

Úvod do technológií obrábania

technológia tvorí grécke slovo

techné = umenie, majstrovstvo

logos = slovo, učenie.



TECHNOLÓGIE SPRACOVANIA MATERIÁLOV- VÝROBNÉ PROCESY

- **klasické metódy (mechanické princípy) – sústruženie, frézovanie, vŕtanie, brúsenie ...**
- **nekonvenčné metódy (fyzikálne a chemické princípy) – obrábanie laserovým lúčom, plazmovým lúčom, vodným lúčom,...**
- **inovované metódy - Hard Machining, High Speed Cutting,...**

TECHNOLÓGIE SPRACOVANIA MATERIÁLOV- VÝROBNÉ PROCESY

- **klasické metódy (mechanické princípy) – sústruženie, frézovanie, vŕtanie, brúsenie ...**
- **nekonvenčné metódy (fyzikálne a chemické princípy) – obrábanie laserovým lúčom, plazmovým lúčom, vodným lúčom,...**
- **inovované metódy - Hard Machining, High Speed Cutting,...**

Pri voľbe metódy obrábania je potrebné pre každú metódu poznať tieto charakteristiky:

- druh obrábaného a rezného (nástrojového) materiálu,
- dosahovanie kvality obrobeného povrchu,
- sériovosť súčiastok (počet súčiastok vo výrobnnej dávke),
- možnosti výrobného zariadenia,
- rezné prostredie (podmienky chladenia, ...),

Základné pojmy

Technologický proces je časť výrobného procesu a zahŕňa činnosti na zmenu stavu výrobkov.

Technologická operácia je uzatvorená časť technologického procesu, vykonávaná na jednom pracovnom mieste.

Obrábanie - je technologický proces, pri ktorom dostáva ne požadovaný tvar a rozmer obrobku postupným odoberaním materiálu (prídavku na obrábanie) z polovýrobku.

Rezanie - oddeľovanie materiálu formou triesky, ktoré sa realizuje rezným klinom nástroja.

TECHNOLOGICKÁ SÚSTAVA (SNOP):

Stroj – Nástroj – Obrobok – Prípravok

Technologická sústava (SNOP):

Stroj – Nástroj – Obrobok – Prípravok

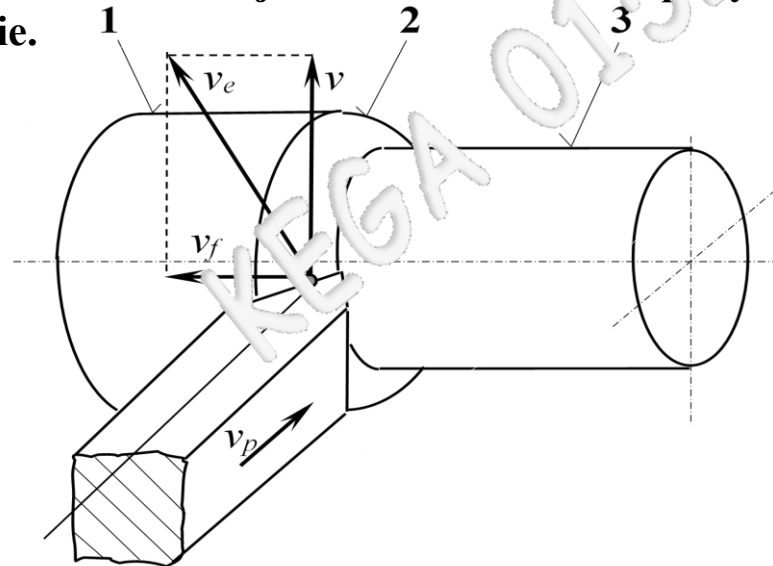
Obrobok – je obrábaný alebo už obrobenej predmet (polovýrobok).

Plochy na obrobku:

- **obrábaná plocha** časť povrchu obrobku odstraňovaná nástrojom,
- **obrobená plocha** je plocha obrobku, ktorá vznikla obrábaním,
- **plocha rezu** je plocha obrobku vznikajúca tesne za rezným klinom nástroja

Rezný pohyb - je relatívny pohyb medzi nástrojom a obrobkom.

Hlavný pohyb - je zložka rezného pohybu, ktorá sa zhoduje so základným pohybom obrábacieho stroja. Vykonáva ho nástroj alebo obrobok. Je to pohyb, na ktorý sa spotrebuje najväčšie množstvo energie.



Dráha vytvorená relatívnym pohybom nástroja voči obrobku:

- *Priamka* – hobl'ovanie, pret'ahovanie,
- *Skrutkovica* – sústruženie, vrtanie,
- *Cykloida* – frézovanie, brúsenie...

Hlavný rezný pohyb:

- *Rotčný*
- *Priamočiary*
- *Priamočiary – vratný*

Hlavné rezné parametre: v_c, f, a_p

Posuv f (mm) - je pohyb nástroja alebo obróbku, prípadne obidvoch, ktorý spolu s hlavným pohybom umožňuje postupné odoberanie triesok. Spravidla sa koná v smere kolmom na smer hlavného pohybu. Je to vzdialenosť, o ktorú sa nástroj posunie v smere posuvu za jednu otáčku (minútu, zub)

Hĺbka rezu a_p (mm) - kolmá vzdialenosť medzi obrobenou a obrábanou plochou.

Rezná rýchlosť v_c (m.min⁻¹) je rýchlosť rezného pohybu – obyčajne sa za reznú rýchlosť počíta rýchlosť hlavného pohybu.

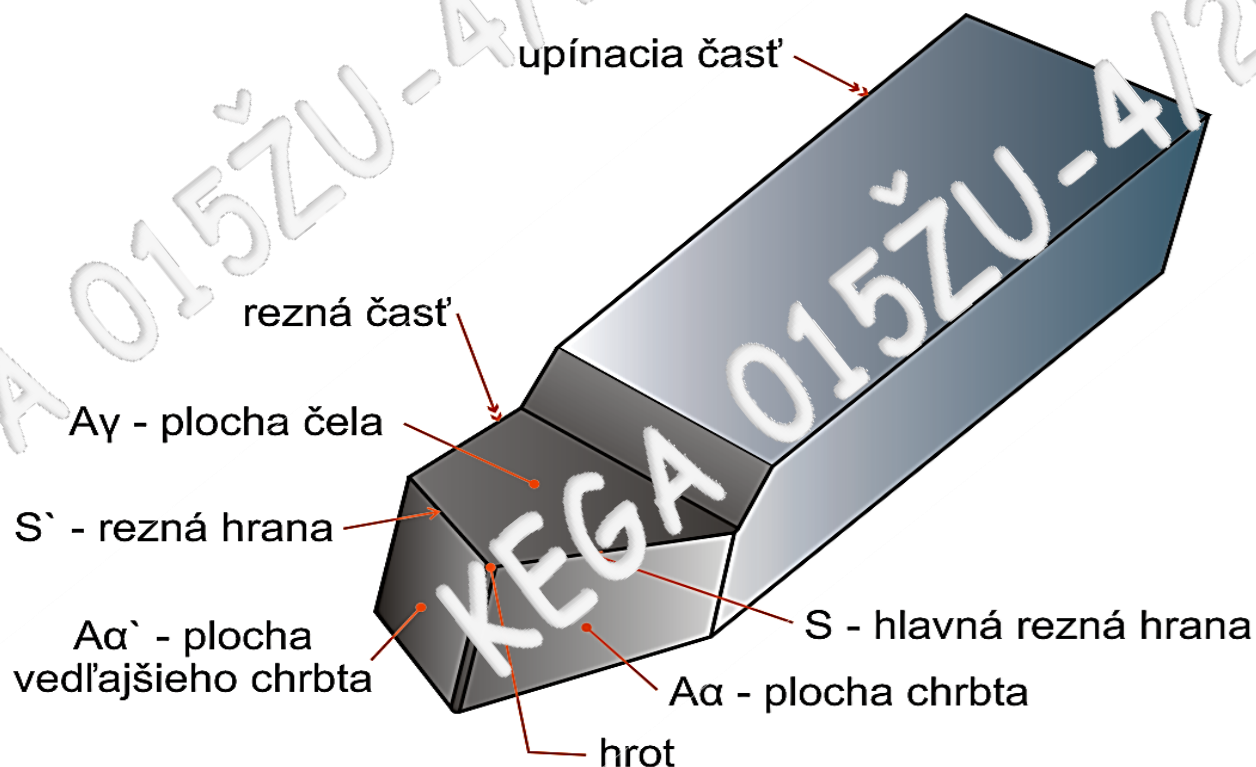
$$v_c = \frac{\pi D n}{1000} \quad (\text{m.min}^{-1})$$

$$v_c = \frac{\pi D n}{60 \cdot 1000} \quad (\text{m.s}^{-1})$$

D (mm) – najväčší priemer obróbku pri sústružení alebo nástroja pri frézovaní a vŕtaní,

n (min⁻¹) - počet otáčok nástroja alebo obróbku za minútu

Rezný nástroj – aktívny činiteľ procesu rezania



Geometria nástroja

Nástrojová súradnicová sústava – statická – uhly geometrické

pracovná súradnicová sústava – kinematická – uhly pracovné (technologické)

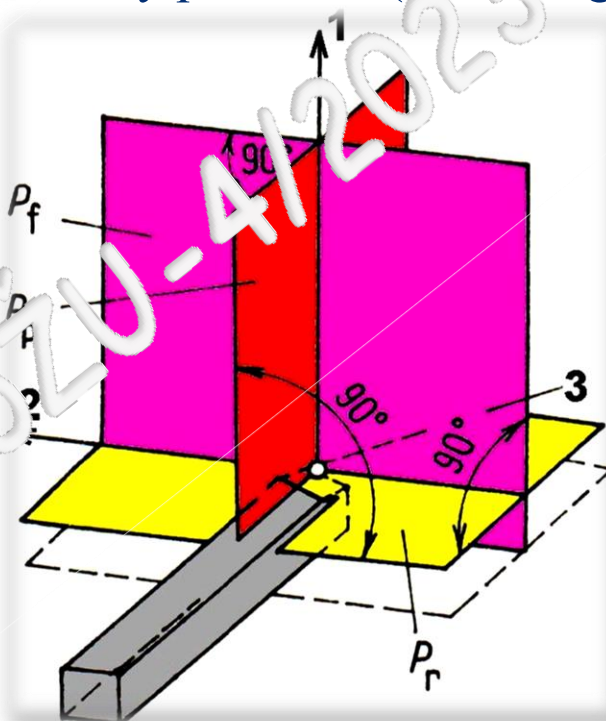
Nástroj podľa počtu rezných klinov:

- ▶ **jednoklinový** (sústružnícky, ťažár),
- ▶ **dvojklinový** (vrták),
- ▶ **viacklinový** (fréza, brusny kotúč, pilník)

NÁTROJOVÉ SÚRADNICOVÉ ROVINY STATICKE

Definícia nástrojových rovín

Názov	Označenie	Definícia
Nástrojová rovina základná	P_r	$\perp k \vee$
Nástrojová rovina bočná	P_f	$// \underline{v_f}, \perp P_r \text{ a } // \underline{v_f}$
Nástrojová rovina zadná	P_z	$\perp P_r \text{ a } P_f$
Nástrojová rovina hlavnej reznej hrany	P_s	$\ni S \perp P_r$
Nástrojová rovina normálová	P_n	$\perp k \text{ S}$
Nástrojová rovina <u>ortogonálna</u>	P_o	$\perp P_r \text{ a } P_s$



Nástrojová súradnicová sústava

1 - smer hlavného pohybu,

2 - smer posuvu,

3 - uvažovaný bod na reznej hrane

Názov	Označenie	Uhol medzi rovinami	v rovine
Uhol nastavenia hlavnej reznej hrany	χ_r	$P_s - P_f$	P_r
Uhol nastavenia doplnkový	ψ_r	$P_s - P_o$	P_r
Uhol sklonu hlavnej reznej hrany	λ_s	$S - P_r$	P_s
Uhol hrotu nástroja	ε_r	$P_s - P_s'$	P_r
Uhol čela	γ_o	$A_\gamma - P_r$	P_o
Uhol najväčšieho spádu čela	γ_g	$A_\gamma - P_r$	P_x
Uhol chrbta	α_o	$A_\alpha - P_s$	P_o
Uhol najväčšieho spádu chrbta	α_b	$A_\alpha - P_s$	P_b
Uhol rezného klina	β_o	$A_\alpha - A_\gamma$	P_o
Uhol nastavenia vedľajšej reznej hrany	χ_r'	$P_s' - P_f$	P_r
Polomer hrotu noža	r_n	-	P_r
Polomer zaoblenia reznej hrany	r_x	-	P_x

Uhly v rovine základnej ($\varepsilon_r, \chi_r, \chi_r', \psi_r$):

Pre uhly v základnej rovine P_r platí:

$$\chi_r + \varepsilon_r + \chi_r' = 180^\circ$$

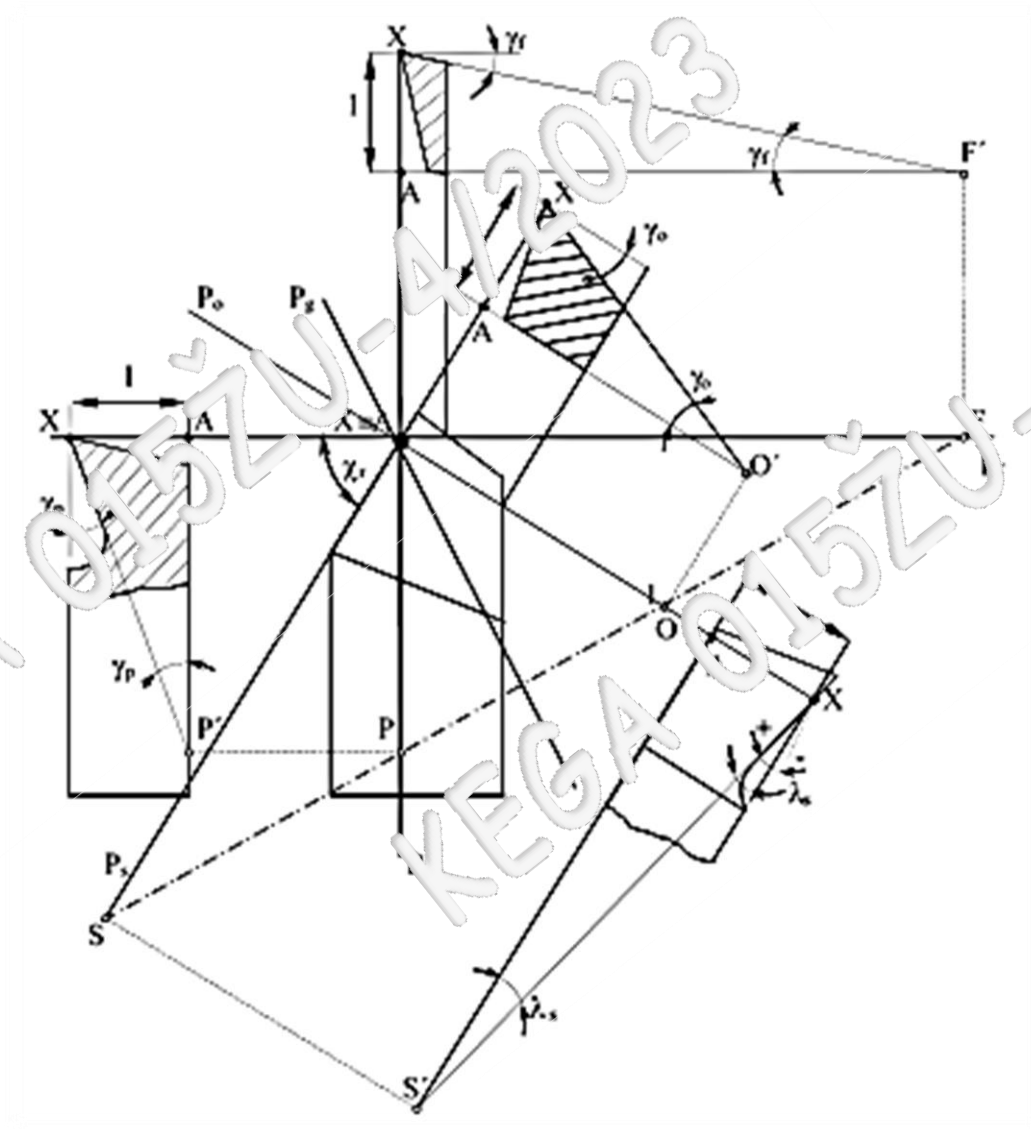
Uhly rezného klina – v ostatných rovinách ($\alpha, \beta, \gamma, \delta, \lambda$)

Pre každú reznú rovinu platí:

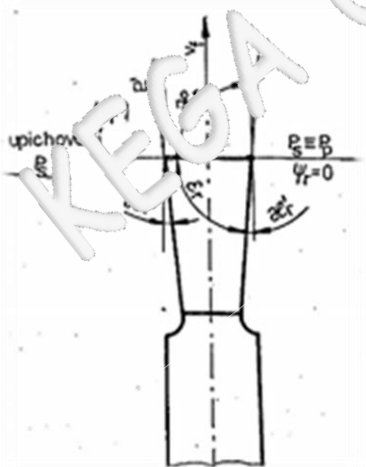
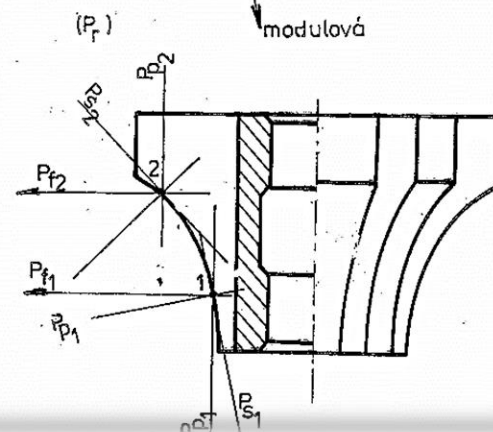
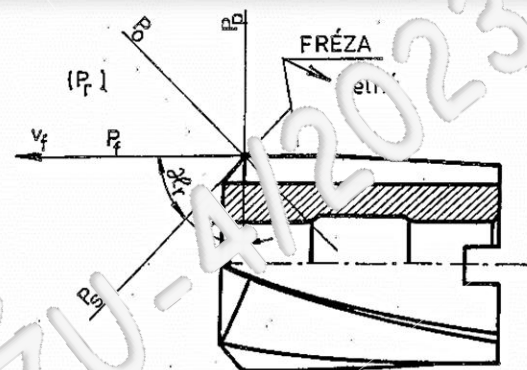
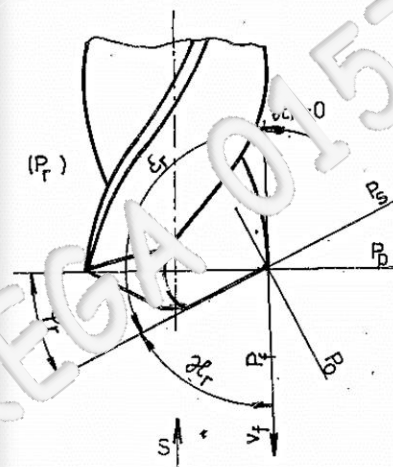
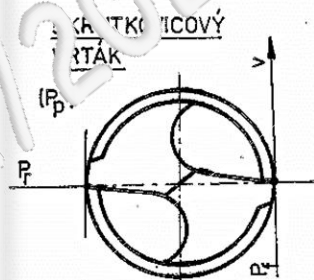
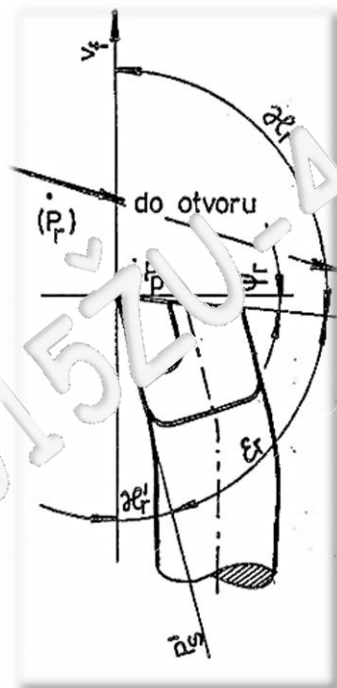
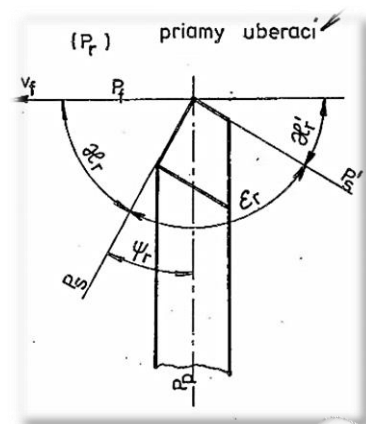
$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

λ_s - nástrojový uhol sklonu hlavnej reznej hrany

Roviny nástrojovej súradnej sústavy



Uhly a stopy rovín rôznych nástrojov

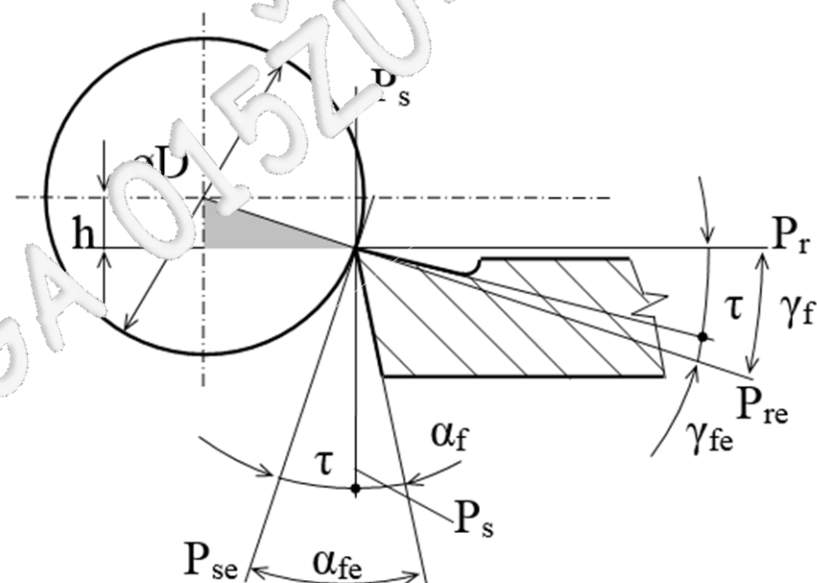
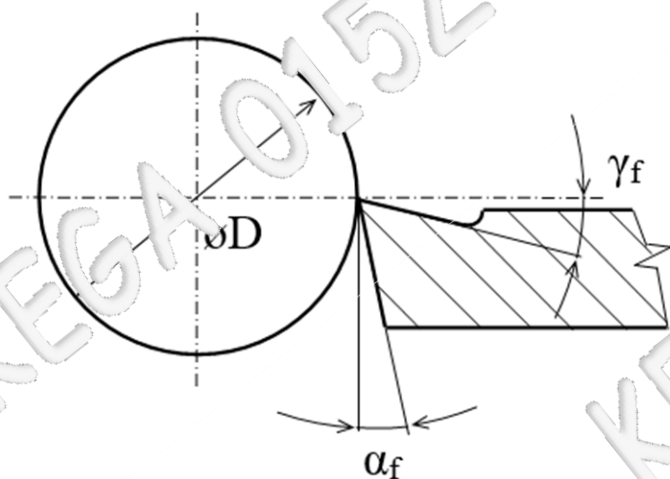


Pracovné roviny – P_{re} , P_{se} , P_{oe} , P_{fe} , P_{pe}

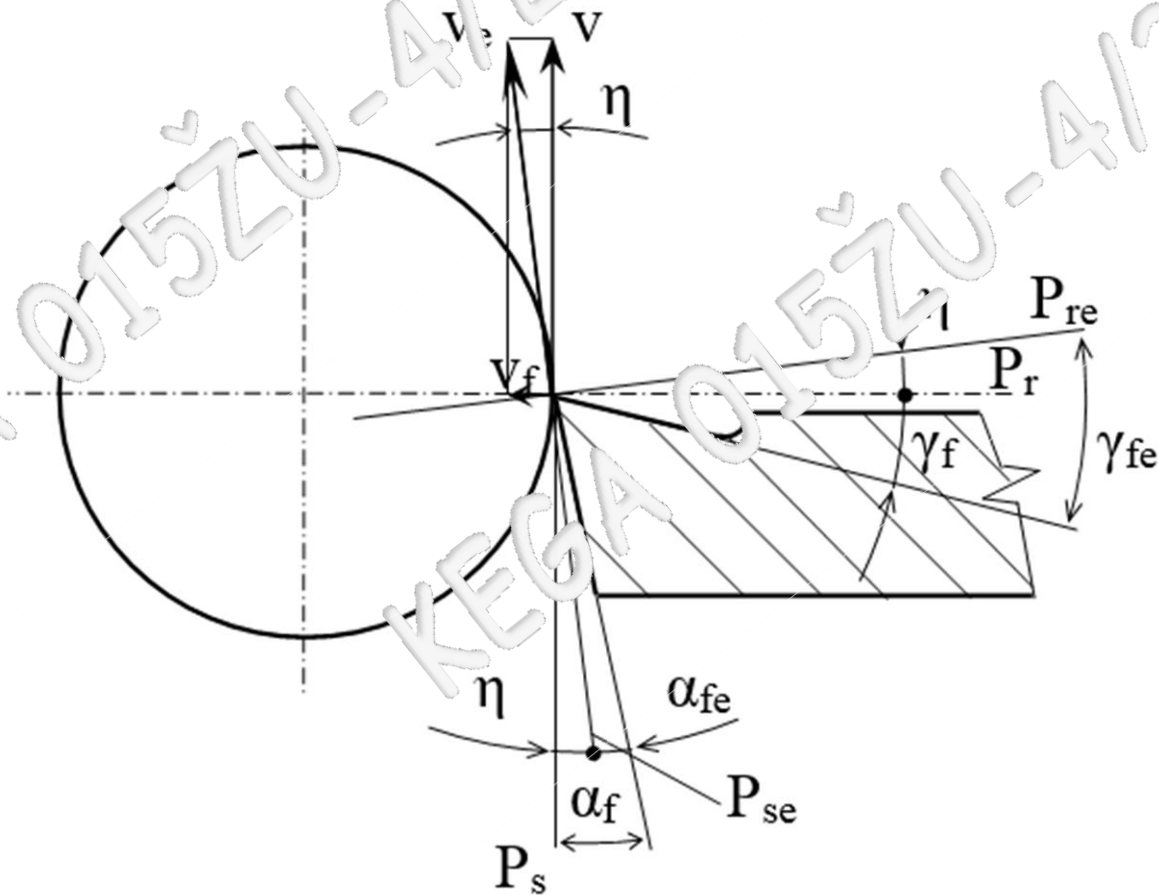
Uhly pracovné – technologické: α_{oe} , β_{oe} , γ_{oe}

Uhly geometrické sa menia na pracovné vplyvom:

- **Nastavenia hrotu nástroja voči osi obrobku,**
- **Kinematiky.**



Zmena nástrojových uhlov na pracovné vplyvom kinematickej zapichovacie nůž



Význam uhlov z hľadiska obrábania

- produktivita výroby,
- kvalita výroby,
- hospodárnosť,
- rezné sily,
- odvod triedky,
- optimálne rezné uhly.

Veľkosť uhlov závisí od:

- mechanických vlastností materiálu obrobku, tvaru, presnosti, *Ra*,
- rezných podmienok (v_c , f) - nastavenie nad, pod os,
- mechanických vlastností rezného (nástrojového) materiálu.

γ_o – (+45° až -15°), najväčší vplyv na proces obrábania,

↓ γ_o - ↑intenzita plastickej deformácie, ↑trenie triesky o čelo nástroja,
↑rezné sily, ↑opotrebovanie nástroja, ↓presnosť, ↓produktivita,
- γ_o - $R_m > 1000$ MPa, prerušované rezy

α_o - (+4° až +12°), ↓ α_o - ↑intenzita trenia medzi reznou plochou a čelom nástroja, ↑opotrebovanie, ↓trvanlivosť nástroja

β_o - udáva pevnosť rezného klina v ohybe

λ_s - (+20° až -40°), smer odchodu triesky, pevnosť rezného klina

χ_r - (+15° až 90°), vplýva na tvar triesky, dĺžku reznej hrany v zábere, smer a veľkosť rezných síl, drsnosť povrchu

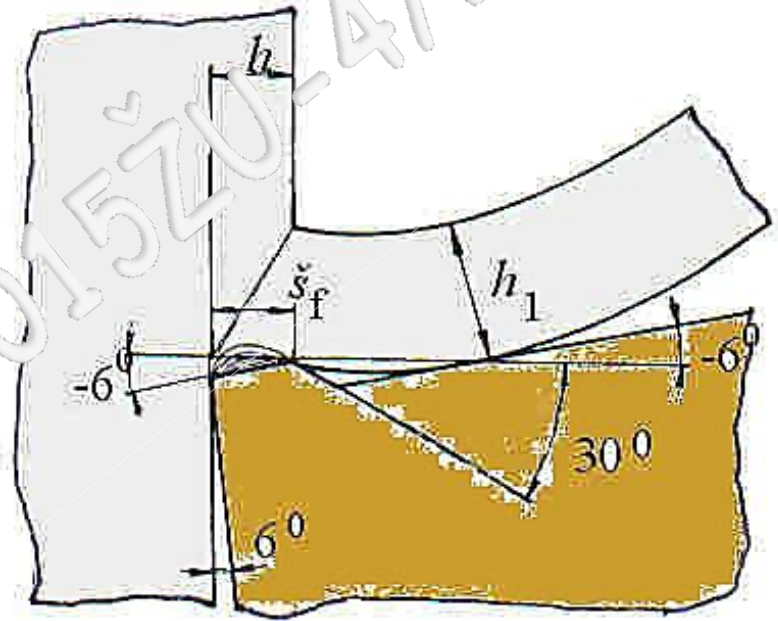
γ - vplyv na drsnosť obrobenej plochy

r_ϵ - (0,2 až 5 mm), ↑ r_ϵ - ↓drsnosť, ↓opotrebovania, ↑ F_p , ↑kmitanie sústavy

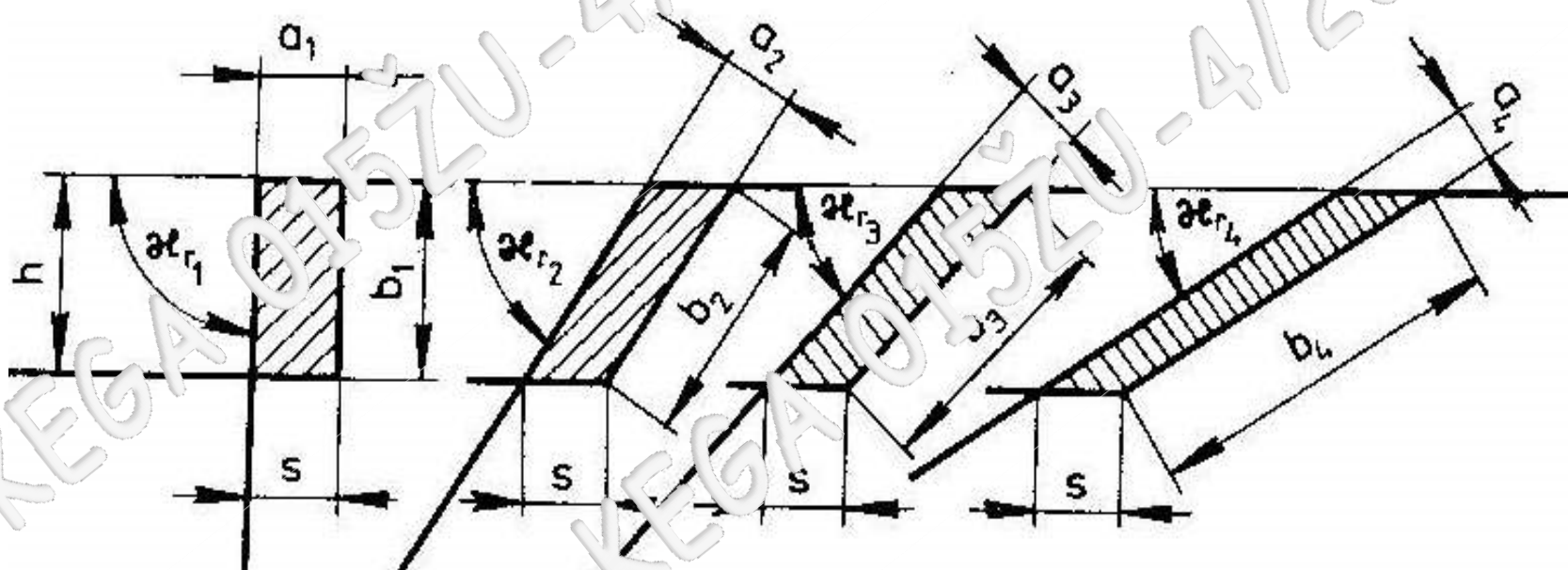
$r_n < a_p$

Rezný klin so skrátenou plochou kontaktu s trieskou

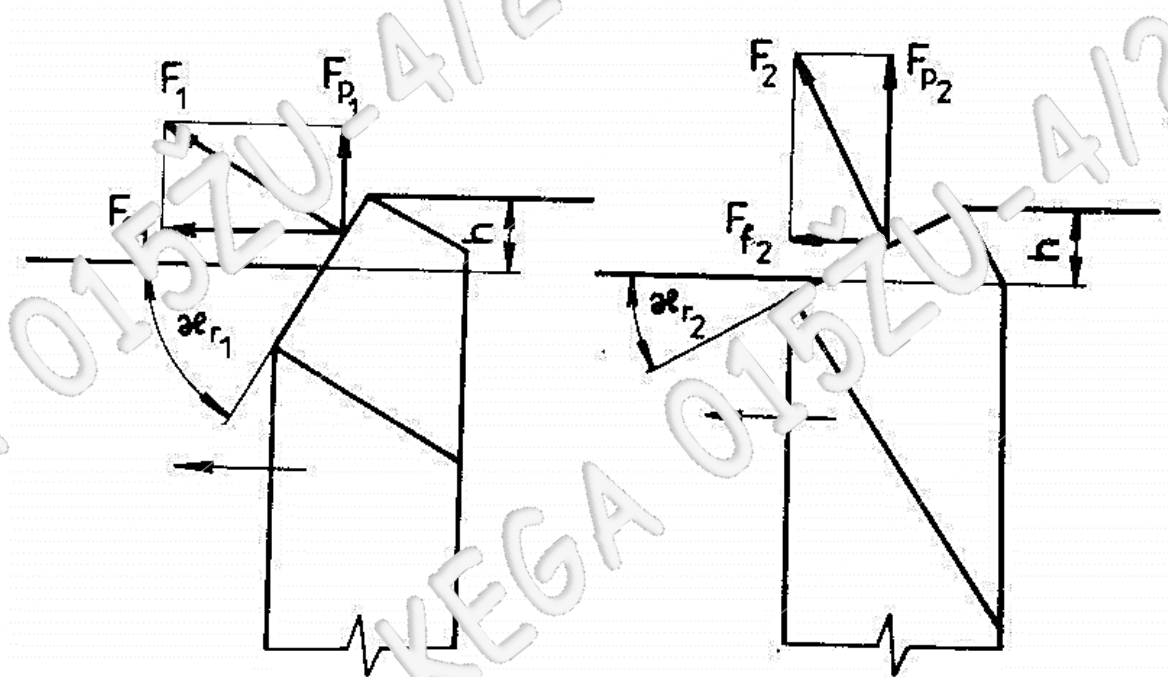
- $\check{s}_f$ - šírka fazetky pod uhlom - γ pre nástroje z krehkých rezných materiálov s kladným γ na zvýšenie pevnosti a trvanlivosti rezného klínu
- skrátenie kontaktu čela nástroja s trieskou,
- zmenšenie vonkajšieho trenia medzi trieskou a čelom nástroja,
- medzi trieskou a čelom vzniká medzera (pri rýchlom pohybe triesky sa do nej nasáva rezná kvapalina),
- pokles rezných síl (až o 30%),
- zmena charakteru závislostí zložiek síl od a_p a f .



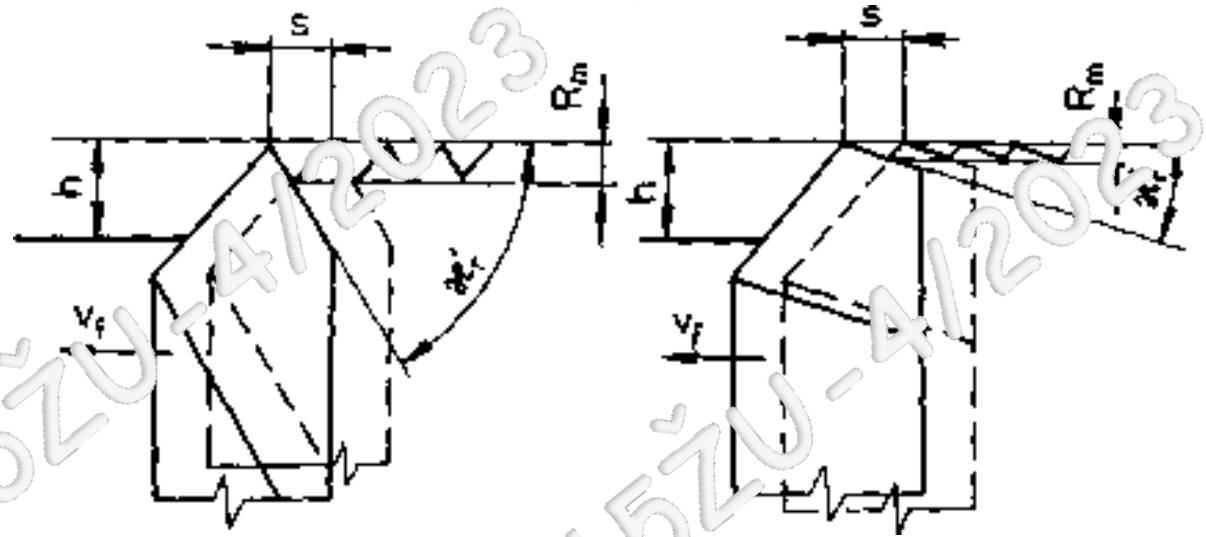
Vplyv zmeny uhla α na tvar odrezávanej vrstvy



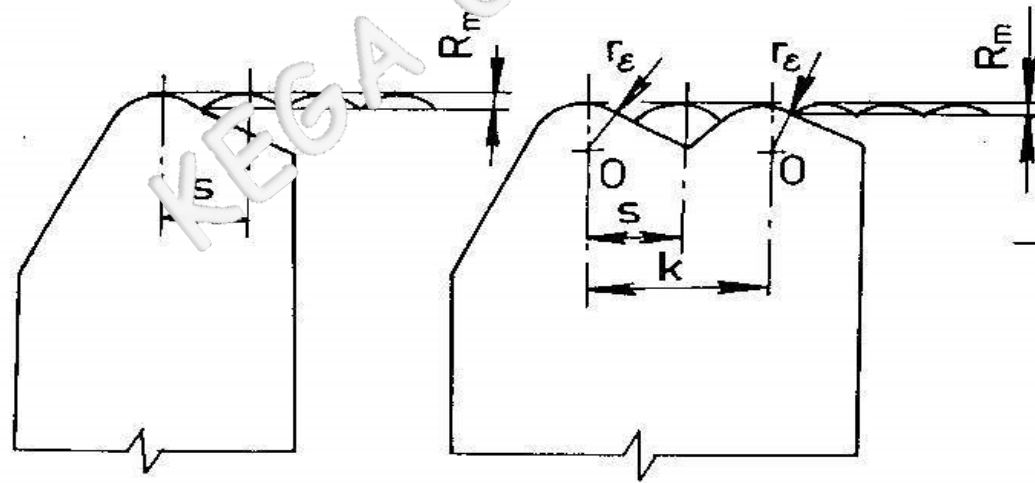
Vplyv zmeny uhla χ_r na zložky rešnej sily F_p a F_f



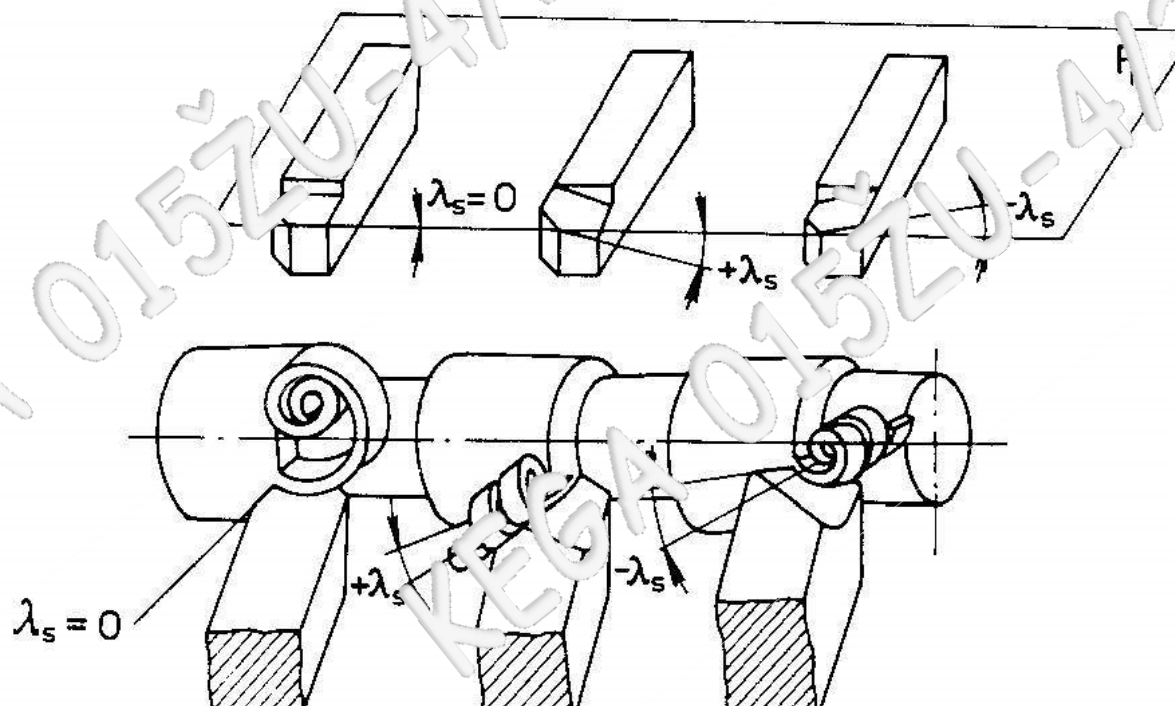
vplyv uhla χ_r' na drsnosť obrobenej povrchu



vplyv r_ϵ na drsnosť obrobenej povrchu

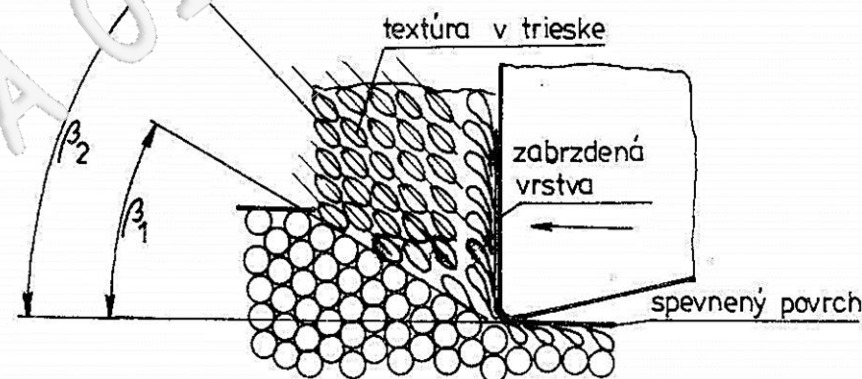
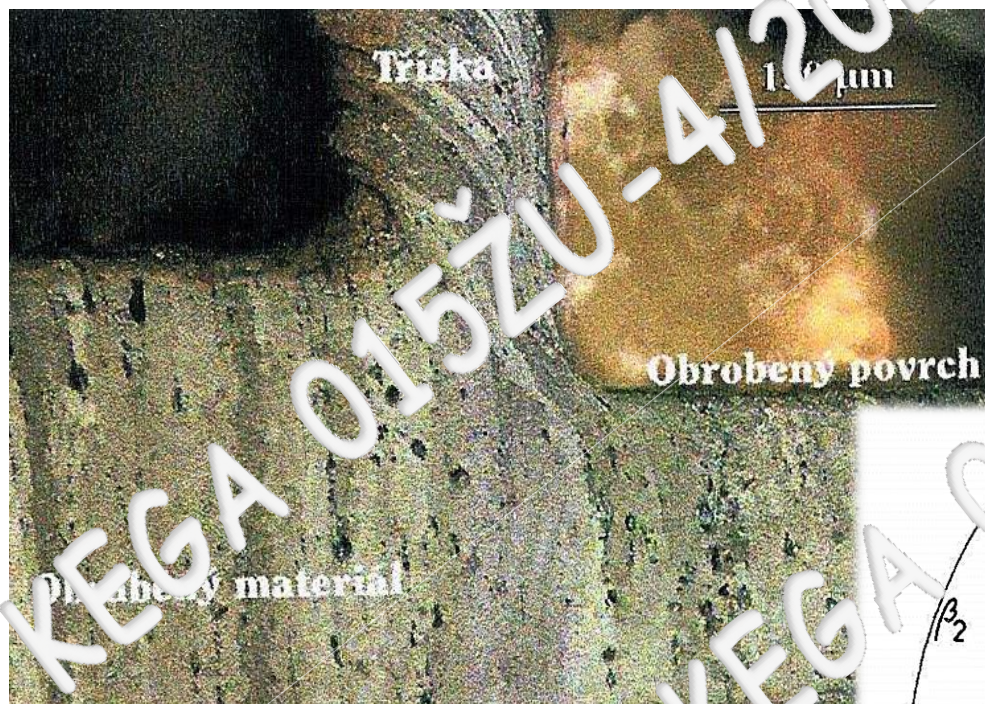


vplyv λ_s na smer odchodu triesky pri $\gamma_o = 0^\circ$



TVORENIE TRIESKY

- sledujeme na tzv. **koreni triesky**.

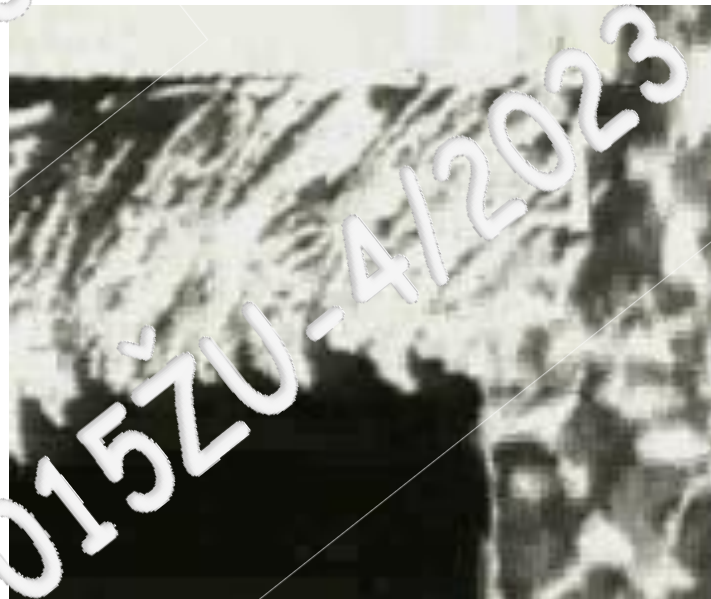


Vznik triesky

I. Primárna oblasť plastickej deformácie

$\Phi_1 = \beta_1$ - uhol primárnej plastickej deformácie

$\Phi_2 = \beta_2$ - uhol textúry



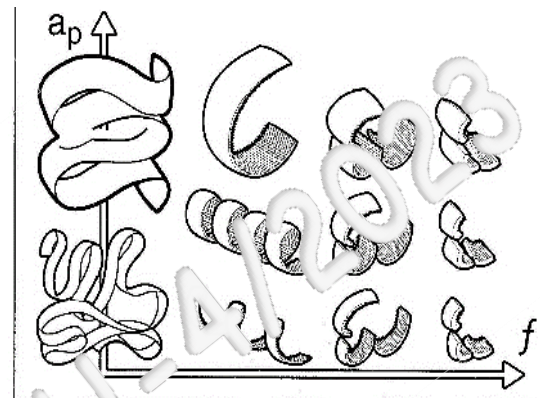
Tvarovanie triesky

tvary triesok podľa druhu obrábaného materiálu a podmienok rezania:

- **plynulá** (stuhová, skrutkovitá, špirálová),
- **článkovitá** (elementárna),
- **drobivá**.

na tvar triesok vplýva:

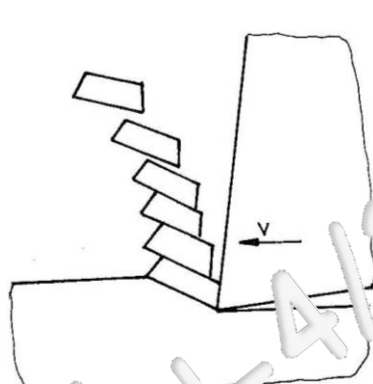
- **materiál obrobku,**
- **rezné podmienky** (hlavne f , a_p),
- **geometria rezného klina,**
- **použitie rezačích kvapalín.**



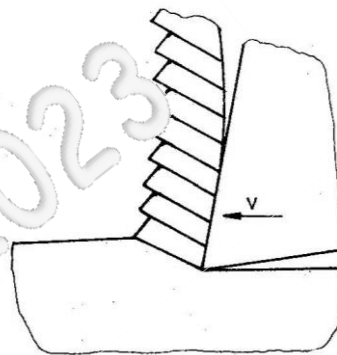
Tvar triesky							
1 stuhovité	2 vinuté	3 špirálovité	4 kužeľovité skrutkovité	5 skrutkovité	6 oblúkovité	7 elementárne	8 ihlové
1.1 dlhé	2.1 dlhé	3.1 ploché	4.1 dlhé	5.1 dlhé	6.1 spojené		
1.2 krátke	2.2 krátke	3.2 kužeľovité	4.2 krátke	5.2 krátke	6.2 delené		

podľa stupňa plasticosti má strihaná trieska tvary:

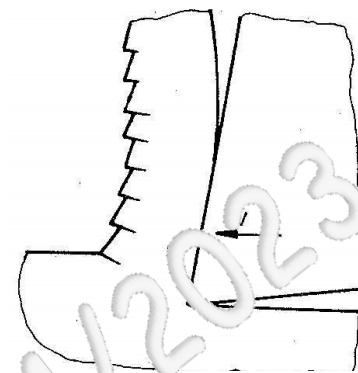
- *elementárna*,
- *stupňovitá*,
- *plynulá*.



elementárna



stupňovitá



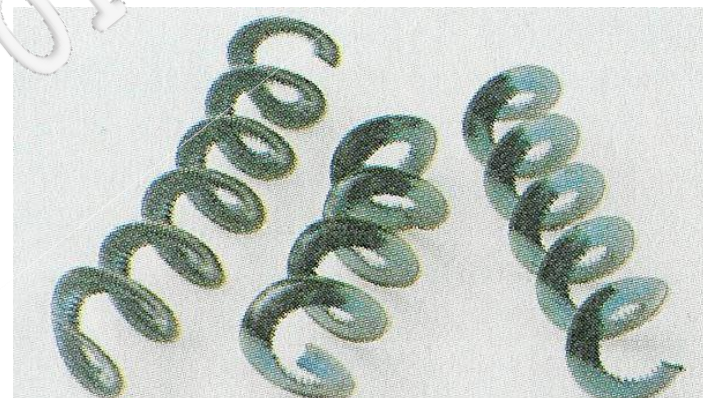
plynulá

vhodné tvary triesok pri obrábaní

- *článkovitá*
- *skrutkovitá*



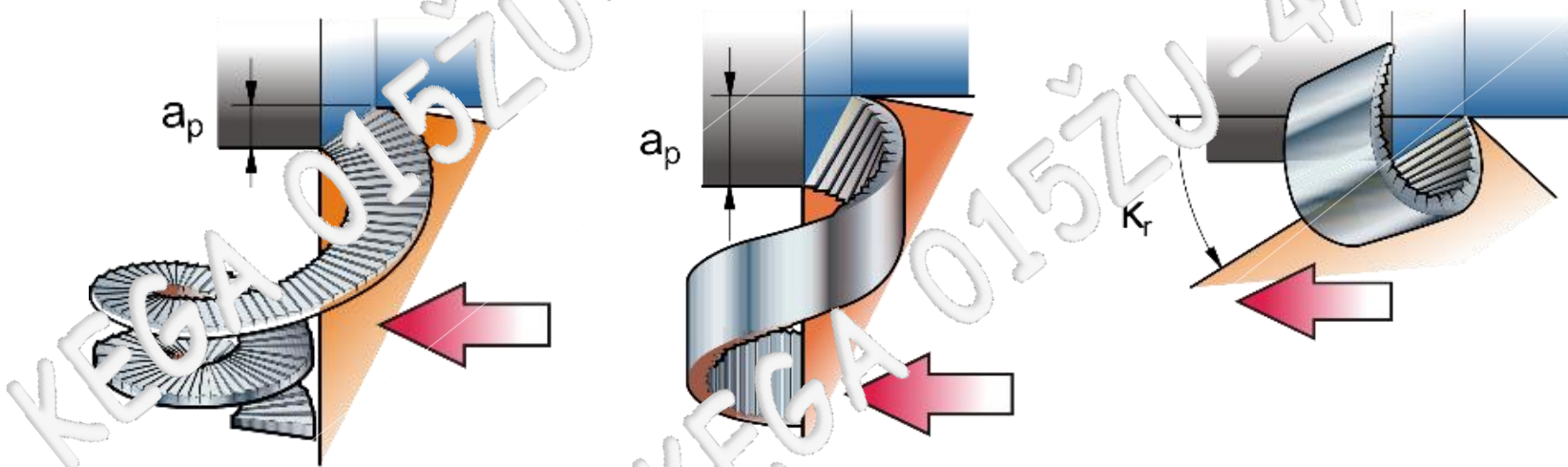
článkovitá



skrutkovitá

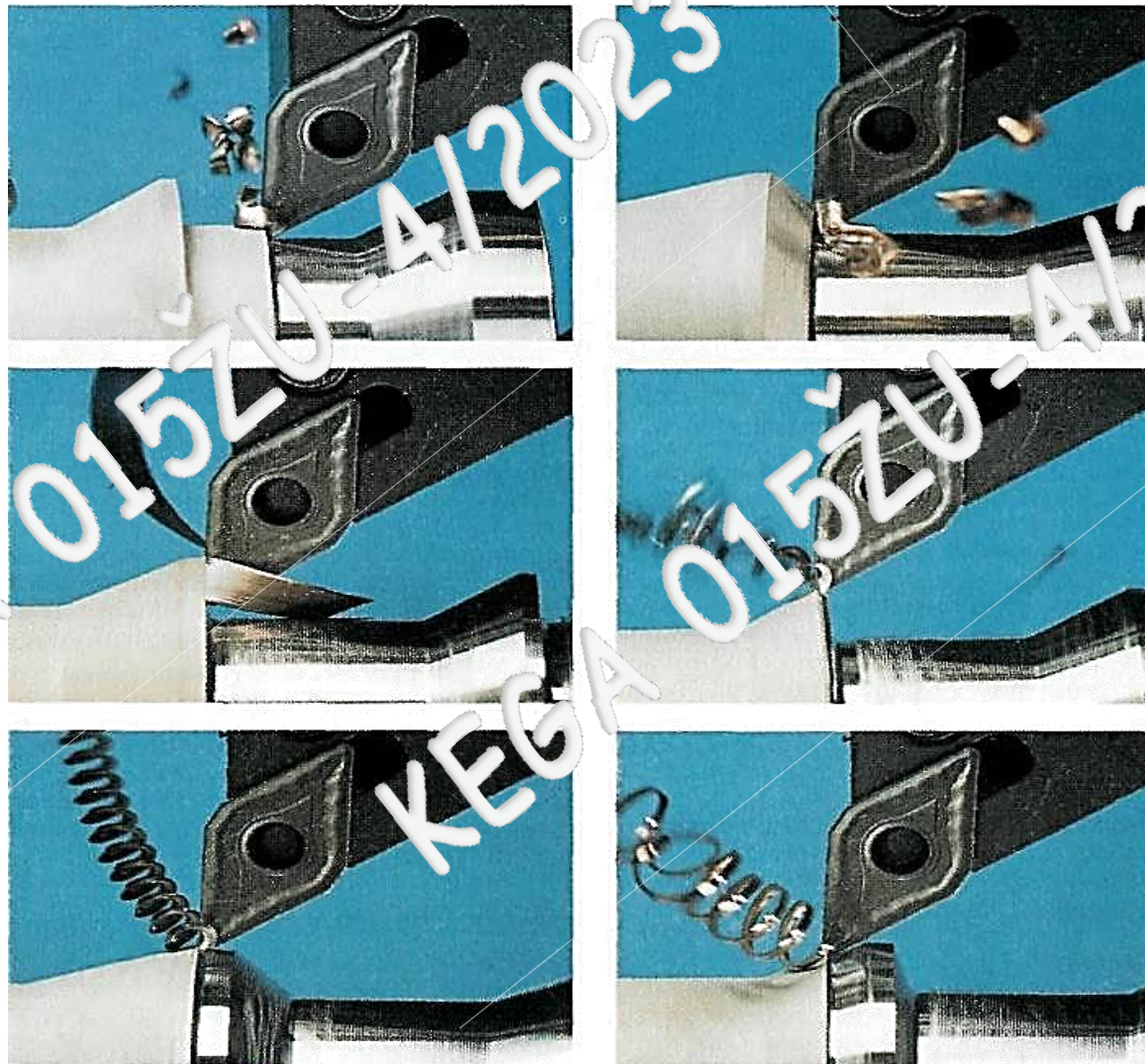
Uhol sklonu reznej hrany λ_s ovplyvňuje smer odchodu triesky a pevnosť rezného klinu. Na smer odchodu triesky vplyva aj uhol čela.

V závislosti na hĺbke rezu (a , b) a pevnosti sa mení tiež tvar a smer odchodu triesky.



Tvarovanie triesky sa mení podľa zmeny rezných parametrov, geometrie nástroja a uhla nastavenia

Tvorenie triesok pri sústružení tvarových plôch

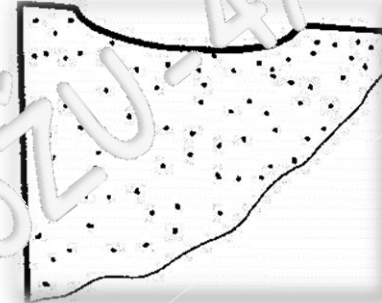


Tvarovanie triesok:

- geometriou rezného klina (lámače, tvarovače),
- rezné parametre (f , a_p),
- kinematické prípravky.

utvarovač triesky
stupienkový

žliabkový



Objemový súčiniteľ triesok

- charakterizuje vhodnosť triesky

$$W = \frac{V_t}{V_m}$$

$$W = 5 - 500$$

V_t – objem voľne uložených triesok (mm³),

V_m – objem odobratého materiálu (mm³)

Rezná sila

zložky rezných síly:

F_c - hlavná zložka – tangenciálna (N)

F_f - axiálna posuvová (N)

F_p - radikálna – pasívna (N)

Rezné sily pri sústružení

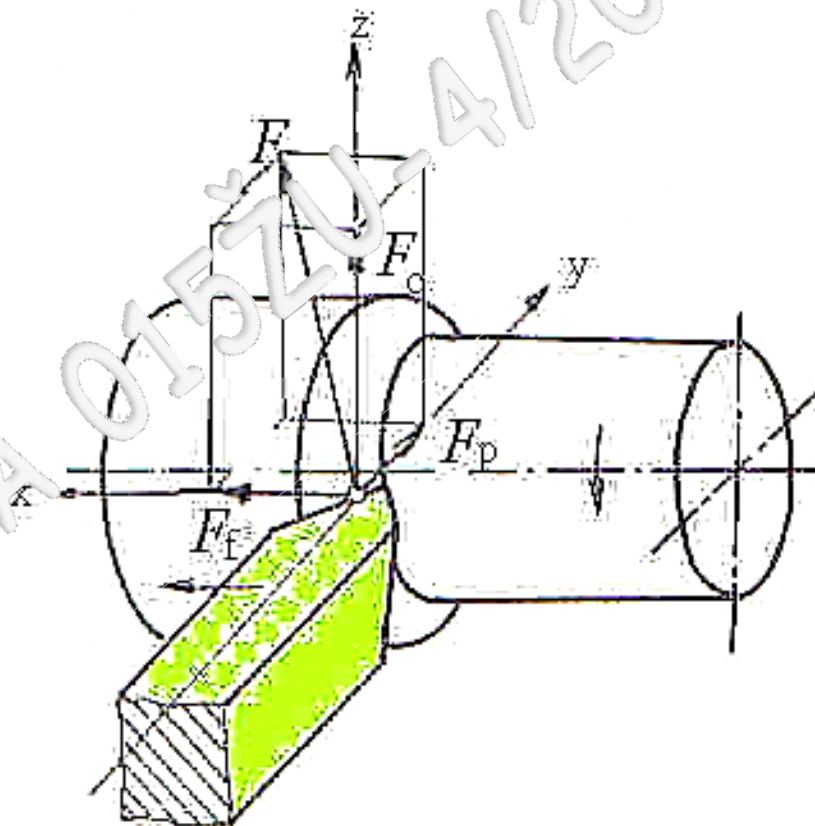
$$F_C : F_P : F_F = 1 : 0,5 : 0,25$$

($\kappa_r = 45^\circ$, $\gamma_o = 15^\circ$, $\lambda_s = 0^\circ$)

Výsledná rezná sila:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2} =$$

$$\sqrt{F_c^2 + (0,5F_c)^2 + (0,25F_c)^2} = 1,15F_c$$



Určenie rezných síl experimentálne

Štruktúrne rovnice:

$$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^X \cdot f^Y \quad (\text{N})$$

$$C_{Fc} = 1\,800 - 2\,000$$

$$F_p = C_{Fp} \cdot a_p^X \cdot f^Y \quad (\text{N})$$

$$x_{Fc} = 1$$

$$F_f = C_{Ff} \cdot a_p^X \cdot f^Y \quad (\text{N})$$

$$y_{Fc} = 0,75$$

C_{fc}, C_{fp}, C_{ff} – materiálové konštanty

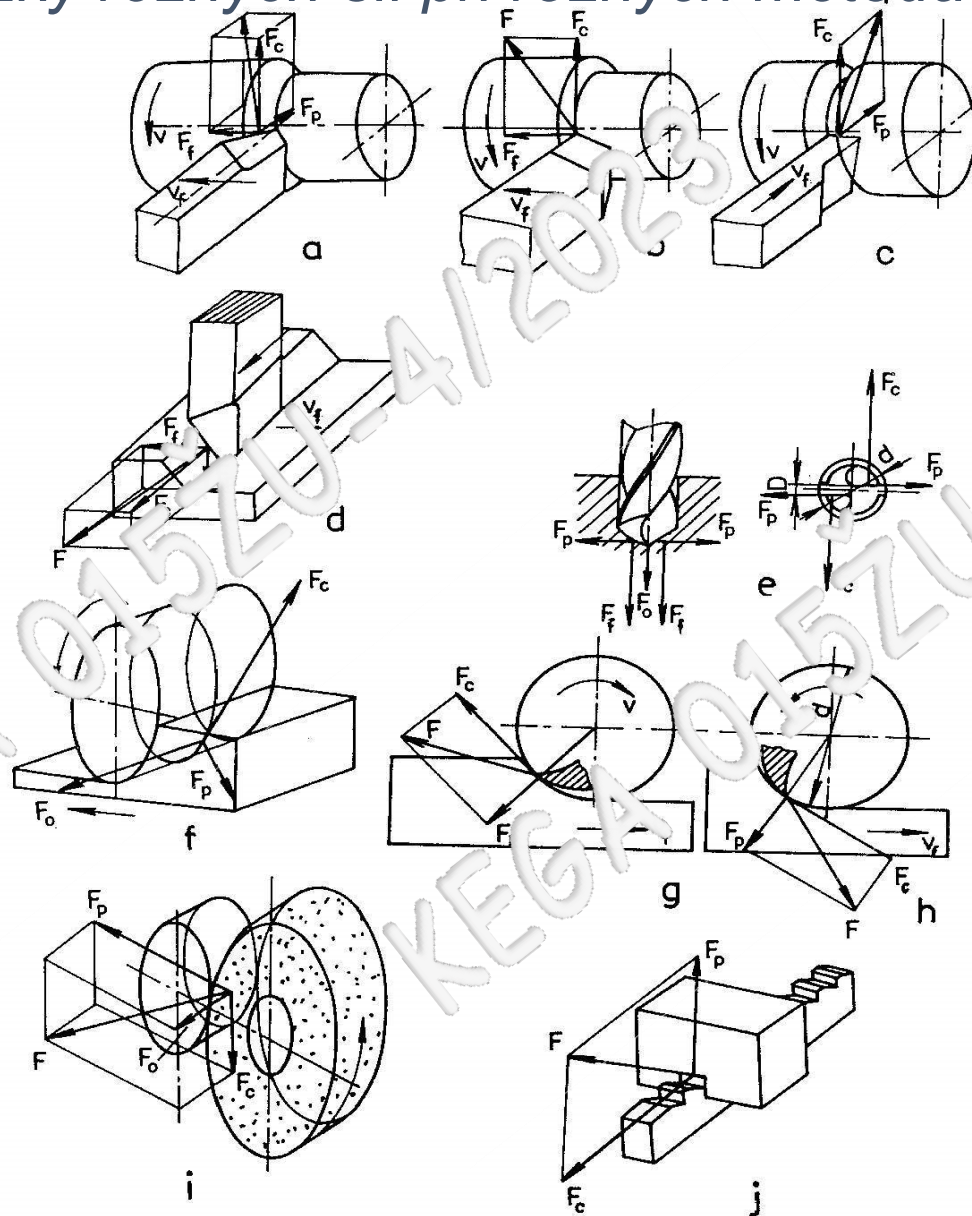
(charakterizujú vlastnosti obrábaného materiálu, geometriu rezného klina, rezné
režim, triede,...)

x_{fc}, x_{fp}, x_{ff} – exponenty vplyvu a_p

y_{fc}, y_{fp}, y_{ff} – exponenty vplyvu f

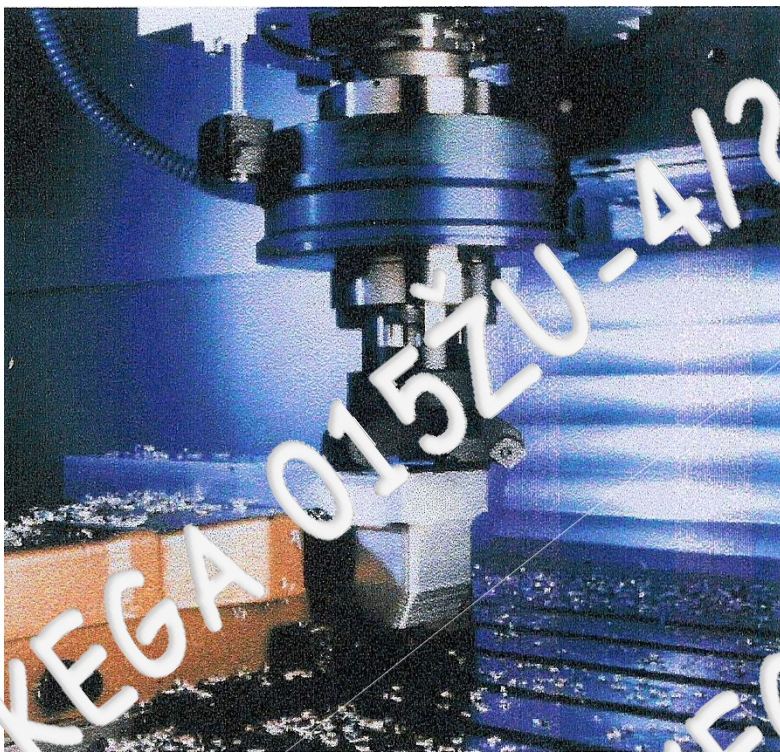
(charakterizujú sklon kriviek (v log. súradniciach) závislosti f od f , a_p a metóde
sústruženia)

Zložky rezných síl pri rôznych metódach obrábania

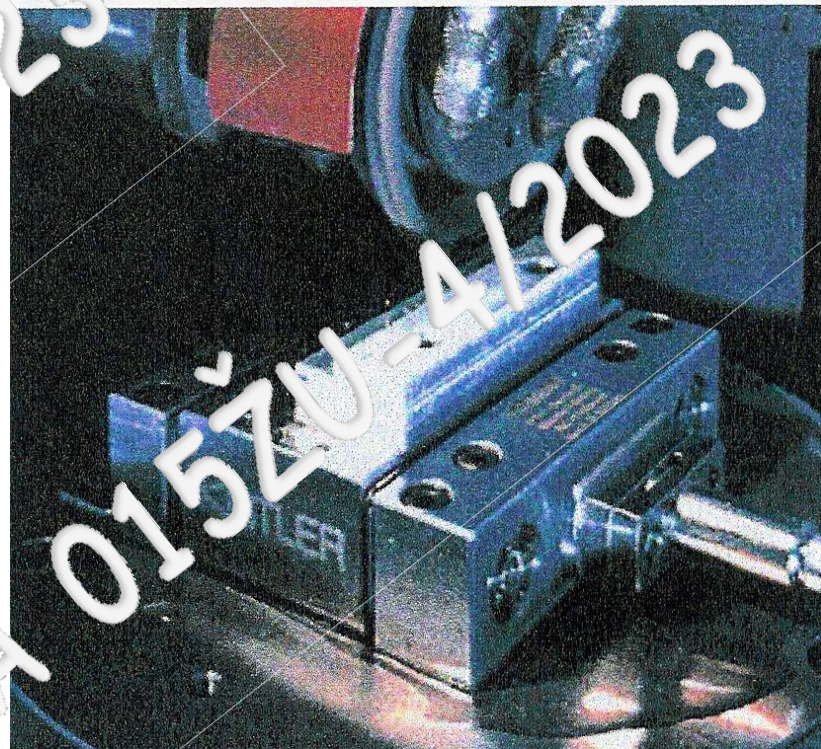


Meranie rezných síl

- piezoelektrické dynamometre (KISTLER)



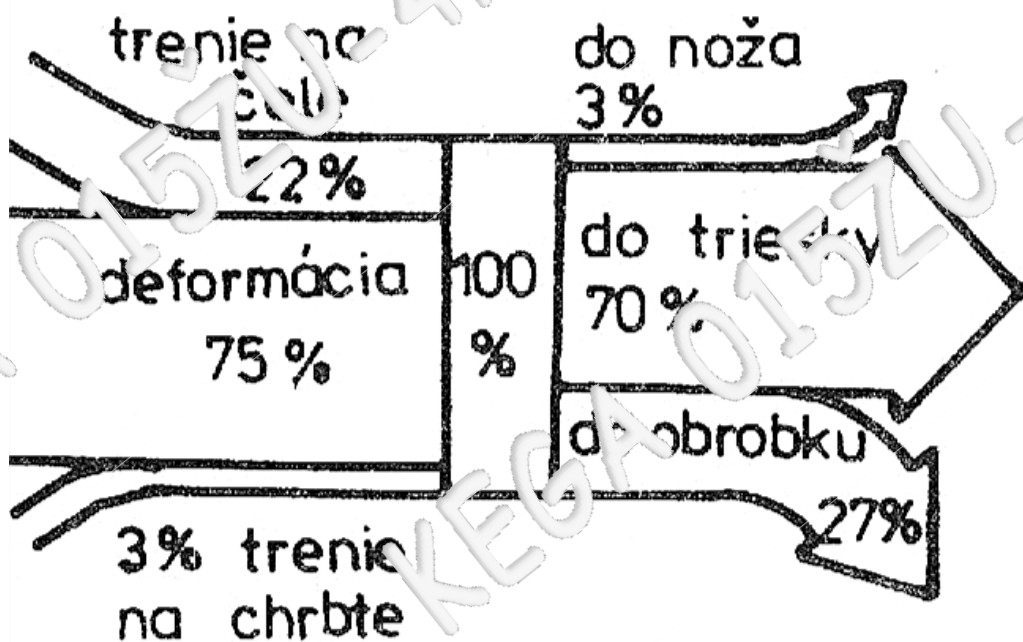
*použitie rotačného
dynamometra pri frézovaní*



*použitie stacionárneho
dynamometra pri brúsení*

3 zdroje tepla v zóne rezania:

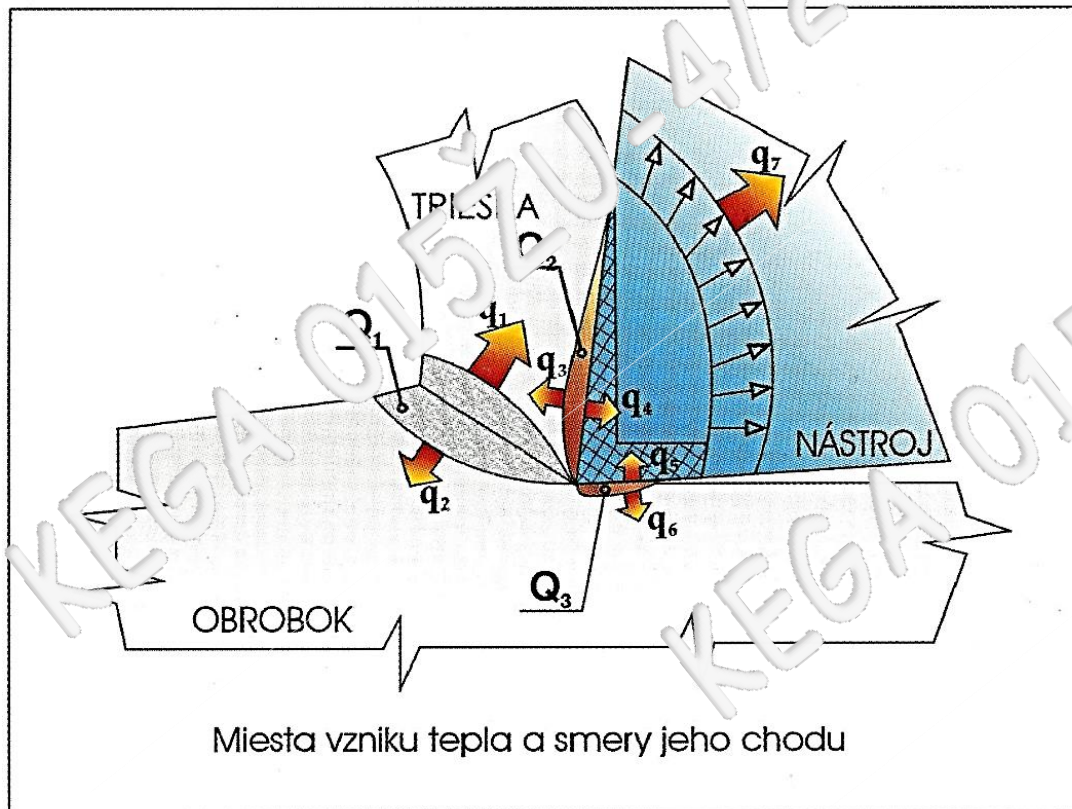
- z primárnej plastickej a elastickej deformácie Q_1 ,
- zo sekundárnej plastickej deformácie Q_2 ,
- od trenia medzi plochou chrbta nástroja a obrobkom Q_3



Tepelná bilancia pri sústružení

Schéma umiestnenia zdrojov tepla a tepelných tokov
 rovnica tepelnej bilancie:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_t + Q_n + Q_a + Q_p \quad [J]$$



Viac ako 90% mechanickej energie vynaloženej pri obrábaní na odrezávaní triesky sa premení na teplo. Hlavným zdrojom tepla je:

primárne plastické deformácie v oblasti tvorenia triesky Q_1

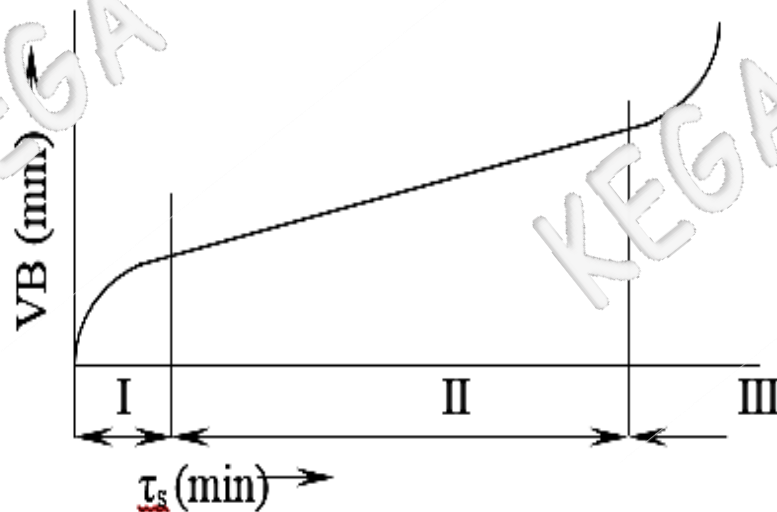
- trenie medzi trieskou a čelom nástroja Q_2
- trenie medzi materiálom a chrbtom nástroja Q_3

Opotrebovanie a trvanlivosť nástroja

faktory vplyvajúce na opotrebovanie nástrojov:

- obrábaný materiál,
- nástrojový materiál,
- druh operácie,
- geometria nástroja,
- rezné parametre,
- rezné prostredie.

Charakteristická krivka opotrebovania



VB - opotrebovanie na chrbte,

τ_s – čas obrábania

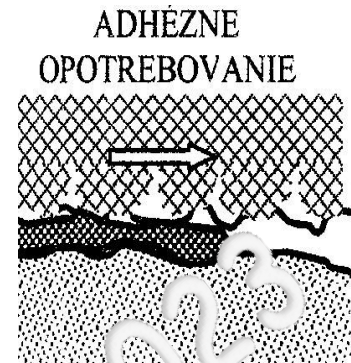
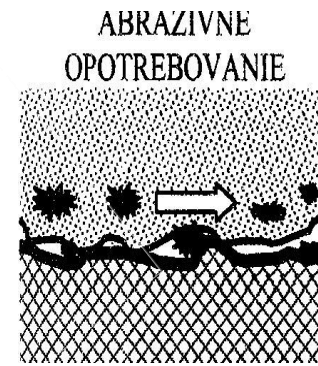
I - pásmo zábehu,

II - pásmo normálneho opotrebovania,

III - pásmo katastrofálneho opotrebovania

druhy opotrebovania podľa fyzikálnych príčin:

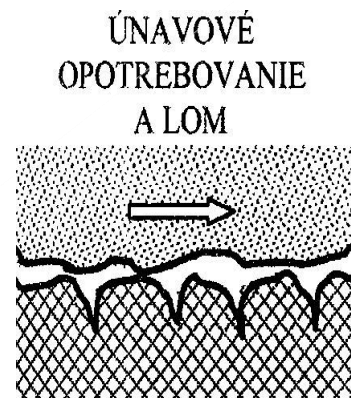
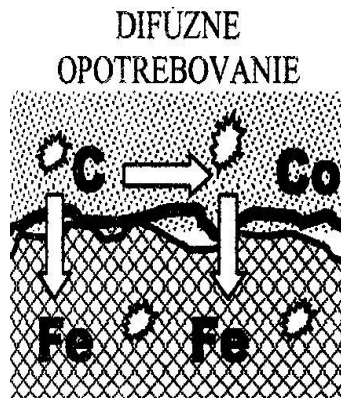
- abrazívne (brúsne),
- adhézne,
- chemicko-difúzne,
- plastickou deformáciou



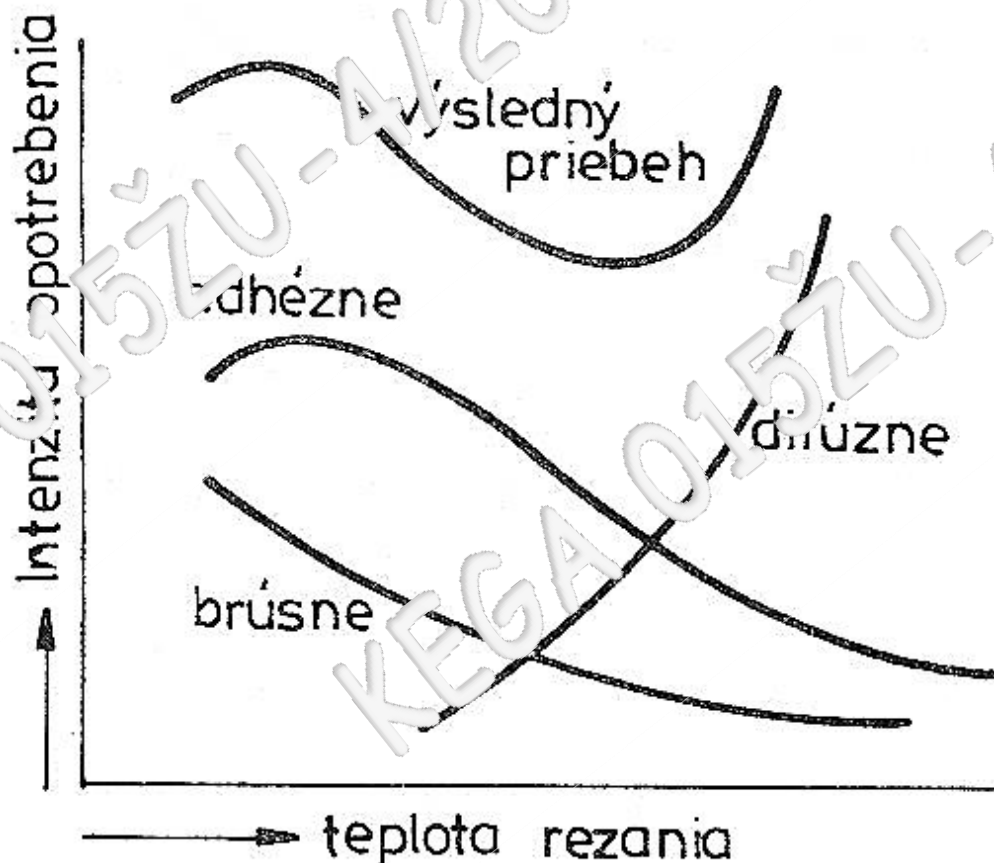
abrazívne opotrebovanie - oter tvrdých častí čiek materiálu obrobku a/alebo o triesky o materiál nástroja.

adhézne opotrebovanie - pevné spojenie materiálu nástroja a obrobku pri vysokých tlakoch na stykových plochách (pri stredných v_c), tvorenie nárazku medzi čelom nástroja a trieskou

difúzne opotrebovanie - pri teplote rezania nad 800°C pri vysokých v_c , chemické vlastnosti nástrojového materiálu a jeho afinita k materiálu obrobku (difúzia prvkov (C, CO) z nástroja do triesky, z triesky do nástroja (Fe))



Závislosť intenzity opotrebenia nástroja od teploty rezania a reznej rýchlosti



rezná rýchlosť

vonkajší vzhľad opotrebenia nástroj

a – žliabok na čele,

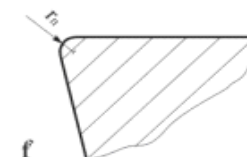
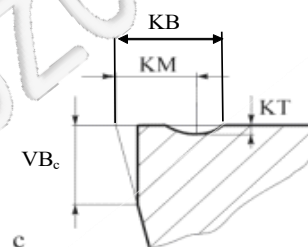
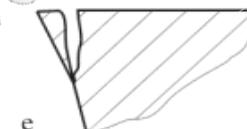
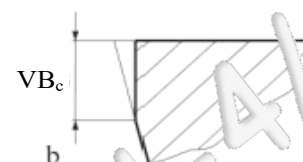
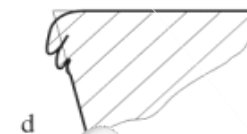
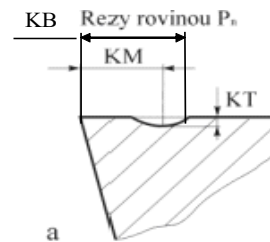
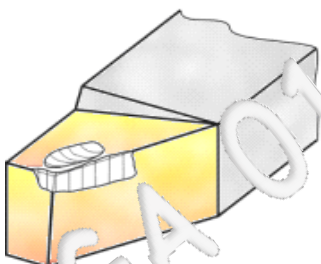
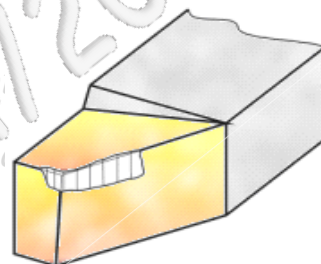
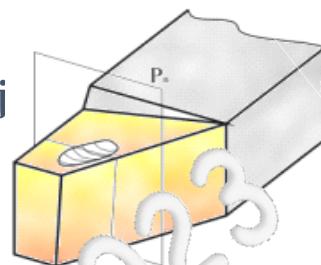
b – oterová ploška na chrbte,

c – súčasné opotrebenie na čele a chrbte,

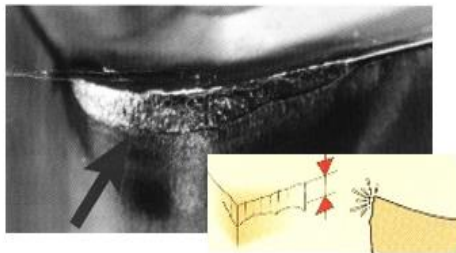
d – plastická deformácia rezného klina,

e – krehký lom,

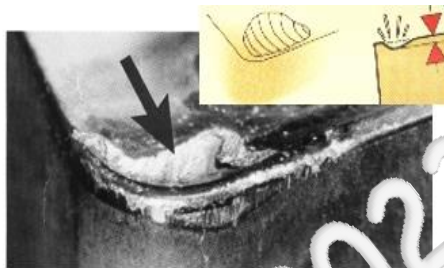
f – zaoblenie rezných hrany,



- VB opotrebenie na chrbtovej ploche rezného klina v oblasti:
- KT opotrebenie dané hĺbkou žliabku, resp. výmoľa na čele plochy rezného klina,
- KB šírka žliabku opotrebenia voči priesečníku plochy A_γ a roviny P_S ,
- KM poloha stredu žliabku opotrebenia voči priesečníku plochy A_γ a roviny P_S .



Opotrebenie chrbta



Opotrebenie



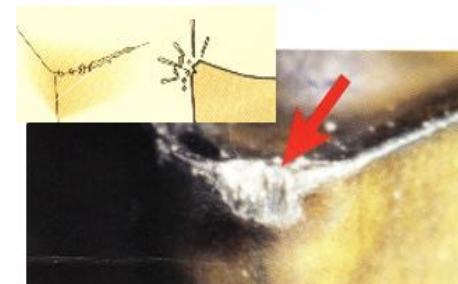
Plastická deformácia reznej hrany



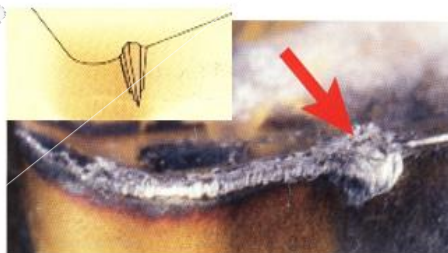
Tvorenie nárastku



Hrebeňové trhliny na reznej hrane



Vydrobenie ostria



Opotrebenie v tvare vrubu



Krehké porušenie rezného klína

Rezacia schopnosť nástroja sa obnovuje preostrením (t.j. vymeniteľnej platničky jej pootočením resp. výmenou). Čas práce nástroja do jeho úplného vyradenia je životnosť nástroja ($\check{Z}$) (min).

Možno ju určiť:

$$\check{Z} = \sum_{i=1}^n T_i = (n+1)T' \quad ,$$

n - počet preostrení nástroja,

T' - stredná trvanlivosť nástroja medzi ostreniami (min).

Empirický vzťah, ktorým môžeme určiť trvanlivosť

$$T = \frac{c_T}{v^m a_p^{x_T} f^{y_T}} \quad ,$$

c_T - koeficient,

x_T, y_T - sú exponenty, ktoré v logaritmickej súradnicovej sústave predstavujú smernice priamok závislosti $T = f(v)$; $T = f(a_p)$; $T = f(f)$.

Na trvanlivosť najviac vplýva rezná rýchlosť menší posuv a najmenej hĺbka rezu. Preto trvanlivosť často vyjadríme zo zjednodušeného vzťahu

$$T = \frac{c_T}{v^m} \quad .$$

Grafické zobrazenie vzťahu v súradnicovej sústave je na obr. 18a. Ak vzťah zlogaritmujeme dostaneme

$$\log T = \log c_T - m \log v \quad .$$

Zobrazením tohto vzťahu je priamka v dvojitej logaritmickej sieti (obr. 1.18b).

Ďakujem za pozornosť