



POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Drugo i treće predavanje



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Sadržaj predavanja

- Iz uvodnog predavanja – podjela postupaka
- Teorija rezanja-rekapitulacija osnovnih pojmova i veličina.
- Nastajanje i deformacija odvojene čestice.
- Koeficijenti deformacije: θ_a , θ_b i θ_l .
- Trokut brzina (hodogram brzina).
- Relativno smicanje: $\gamma_c=f(\Delta s, \Delta x)$, $\gamma_c=f(v_{sh}, v_{shN})$ i $\gamma_c=f(\theta)$.
- Brzina deformacije, v_{def}



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

Drugo i treće predavanje

Zašto je proizvodnja značajna ?

Proizvodnja generira 15%-25% bruto nacionalnog proizvoda – BNP.

Ekonomska definicija: Proizvodnja je pretvaranje (transformacija) materijala u artefakte veće vrijednosti primjenom jednog ili više procesa obrade i/ili operacija montaže. Stoga, ...

proizvodnjom se dodaje vrijednost proizvodu.

Proizvodnja je djelatnost kojom se generira blagostanje naroda.

(Asian Institute of Technology)

Udio proizvodnje u GDP EU bio je 2008. godine 15,4% i do 2012. bio je u blagom padu, kada je pao na manje od 15,1%.

Jedan od ciljeva EU je udio proizvodnje u GDP do 2020 godine dići na 20%.

Spominje se sintagma “Europska industrijska renesansa”.

Izvor: CECIMO (European Association of the Machine Tool Industries)

Zašto je proizvodnja značajna ?

Šest razloga zbog koji je proizvodnja središte ekonomije

1. **Proizvodnja je bila put (ključ) razvitka.**
2. **Proizvodnja je osnova globalno „velikih sila“.**
3. **Proizvodnja je najznačajniji faktor ekonomskog rasta.**
4. **Globalna trgovina se temelji na robama, ne na uslugama.**
5. **Usluge su u najvećoj mjeri ovisne o proizvedenim robama.**
6. **Proizvodnja kreira radna mjesta (ne samo u proizvodnji).**

Izvor: Jon Rynn, *Six Reasons Manufacturing is Central to the Economy*, 2012

Podjela proizvodnje ?

Diskretna i kontinuirana proizvodnja

Proizvodnja s velikim "P"

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

Proizvodnja s malim "p"

Proizvodnja je pretvaranje priprema u koristan proizvod.

Proizvodne tehnologije:

”+”; **”-”;** **”0”;** **aditivne ;** **hibridne**

Specifičnosti postupaka OO

Odvajanjem materijala dodaje se vrijednost proizvodu.
(osim kod skidanja srha).

Odvajamo materijal – dodajemo vrijednost

Promjena koja se dogodila u diskretnoj proizvodnji:

- Velike serije – jedan proizvod – duga vremena razvoja

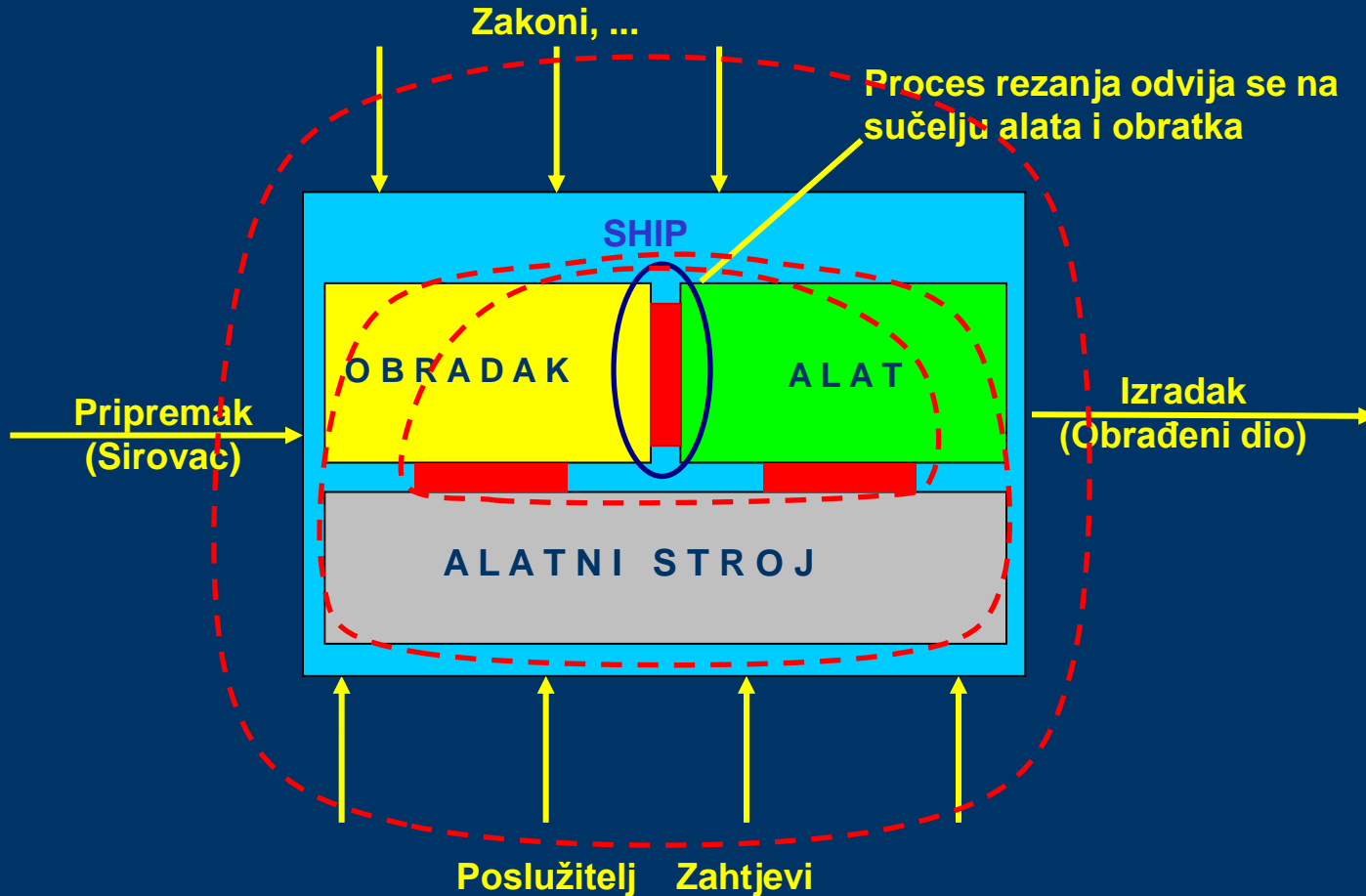


- Male serije – više različitih proizvoda – kratka vremena razvoja – česte promjene

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

Drugo i treće predavanje

Obrada odvajanjem kao sustav



Utjecaj sastavnica obradnog sustava na proces obrade

REZNI ALATI

MATERIJALI, GEOMETRIJE
PREVLAKE

MATERIJALI OBRADAKA

MEH. SVOJSTVA, STRUKTURA, GEOMETRIJA, ...
Ti i Ti-legure
KOMPOZITNI MATERIJALI
KERAMIKE

PRIHVATI ALATA I OBRADAKA

ALATNI STROJ

UPRAVLJANJE STROJEVIMA I PROCESIMA

MONITORING, AU
AI, AUTONOMNOST

“OKRUŽENJE” (uže i šire)

Utjecaj materijala obratka

Primjena materijala kao što su:

- **Magnezij i legure**
- **Keramike**
- **Titan(ij) i legure**
- **Kompoziti ojačani vlaknima**
- **„Sendvič” materijali**
- **Biološka tkiva**
- ...

Utjecaj ostalih uvjeta (slika OP kao funkcije sustava)

- Zahtjevi za većom produktivnošću i kraćim vremenima obrade
- Zahtjevi za većim iskorištenjem alatnih strojeva
- Zahtjevi očuvanja okoliša
- Sve veći stupanj interdisciplinarnosti (medicina, elektronika), novi, teže obradivi materijali obradaka
- Individualizacija proizvodnje
- Druge proizvodne tehnologije (NNS, RP, ...)
- Minijaturizacija dijelova
- Razvoj SW za projektiranje i upravljanje
- Veća autonomnost sustava
- **TRŽIŠTE**



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

Drugo i treće predavanje

Megatrendovi

PwC

- Demografske promjene
- Promjene u ekonomskoj moći
- Ubrzana urbanizacija
- Nedostatak sirovina i klimatske promjene
- Tehnološka postignuća i dostupnost

DELOITTE

- Promjene u ekonomskoj moći
- Starenje populacije
- Promjene u ponašanju potrošača
- Održivost
- Tehnološka postignuća i dostupnost

MANUFUTURE

- Starenje populacije
- Individualizacija
- Tehnologija/znanje
- Globalizacija
- Urbanizacija
- Održivost
- Financije
- Javni dug

"Big Four" profesionalne uslužne tvrtke: Deloitte, PwC, EY, i KPMG.

Deloitte: osnovana u Londonu 1845.; sjedište u New Yorku; 210.000 zaposlenih.

PricewaterhouseCoopers– PwC: osnovana 1998 (od 1854.) i sjedište u Londonu ; 195.000 zapos.

Ernst & Young – EY: osnovana 1989 (od 1849.) i sjedište u Londonu ; 190.000 zaposlenih.

KPMG (Klynveld Peat Marwick Goerdeler): osnovana (1987); sjedište u Amstelveenu, Nizozemska; 155.000 zaposlenih.

Promjena proizvodne paradigme ?

Paradigma osobne (personalizirane) proizvodnje

Baš proizvod koji je potreban ...

... u trenutku kada je potreban

Yoram Koren i Jun Ni (University of Michigan, Ann Arbor)

“Following megatrends it is necessary to realize factories of emotions inside of cities for design oriented products and let people work where they live (no noise, no scrap, etc.). Bringing volume production back by innovative solution or make factories lean, clean and green could be a way to European answers to the megatrends. Another option is driven by ICT-Solutions toward that what we call learning factories or ICT oriented networking in manufacturing.”

Engelbert Westkämper

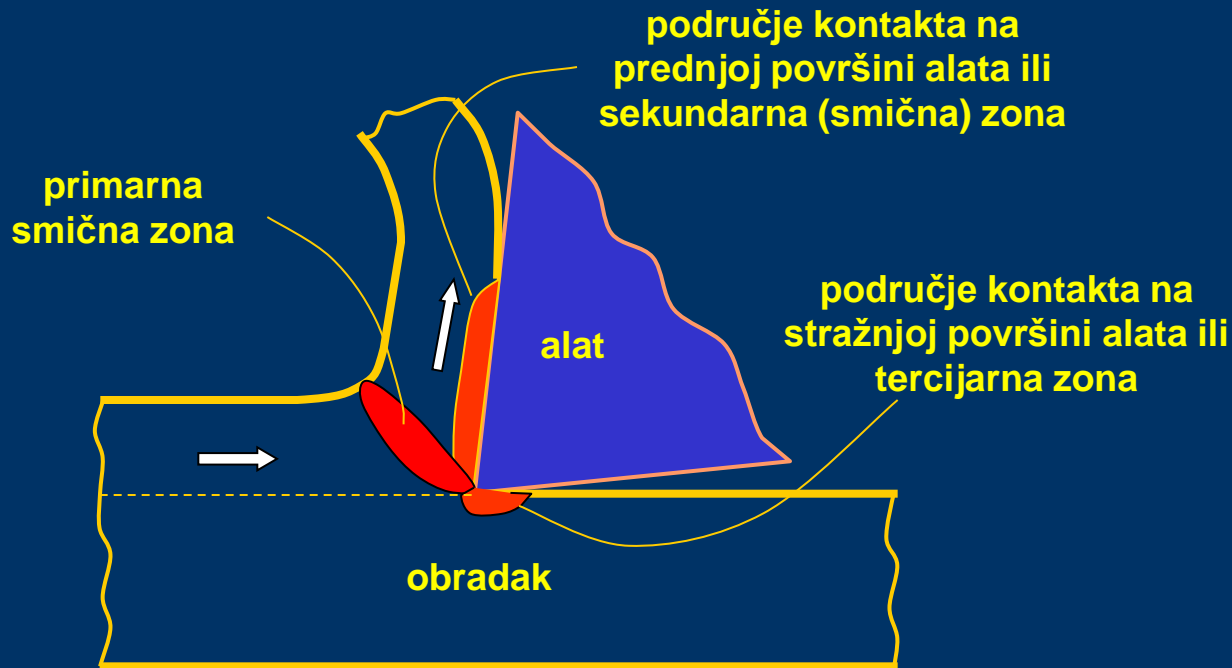
Voditelj IFF instituta na Sveučilištu u Stuttgartu i direktor IPA-e u Stuttgartu

FSB Zagreb, Proizvodno inženjerstvo, OS

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Zone formiranja odvojene čestice



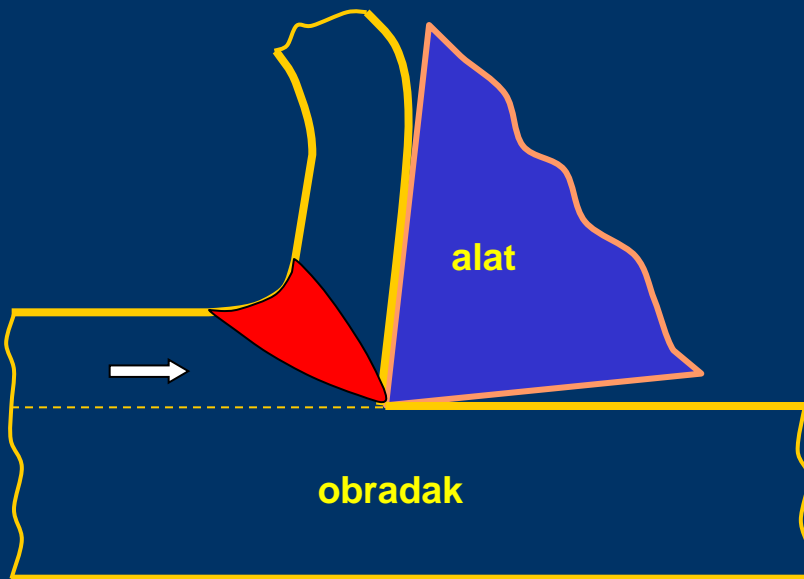
POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Zone formiranja odvojene čestice

Model smične zone (zone plastičnosti)

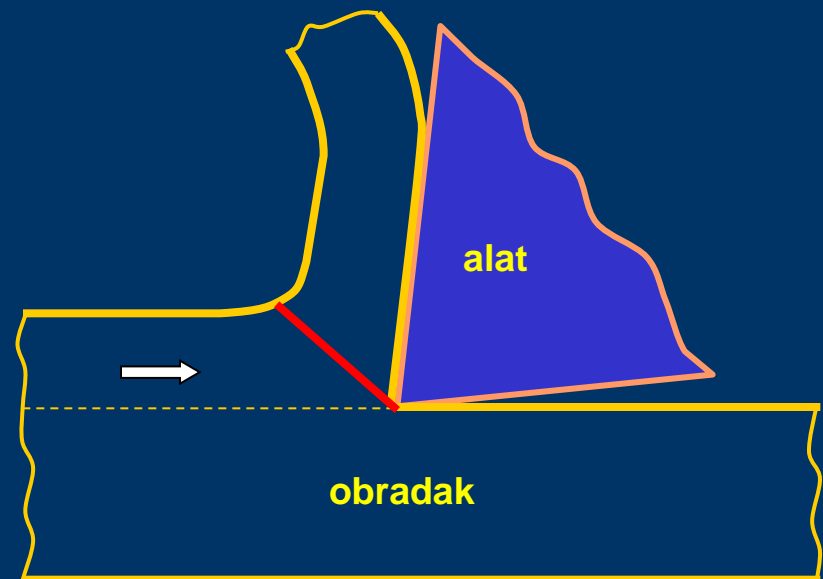
Palmer i Oxley;
Okushima i Hitomi



Model se pokazao prikladnijim kod manjih brzina rezanja

Model smične ravnine (tanke smične zone)

Piispanen, Merchant, Kobayashi i
Thomsen

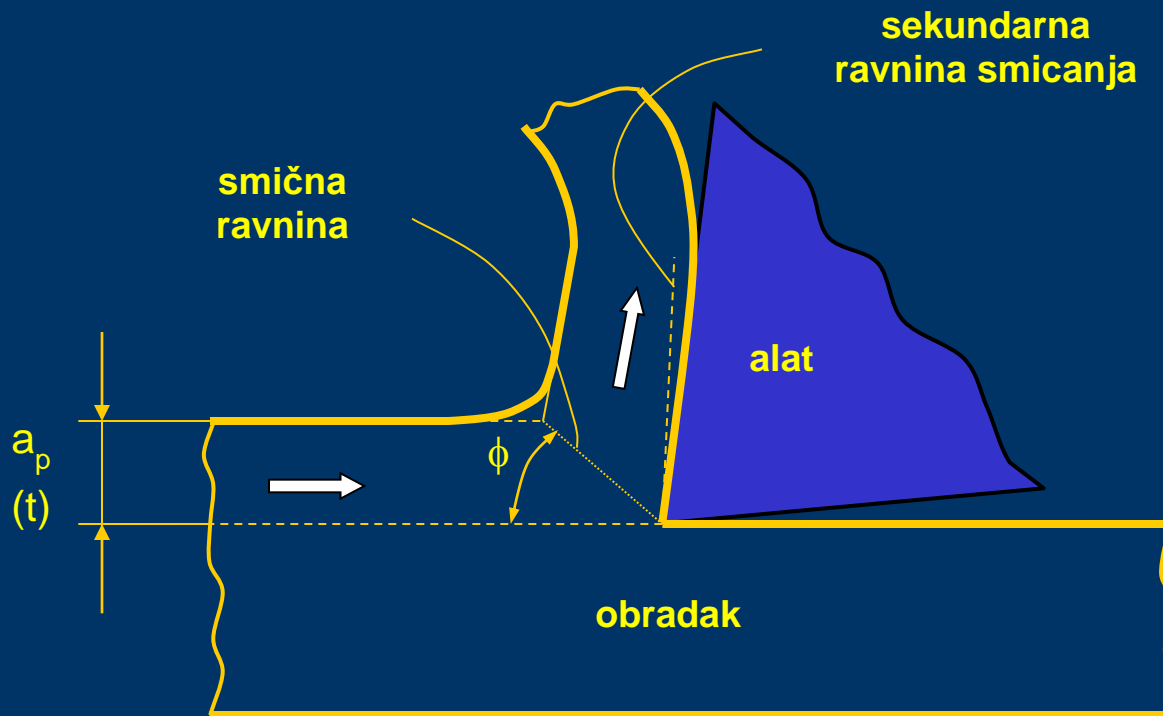


Model se pokazao prikladnijim kod većih brzina rezanja

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Zone formiranja odvojene čestice

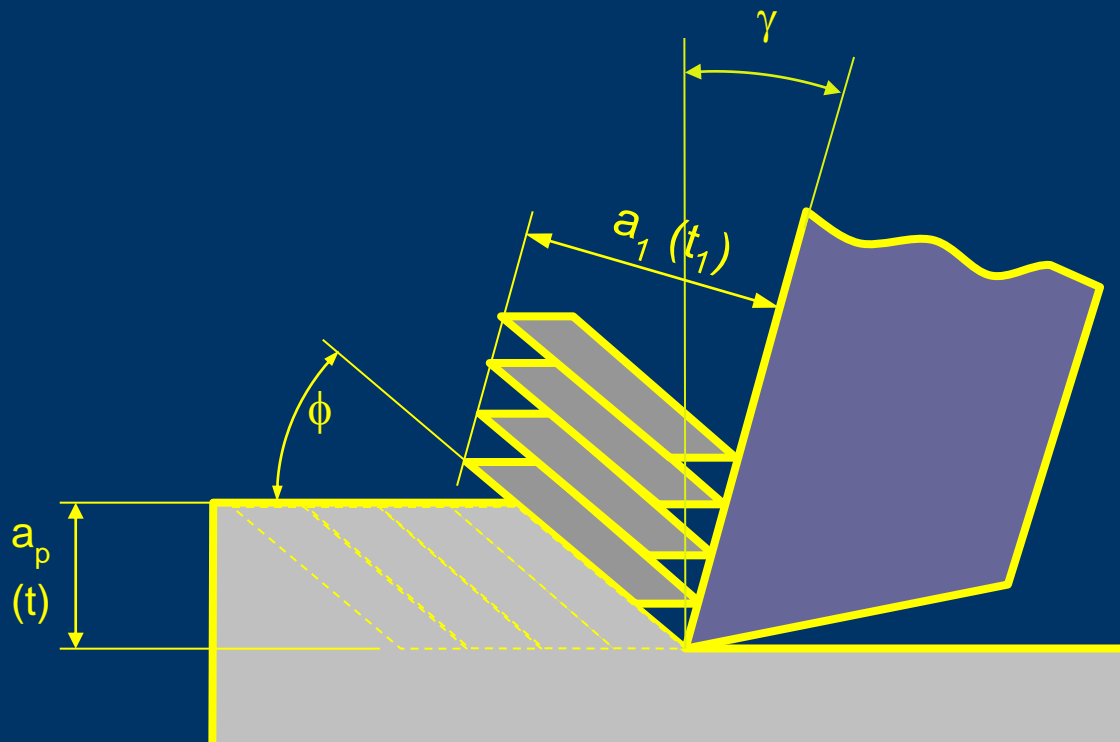


POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

“Card model”

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



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

a_1 - debljina odvojene čestice

U literaturi se češće koriste
oznake

t i t_1 (eng. thickness)

t – debljina nedeformirane čestice

t_1 – debljina deformirane čestice



POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Ortogonalno rezanje - pretpostavke

Osnovne pretpostavke (preduvjeti) ortogonalnog rezanja:

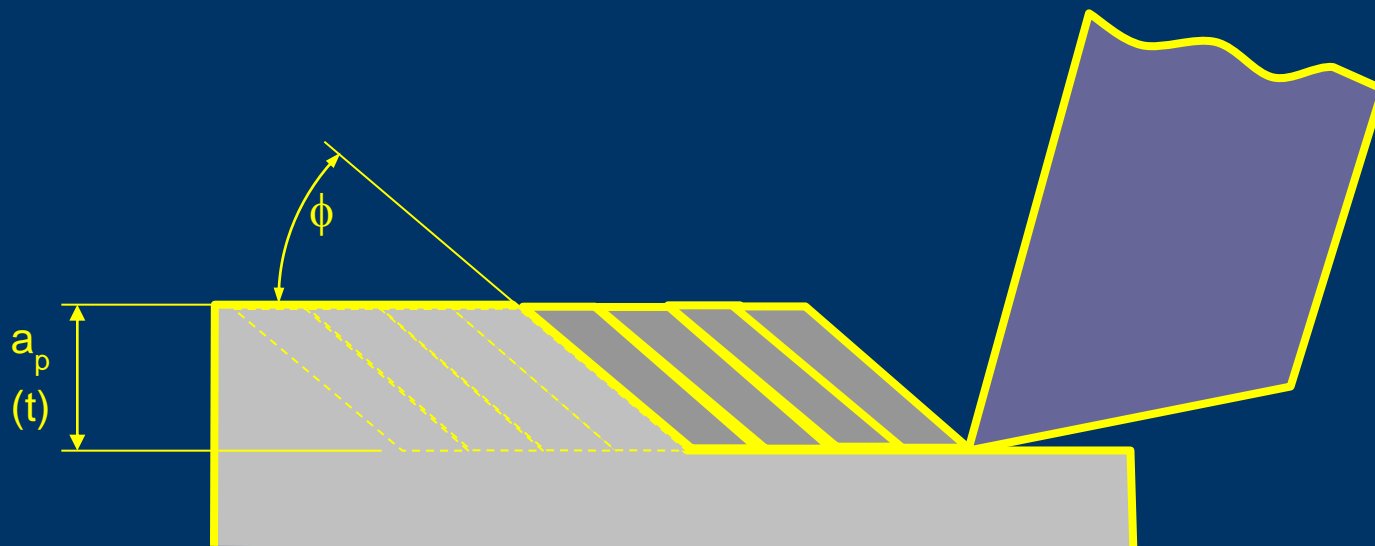
- brzina rezanja je okomita na glavnu oštricu i na posmičnu brzinu;
- stalni uvjeti obrade (v_c , f , a_p =konst.);
- nema trenja na stražnjoj površini alata;
- smicanje se događa u ravnini;
- jednolika raspodjela naprezanja;
- glavna oštrica šira je od širine obrade (rubni uvjeti).

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

“Card model” – model elementarnih lamela

a_p - dubina obrade
(debljina nedeformirane čestice)



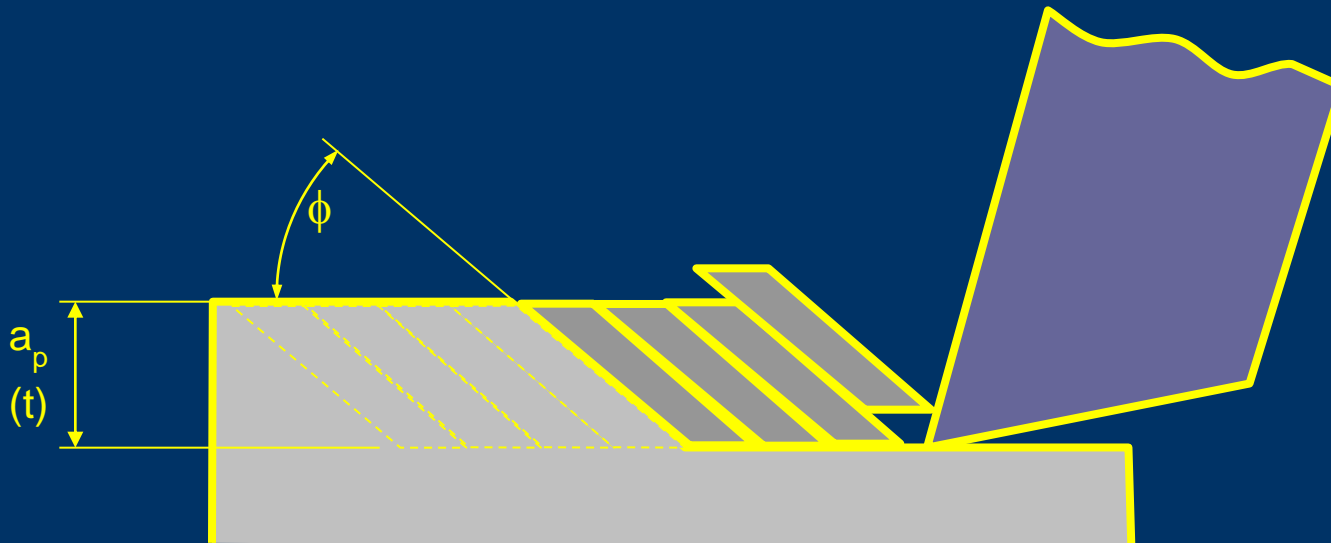
Kako u primjeni ostvariti, ili se što više približiti ortogonalnom rezanju ?

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

“Card model” – model elementarnih lamela

a_p - dubina obrade
(debljina nedeformirane čestice)

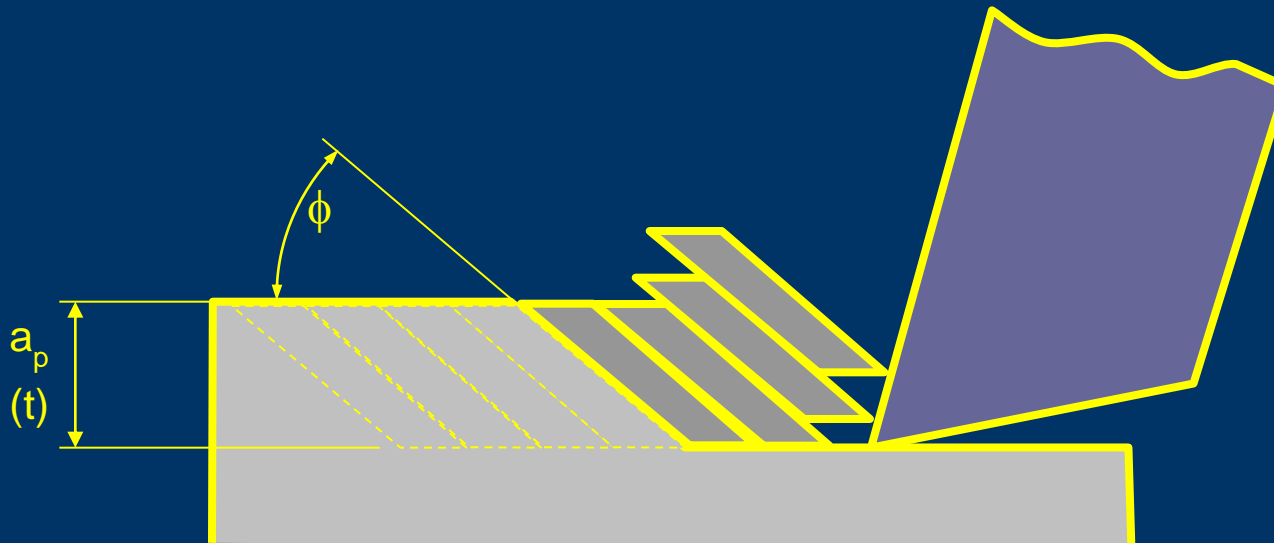


POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

“Card model” – model elementarnih lamela

a_p - dubina obrade
(debljina nedeformirane čestice)

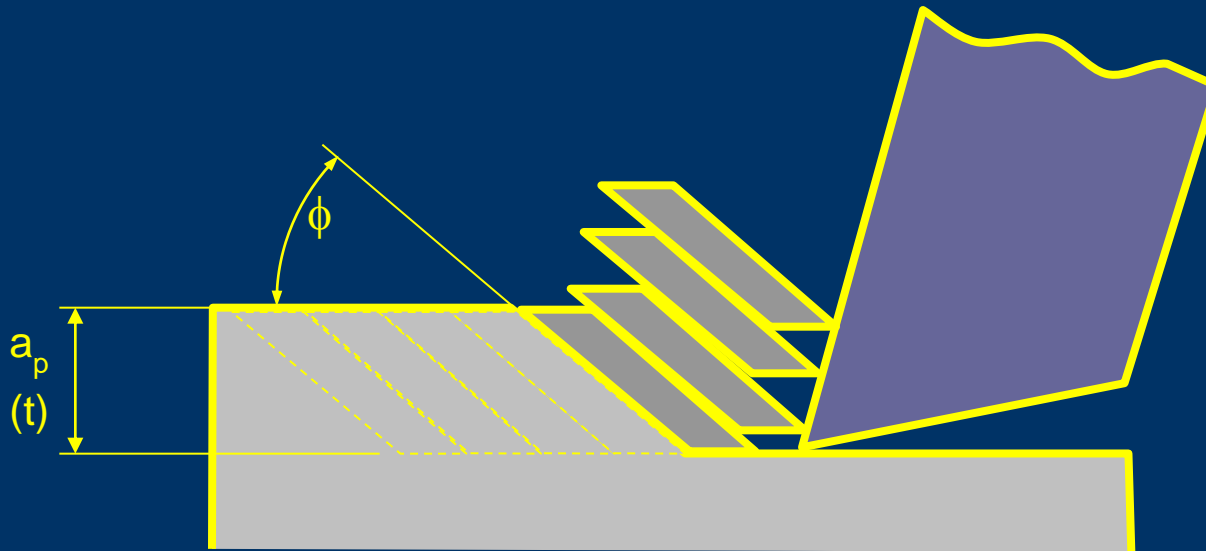


POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

“Card model” – model elementarnih lamela

a_p - dubina obrade
(debljina nedeformirane čestice)

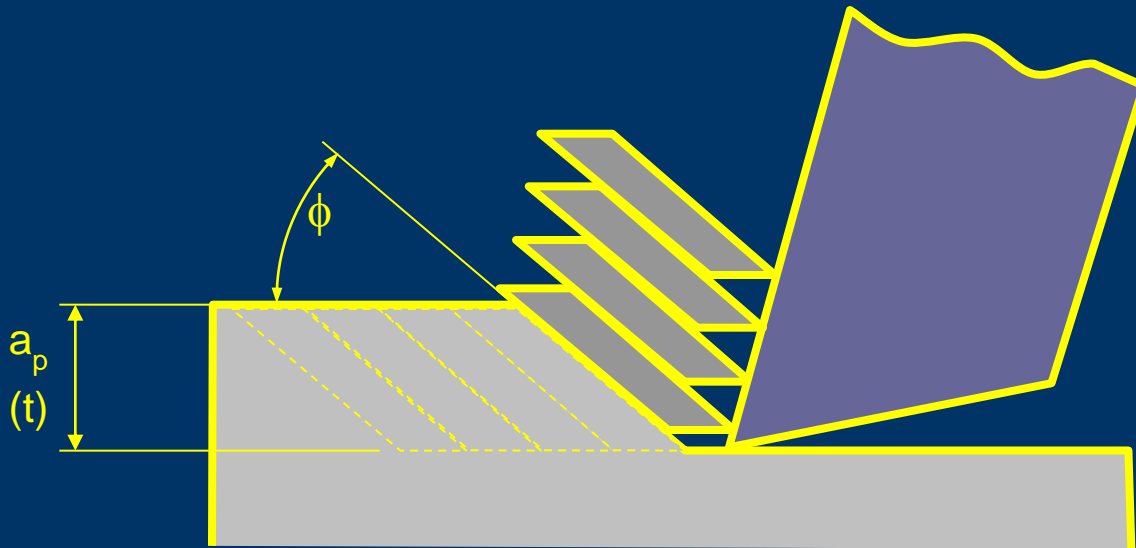


POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

“Card model” – model elementarnih lamela

a_p - dubina obrade
(debljina nedeformirane čestice)

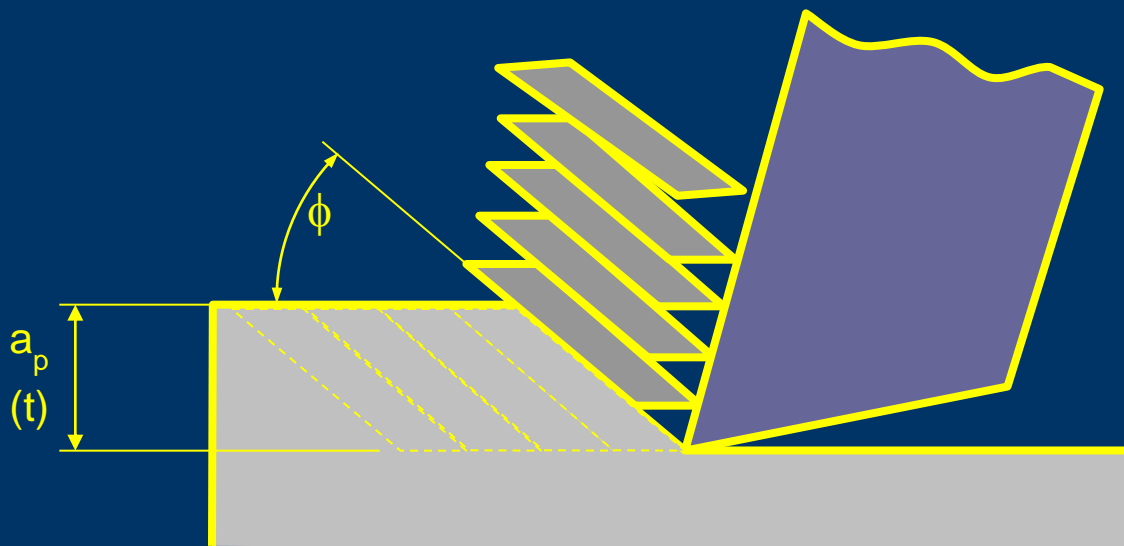


POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

“Card model” – model elementarnih lamela

a_p - dubina obrade
(debljina nedeformirane čestice)

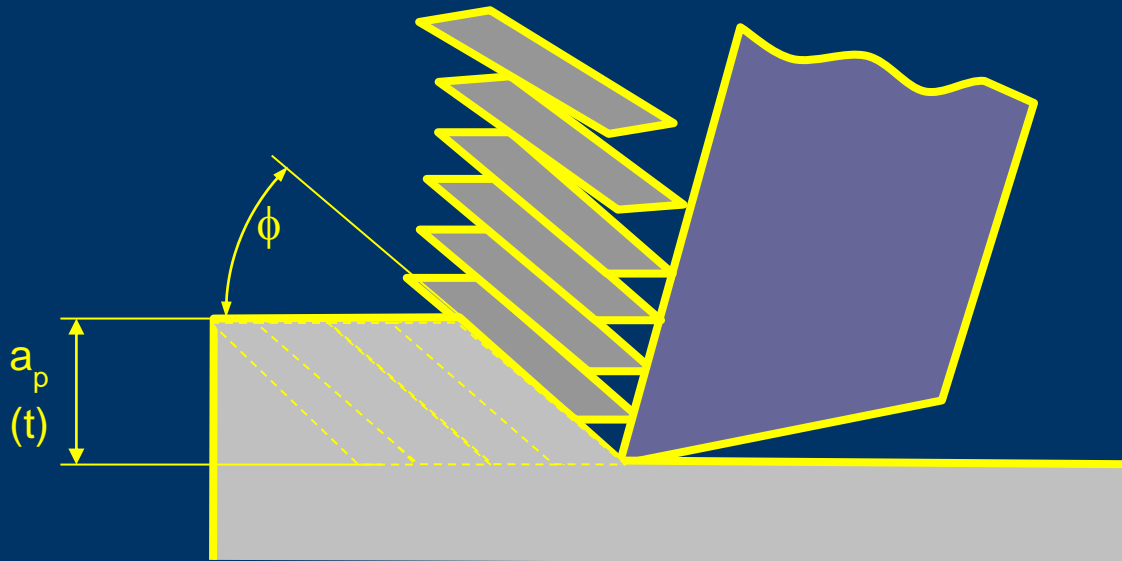


POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

“Card model” – model elementarnih lamela

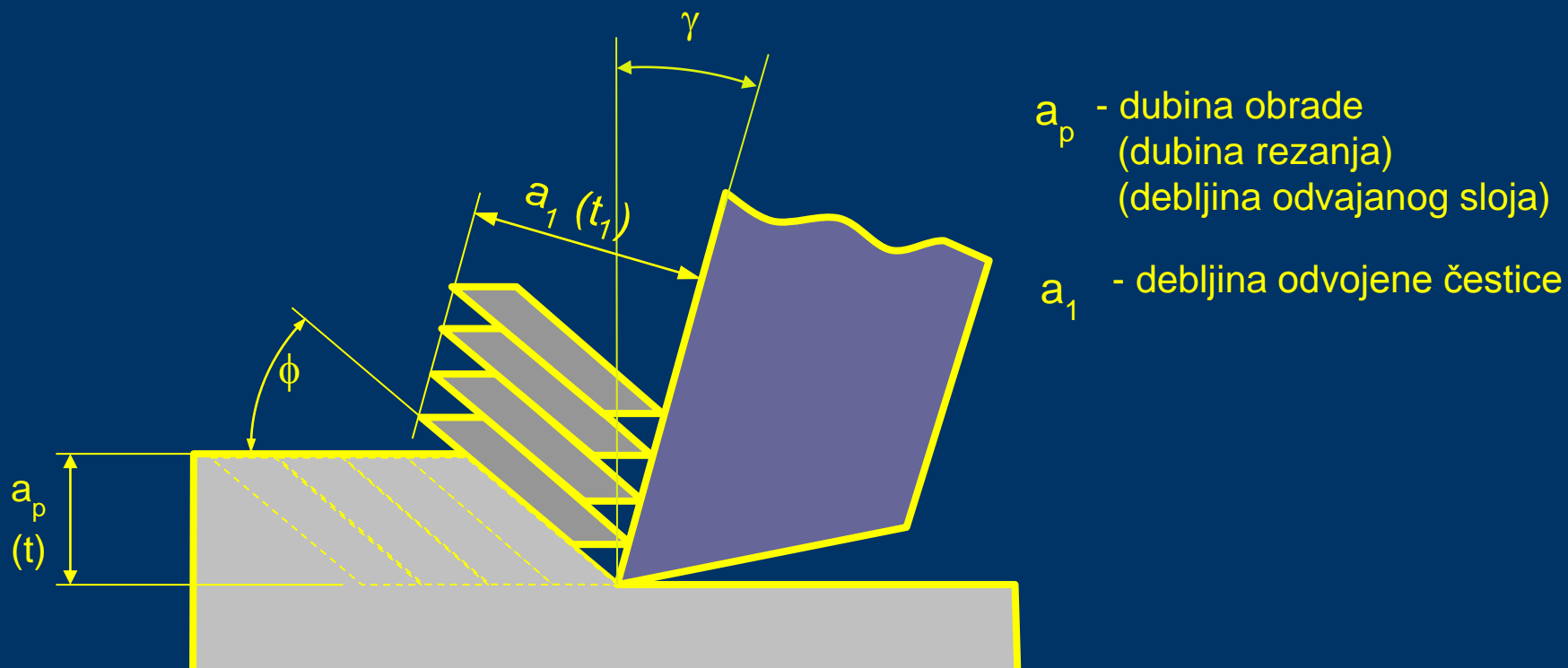
a_p - dubina obrade
(debljina nedeformirane čestice)



POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

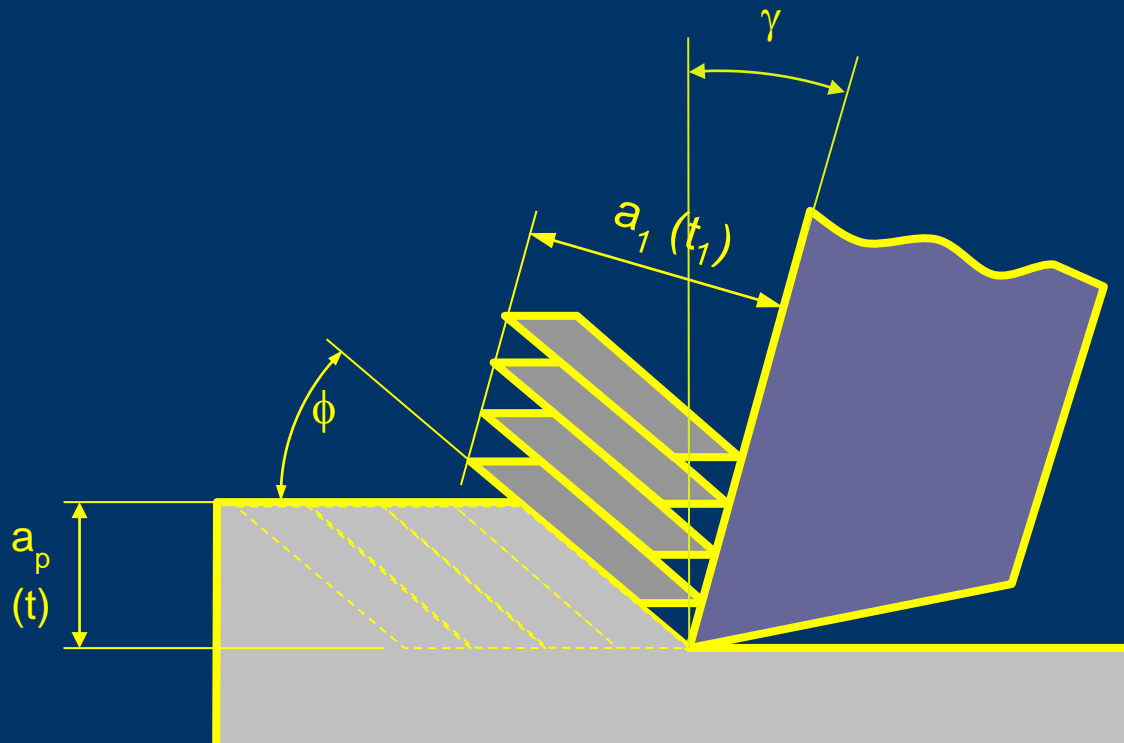
“Card model” – model elementarnih lamela



POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

“Card model” – model elementarnih lamela



a_p - dubina obrade
(dubina rezanja)
(debljina čestice prije deformacije)

a_1 - debljina odvojene čestice

U literaturi se češće koriste
oznake

t i t_1 (eng. thickness)

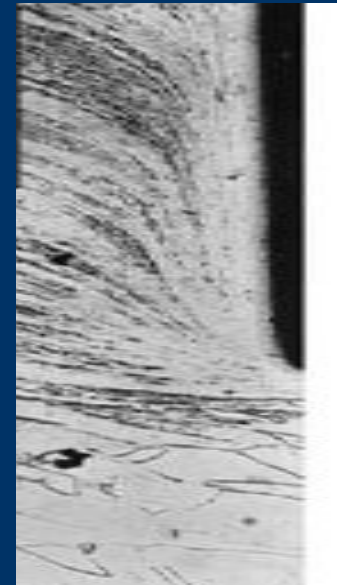
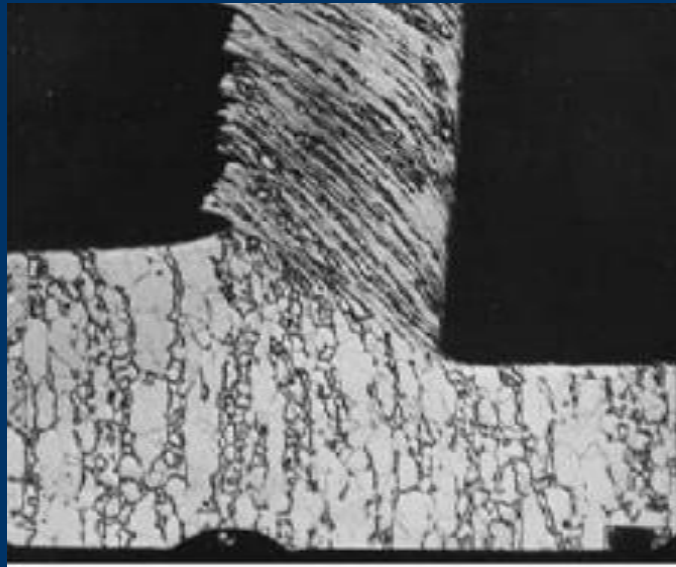
t – debljina nedeformirane čestice

t_1 – debljina deformirane čestice

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Primarna i sekundarna smična zona

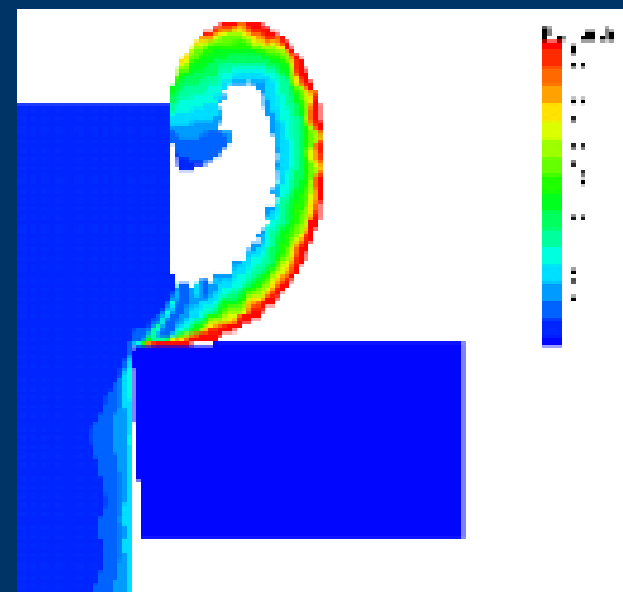
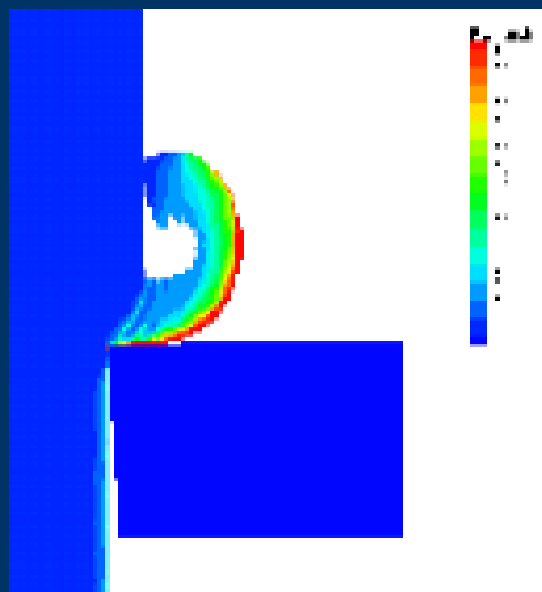
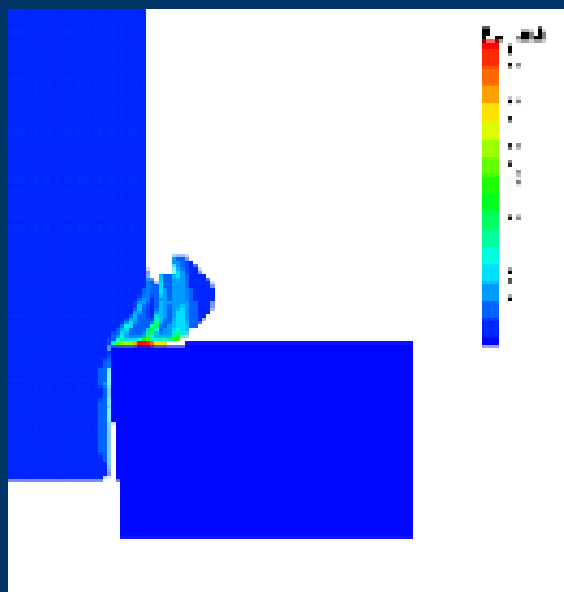


Izvor: J.S. Colton, Georgia Tec

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Formiranje odvojene čestice

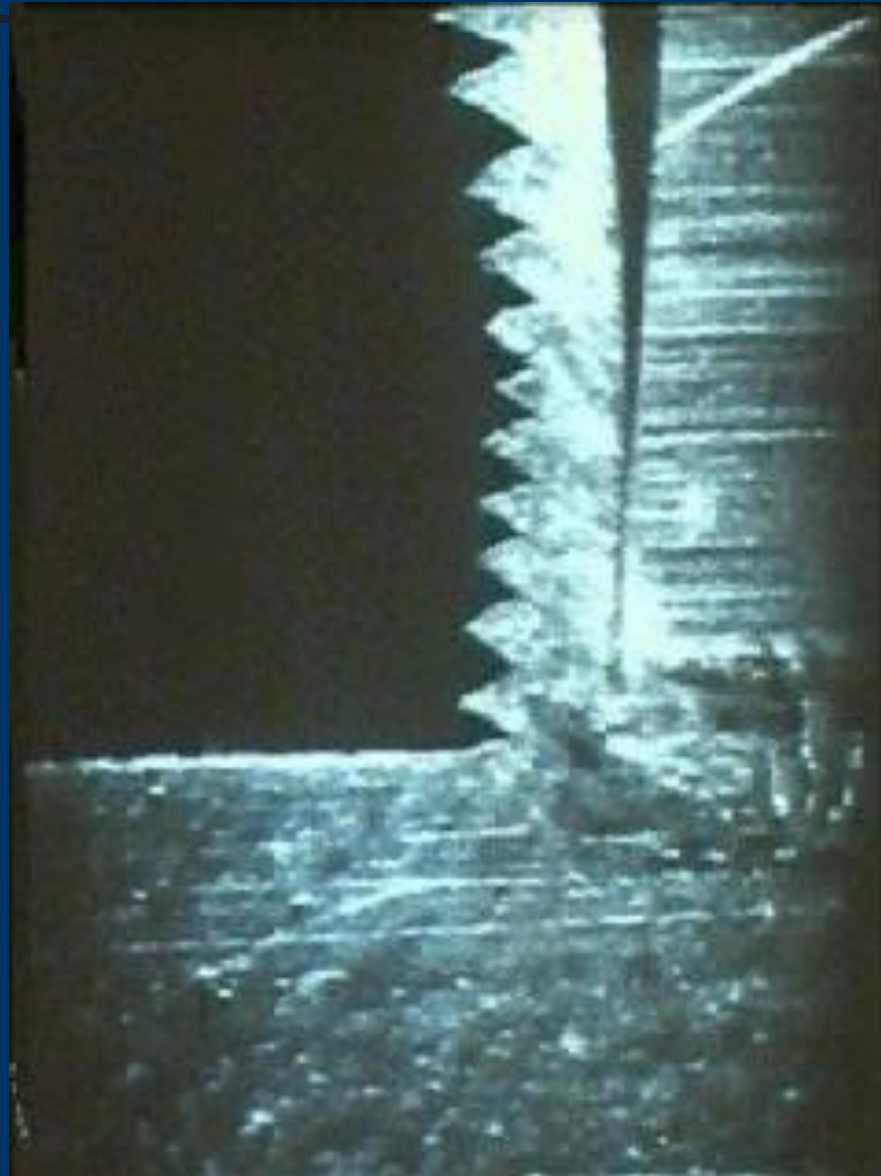


Formiranje odvojene čestice

FILMOVI

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Teorija rezanja

ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAFICA

EDITOR: H.-K. GALLE

COEDITORES: P. ELCHIS - Z. NEMES

E 2949

Zerspanen von Stahl Ck45

Schnittvorgang im Feingefüge

Einfluß der Wärmebehandlung



POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

<https://av.tib.eu/media/12615>



POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Čelik iz eksperimenta:

Oznake:

DIN: Ck45
W.Nr. 1.1191
Stara oznaka: Č1531

Kemijski sastav:

C 0,45%; Si 0,25%; Mn 0,65%; S <0,030%; nešto Pb

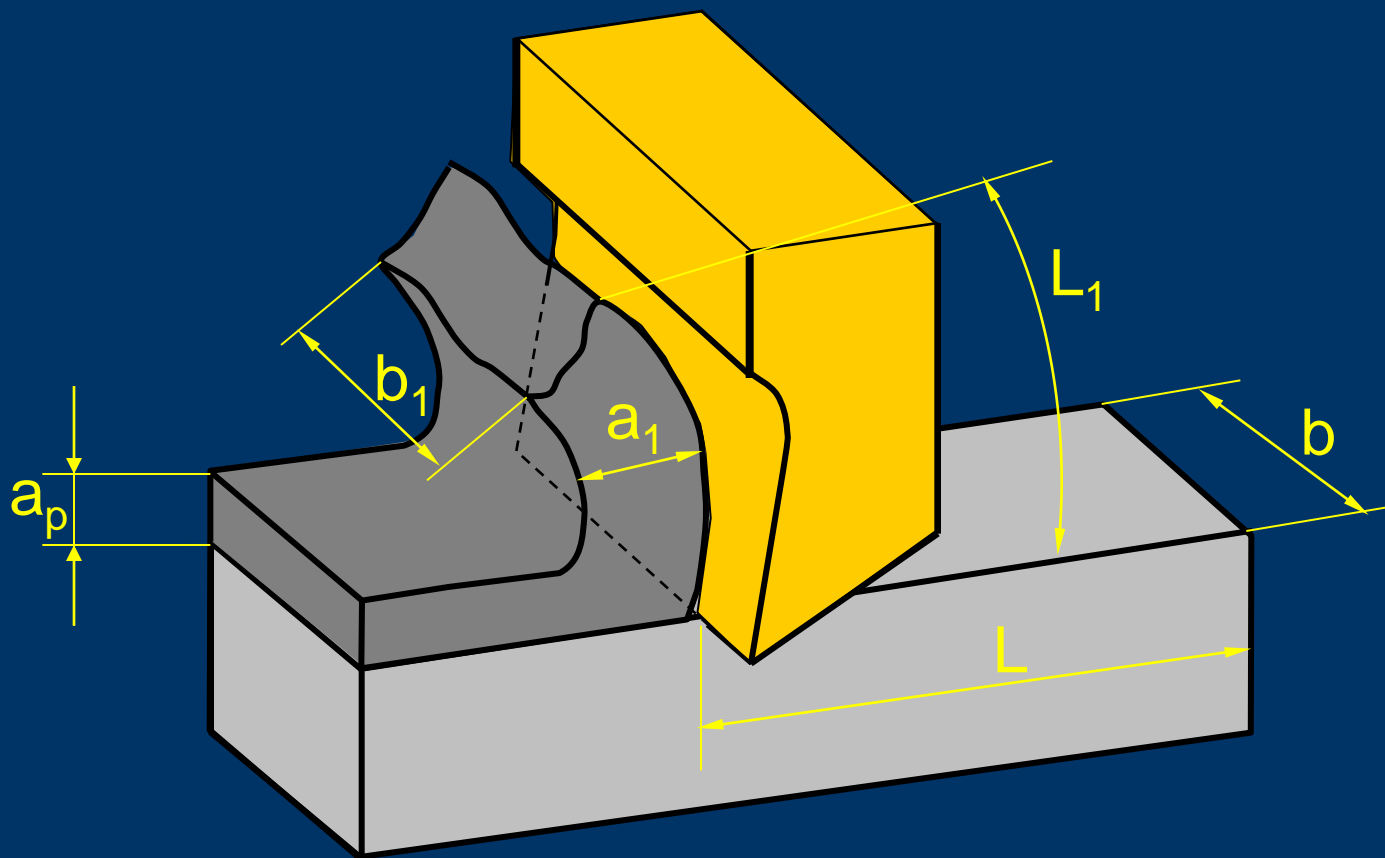
Primjena:

Obični ugljični čelik (nelegirani) za primjenu u strojogradnji i automobilskoj industriji.

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Koeficijenti deformacije



$$\theta_a = \frac{a_1}{a_p}$$

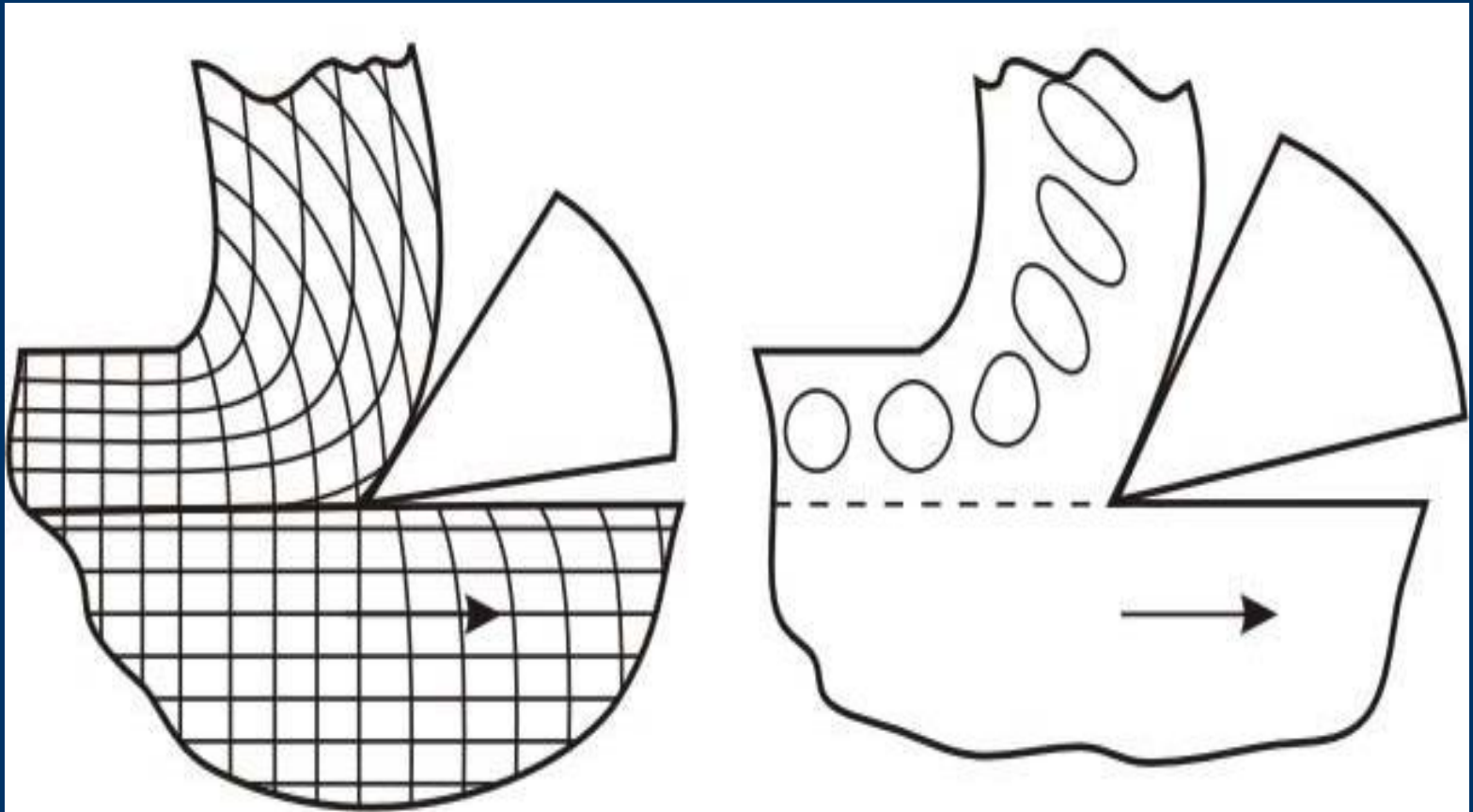
$$\theta_b = \frac{b_1}{b} \approx 1$$

$$\theta_L = \frac{L}{L_1}$$

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Koeficijenti deformacije

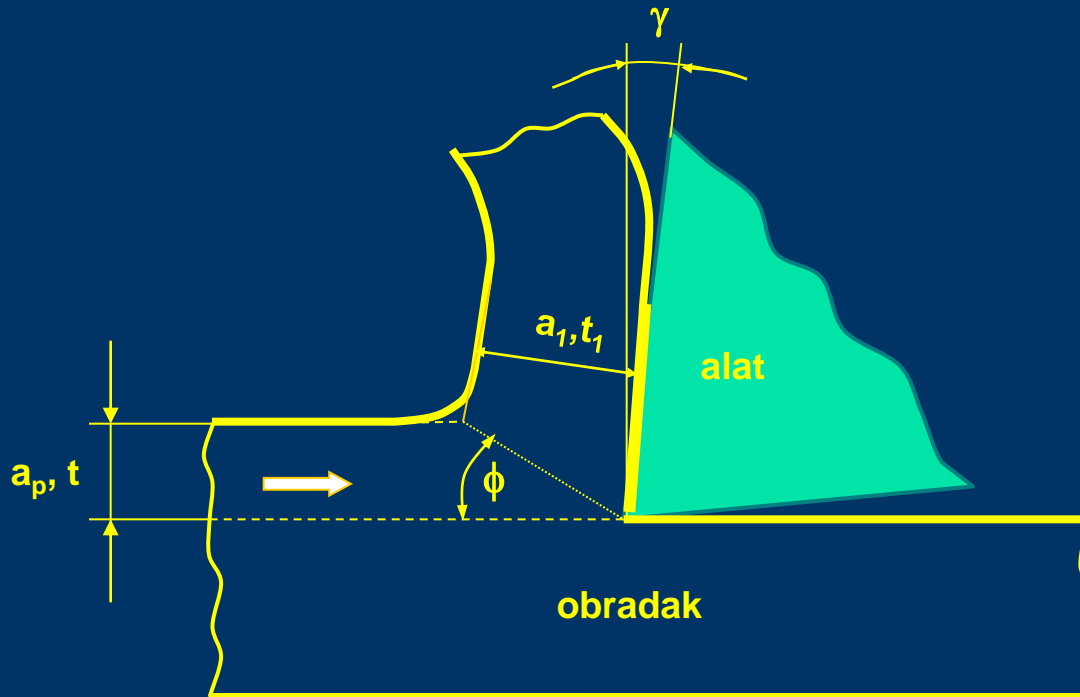


Skice smicanja

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Koeficijenti deformacije u ravnini



$$\theta = \frac{a_1}{a_p} = \frac{x \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \phi + \gamma\right)}{x \cdot \sin\phi} = \frac{\cos(\phi - \gamma)}{\sin\phi} = \frac{\cos\gamma}{\tan\phi} + \sin\gamma \quad \rightarrow \quad \tan\phi = \frac{\cos\gamma}{\theta - \sin\gamma}$$



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Pojava srha kod obrade odvajanjem

Postupcima obrade odvajanjem se obratku dodaje nova vrijednost.

Međutim, u određenim uvjetima, prilikom formiranja odvojene čestice, odnosno općenito pri obradi, nastaje srh. U većini slučajeva srh je potrebno ukloniti, pa se tada primjenjuju neke operacije za koje se ne može reći da obratku dodaju vrijednost.

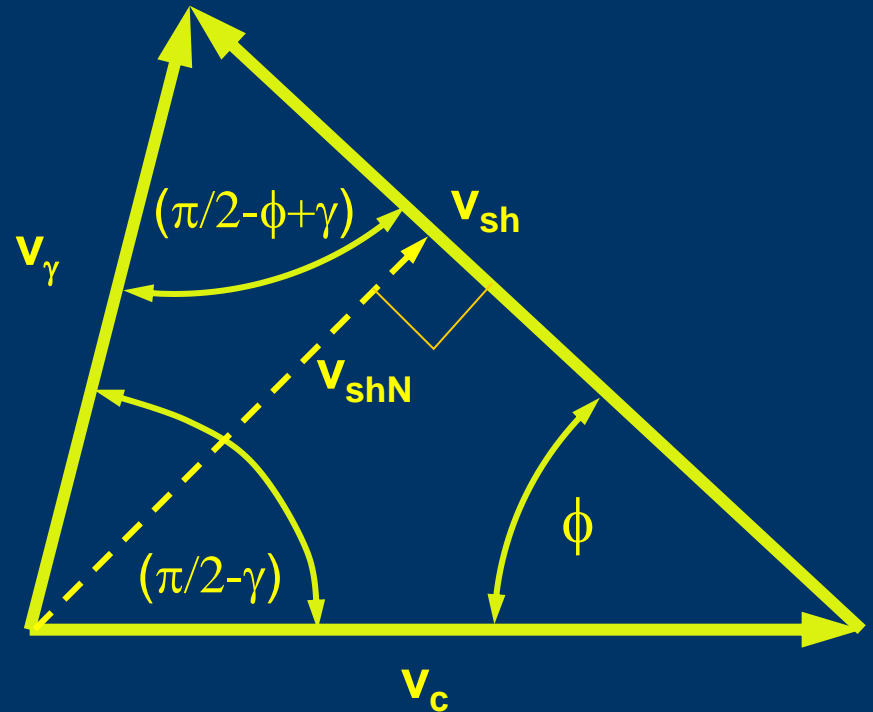
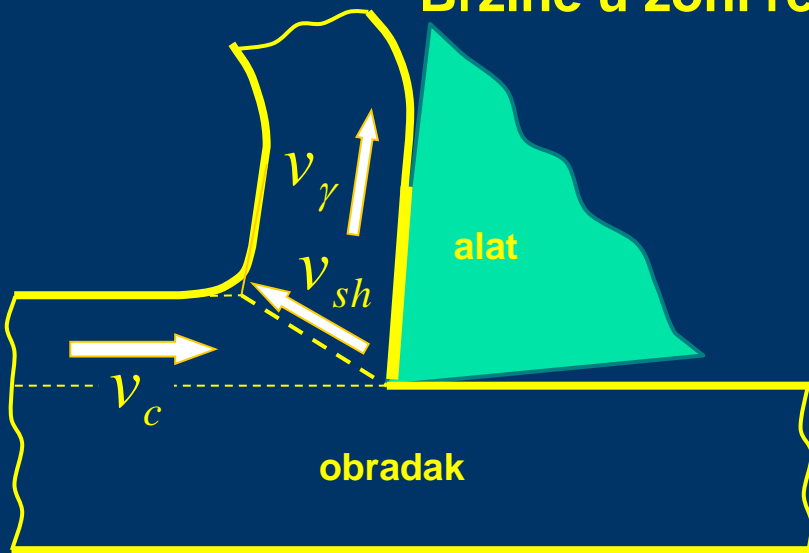
Predavanje o srhu će bit naknadno (možda kroz studentski seminar).

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Kinematika procesa

Brzine u zoni rezanja (trokut brzina)



$$v_{sh} = v_c \frac{\cos \gamma}{\cos(\phi - \gamma)}$$

$$v_\gamma = v_c \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \gamma)}$$

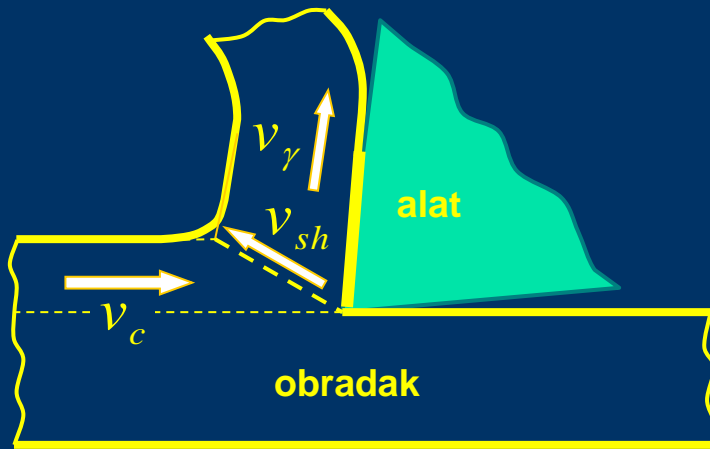
$$v_{shN} = v_c \sin \phi$$

$$\frac{v_c}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \phi + \gamma\right)} = \frac{v_{sh}}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right)} = \frac{v_\gamma}{\sin \phi}$$

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Usporedba brzina u zoni rezanja



$$V_{sh} = V_c \frac{\cos \gamma}{\cos(\phi - \gamma)}$$

$$V_\gamma = V_c \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \gamma)}$$

$$V_{shN} = V_c \sin \phi$$

U području realnih vrijednosti kutova, brzine imaju jednak red veličina

$$\theta = \frac{a_1}{a_p} = \frac{\cos(\phi - \gamma)}{\sin \phi} \longrightarrow v_\gamma = \frac{V_c}{\theta}$$

Omjer između brzine rezanja i brzine čestica jednak je koeficijentu deformacije.

$$\left(a_p \cdot b \cdot v_c = a_1 \cdot b \cdot v_\gamma, \text{ uz } \frac{a_1}{a_p} = \theta \text{ i } b = b_1 \rightarrow v_\gamma = \frac{V_c}{\theta} \right)$$

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

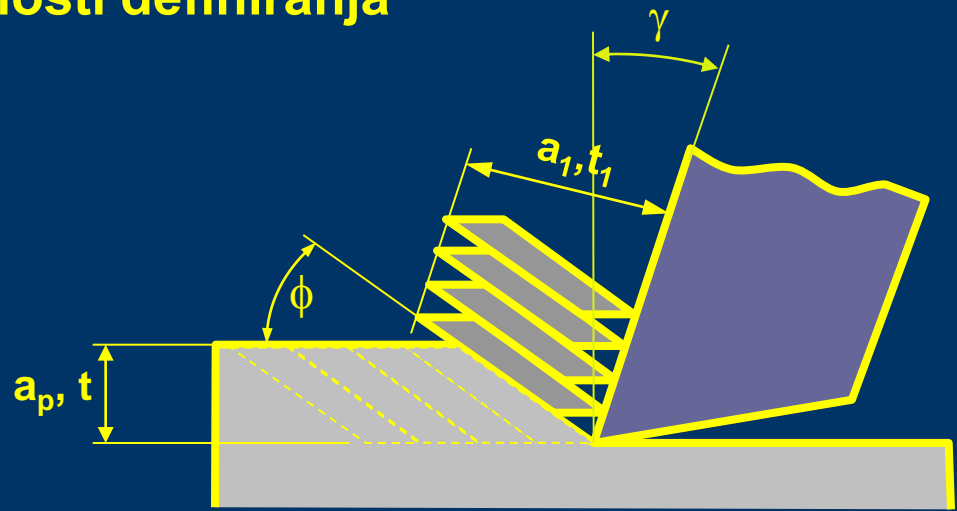
Relativno smicanje

Relativno smicanje – mogućnosti definiranja

a) $\gamma_c = f(\Delta sh, \Delta x)$

b) $\gamma_c = f(v_{sh}, v_{shN})$

c) $\gamma_c = f(\theta)$



U “card” modelu svaki element ima debljinu Δx , a po susjednom elementu se, tijekom formiranja čestice, “smakne” za pomak Δsh .

Relativno smicanje – mogućnosti definiranja i krajnji izrazi

a) $\gamma_c = f(\Delta sh, \Delta x)$ $\gamma_c = \frac{\Delta_{sh}}{\Delta_x} = ctg\phi + tg(\phi - \gamma)$

b) $\gamma_c = f(v_{sh}, v_{shN})$ $\gamma_c = \frac{v_{sh}}{v_{shN}} = \frac{\cos\gamma}{\cos(\phi - \gamma) \sin\phi}$

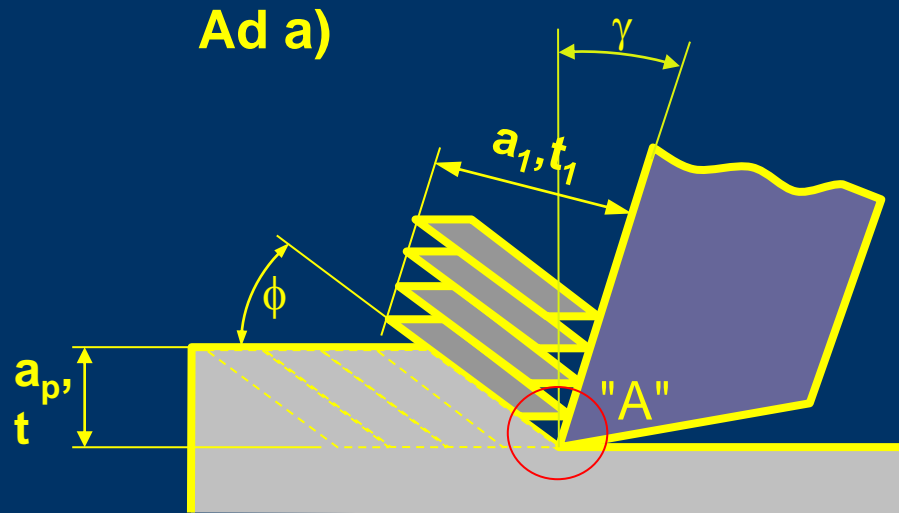
c) $\gamma_c = f(\theta)$ $\gamma_c = \frac{\theta^2 - 2\theta \sin\gamma + 1}{\theta \cos\gamma}$

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

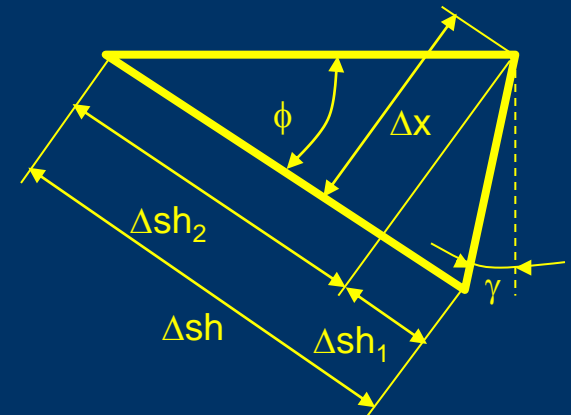
Teorija rezanja

Relativno smicanje

$$\gamma_c = f(\Delta sh, \Delta x)$$



Detalj "A"



$$\gamma_c = \frac{\Delta sh}{\Delta x} = \frac{\Delta sh_1 + \Delta sh_2}{\Delta x} = \frac{\Delta x \operatorname{tg}(\phi - \gamma) + \Delta x \operatorname{ctg} \phi}{\Delta x} = \operatorname{tg}(\phi - \gamma) + \operatorname{ctg} \phi$$

$$\frac{d\gamma_c}{d\phi} = \frac{d}{d\phi} [\operatorname{tg}(\phi - \gamma) + \operatorname{ctg} \phi] = \frac{1}{\cos^2(\phi - \gamma)} - \frac{1}{\sin^2 \phi}$$

$$\frac{d\gamma_c}{d\phi} = 0 \Rightarrow \phi = \frac{\pi}{4} + \frac{\gamma}{2}$$

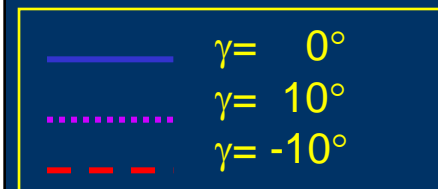
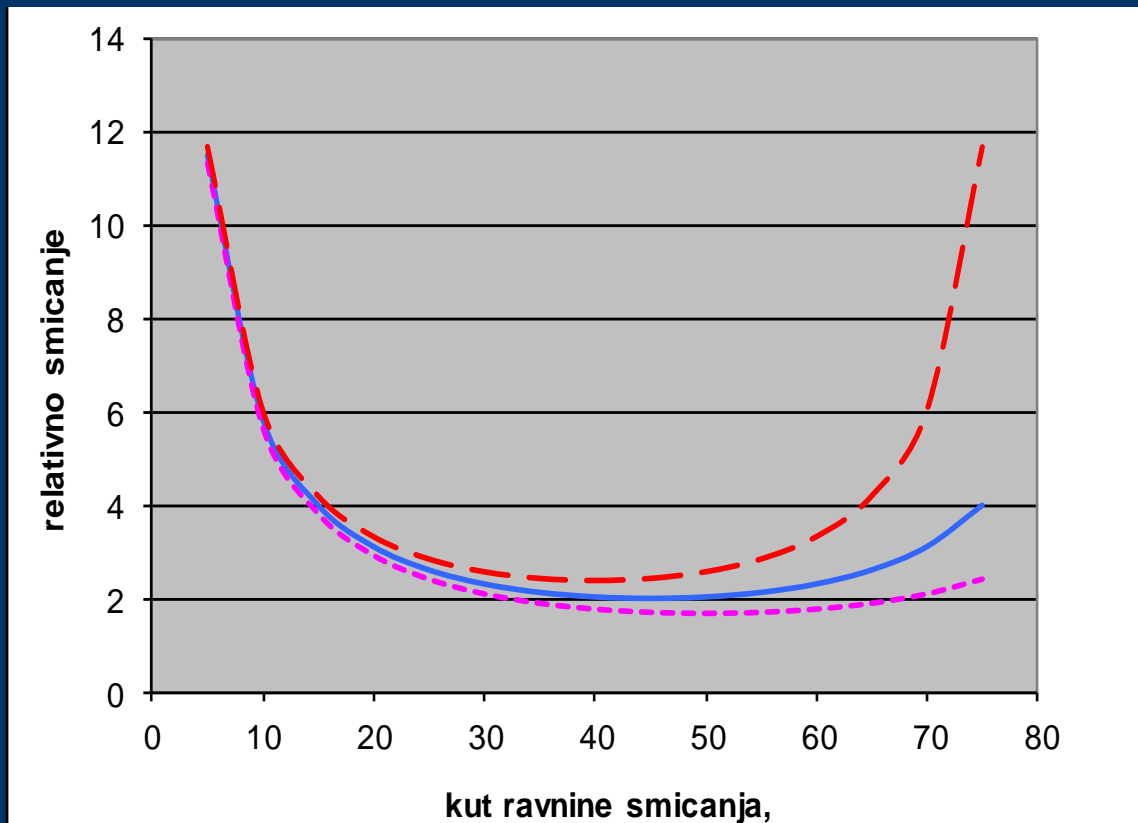
Kako je u praksi $\theta > 1$, „stvarni” kut ϕ nema vrijednost $(\pi/4 + \gamma/2)$.

Zašto ??

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Relativno smicanje



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

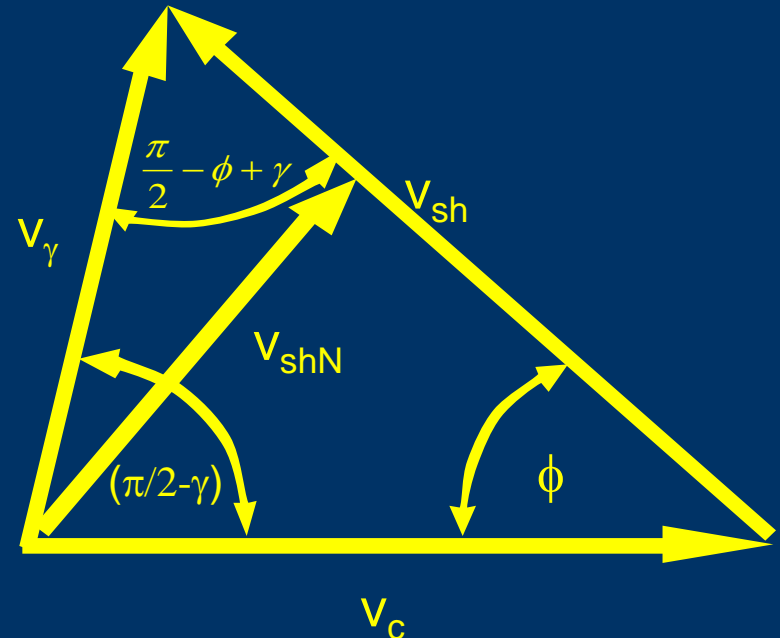
Teorija rezanja

Relativno smicanje $\gamma_c = f(v_{sh}, v_{shN})$

Ad b)

$$\gamma_c = \frac{v_{sh}}{v_{shN}} = \frac{v_c \frac{\cos \gamma}{\cos(\phi - \gamma)}}{v_c \sin \phi}$$

$$\gamma_c = \frac{\cos \gamma}{\sin \phi \cos(\phi - \gamma)}$$



$$\frac{d\gamma_c}{d\phi} = \frac{d}{d\phi} \left[\frac{\cos \gamma}{\cos(\phi - \gamma) \sin \phi} \right] = \frac{-[-\sin(\phi - \gamma) \sin \phi + \cos(\phi - \gamma) \cos \phi] \cos \gamma}{\cos^2(\phi - \gamma) \sin^2 \phi}$$

$$\frac{d\gamma_c}{d\phi} = 0 \Rightarrow \phi = \frac{\pi}{4} + \frac{\gamma}{2}$$

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Relativno smicanje $\gamma_c = f(\theta)$

Ad c)

Uvrštavanjem $\theta = \frac{\cos(\phi - \gamma)}{\sin \phi} = \frac{\cos \gamma}{\operatorname{tg} \phi} + \sin \gamma$ u $\gamma_c = \frac{v_{sh}}{v_{shN}} = \frac{\cos \gamma}{\cos(\phi - \gamma) \sin \phi}$

dobije se: $\gamma_c = \frac{\cos \gamma}{\theta \sin^2 \phi}$

Uvrštavanjem $\sin \phi = \frac{\operatorname{tg} \phi}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \phi}}$ i $\operatorname{tg} \phi = \frac{\cos \gamma}{\theta - \sin \gamma}$ dobije se

$$\gamma_c = \frac{\cos \gamma}{\theta \left(\frac{\operatorname{tg}^2 \phi}{1 + \operatorname{tg}^2 \phi} \right)} = \frac{\cos \gamma (1 + \operatorname{tg}^2 \phi)}{\theta \cdot \operatorname{tg}^2 \phi} = \frac{\cos \gamma \left[1 + \frac{\cos^2 \gamma}{(\theta - \sin \gamma)^2} \right]}{\theta \left[\frac{\cos^2 \gamma}{(\theta - \sin \gamma)^2} \right]} = \frac{\cos \gamma \left[\frac{(\theta - \sin \gamma)^2 + \cos^2 \gamma}{(\theta - \sin \gamma)^2} \right]}{\frac{\theta \cdot \cos^2 \gamma}{(\theta - \sin \gamma)^2}} = \frac{\cos \gamma [(\theta - \sin \gamma)^2 + \cos^2 \gamma]}{\theta \cdot \cos^2 \gamma}$$

te konačno $\gamma_c = \frac{\theta^2 - 2\theta \sin \gamma + 1}{\theta \cos \gamma}$

Relativno smicanje

Deriviranjem $\frac{d\gamma_c}{d\theta} = \frac{d}{d\theta} \left(\gamma_c = \frac{\theta^2 - 2\theta \sin \gamma + 1}{\theta \cos \gamma} \right)$

dobije se: $\frac{d\gamma_c}{d\theta} = \frac{\theta^2 \cos \gamma - \cos \gamma}{\theta^2 \cos^2 \gamma} = \frac{\theta^2 - 1}{\theta^2 \cos \gamma}$

Izjednačavanjem prve derivacije s 0, dobije se $\frac{d\gamma_c}{d\theta} = 0 \Rightarrow \theta = 1$

Najmanja vrijednost relativnog smicanja dobije se pri $\theta=1$, neovisno o kutu γ .

Za kut prednje površine alata $\gamma=0$, najmanje relativno smicanje iznosi, $\gamma_c=2$.

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Intenzitet, brzina deformacije u smičnoj zoni, v_{def}

$$v_{def} = \frac{\gamma_c}{t_{def}}$$

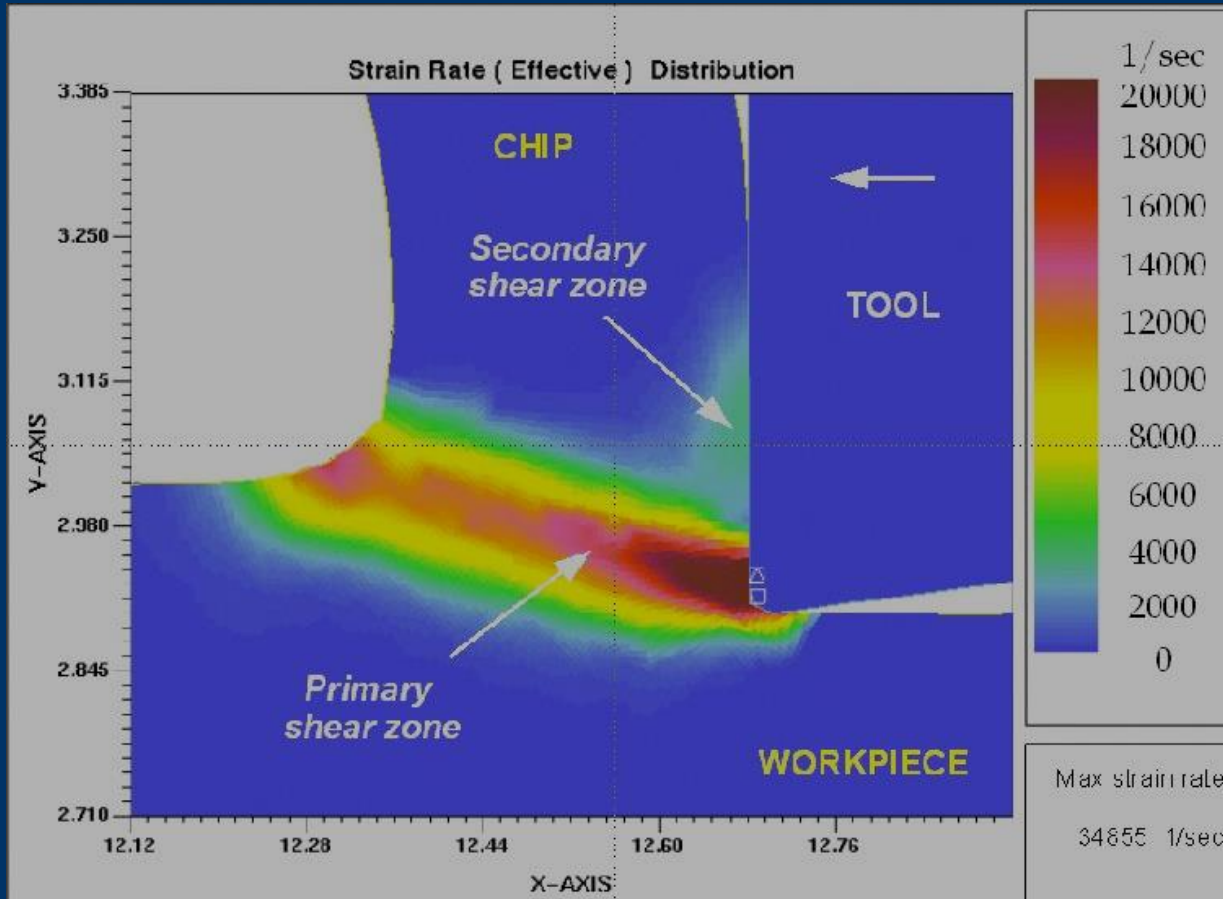
Uvrštavanjem izraza za relativno smicanje $\gamma_c = \frac{\Delta sh}{\Delta x}$

$$v_{def} = \frac{\frac{\Delta sh}{\Delta x}}{t_{def}} = \frac{\Delta sh}{t_{def} \cdot \Delta x} = v_{sh} \cdot \frac{1}{\Delta x}, \text{ s}^{-1}$$

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Brzina deformacije u smičnoj zoni, v_{def}





POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Teorija rezanja – povijest

Prema nekim autorima (Paul H. Blacka “Theory of Metal Cutting”, 1961.) obrada odvajanjem počinje prije 600,000 – 1,000,000 godina u Africi. Razvoj ide dalje kroz doba Starog Egipta (4000 p.K.). Današnje spoznaje uglavnom se temelje na dostignućima od 19 stoljeća do današnjih dana. Značajniji autori 19-og stoljeća su:

Time (formiranje čestice smicanjem); **Treska** (formiranja čestice uslijed tlačnog djelovanja alata na sloj ispred. Danas smatramo da tlačno naprezanje prethodi smicanju.); **Mallock**; **Briks**; **Reuleaux**; **Zvorykin**; **Zorev**; **Taylor**; **Ernst**; **Merchant**; **Lee**; **Shafer**; **Rubenstein**; **Oxley**; **Hastings**; **Dewhurst**

Formiranje čestice – drugi pristupi

Prikazani izrazi vezani za formiranje i deformaciju odvojene čestice zasnivaju se na modelu koji formiranje čestice objašnjava smicanjem u jednoj smičnoj ravnini. Obzirom da se rezultati eksperimenata nisu baš podudarali s modelskim vijednostima, te da postoji više teorijskih (fizikalnih) nejasnoća, razvijen je i niz drugačijih pristupa. Pristup s jednom smičnom ravninom je svakako najčešći i najjednostavniji.

Formiranje čestice – pristupi

Mogući pristupi (metode):

- **Analitički**
- **Numerički (modeliranje)**
- **Eksperimentalni**

Formiranje čestice – pristupi

Mogući pristupi (metode):

“Teorija je nešto što ne vjeruje nitko osim osobe koja ju je razvila. Eksperiment je nešto što vjeruju svi osim osobe koja ga je izvela.”

Pripisuje se Albert-u Einstein-u

Formiranje čestice – pristupi

Mogući pristupi (metode):

“Teorija ima samo dva ishoda ili je točna ili je pogrešna. Model ima i treću mogućnost; može biti točan ali potpuno nevažan (irelevantan).”

Manfred Eigen

Manfred Eigen, fizičar, rođen 1927 u Bochumu; 1967 dobio Nobelovu nagradu za kemiju.

Formiranje čestice – pristupi

Analitički pristup (metode) :

Najčešće zahtijeva neka pojednostavljenja i pretpostavke kako bi se postavile i rješile ovisnosti ulaznih i izlaznih veličina (najčešće opisane kao parcijalne diferencijalne jednačbe). To obično znači postavljanje kvazi-statičkih stanja, pojednostavljenja u geometriji i rubnim uvjetima, homogenost i sl.

Formiranje čestice – pristupi

Numerički pristupi (metode):

Točnost ovisi o mreži i udaljenosti među čvorovima mreže što u nekim slučajevima znači da će se točnost “platiti” vremenom obrade, stabilnošću i opasnošću od akumulacije pogreške.

Formiranje čestice – pristupi

Eksperimentalni pristupi (metode):

Ekperimentalne tehnike su ograničene točnošću i drugim ograničenjima senzora i primjenjene opreme.

Formiranje čestice – pristupi

Mogući pristupi (metode):

Dok eksperimenti otkrivaju (osvjetljavaju) samo određene značajke nekoga procesa, teorija omogućuje (dozvoljava) primjenu općih zakonitosti doprinoseći fundamentalnom razumjevanju procesa.

Rosenthal

Formiranje čestice – pristupi

Simulacija obrade na razini atoma:

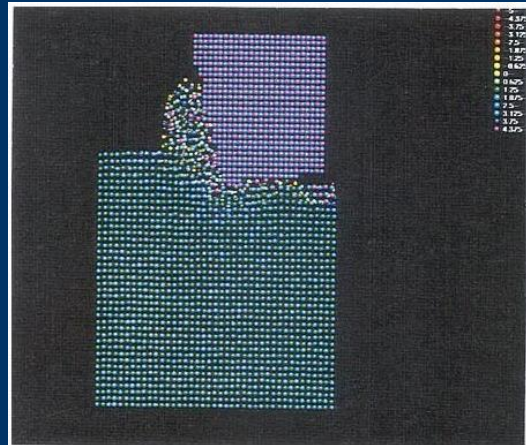
1. Obrada na nano razini neželjeznih materijala (Al, Cu) i materijala poznate orijentacije kristalne rešetke i poluvodičkih materijala kao što je silicij.
2. Djelovanje parametara procesa (kao što su kut prednje površine, polumjer vrha alata, dubina obrade) na sile rezanja, omjere među silama i specifičnu energiju.
3. “Kosa” obrada.

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

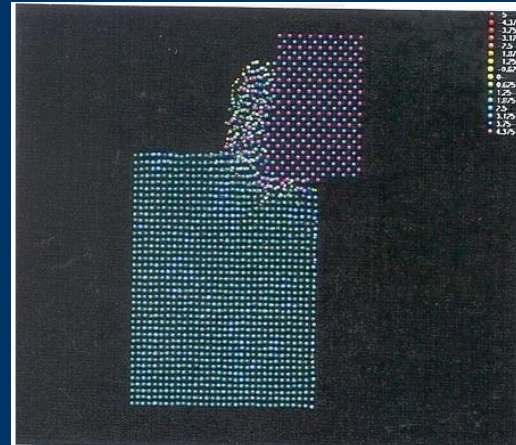
Teorija rezanja

Simulacija obrade na razini atoma

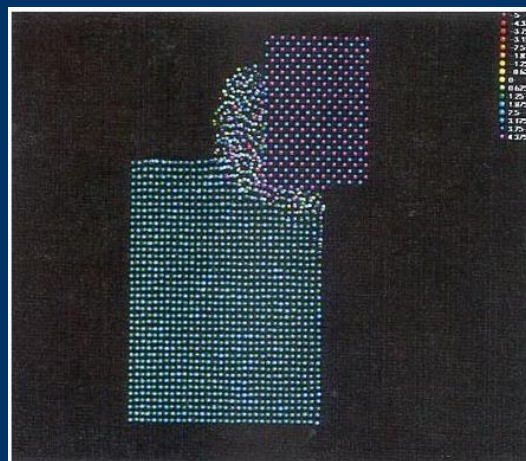
$\gamma = -15^\circ$



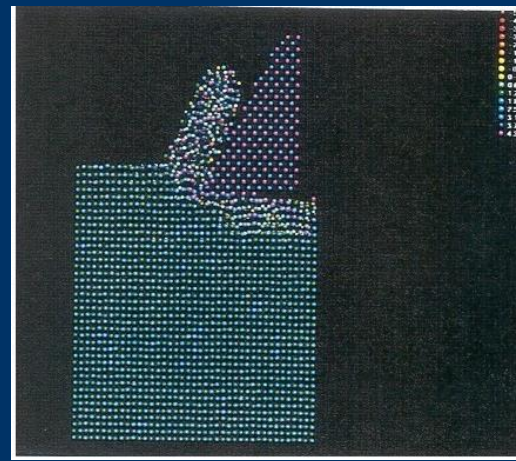
$\gamma = 5^\circ$



$\gamma = 0^\circ$



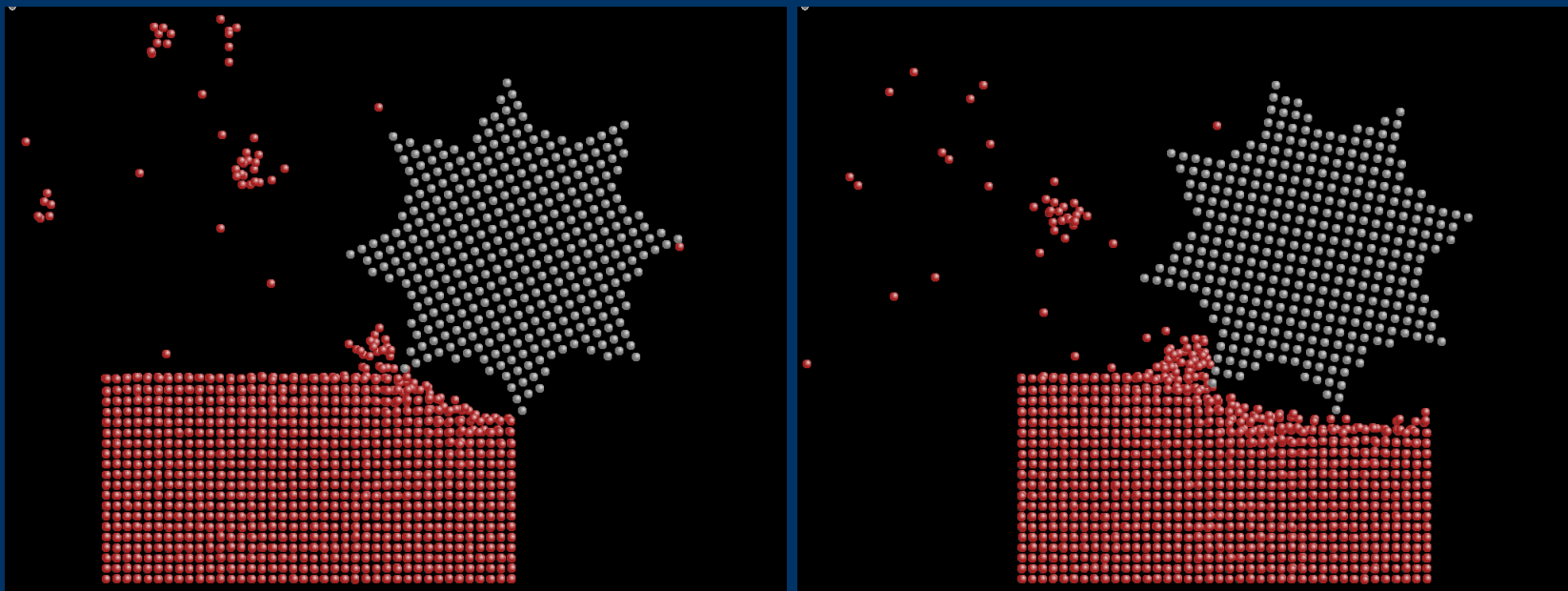
$\gamma = 30^\circ$



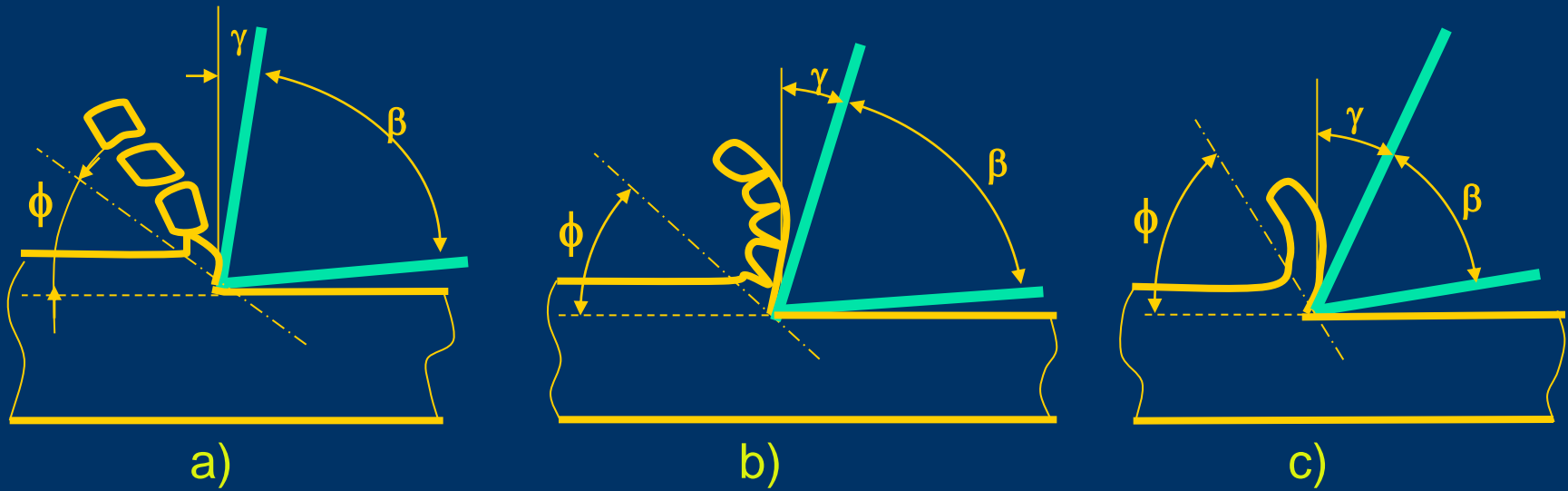
POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Simulacija obrade na razini atoma - glodanje



Oblici odvojene čestice

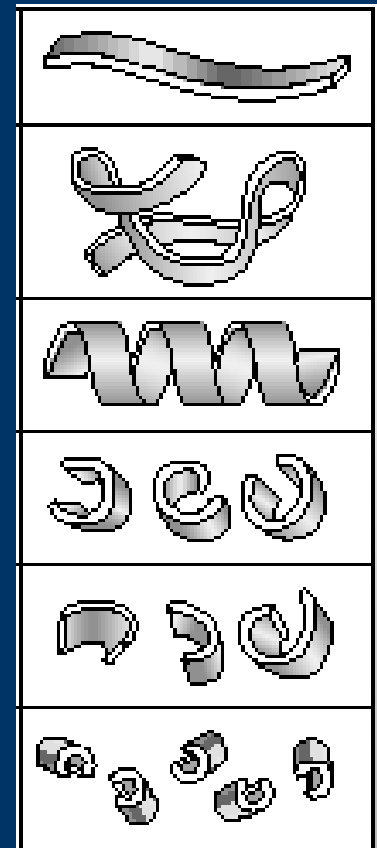


- a) - lomljena (elementarna) odvojena čestica
- b) - nasječena (lamelarna) odvojena čestica (više lamela zajedno)
- c) - tekuća (kontinuirana) odvojena čestica

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

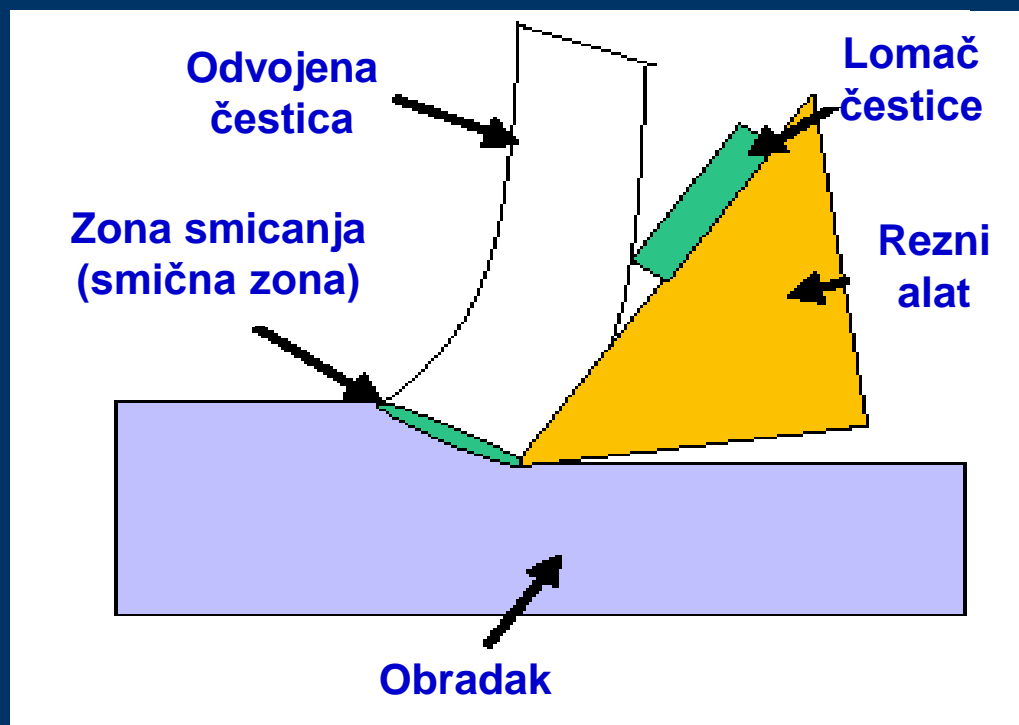
Oblik odvojene čestice – ovisnost o a_p i f



POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

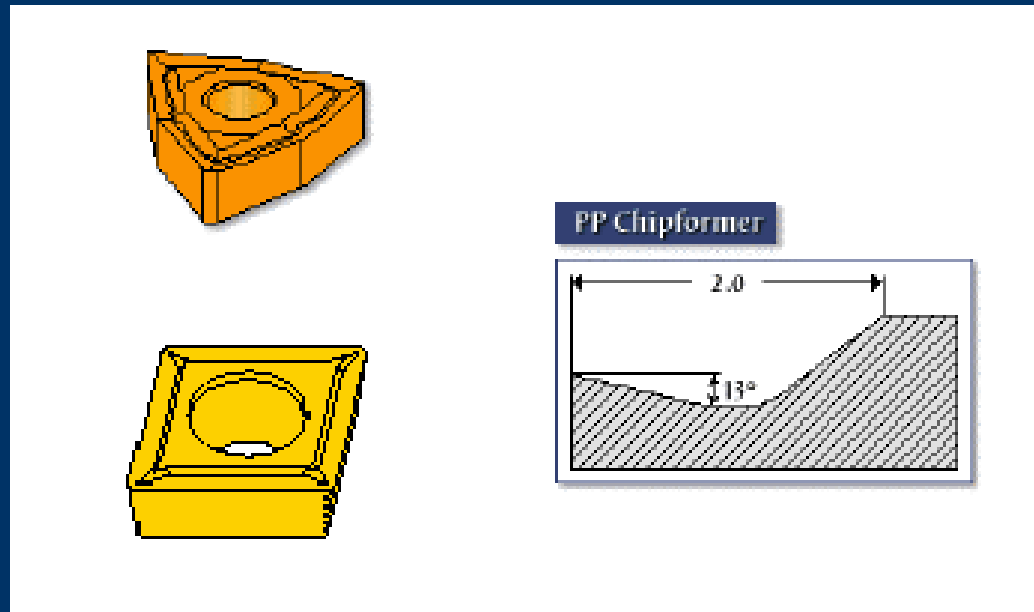
Oblik odvojene čestice – vanjski lomač



POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Oblik odvojene čestice – integrirani lomač



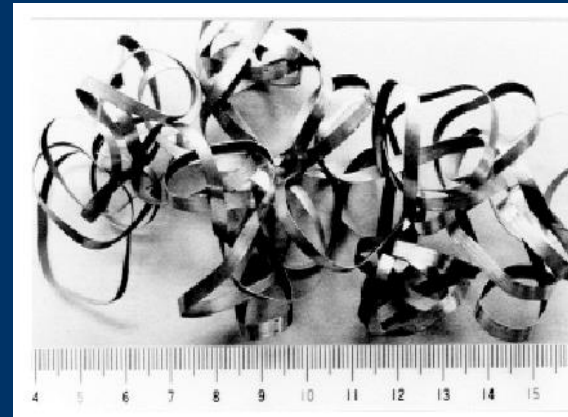
POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Oblik odvojene čestice – foto prikaz



**a) Lomljena i segmentirana
(nekontinuirana)**



b) Kontinuirana

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Teorija rezanja

Metode lomljenja odvojene čestice

