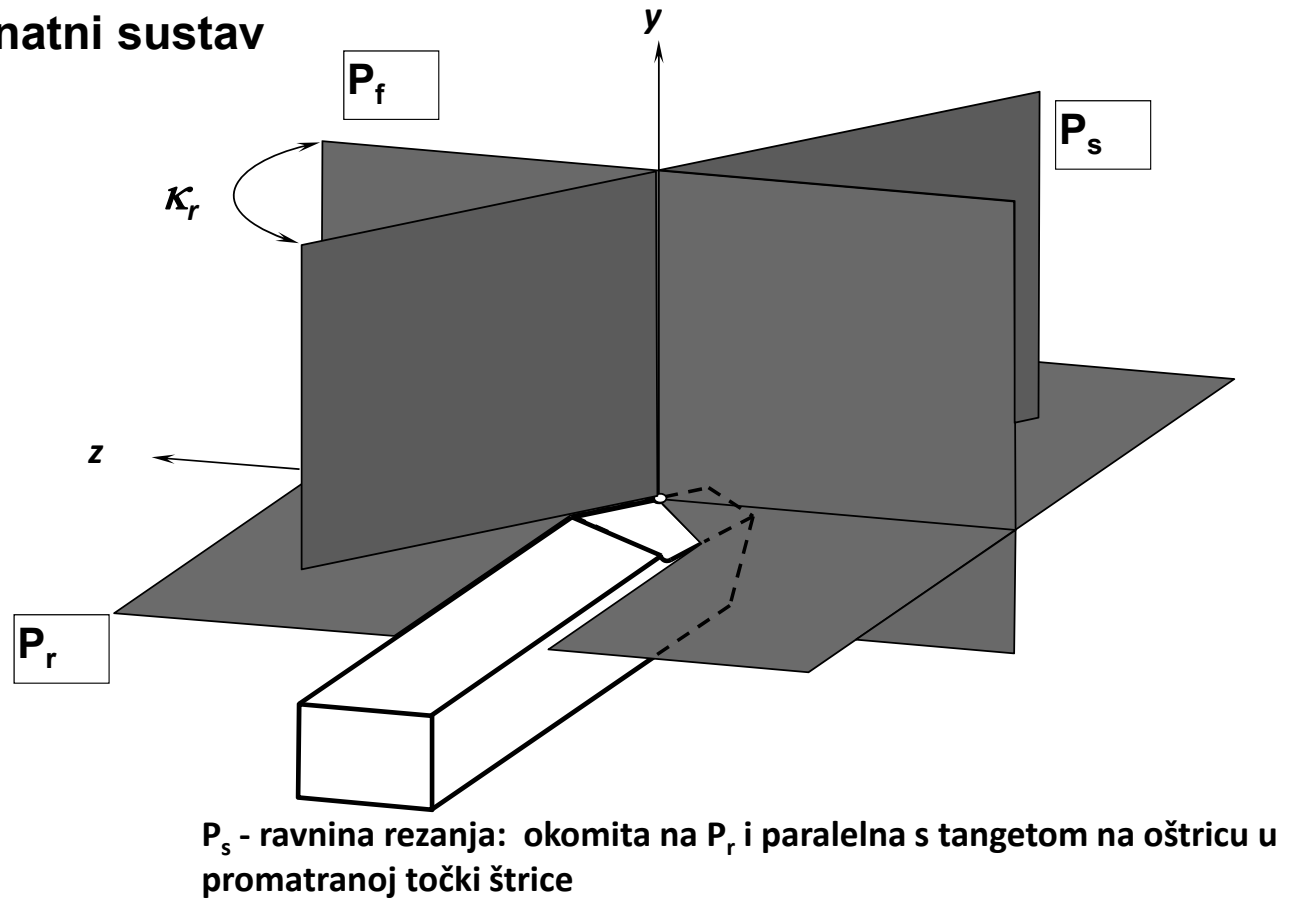


P_f - ravnina kretanja: okomita na P_r i paralelna s pravcem posmičnog gibanja u promatranoj točki oštrice

OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Tehnološki koordinatni sustav

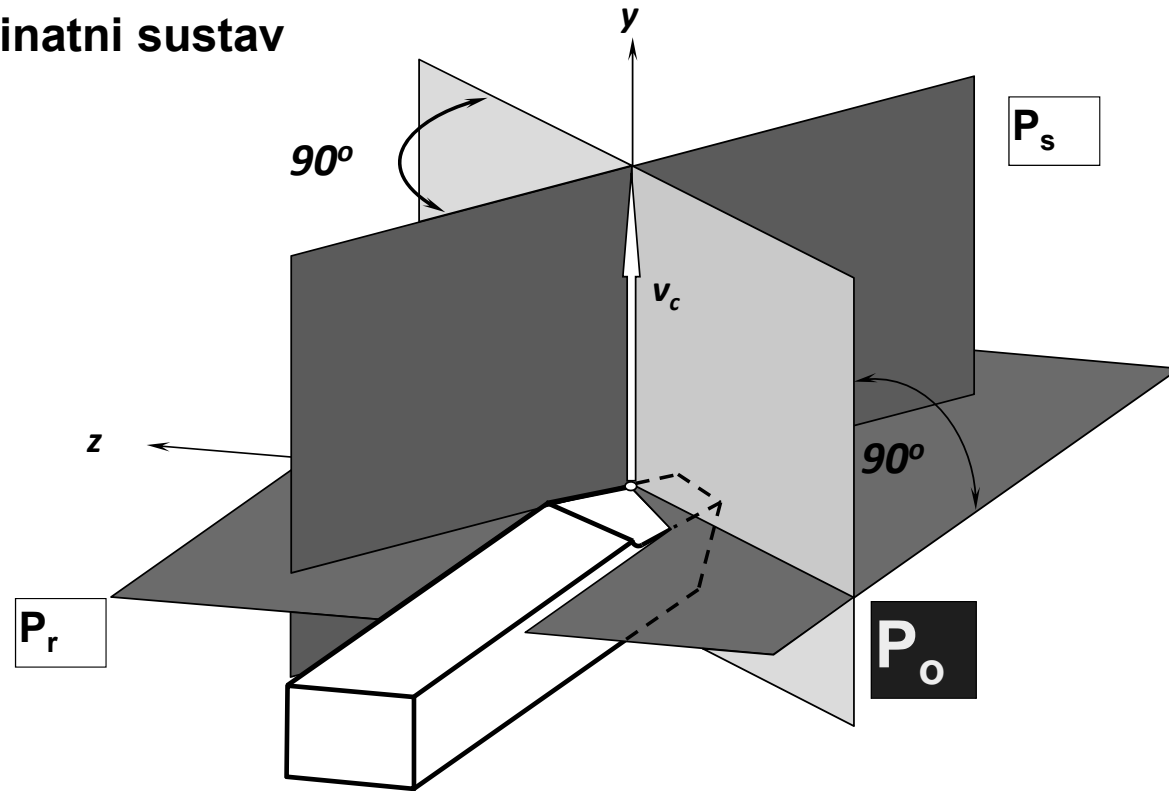




OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Tehnološki koordinatni sustav



P_o - ortogonalna ravnina: okomita na P_r i P_s



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Tehnološki referentni sustav ravnina

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



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Tehnološki (geometrijski) kutovi

Ovi kutovi se definiraju pomoću tehnološkog referentnog sustava ravnina. Mogu se grupirati u tri skupine:

a) za orijentaciju prednje i stražnje površine

γ – **prednji kut (kut prednje površine)** - mjeri se između prednje površine A_γ i osnovne ravnine P_r ; može se mjeriti u više ravnina te se označava kao $\gamma_n, \gamma_f, \gamma_p, \gamma_o$ i γ_g .

β – **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 β_o .

α – **stražnji kut (kut stražnje površine)** - mjeri se između stražnje površine A_α i ravnine rezanja P_s ; može se mjeriti u više ravnina te se označava kao $\alpha_n, \alpha_f, \alpha_p, \alpha_o$ i α_b .

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

$$\alpha_n + \beta_n + \gamma_n = 90^\circ$$

$$\alpha_f + \beta_f + \gamma_f = 90^\circ$$

$$\alpha_p + \beta_p + \gamma_p = 90^\circ$$

$$\alpha_o + \beta_o + \gamma_o = 90^\circ$$



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem

Tehnološki (geometrijski) kutovi

b) kutovi za orijentaciju rezne oštrice

κ_r – kut namještanja glavne oštrice – mjeri se između ravnina P_s i P_f a u ravnini P_r

κ_r' – kut namještanja pomoćne oštrice

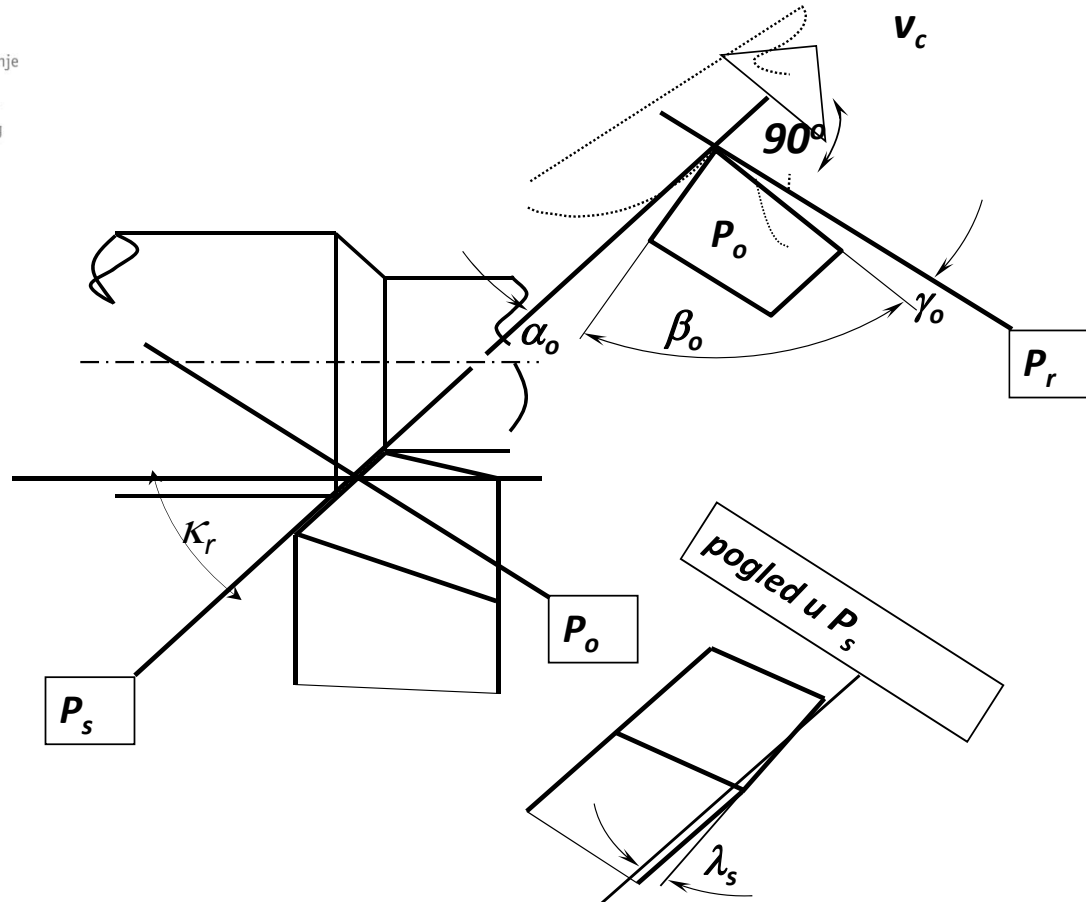
ε_r – vršni kut alata

Za ove kutove vrijedi izraz: $\kappa_r + \kappa_r' + \varepsilon_r = 180^\circ$;

λ_s - kut nagiba glavne oštrice – mjeri se između oštrice i ravnine P_r , a u ravnini P_s



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem



A_γ ?

A_α ?

općenito:

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

kut	mjeri se između	u ravnini
napadni kut κ_r	P_s i P_f	P_r
kut vrha alata ϵ_r	P_s i $P_{s'}$	P_r
kut nagiba oštrice λ_s	P_r i S	P_s
prednji kut γ_0	A_γ i P_r	P_0
kut klina β_0	A_γ i A_α	P_0
stražnji kut α_0	P_s i A_α	P_0

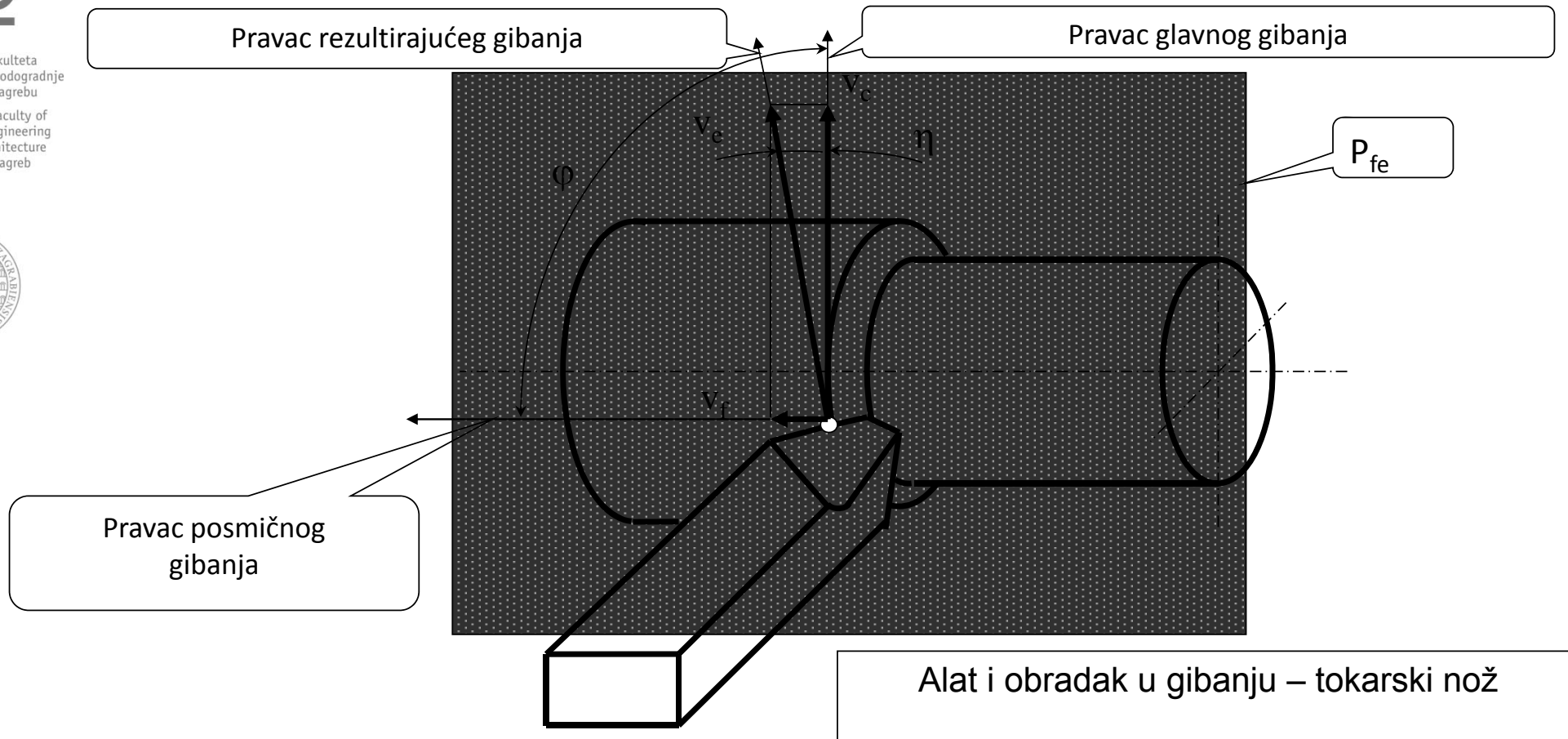


OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem

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.

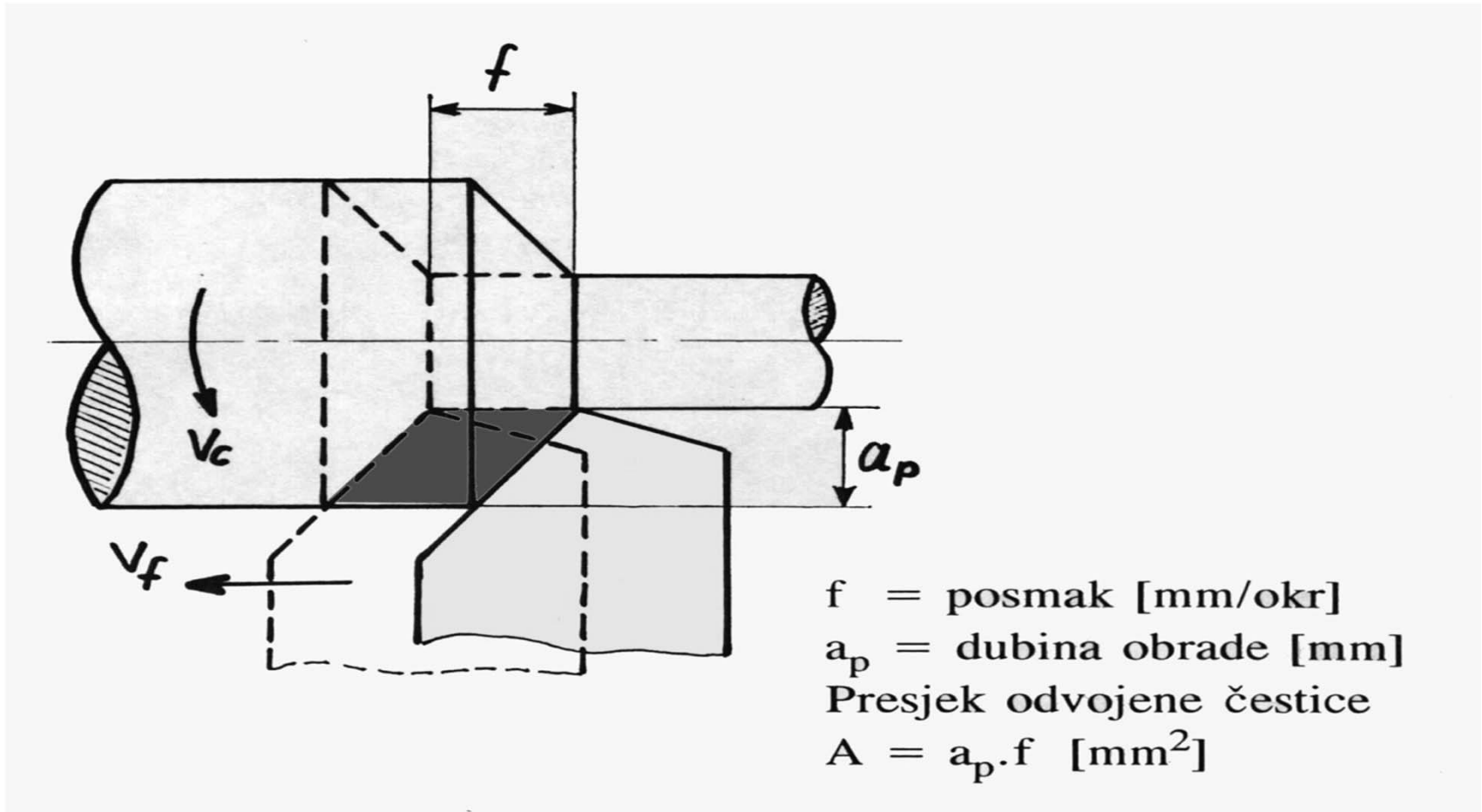
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM Obrada odvajanjem





OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem





100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu

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



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Teorija rezanja

OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Što je teorija rezanja ?

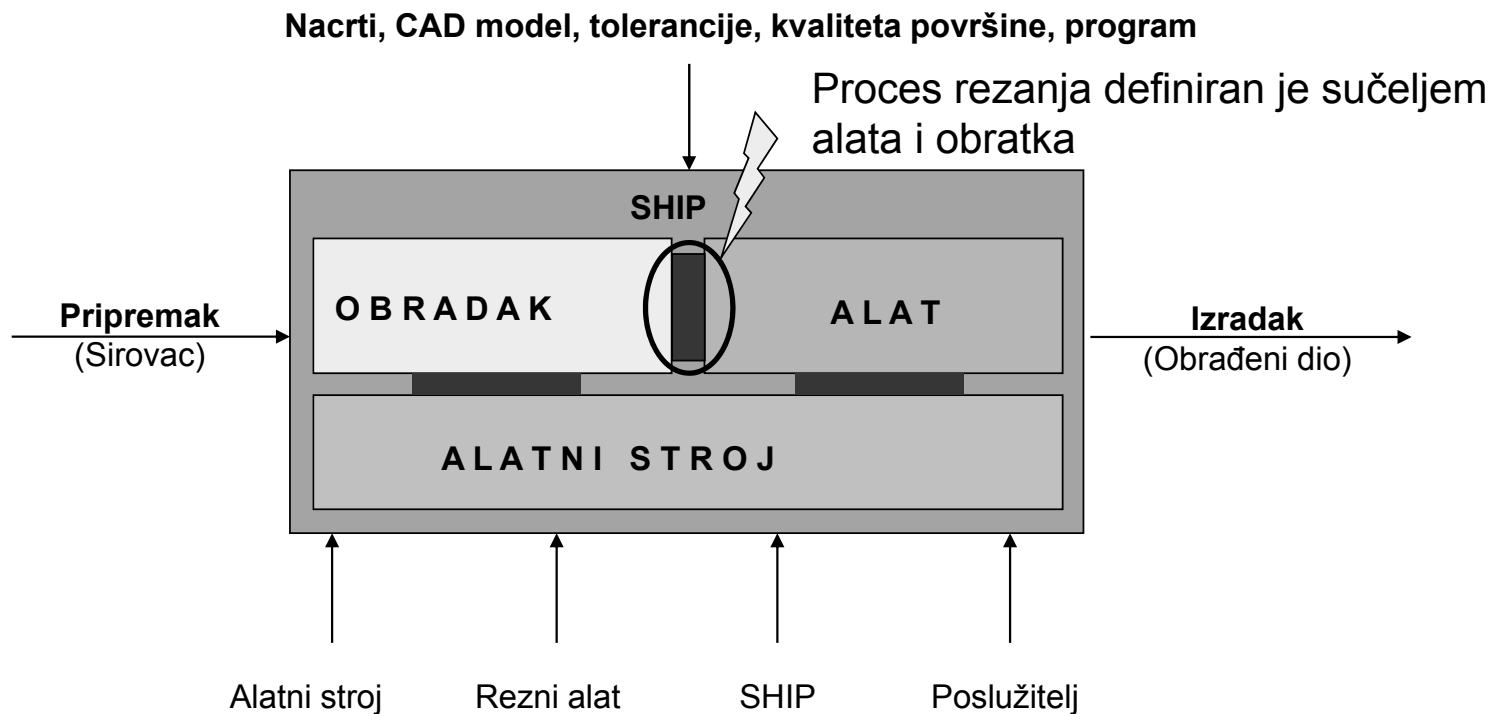
Znanstvena disciplina kojom se nastoji objasniti utjecaj uvjeta obrade na:

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



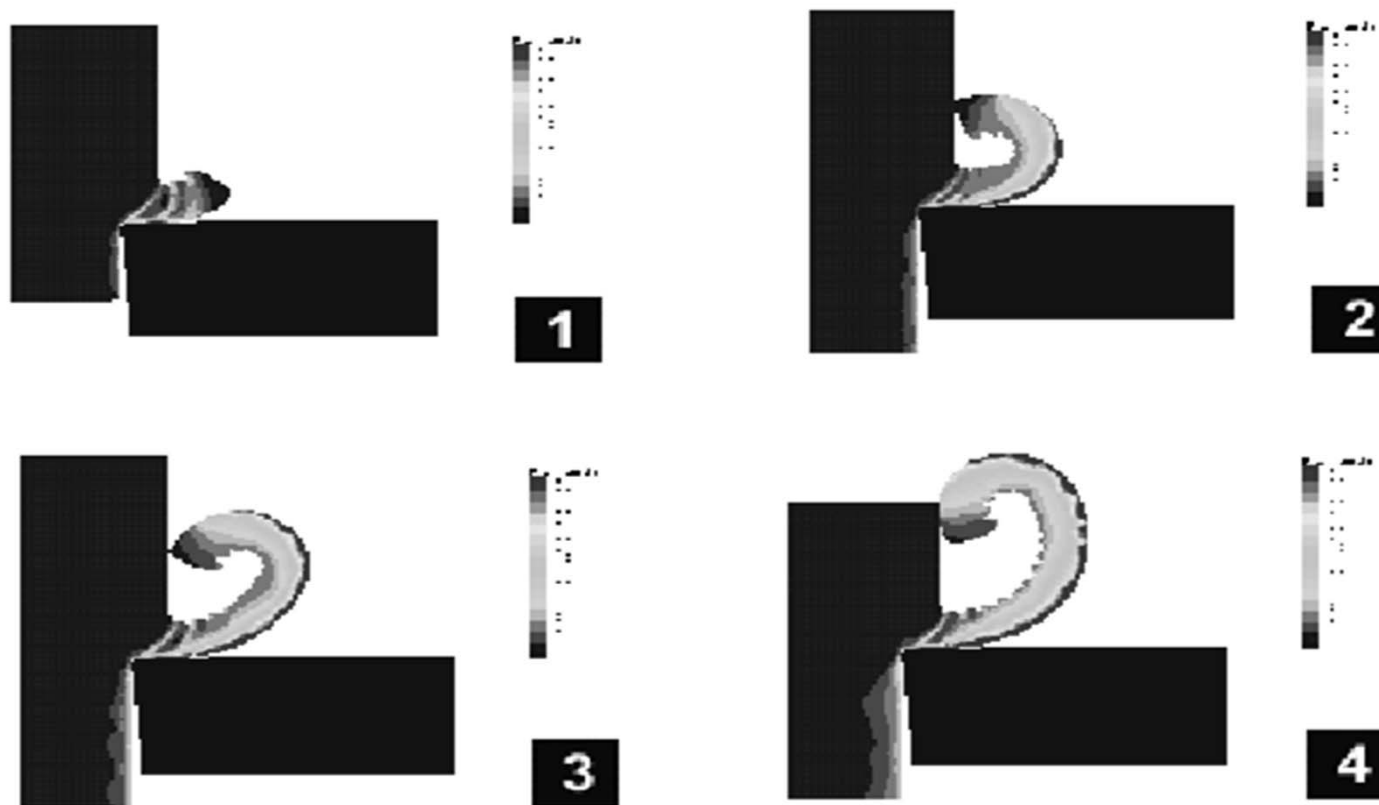
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM
Obrada odvajanjem

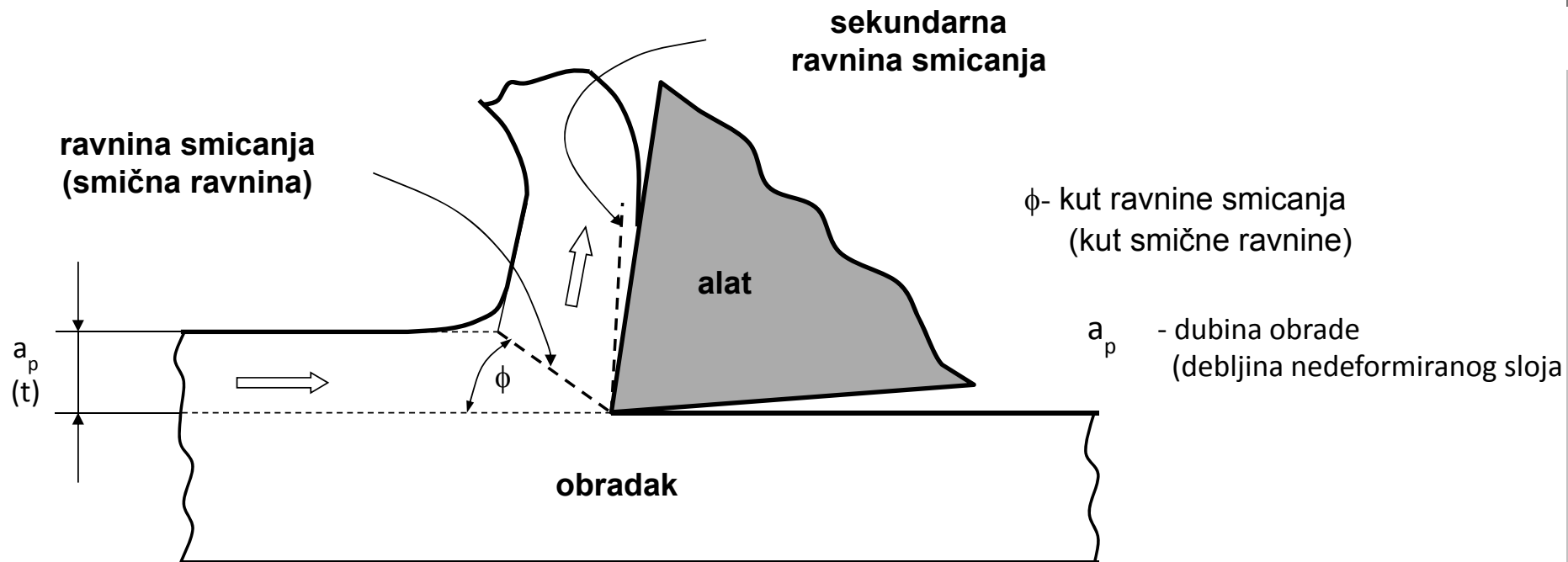
Formiranje odvojene čestice - simulacija



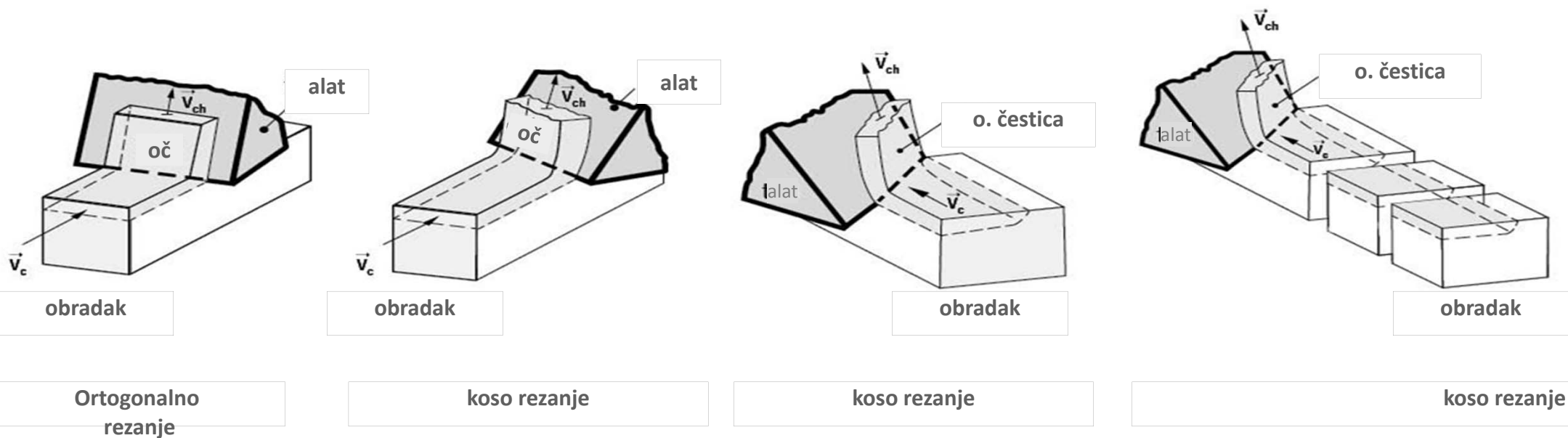
OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM

Obrada odvajanjem

Plastična deformacija i formiranje odvojene čestice – ravninski prikaz



OBRADA ODVAJANJEM
Teorija rezanja





OBRADA ODVAJANJEM **Teorija rezanja**

Ortogonalno rezanje - pretpostavke

Osnovne pretpostavke (preduvjeti) ortogonalnog rezanja:

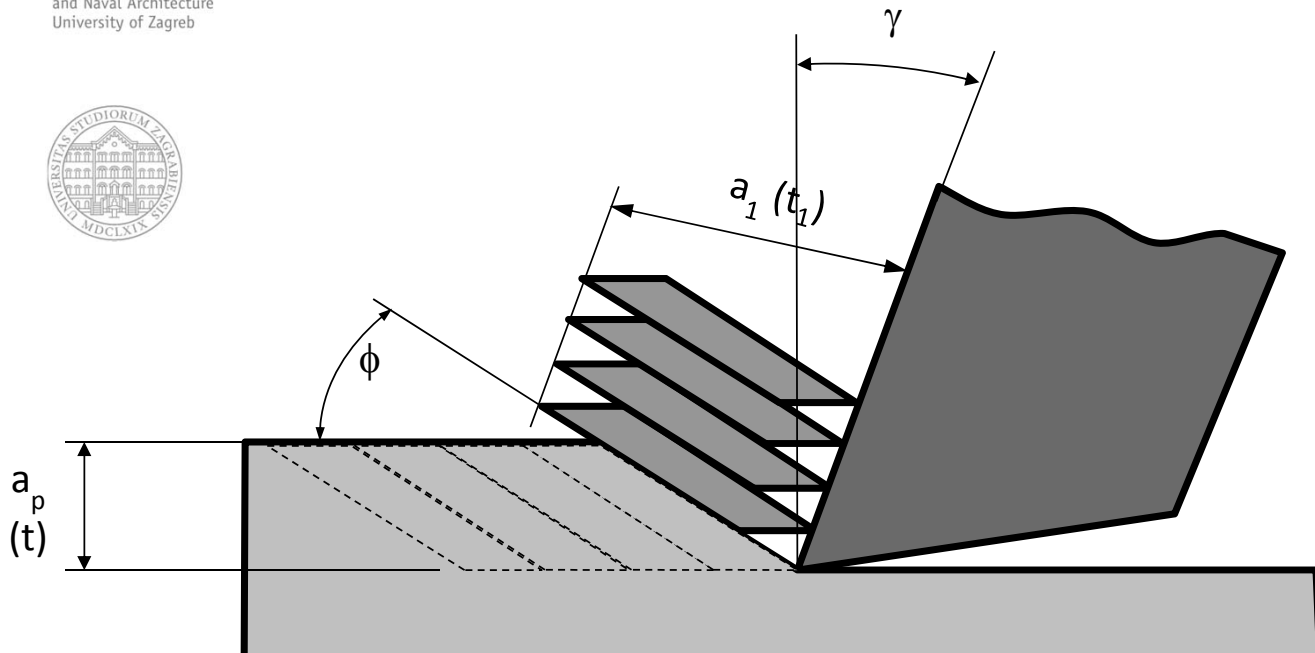
- brzina rezanja je okomita na glavnu oštricu i na posmičnu brzinu rezanja;
- stalni uvjeti obrade (v_c , f , a_p =konst.)
- nema trenja na stražnjoj površini alata;
- smicanje se događa u ravnini;
- jednolika raspodjela naprezanja;
- glavna oštrica je šira od širine obrade (rubni uvjeti).



OBRADA ODVAJANJEM Teorija rezanja

“Card model”

“Card model” - model elementarnih lamela i jedne smične ravnine



a_p - dubina obrade (dubina rezanja)
(debljina nedeformiranog sloja)

a_1 - debljina odvojene čestice

Često se umjesto oznaka

a_p i a_1 ,

u literaturi koriste oznake

t i t_1

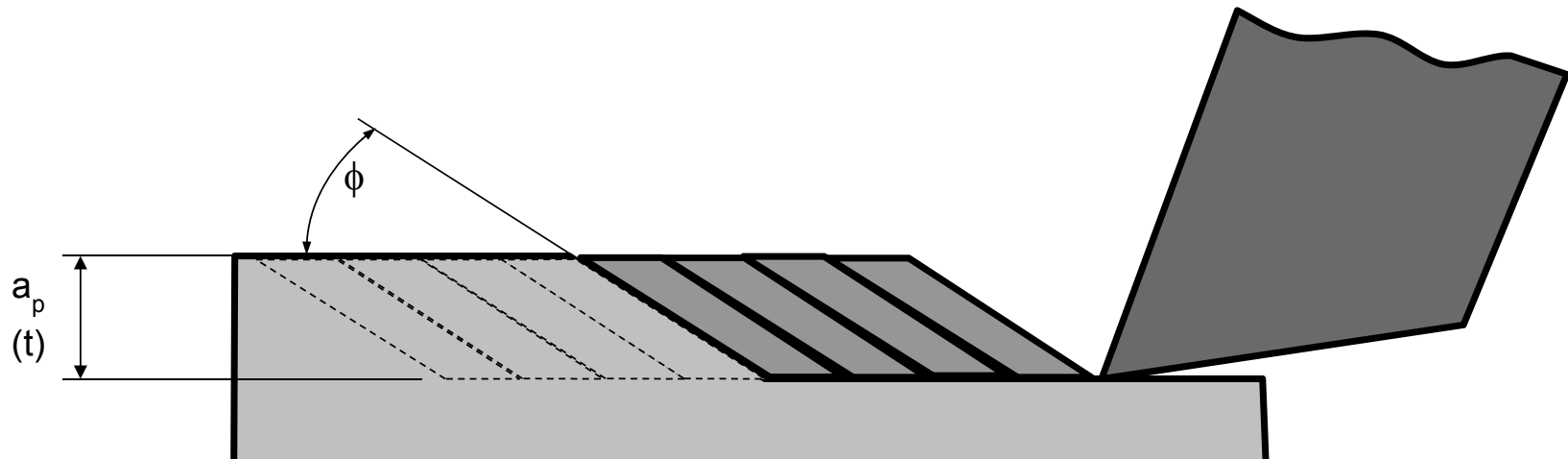
t – debljina (thickness)



OBRADA ODVAJANJEM Teorija rezanja

“Card model” – model elementarnih lamela

a_p - dubina obrade
(debljina nedeformiranog sloja)



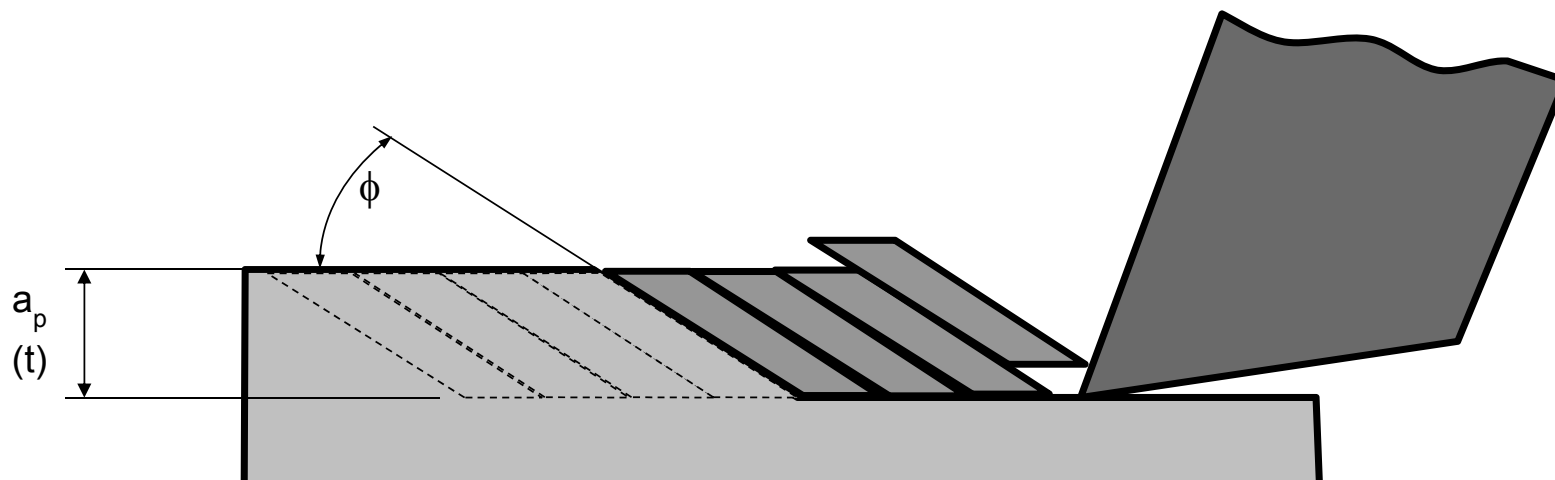
Kako u primjeni ostvariti, ili se što više približiti ortogonalnom rezanju ?

FSB Zagreb, Studij strojarstva, Proizvodno inženjerstvo

OBRADA ODVAJANJEM Teorija rezanja

“Card model” – model elementarnih lamela

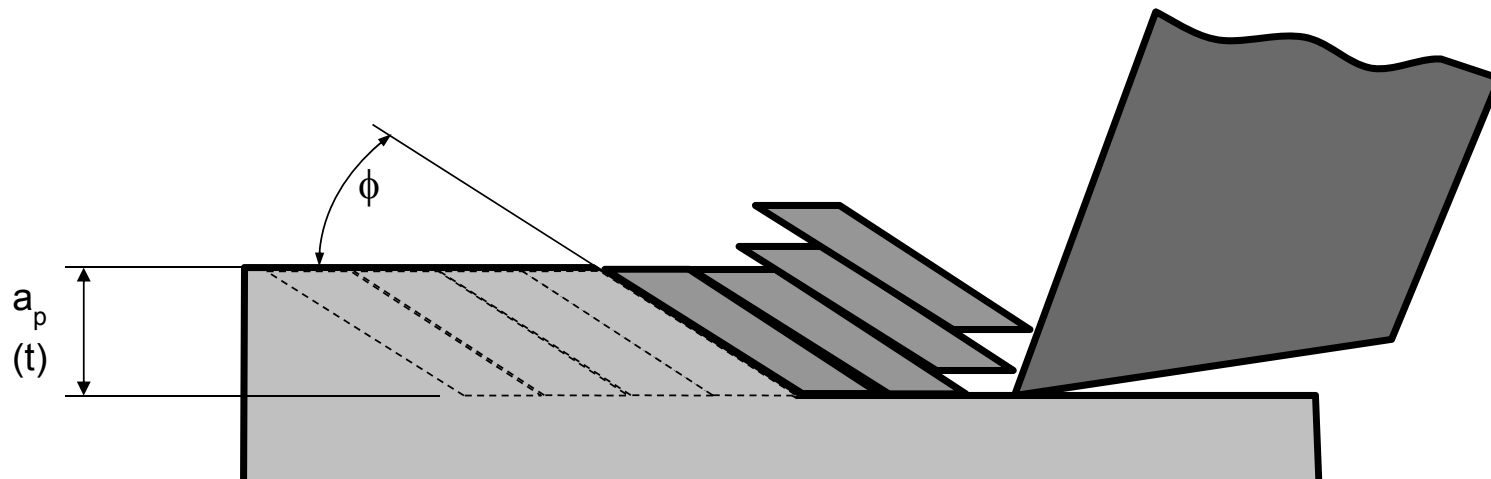
a_p - dubina obrade
(debljina nedeformiranog sloja)



OBRADA ODVAJANJEM Teorija rezanja

“Card model” – model elementarnih lamela

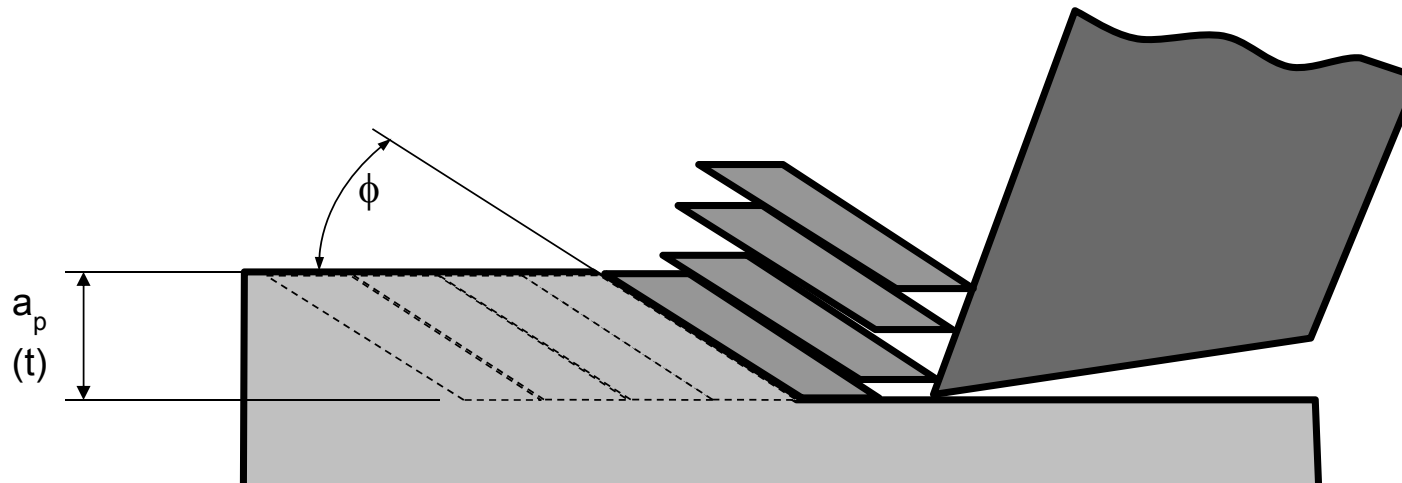
a_p - dubina obrade
(debljina nedeformiranog sloja)



OBRADA ODVAJANJEM Teorija rezanja

“Card model” – model elementarnih lamela

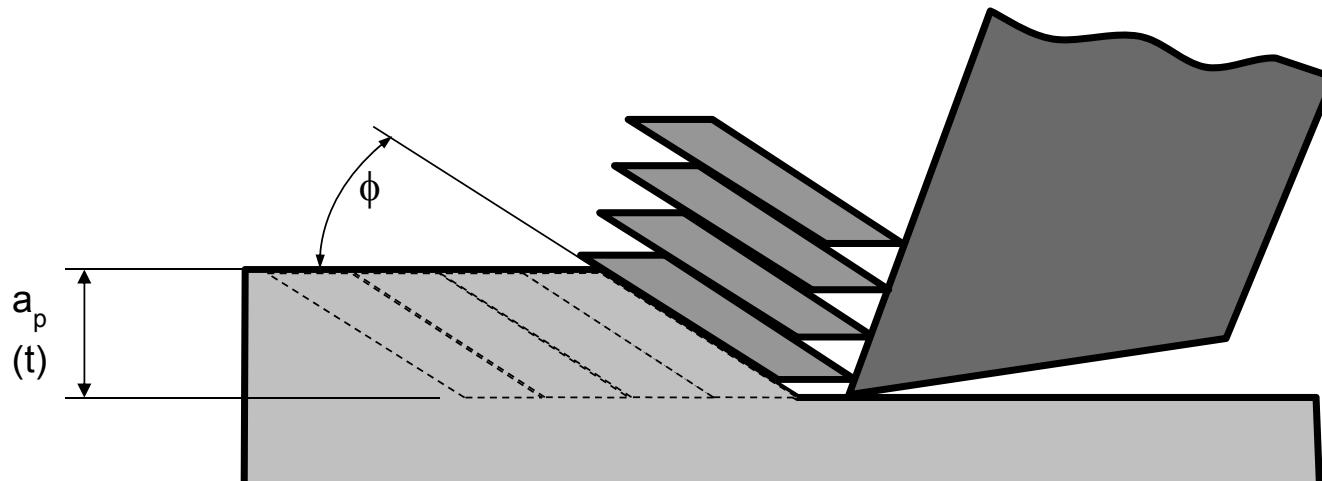
a_p - dubina obrade
(debljina nedeformiranog sloja)



OBRADA ODVAJANJEM Teorija rezanja

“Card model” – model elementarnih lamela

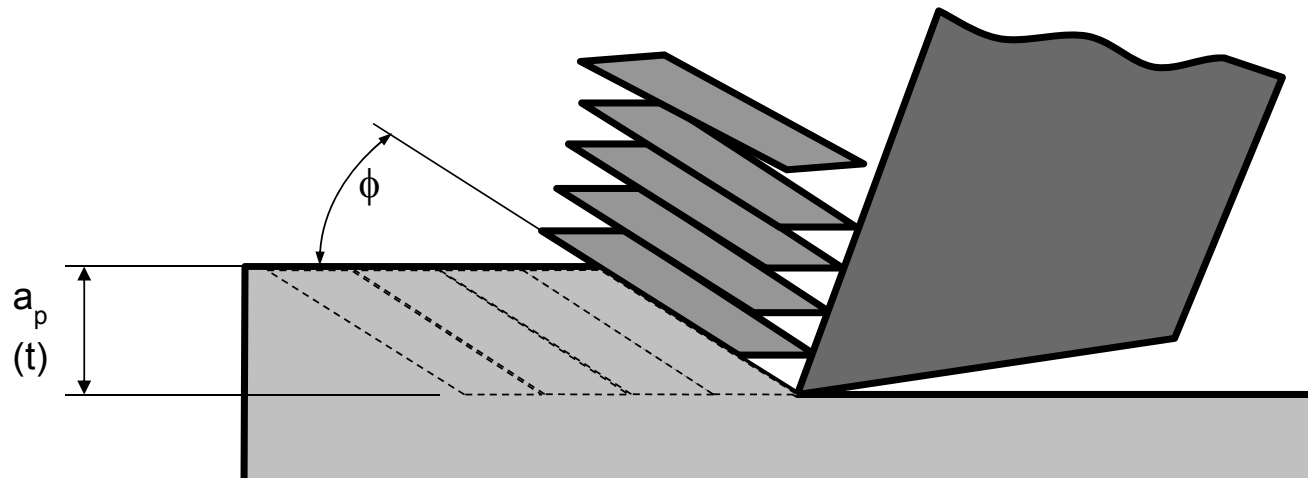
a_p - dubina obrade
(debljina nedeformiranog sloja)



OBRADA ODVAJANJEM Teorija rezanja

“Card model” – model elementarnih lamela

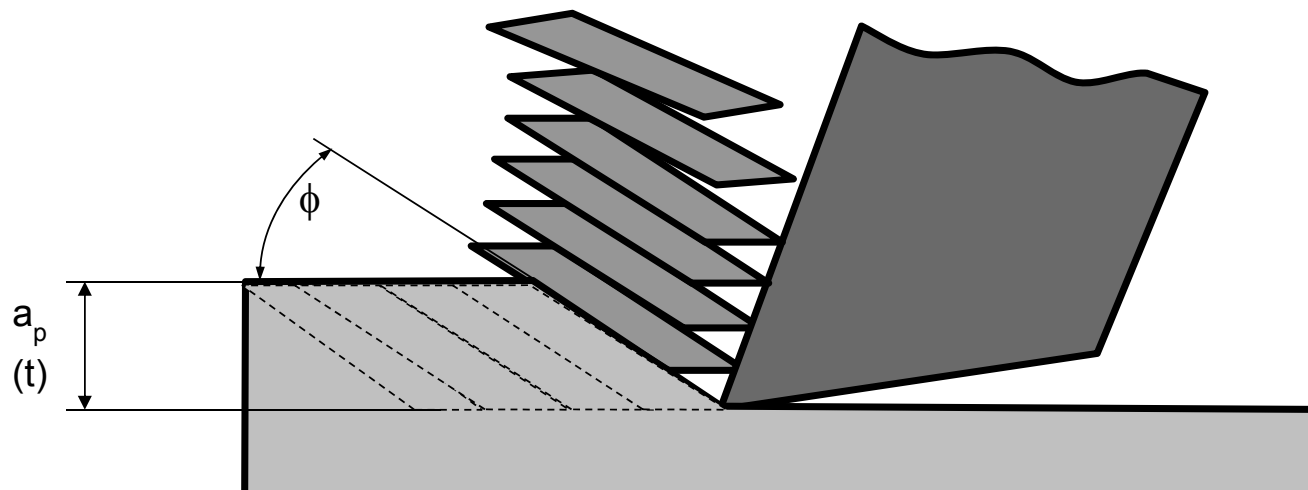
a_p - dubina obrade
(debljina nedeformiranog sloja)



OBRADA ODVAJANJEM Teorija rezanja

“Card model” – model elementarnih lamela

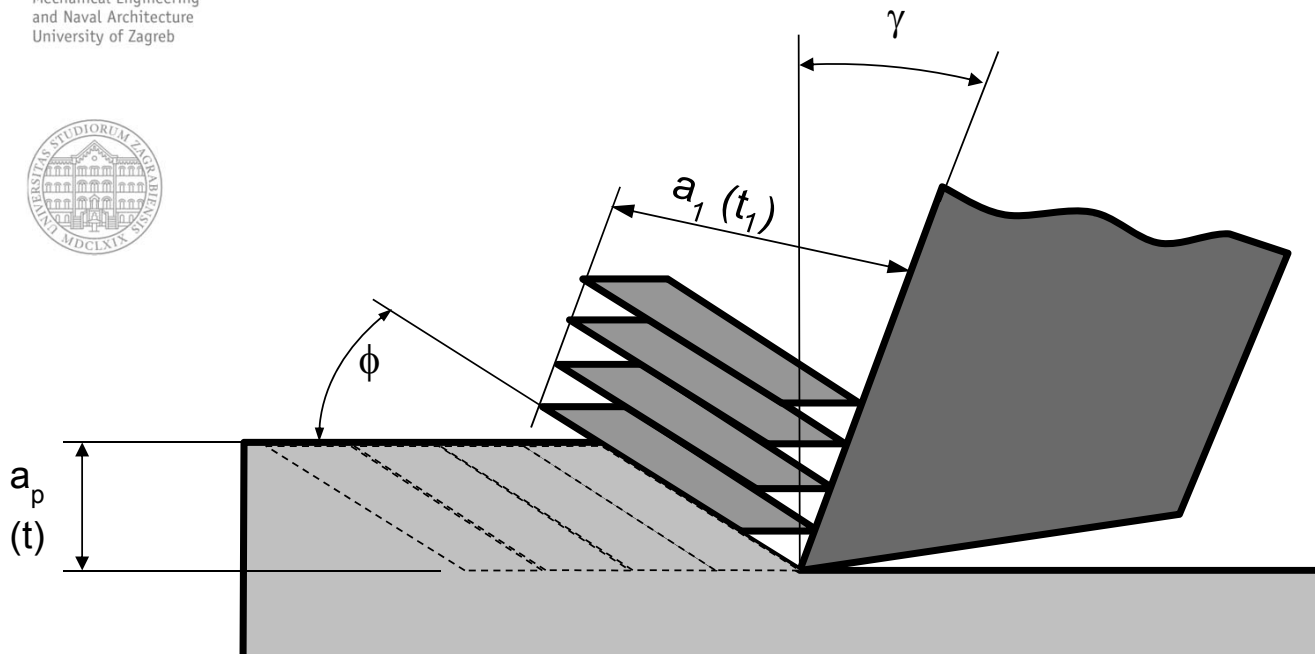
a_p - dubina obrade
(debljina nedeformiranog sloja)





OBRADA ODVAJANJEM Teorija rezanja

“Card model” – model elementarnih lamela



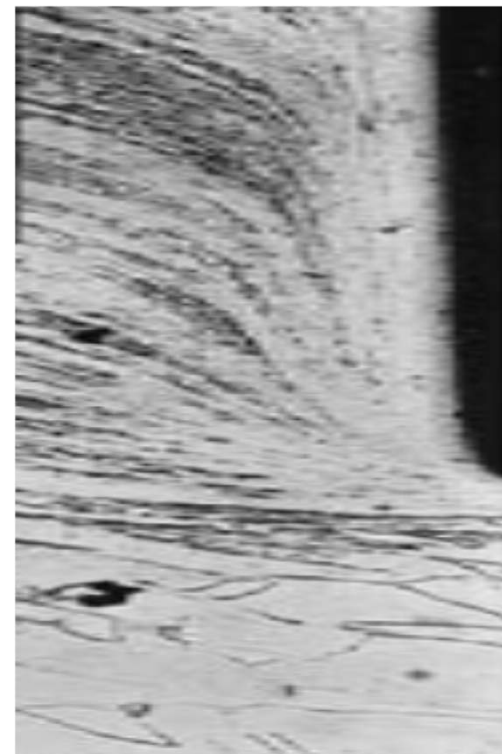
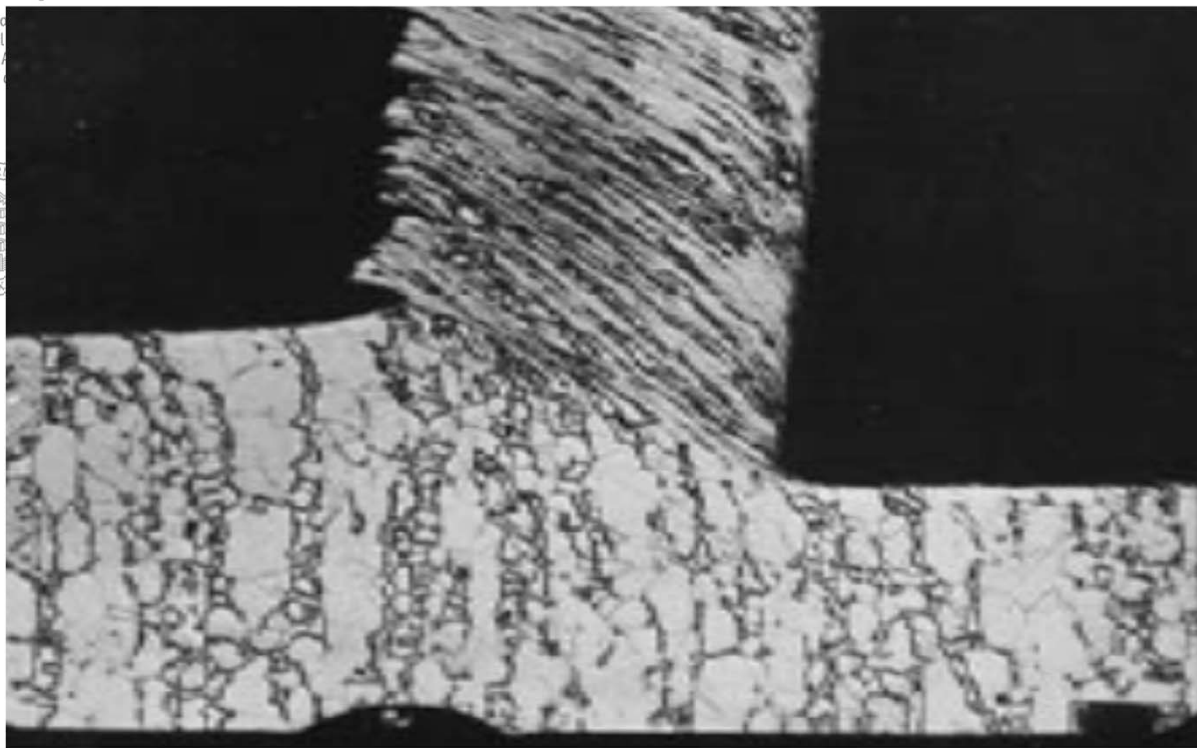
a_p - dubina obrade (dubina rezanja,
(t) debljina odvajanog sloja ili debljina
nedeformirane čestice)

a_p - debljina odvojene čestice
(t_1)

U literaturi se češće koriste oznake
 t i t_1 (eng. thickness)
 t – debljina nedeformiranog sloja
 t_1 – debljina deformirane čestice

OBRADA ODVAJANJEM Teorija rezanja

Primarna i sekundarna smična zona



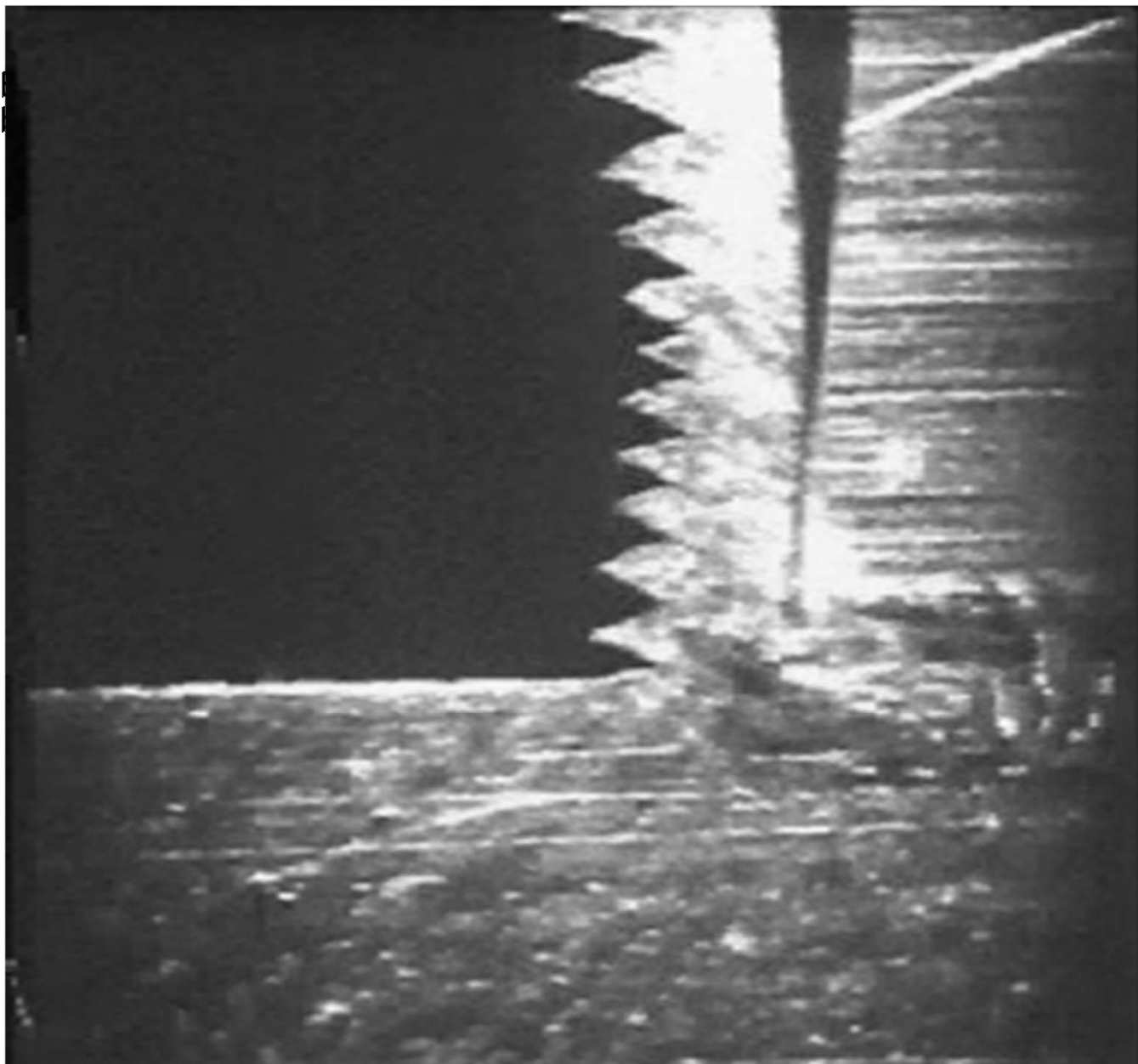
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu

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



OF
OF



OBLIKOVANJE DEFORMIRANJEM I OBRADA ODVAJANJEM
Obrada odvajanjem



FSB ZAGREB, PROIZVODNO INŽENJERSTVO, OD I OO