



**Lesnická
a dřevařská
fakulta**

3. 7. 2018, Brno

Připravil:

doc. Ing. Zdeněk Kopecký, CSc.

Geometrie řezného klínu nástroje a jeho opotřebení

Předmět: Nástroje a procesy obrábění

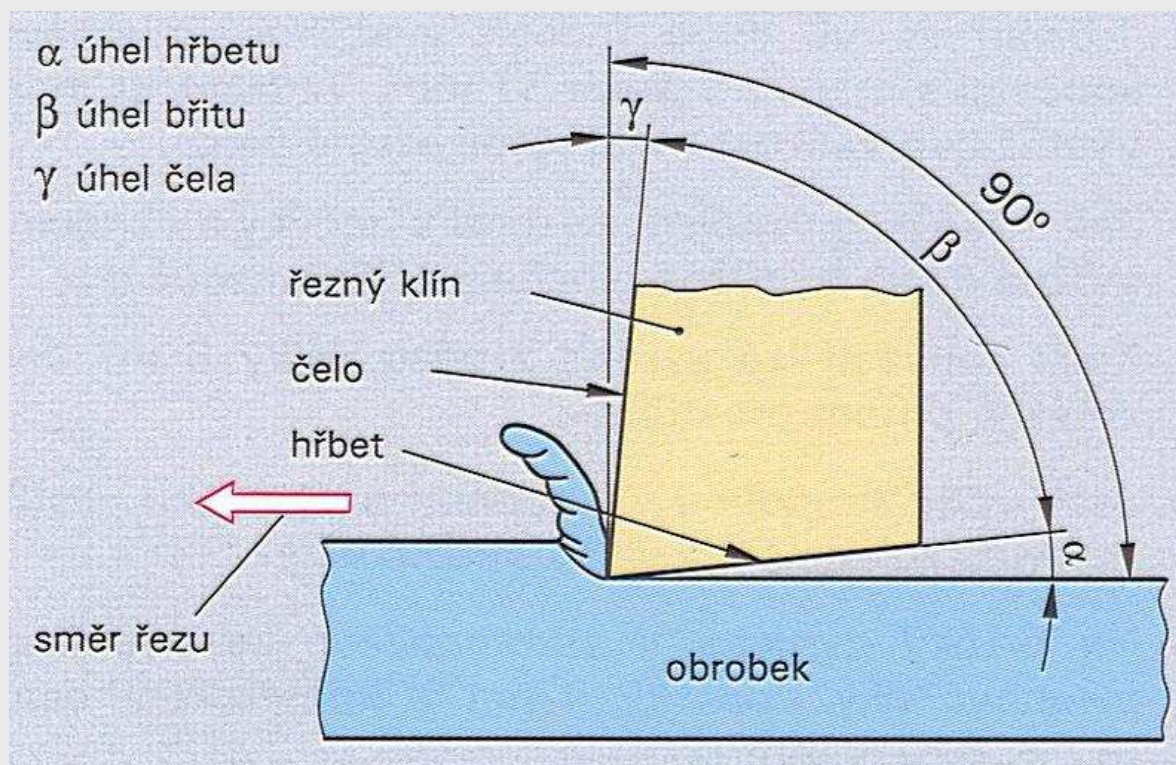
**Mendelova
univerzita
v Brně**



Úvod

Při určování řezného klínu vycházíme z předpokladu, že řezný klín je nejdůležitější část nástroje.

Právě řezný klín při přímém kontaktu s obrobkem vytváří třísku a v konečném důsledku ovlivňuje konečný efekt výroby.



Řezný klín

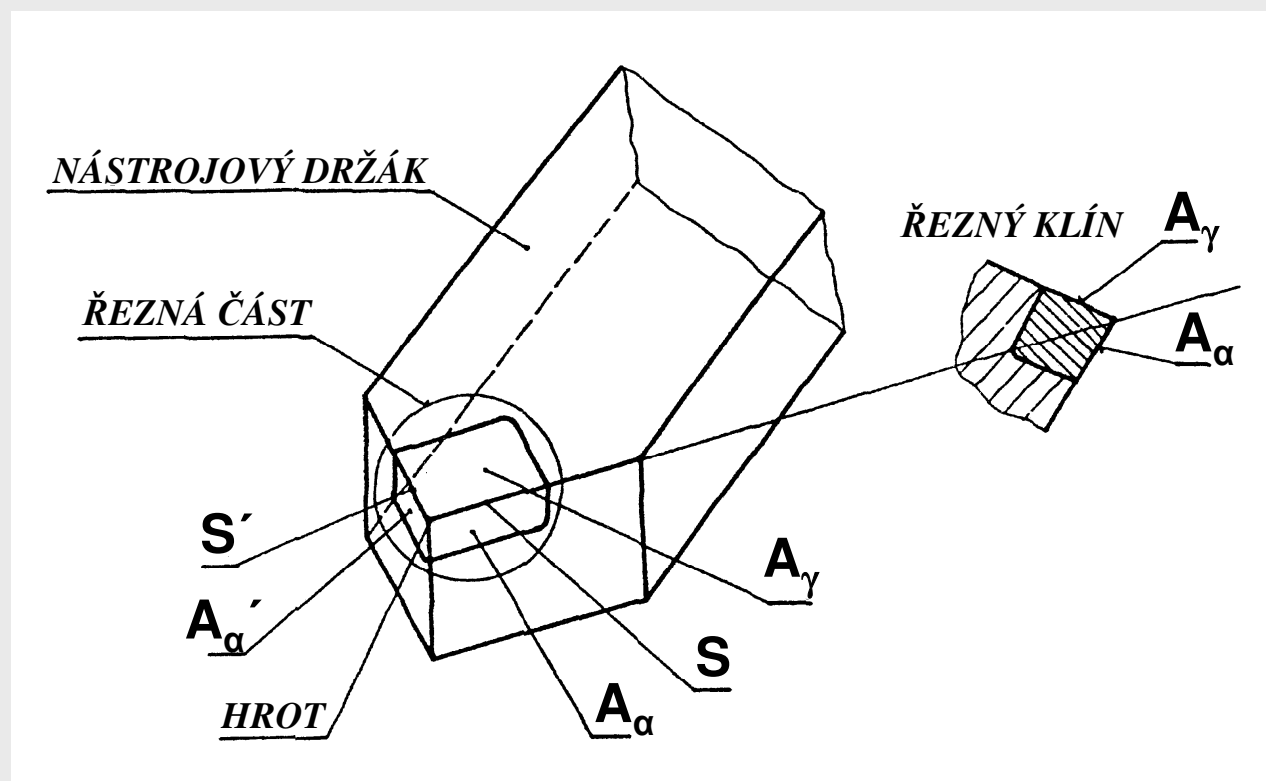
Pod pojmem geometrie řezného klínu rozumíme vztahy mezi úhly v základní a pomocných rovinách.

Správná volba geometrie řezného klínu nástroje má rozhodující vliv na:

- průběh řezného procesu,
- produktivitu práce,
- hospodárnost,
- trvanlivost řezné hrany (a tím i na životnost nástroje),
- jakost obrobené plochy,
- tuhost soustavy Stroj-Nástroj-Obrobek-přípravek, tzv. SNOP.

Poznámka: Názvosloví a geometrie řezného klínu nástroje jsou uvedeny v ČSN ISO 3002/1, dříve v ČSN 22 0011.

Části řezného klínu



A_α – plocha hřbetu (hlavní hřbetní plocha)

$A_{\alpha'}$ – plocha vedlejšího hřbetu

A_γ – plocha čela

S – hlavní řezná hrana

S' – vedlejší řezná hrana

$$S \equiv A_\alpha \cap A_\gamma$$

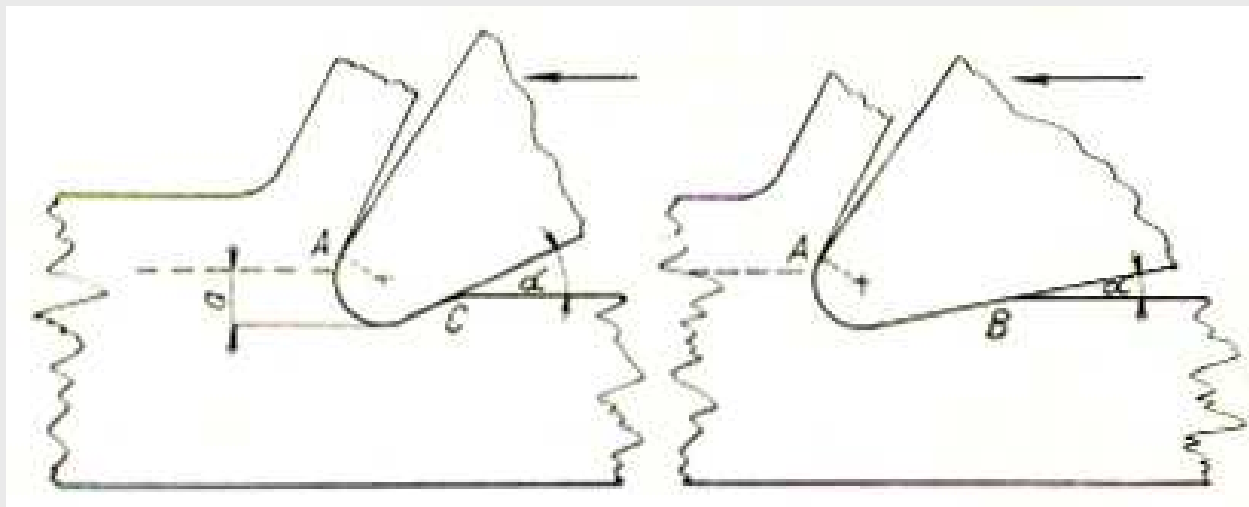
$$S' \equiv A_{\alpha'} \cap A_\gamma$$

Hrot nástroje je společný bod hlavní a vedlejší řezné hrany

$$HROT \equiv (S \cap S') \cup (A_\gamma \cap A_\alpha \cap A_{\alpha'})$$

Úhel hřbetu α

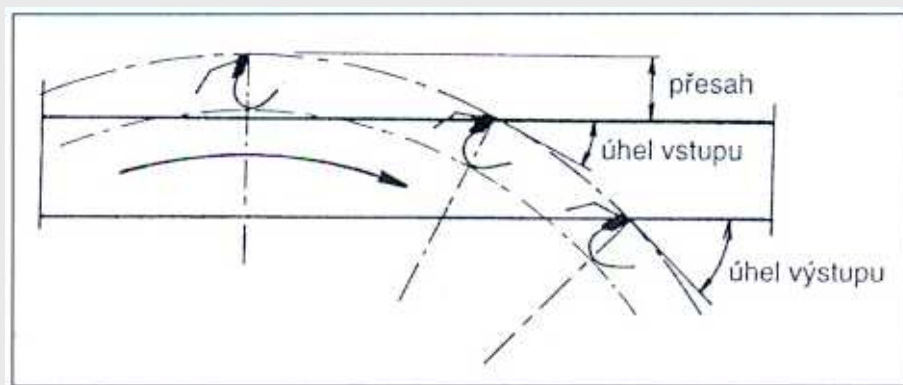
α – úhel, který svírá hřbet nástroje s rovinou řezu
(obvykle je 10° až 30° , nástroje pro beztržkové dělení i 0°)



- má vliv na tření hřbetu nástroje o obráběnou plochu,
 - styková plocha se postupně zvětšuje s otupením nástroje
- (při větším otupení je materiál o tloušťce a tlačен pod břit ► vznikají pružné deformace ► materiál se vrací zpět ke hřbetu nástroje ► vznik velkého tření ► větší řezný odpor a zahřívání nástroje)

Úhel čela γ

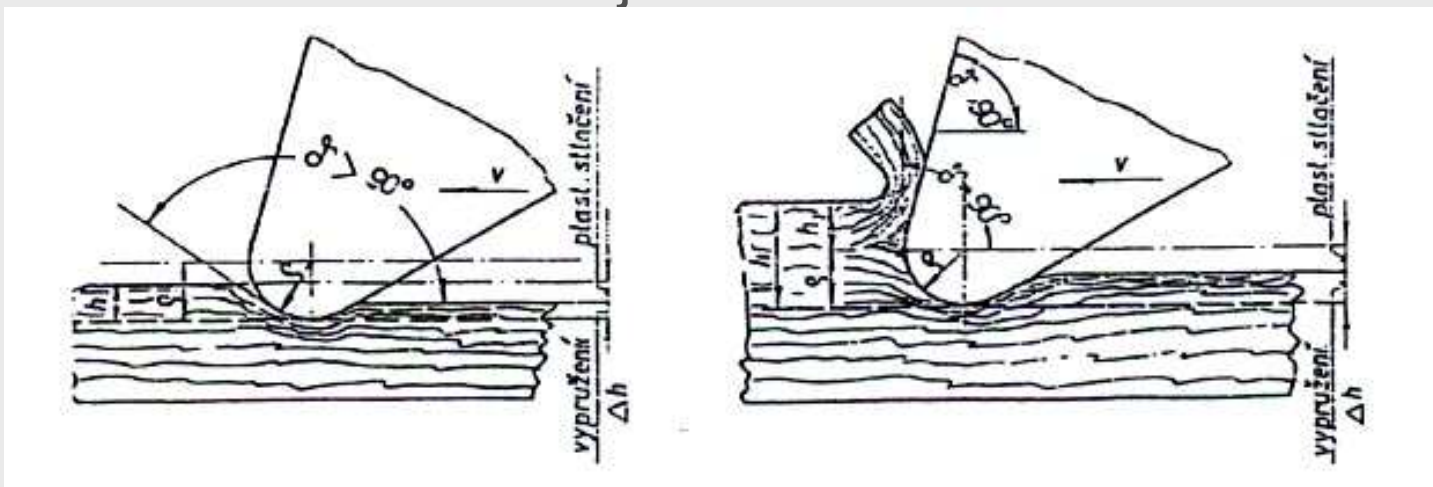
γ – úhel čela přímo ovlivňuje tvoření třísky a jakost obrobeneé plochy



- záporný úhel čela vytváří dobré podmínky pro spodní plochu odřezávaného materiálu (zejména u DTD) neboť třísku neodsekává ale „odškrabává“ na druhé straně horní vrstva může být nadzvedávána a zubem „borcena“ – proto např. u kotoučů pro formátovací pily se volí úhel čela v okolí 5° .
- úhel čela se u dřevoobráběcích nástrojů může pohybovat v rozmezí -5° až 35°

Úhel řezu δ

δ – úhel řezu přímo ovlivňuje řezný odpor při vnikání nástroje do materiálu



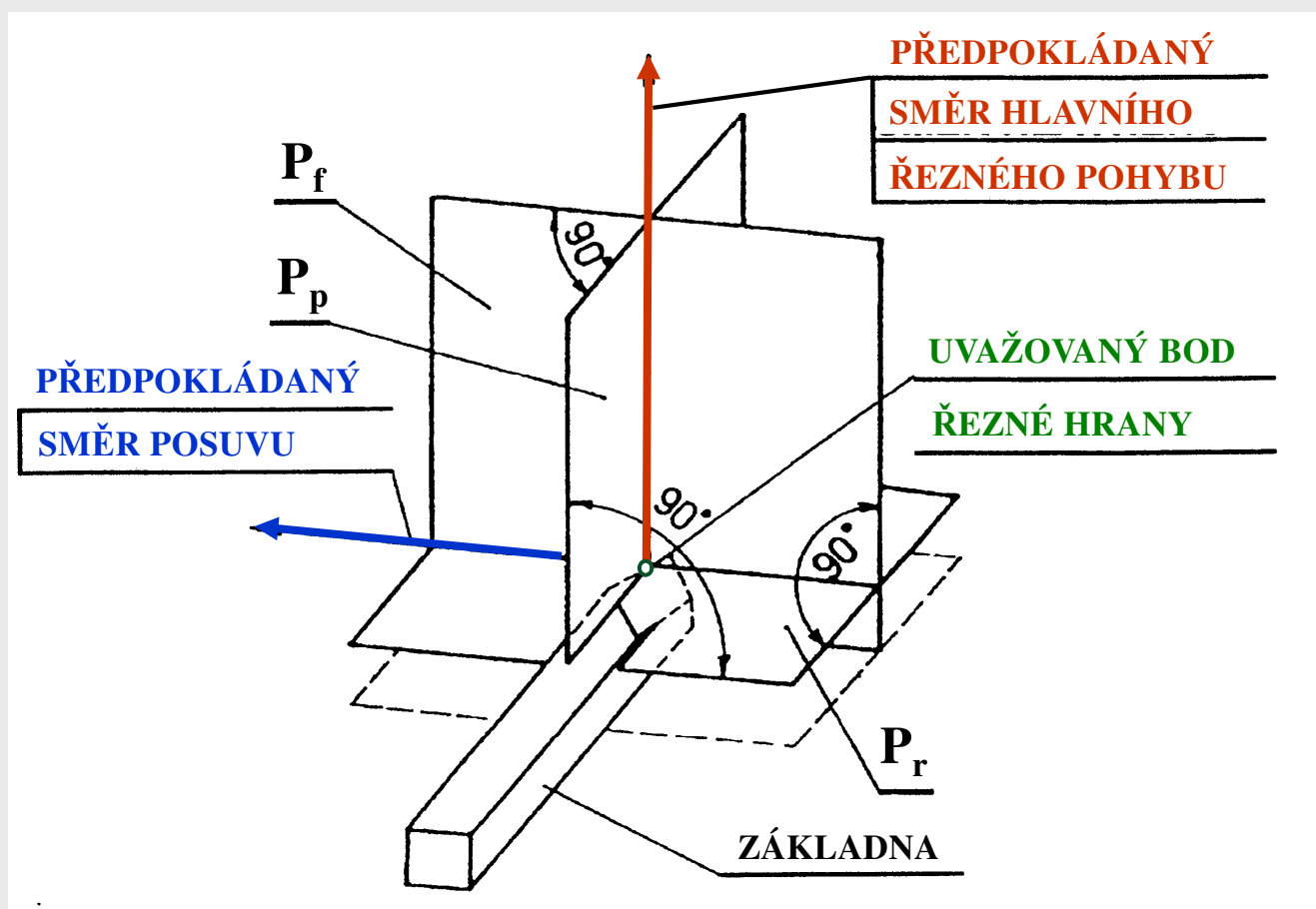
- při malém úhlu řezu řezný odpor klesá a naopak (malý úhel řezu při definovaném úhlu hřbetu ovšem má za následek velmi malý úhel břitu β a břit je náchylnější k vylomení a rychlejšímu otupení,
- s rostoucím otupením (poloměrem otupení ρ) roste úhel řezu a při extrémním otupení ztrácí břit nástroje schopnost oddělit třísku, dochází k pálení obráběné plochy a ničení nástroje)

1. Nástrojová souřadnicová soustava

Geometrie řezného klínu

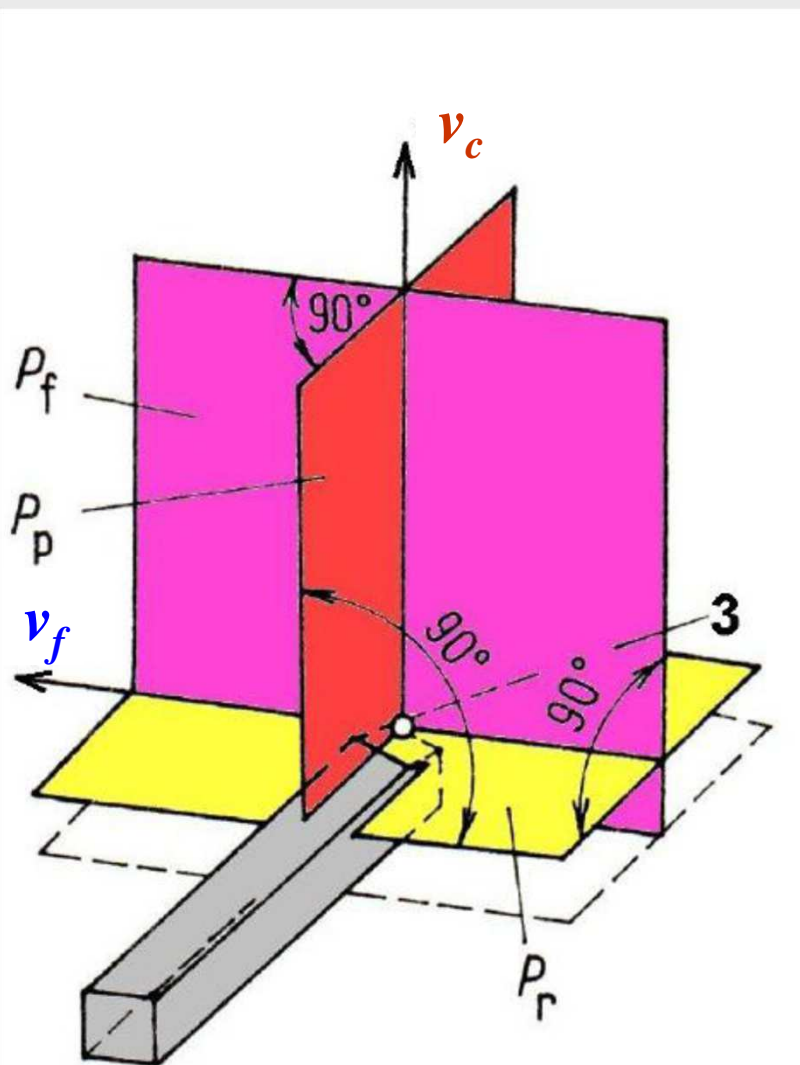
- ❖ Geometrií řezného klínu rozumíme v širším pojetí vzájemné vztahy činných ploch nástroje při konstrukci, výrobě, ostření a vlastním obrábění.
- ❖ Poloha činných ploch řezného klínu může být vztažena k upínací části nástroje – potom hovoříme o *nástrojové (statické) souřadnicové soustavě*.
- ❖ Orientujeme-li polohu činných ploch řezného klínu k výslednici vektoru hlavního řezného pohybu a posuvu pak hovoříme o *pracovní (kinematické) souřadnicové soustavě*.

Princip nástrojové souřadnicové soustavy



- V souřadnicové soustavě je zkoumána geometrie v zavedených rovinách.
- Výchozí rovinou je Základní rovina P_r (Reference Plane), která je kolmá na směr vektoru hlavního řezného pohybu.
- V potaz se bere směr hlavního řezného pohybu, na který je Základní rovina kolmá.

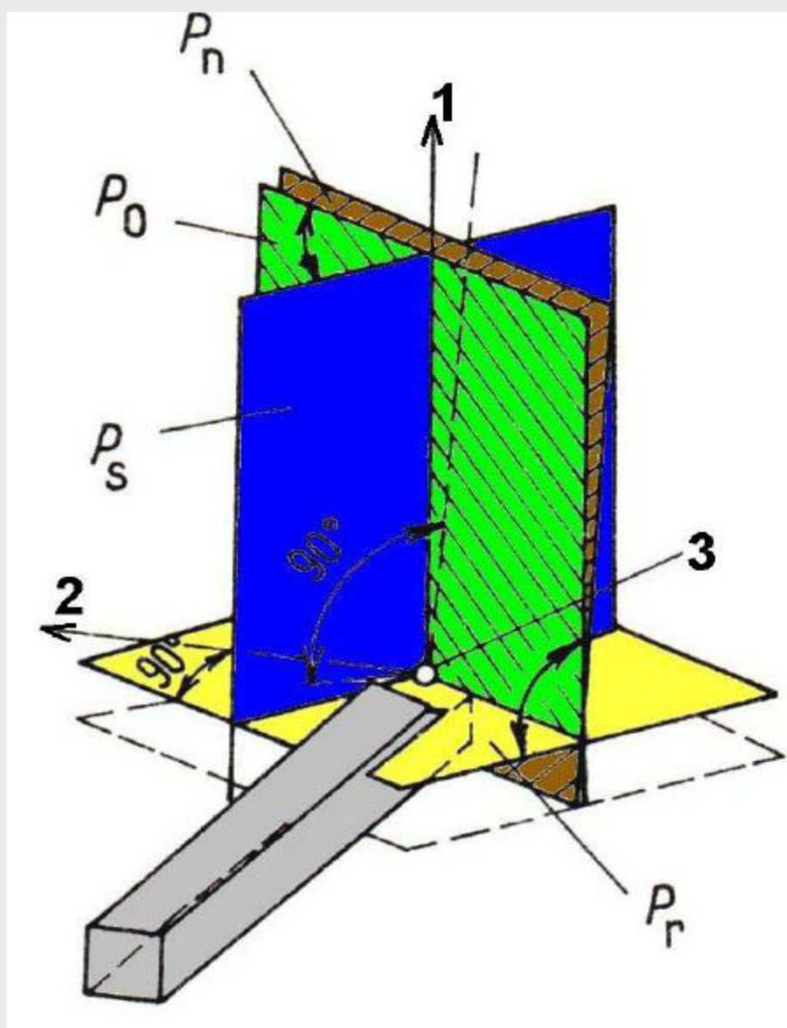
Nástrojové roviny situované k řezné hraně nástroje



- ✓ Základní rovina P_r (Reference Plane) - prochází uvažovaným bodem řezné hrany 3 a je kolmá na vektor řezné rychlosti v_c . Zjišťujeme v ní úhel sklonu hlavního ostří.
- ✓ Boční rovina P_f (Feed Plane) - prochází uvažovaným bodem ostří, leží v ní vektor posuvné rychlosti v_f (je kolmá na rovinu základní P_r).
- ✓ Zadní rovina P_p (Posterior Plane) - prochází uvažovaným bodem ostří, je kolmá na základní rovinu P_r a na nástrojovou rovinu boční P_f .

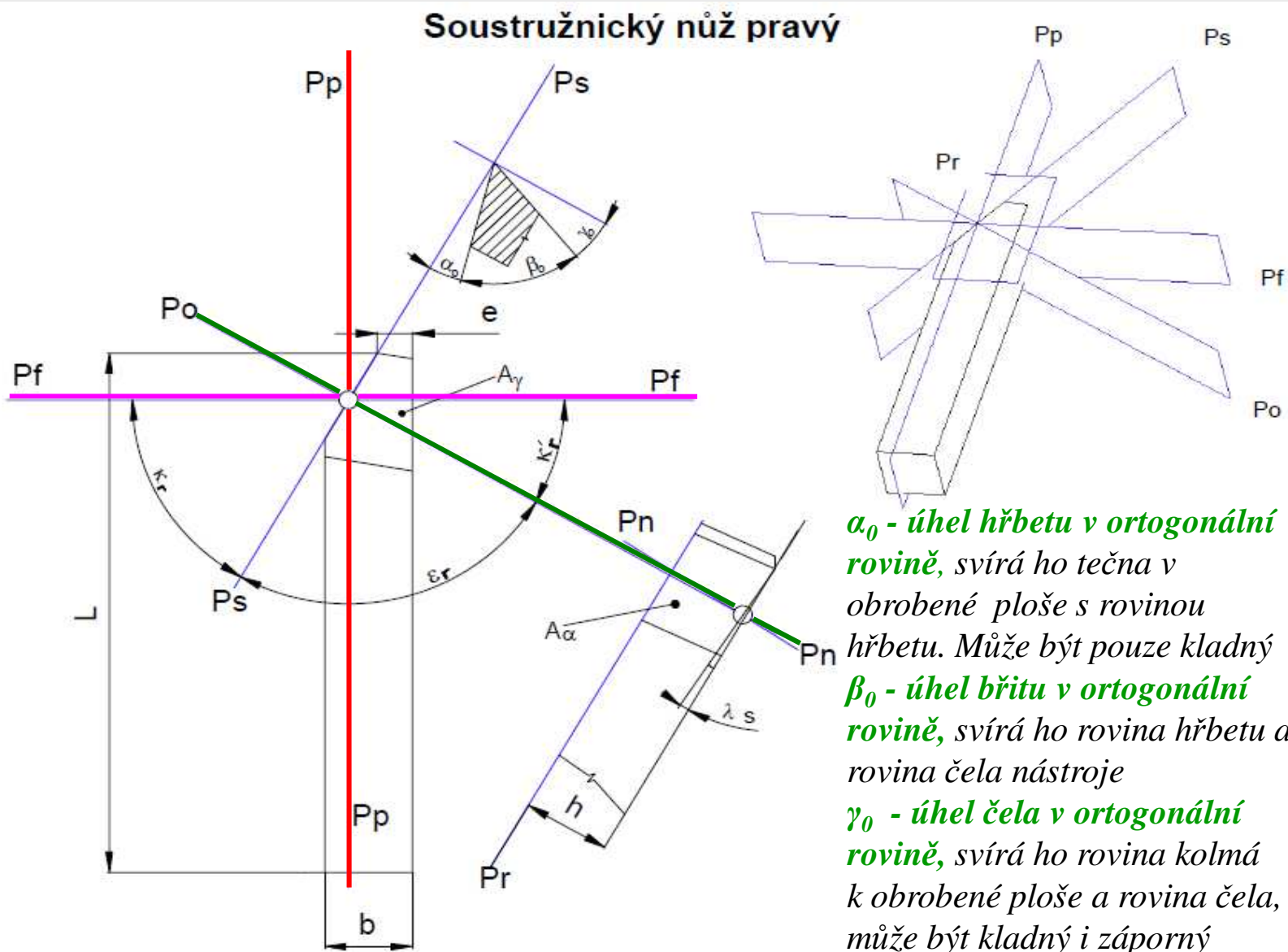
Poznámka: Tyto roviny tvoří kartézský souřadný systém

Nástrojové roviny situované k řezné hraně nástroje



- **P_o ortogonální rovina** je kolmá na hlavní řeznou hranu a základní rovinu P_r . Zjišťujeme v ní základní geometrii hřbetu, břitu a čela řezného klínu.
- **P_s řezná rovina** (rovina trajektorie řezu hlavního ostří v obrobku), je kolmá na základní rovinu, prochází ostřím nástroje a leží v ní vektor řezné rychlosti I
- **P_n normálová rovina** - rovina kolmá na čelo nástroje. Jako jediná není kolmá na rovinu základní P_r (pouze když je úhel sklonu ostří $\lambda_s = 0$).

Základní geometrie soustružnického nože ve statické nástrojové soustavě



Kompletní geometrie soustružnické ho nože ve statické nástrojové soustavě

Uplatní se
zejména při
konstrukci,
výrobě, kontrole
a ostření
nástroje.

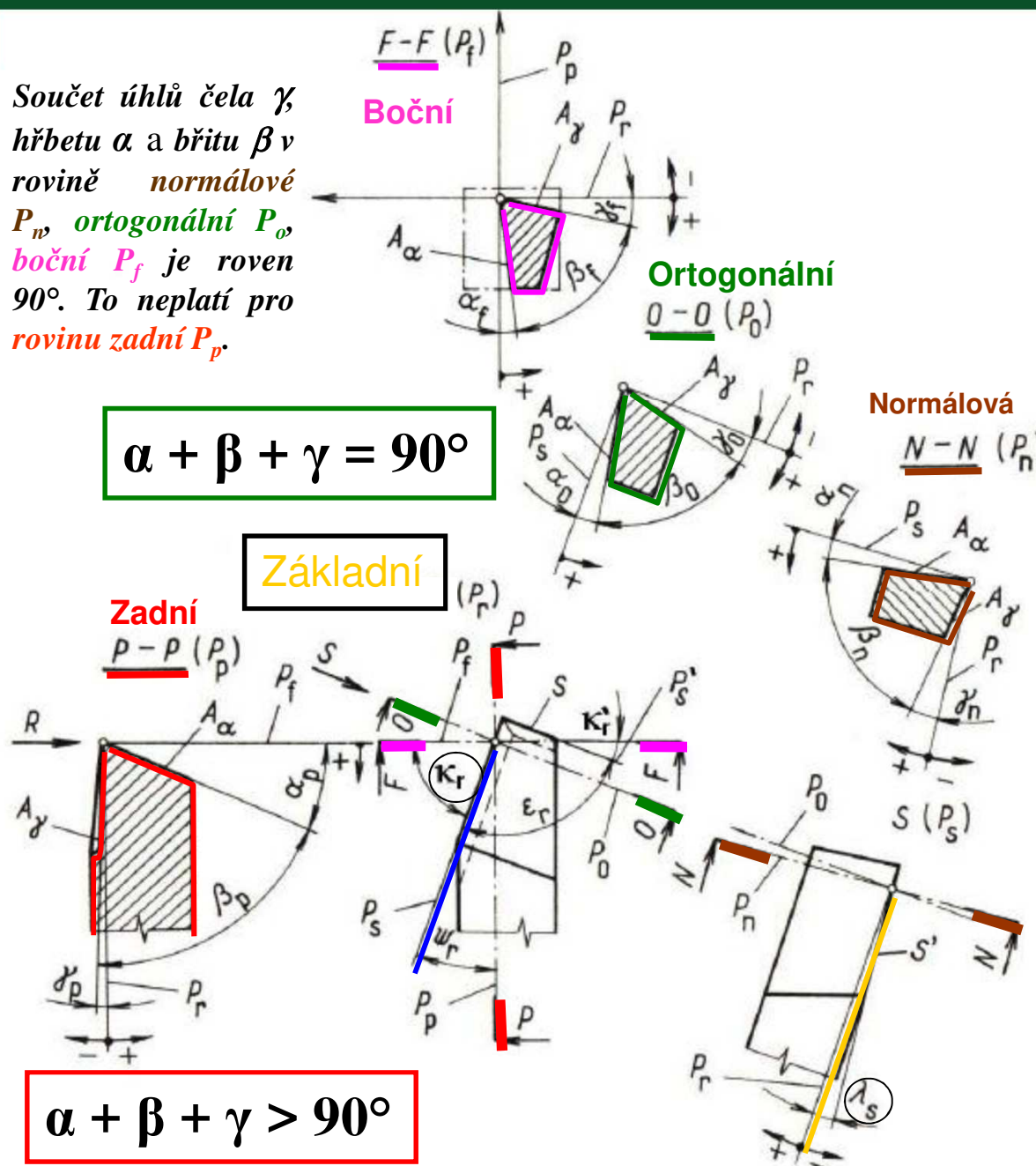
Základní
nástrojové úhly
přejímají index
podle toho v jaké
rovině jsou
měřeny.

Součet úhlů čela γ ,
hřbetu α a břitu β v
rovině **normálové**
 P_n , **ortogonální** P_o ,
boční P_f je roven
 90° . To neplatí pro
rovinu **zadní** P_p .

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

Základní

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



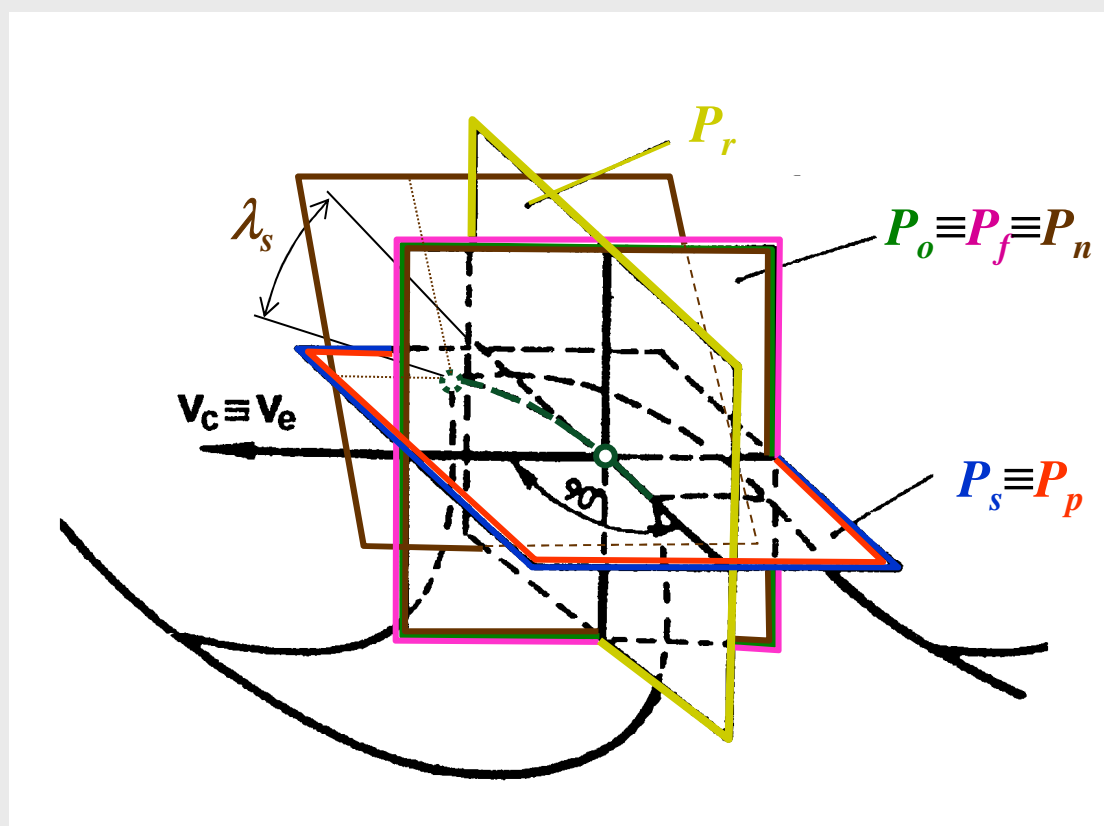
Pozornost si
zaslouží speciální
nástrojové úhly:

κ_r - úhel
nastavení hl.
řezné hrany = při
menším úhlu se
podstatně zvyšuje
šířka třísky a
řezná síla.
 λ_s - úhel sklonu
hl. řezné hrany =
má vliv na tvorbu
a odvádění
třísky).

ϵ_r - nástrojový
úhel hrotu
 ψ_r - doplňkový
úhel nastavení hl.
řezné hrany

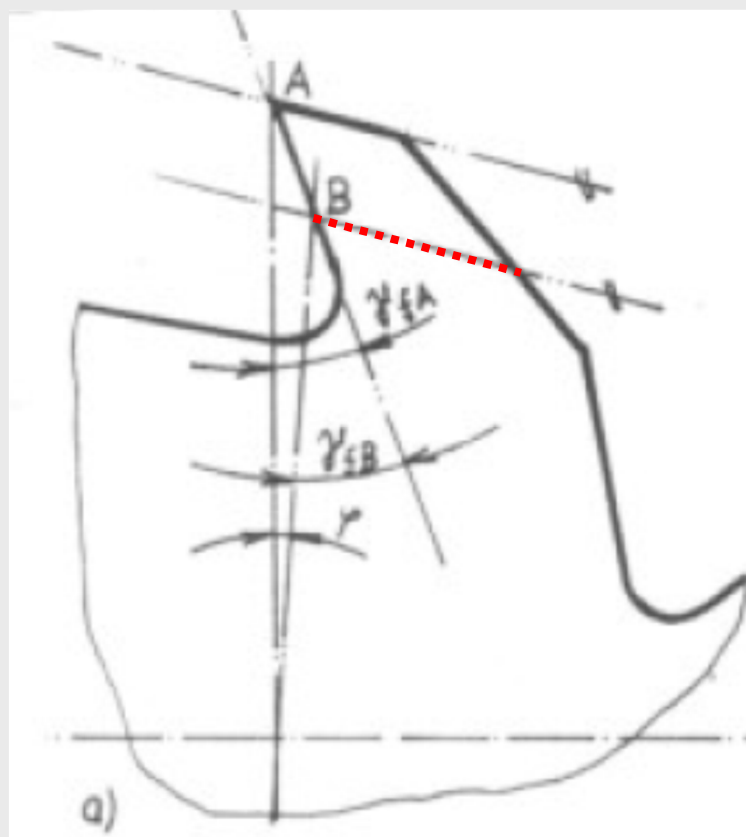
Úhel sklonu řezné hrany λ_s

- λ_s – je možné považovat za speciální úhel čela γ v rovině řezné hrany.
- Jestliže bude $\lambda_s = 0$ potom se s rovinou ortogonální P_o ztotožní rovina normálová P_n .



Změna nástrojových úhlů při ostření

Ostření na hřbetě

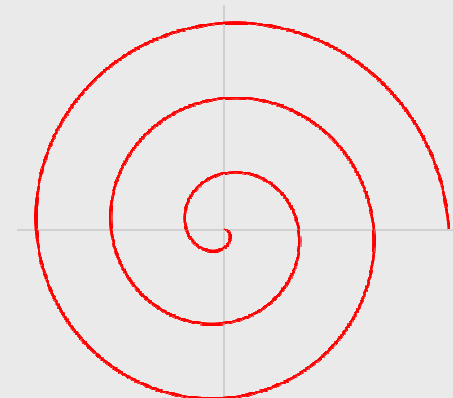
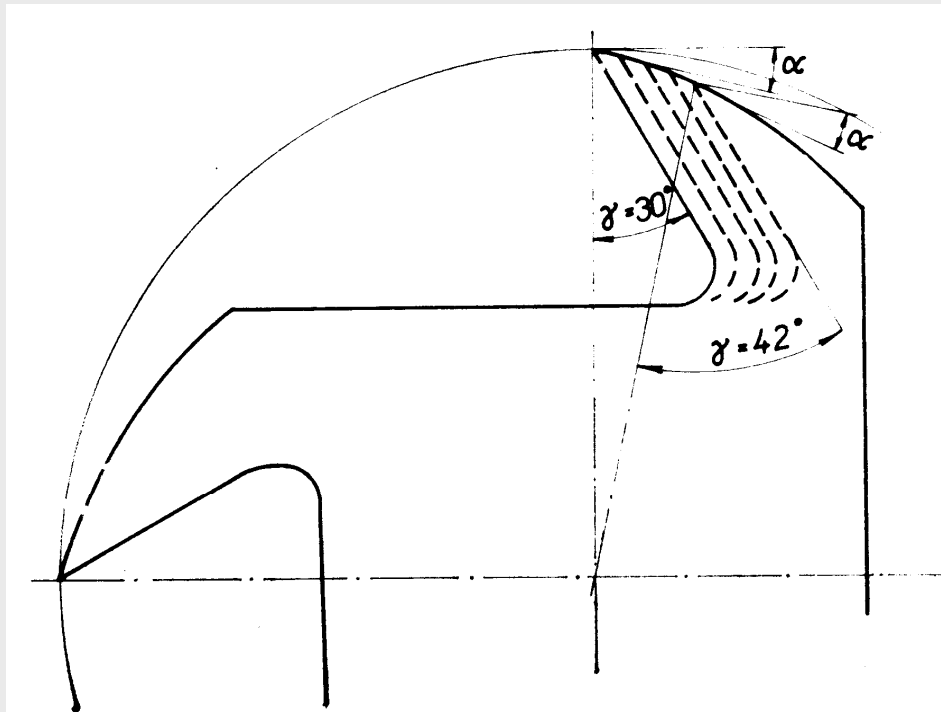


Ostření na čele



Stabilizace úhlu hřbetu u fréz

U podsoustružených fréz se ostří výhradně na čele zubu a to tak, aby byla zachována geometrie a profil zubu. Hřbet zubu je tvořen křivkou (část Archimédovy spirály), která je konstruována tak, aby se při zmenšování průměru nástroje úhel α neměnil.



Archimédes, před 2300 lety sestrojil spirálu, kterou vytvoří bod, který se pohybuje po polopřímce od jejího počátečního bodu v pólu O konstantní rychlostí, zatímco polopřímka se sama otáčí kolem pólu při konstantní úhlové rychlosti.

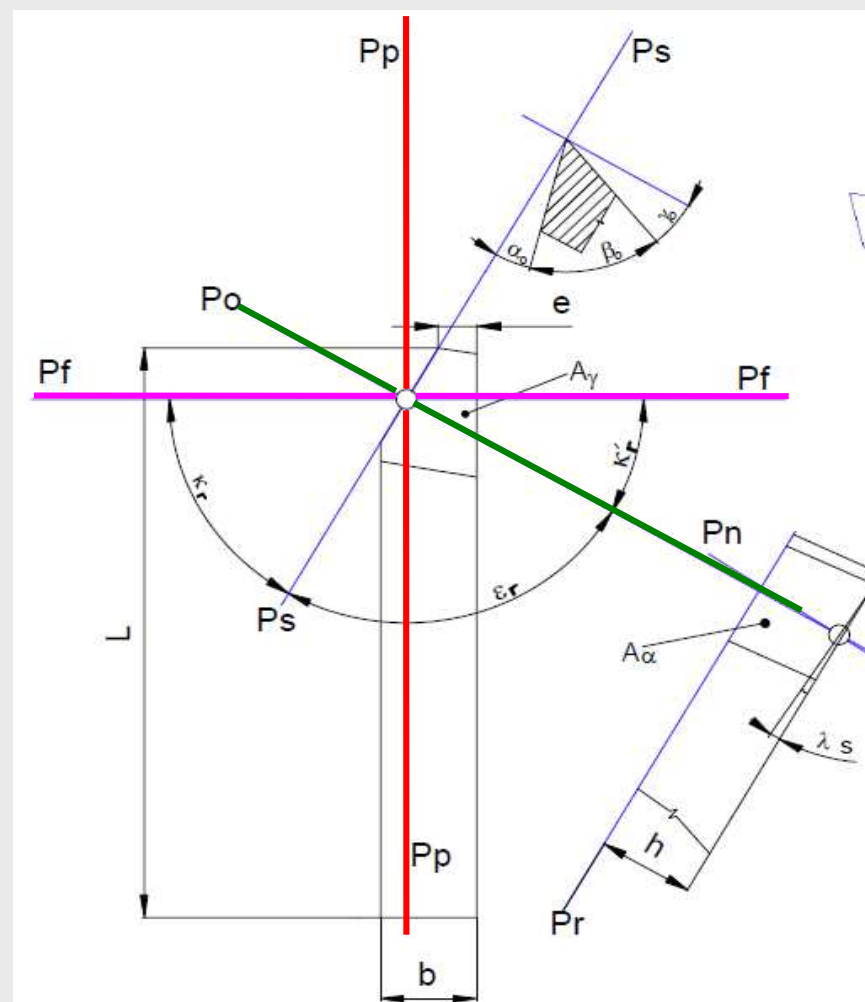
Kvantifikace nástrojových úhlů

Při konstrukci, výrobě a ostření nástroje je třeba kvantifikovat nástrojové úhly v příslušných nástrojových rovinách.

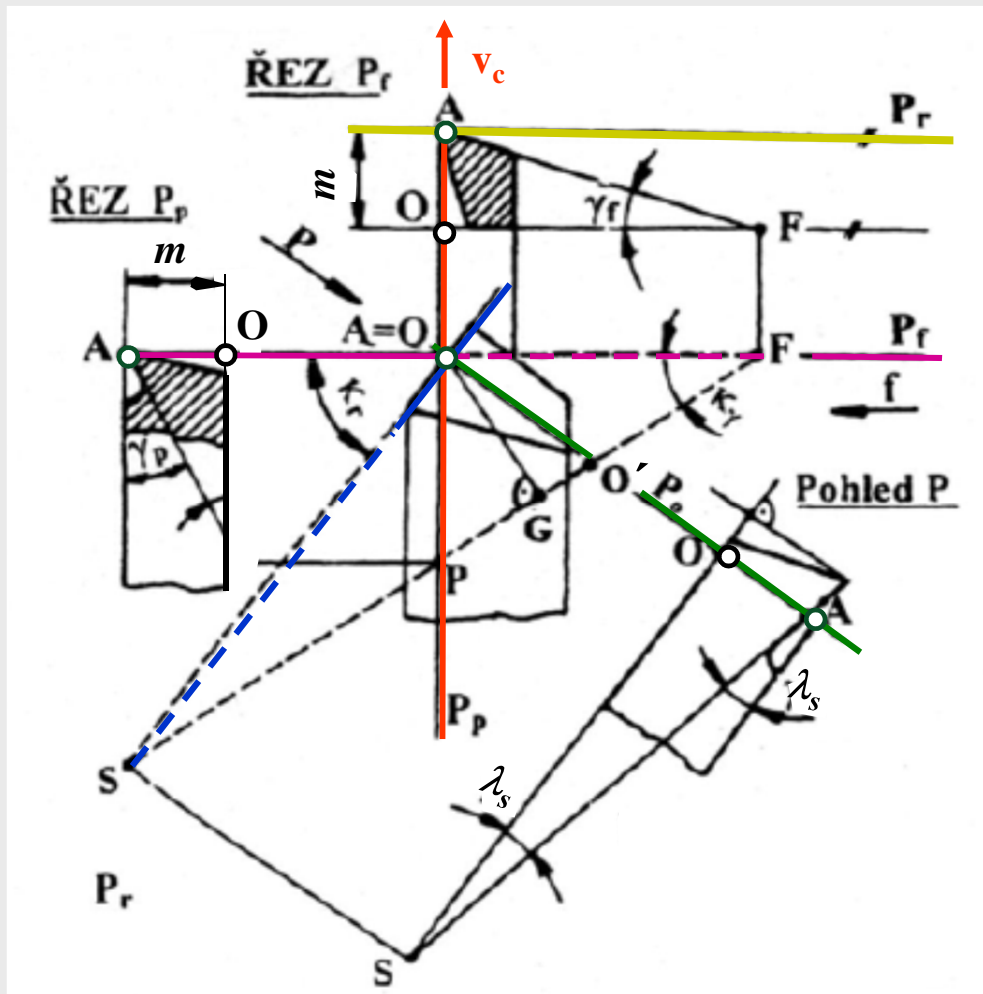
K tomuto účelu se sestavují tzv. břitové diagramy, ve kterých jsou vzájemné vazby mezi úhly nástroje vyjádřeny tangenciálními a kotangenciálními funkcemi.

Jako výchozí hodnoty jsou obvykle dány úhly:

- κ_r - úhel nastavení hl. řezné hrany,
- λ_s - úhel sklonu hl. řezné hrany,
- α_o a γ_o - úhel hřbetu a čela v ortogonální rovině.



Odvození břitového diagramu čela



- V uvažovaném bodě ostří **A** spustíme kolmici k základní rovině **P_r**.
- Zvolíme jednotku grafické jednotky (modulu) pro diagram čela **m**
- V bodě **O** vedeme rovnoběžku se základní rovinou **P_r**.
- Zavedeme stopy nástrojových rovin **P_f**, **P_p**, **P_o**.
- S uvážením jednotkové vzdálenosti (modulu) **m = 1** je možné pro jednotlivé roviny psát:

$$\overline{OS} = \overline{AO} \cdot \cot g \lambda_s = m \cdot \cot g \lambda_s = 1 \cdot \cot g \lambda_s$$

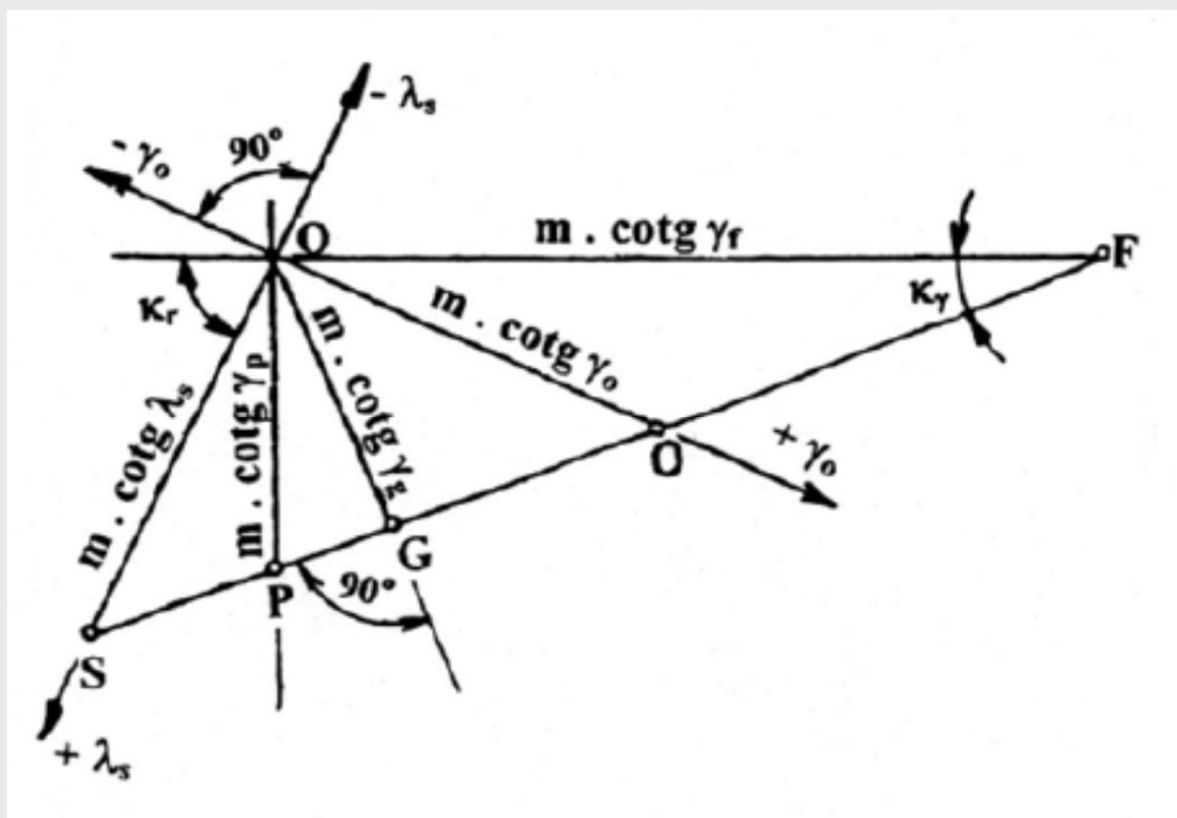
Obdobně pro úhel čela v jednotlivých nástrojových rovinách platí:

$$\gamma_f = \text{arc cot } g \overline{OF}$$

$$\gamma_o = \text{arc cot } g \overline{OO'}$$

$$\gamma_p = \text{arc cot } g \overline{OP}$$

Břítový diagram čela



Jednotlivé úhly je možné taktéž zjišťovat grafickou cestou, sestrojením břítového diagramu a odměřením jednotlivých vzdáleností.

Znaménko u zadaných úhlů λ_s a γ_o se zohledňuje podle příslušného smyslu vynášení.

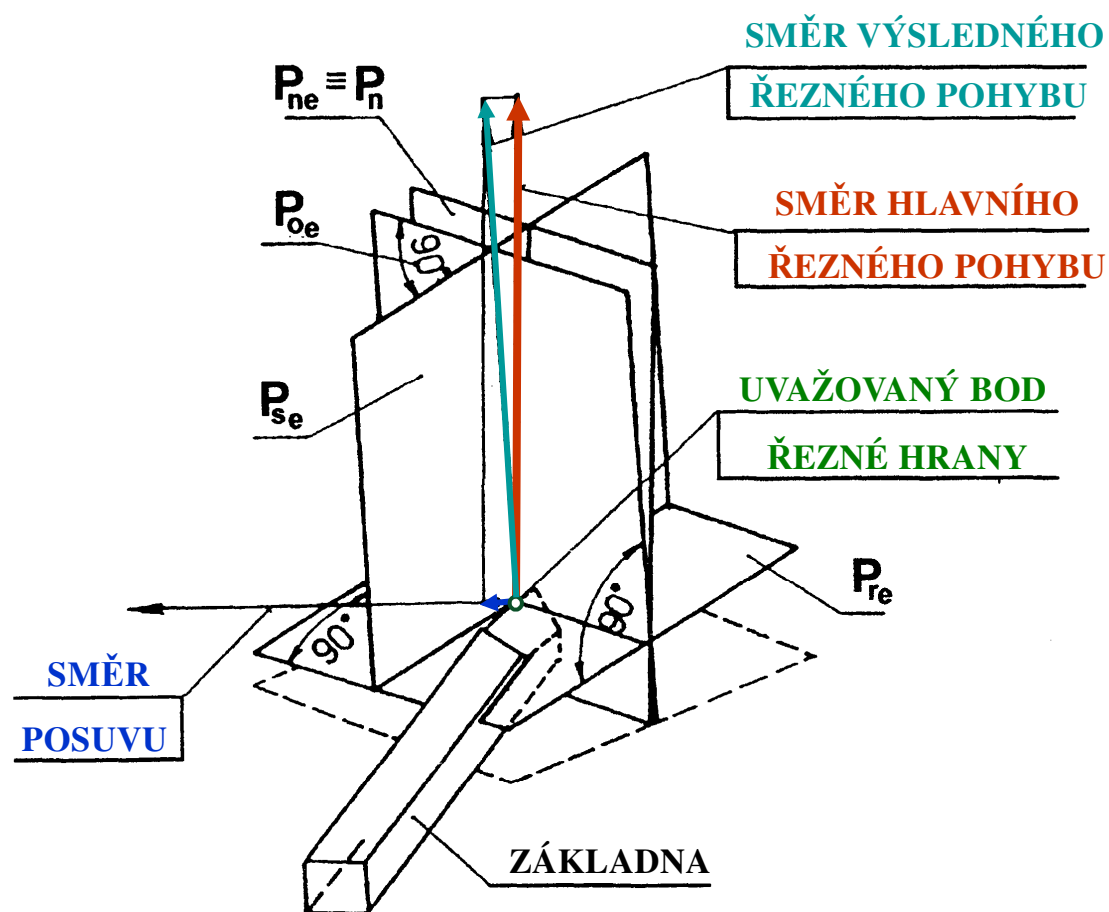
Úsečka OG reprezentuje stopu roviny největšího spádu čela P_g .

2. Pracovní souřadnicová soustava

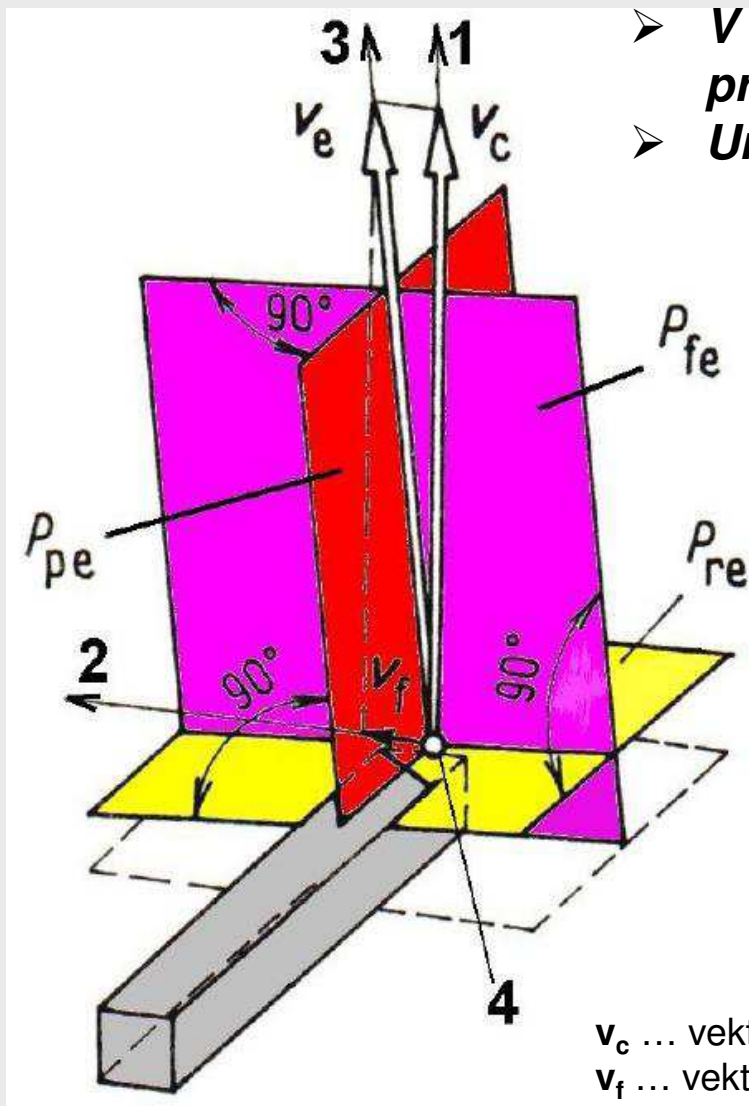
Proč se zavádí pracovní souřadnicová soustava?

1. V pracovních rovinách je identifikována **geometrie řezné části nástroje v procesu řezání** $\Rightarrow$ odtud název **pracovní soustava**. Vlivem kinematiky procesu řezání výsledný vektor řezné rychlosti $\mathbf{v}_e$ mění svou polohu a vzhledem k tomu, že na tento vektor je kolmá základní rovina, změní polohu i ta a s ní i v ostatní roviny.
2. Úhly v pracovní souřadnicové soustavě se tedy transformují (mění se jejich velikost se změnou řezných podmínek nebo se změnou polohy nástroje k obrobku). Označují se stejně jako v nástrojovém souřadném systému, jen pro odlišnost rovin se doplňují dolním indexem „e“, který symbolizuje pracovní souřadnou soustavu.

Princip pracovní souřadnicové soustavy



- V pracovní (kinemtaické) souřadnicové soustavě je zkoumána geometrie řezné části nástroje v procesu řezání, tj. jsou zkoumány úhly, které svírají jednotlivé plochy řezného klínu s vektorem rychlosti výsledného řezného pohybu v_e .
- Roviny a úhly v pracovní souřadnicové soustavě se označují stejně jako v nástrojovém souřadném systému, jen pro odlišnost rovin se doplňují dolním indexem „e“, který symbolizuje pracovní souřadnou soustavu.



- V **pracovních rovinách** jsou definovány **pracovní úhly nástroje při obrábění**.
- Určovány jsou k základní pracovní rovině **Pre**.

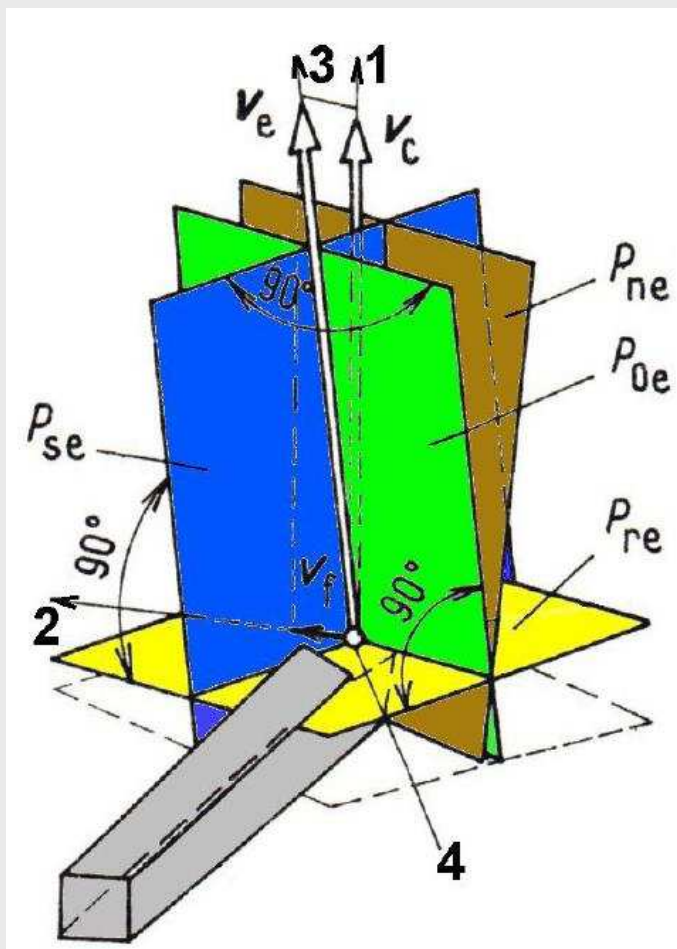
❖ **Pracovní rovina základní Pre** - je rovina procházející uvažovaným bodem ostří a je kolmá na předpokládaný směr rychlosti výsledného řezného pohybu – vektoru rychlosti v_e .

❖ **Pracovní rovina boční Pfe** - je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, leží v ní vektor **posuvové rychlosti** v_f a je kolmá na pracovní rovinu základní **Pre**.

❖ **Pracovní rovina zadní Ppe** - je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na pracovní rovinu základní **Pre** a na pracovní rovinu boční **Pfe**.

v_c ... vektor rychlosti hlavního řezného pohybu
 v_f ... vektor rychlosti posuvu
 v_e ... vektor rychlosti výsledného řezného pohybu

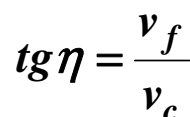
Pracovní roviny situované k řezné hraně nástroje



Roviny pracovní souřadnicové soustavy soustružnického nože
(1 - směr hlavního pohybu, 2 - směr posuvového pohybu, 3 -
směr řezného pohybu, 4 - uvažovaný bod ostří)

- **P_{re} základní rovina** je kolmá na vektor řezné rychlosti 3 dochází ke změně polohy v důsledku změny směru výsledného vektoru řezného procesu 3, např. vlivem změny velikosti posuvné rychlosti nebo změny polohy řezné hrany nástroje vůči poloze obrobku
- Dojde k natočení roviny řezu **P_s** i roviny ortogonální **P_o** a k tzv. transformaci nástrojových úhlů na pracovní úhly.
- **P_{ne} normálová rovina** - rovina kolmá na čelo nástroje. Jako jediná svou polohu nemění (pouze když se mění úhel sklonu ostří $\lambda_s = 0$).

(rychlosti přísuvu při soustružení)

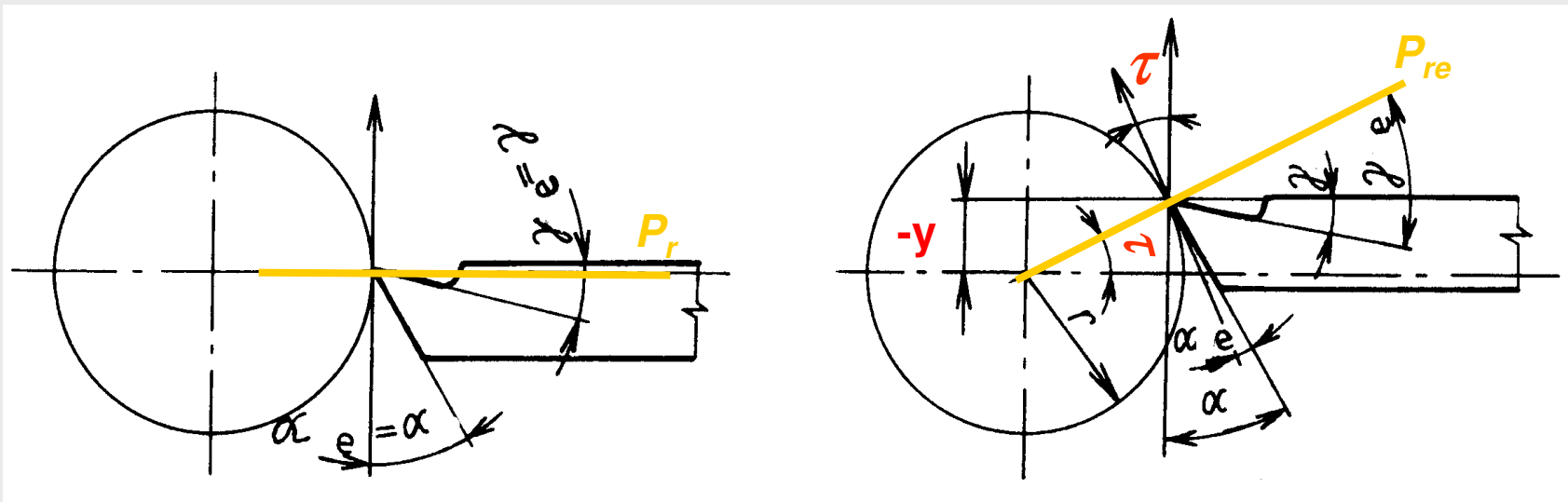


Hodnoty pracovních úhlů α_{fe} a γ_{fe} (např. u zapichovacího soustružnického nože, zubu pásové pily apod.) určuje řezný pohyb, který je dán vektorem rychlosti výsledného řezného pohybu $\mathbf{v}_e$.

**Negativní změna pracovního úhlu
hřbetu a čela díky vysoké posuvné
rychlosti:**

$$\begin{aligned}\alpha_{fe} &= \alpha_f - \eta \\ \gamma_{fe} &= \gamma_f + \eta\end{aligned}$$

Změna pracovních úhlů při vyosení nastavení nástroje vůči obrobku

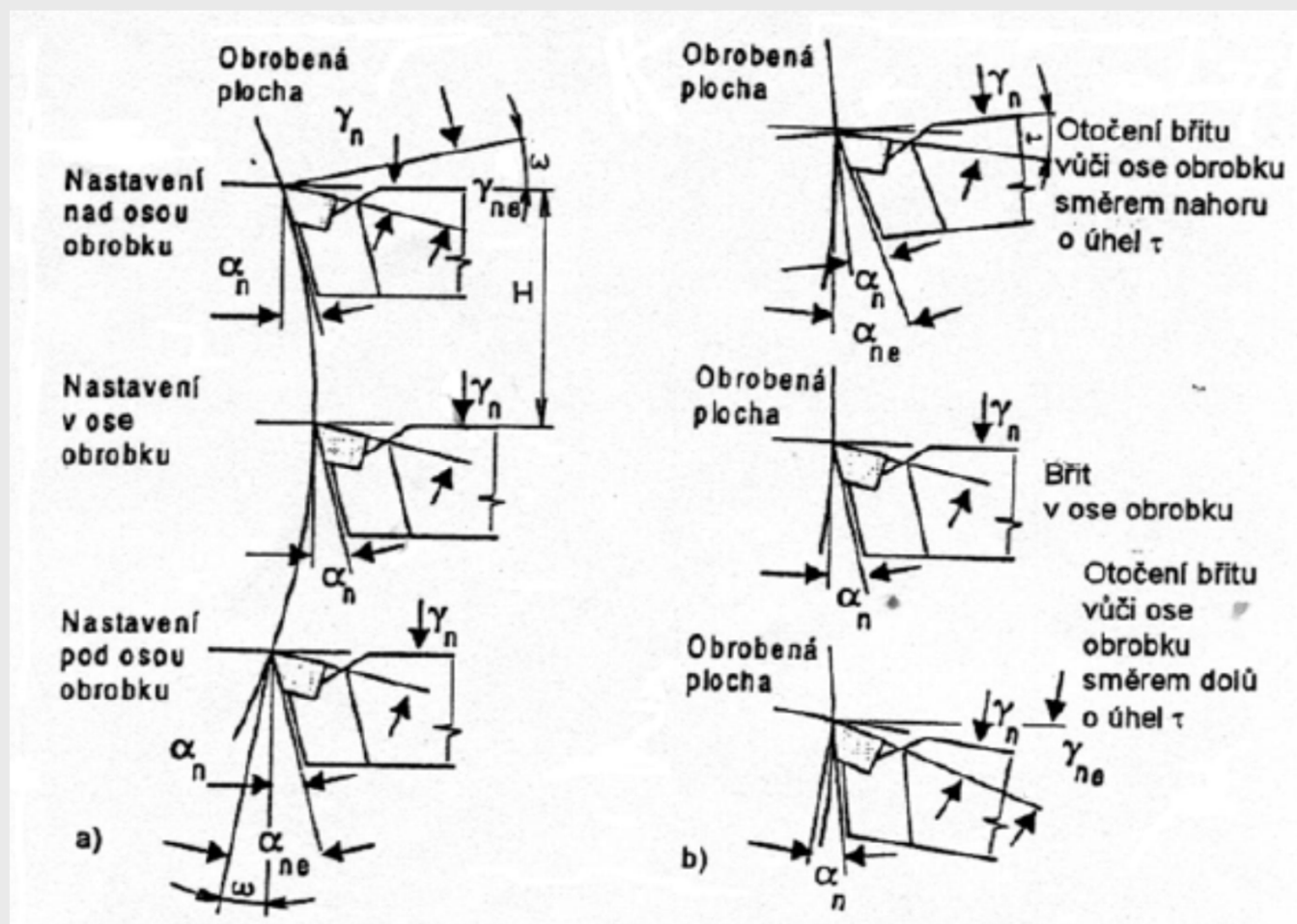


Nežádoucí transformace – nepřipustné snížení pracovního úhlu hřbetu, větší tření hřbetu nástroje o obrobenou plochu = vyšší teploty, špatná kvalita povrchu atd.

$$\alpha_e = \alpha - \tau$$

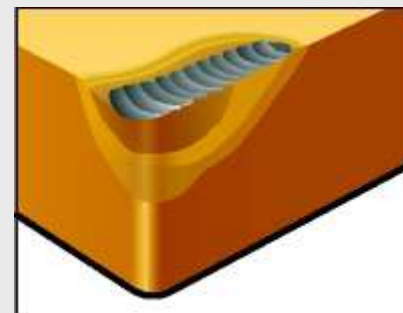
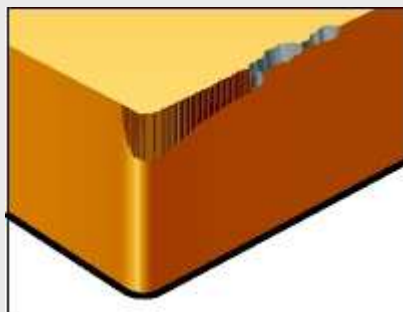
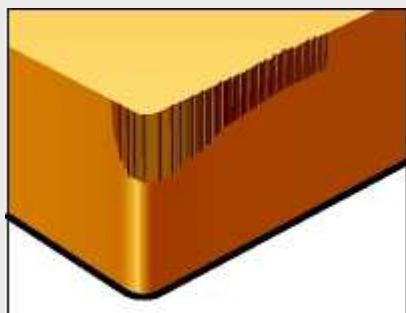
$$\gamma_e = \gamma + \tau$$

Korekce pracovních úhlů vychýlením břitu



- a) Nastavení břitu vzhledem k obrobku
- b) Pootočení břitu vzhledem k obrobku

3. Opotřebení řezného klínu



Mechanismus opotřebení nástrojů

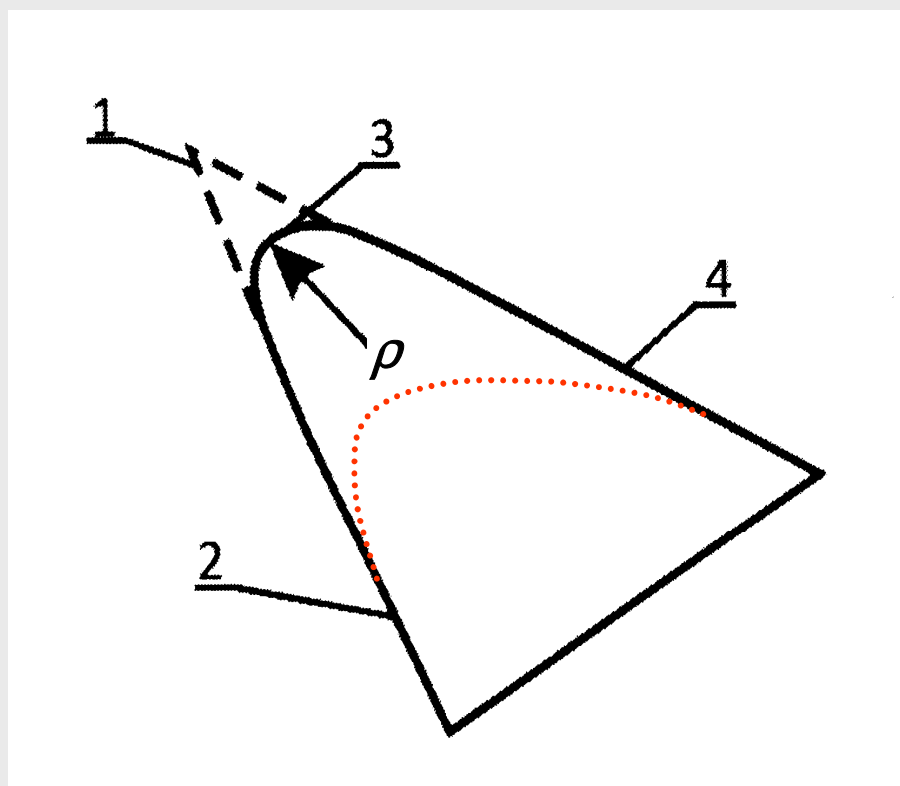
- ✓ Opotřebení je postupná změna mikrogeometrie řezného klínu nástroje v procesu obrábění.
- ✓ Opotřebení je důsledkem komplexního účinku fyzikálně-chemických procesů mezi kontaktními plochami řezného klínu a „obtékajícím“ materiálem.
- ✓ Opotřebení zapříčiní zvětšení ploch tvořících skutečnou řeznou hranu a zvětšuje se zaoblení břitu.

Opotřebení řezného klínu může být dvojího druhu:

- **Mechanické** - vzájemná mechanická interakce obrobku (třísky) a nástroje, projevující se abrazí (obrušováním ploch břitu) a také adhezí („přilnutím“ částic dřeva na povrch nástroje).
- **Fyzikálně-chemické** (vliv vznikajících el. nábojů při obrábění, vliv teploty a zejména vliv chemického působení dřeva (chemické sloučeniny a vlhkost) za vzniku oxidačních povlaků na povrchu nástroje (elektrochemická koroze).

Poznámka: Při opotřebení nástroje hraje významnou roli i teplota při obrábění. Vzhledem k tomu, že dřevo je špatný vodič tepla musí být vznikající teplo odváděno nástrojem (v povrchových vrstvách na břitu nástroje může být teplota i 650 °C). Na druhé straně popouštěcí teplota u nástrojových ocelí, kdy materiál podstatně ztrácí tvrdost, se pohybuje kolem 500 °C (u rychlořezných je vyšší až 750 °C).

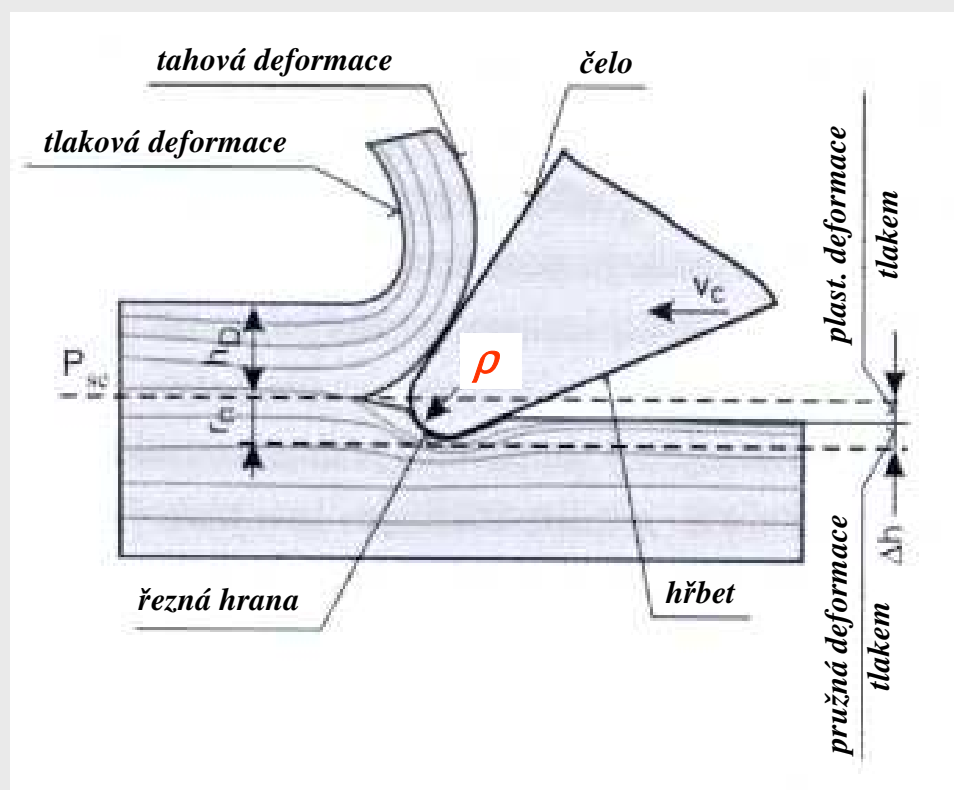
Názvosloví řezného klínu nástroje



1 – ideální ostří, 2 – čelo řezného klínu, 3 – skutečné ostří
(ρ - poloměr zaoblení ostří), 4 – hřbet řezného klínu,
otupené ostří - červený průběh

- **Ideální ostří** – klínová část nástroje vytvořená plochou čela a hřbetu nástroje.
- **Skutečné ostří** – je tvořeno průnikem nerovných ploch čela a hřbetu [často je charakterizováno poloměrem zaoblení (otupení) ostří].
- **Otupené ostří** – mezní stav, při kterém je již obrábění obtížné (růst sil, nekvalitní plocha, problémy s vytvořením třísky, pálení obrobku a nekvalitní obrobená plocha).

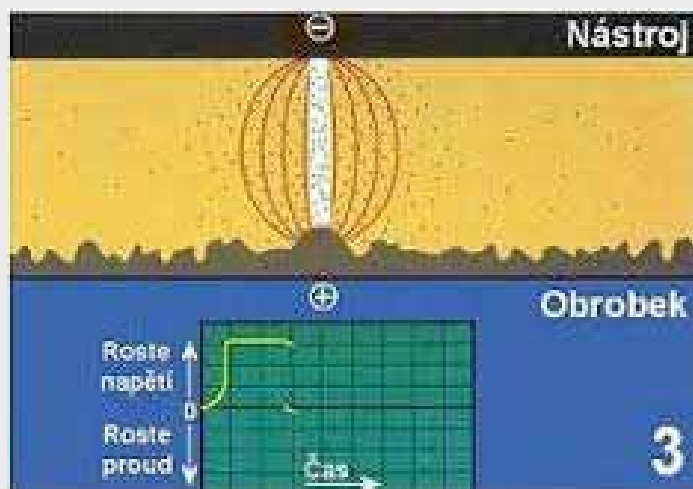
Vliv mechanických jevů na opotřebení



h_D ... nominální tloušťka třísky, ρ ... poloměr zaoblení
řezné hrany, v_c ... řezná rychlost, Δh ... plastická a pružná
deformace povrchu obrobku, P_{se} ... pracovní rovina řezu

- **Tříska** v důsledku tlakových a tahových deformací **působí značným tlakem na čelo nástroje**. Dochází nejen k vytrhávání částic z čela klínu nástroje, ale může dojít i k ohnutí a ulomení části břitu (toto se častěji vyskytuje při řezání měkkého dřeva se suky, velmi tvrdého dřeva a u nástroje s malým úhlem břitu β).
- **Míra tlakové deformace** a abrazivního a adhezivního opotřebení **na hřbetě nástroje** závisí zejména na poměru nominální tloušťky třísky h_D a poloměru zaoblení ostří ρ .

Vliv elektrických jevů na opotřebení

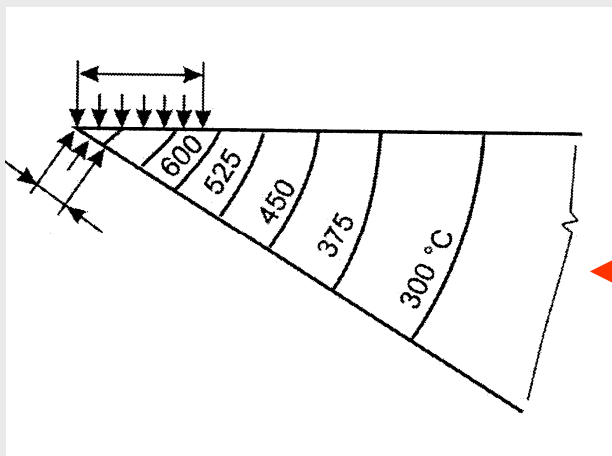
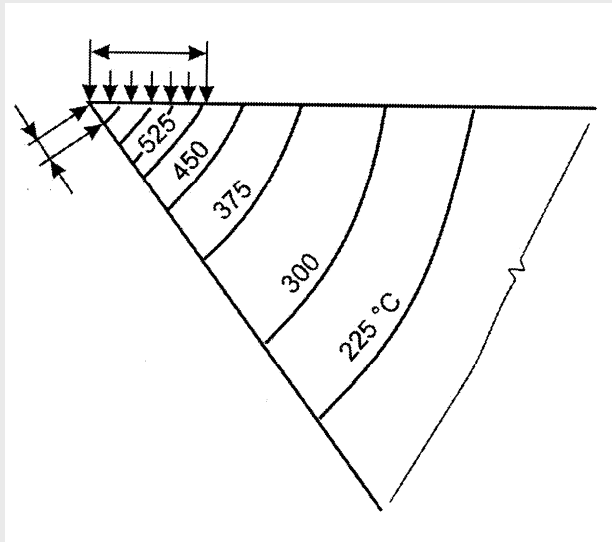


Mechanismus vzniku elektrických nábojů mezi obrobkem a nástrojem

- Při rozrušování materiálu řeznou hranou a tvoření nových povrchů se trhají molekulární spoje a oddalují se polární konce molekul.
- Tako vzniklé elektrické náboje na povrchu dřeva vyvolají odpovídající mozaiku nábojů na povrchu řezného klínu, ale s opačným znaménkem.
- Při skluzu dřeva po řezném klínu se také tvoří tzv. tribonáboje, tyto elektrické náboje se často neutralizují cestou jiskrového výboje přes vzduchovou mezeru mezi třískou a řezným klínem, zvláště intenzivní jsou tyto výboje při řezání suchého dřeva, které funguje jako větší dielektrikum.
- Část el. nábojů se zachytí na povrchu třísek (odtud je známa evidentní výbušnost dřevního prachu a pilin, zejména při broušení dřeva – nutnost použití antistatických brusných pásů, co nejlepší uzemnění elektroinstalace stroje, atd.)

Opotřebení řezného klínu je výsledkem elektrické eroze vlivem výbojů. Tvořící se jamky na povrchu nástroje dále vedou k intenzifikaci mechanického rozrušení povrchových vrstev oceli. Je třeba ovšem poznamenat, že výkon el. nábojů není tak velký, aby způsoboval viditelné procesy v povrchových vrstvách nástroje. Mnohem větší účinek mají složité elektromechanické i elektrochemické procesy v povrchových vrstvách nástroje.

Vliv tepelných jevů na opotřebení



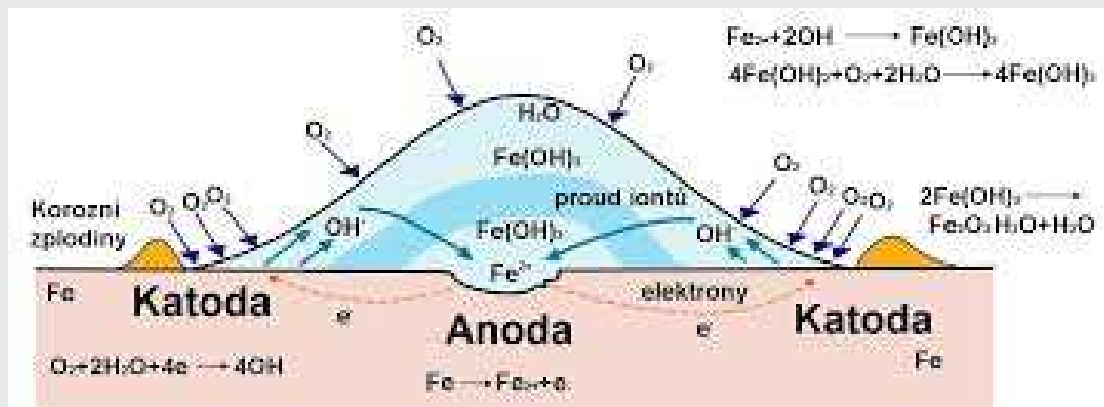
- V důsledku nízké tepelné vodivosti dřeva, se ztrátová energie vzniklá při obrábění odvádí převážně nástrojem.
- Vznikající teplota na povrchu řezného klínu vede ke strukturálním změnám v materiálu nástroje, zejména k větší plastifikaci a menší odolnosti vůči opotřebení.
- Vysoká tvrdost nástrojových materiálů zaručuje vyšší odolnost proti plastickému tečení a měknutí řezného klínu.
- U konstrukčních uhlíkových ocelí nastává rapidní snížení tvrdosti již při teplotách 100 až 300 °C, u legovaných ocelí vhodných na výrobu dřevoobráběcích nástrojů při 300 až 500 °C, u rychlořezných ocelí je to 500 až 750 °C, u stelitů 950 °C, u slinutých karbidů 900 až 950 °C.

u řezných klínů s malým úhlem břitu je ztížený odvod tepla nástrojem a lze očekávat rozsáhlejší popuštění břitu než u nástrojů s vyššími úhly břitu

Vliv chemických jevů na opotřebení

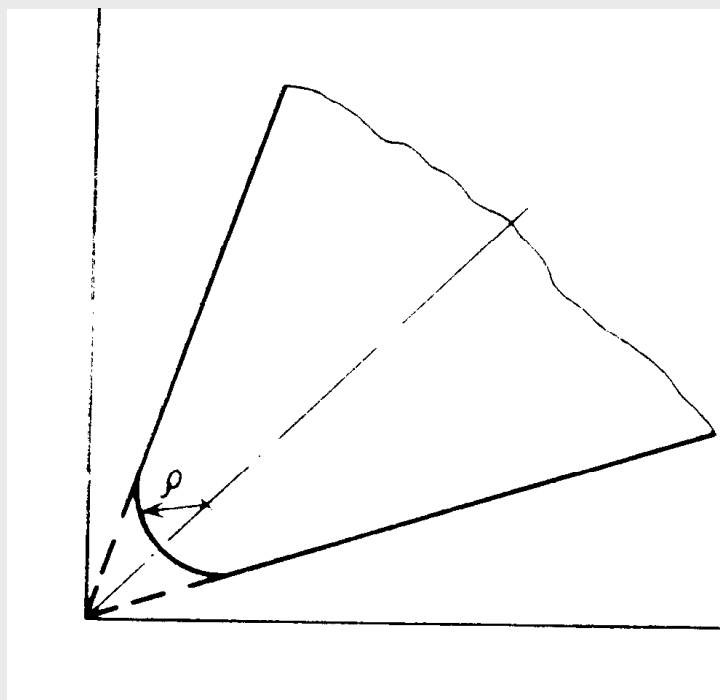


- Chemické jevy při obrábění lze spatřovat v produktech termorozkladu dřeva, zejména v jejich kapalných frakcích, obsahujících organické kyseliny.
- Je známo, že kovy tvoří v kyselém prostředí mikrogalvanické prvky, které vyúsťují k elektrochemické korozi, rozrušení struktury materiálu řezného klínu v elektrolytu.
- Při prováděných experimentech s chrom-niklovou ocelí 16 270 (která je vhodná např. na listy rámových pil) byl posuzováno její rozpouštění v horkých kyselých extraktech dřeva v pořadí – dub, akát, jasan, a buk.
- Největší elektrochemické účinky byly zaznamenány v procesu: dub $0,5492 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, akát $0,3742 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, jasan $0,0364 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, buk $0,0221 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$.

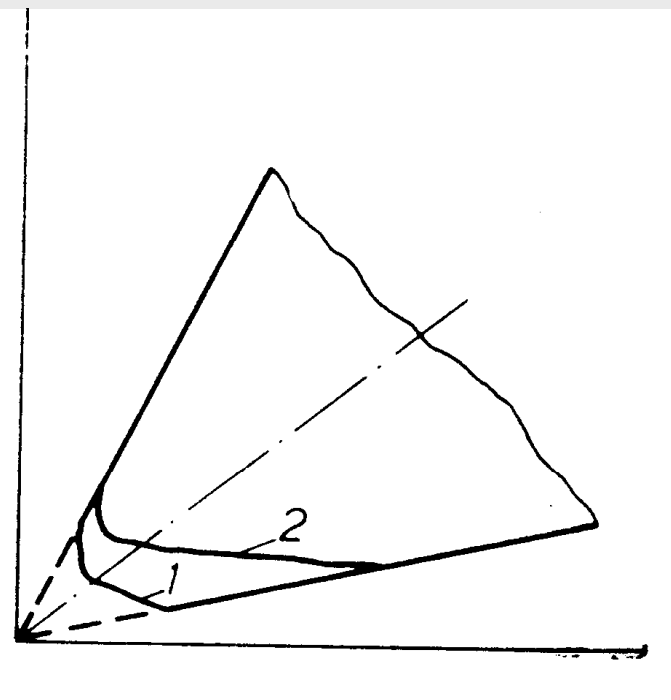


Změna mikrogeometrie břitu

Závisí na druhu nástroje a druhu obrábění,
tloušťce třísky, řezných úhlech a druhu obrobku.

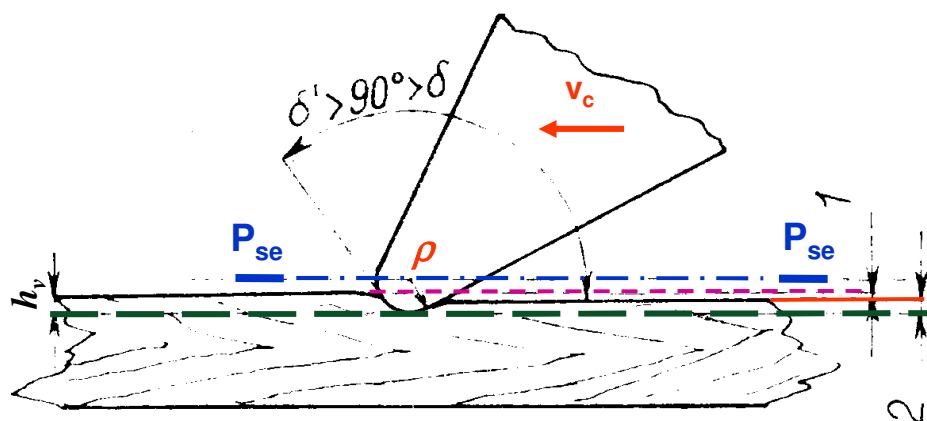


zaoblení hrotu při řezání měkkého dřeva pilami



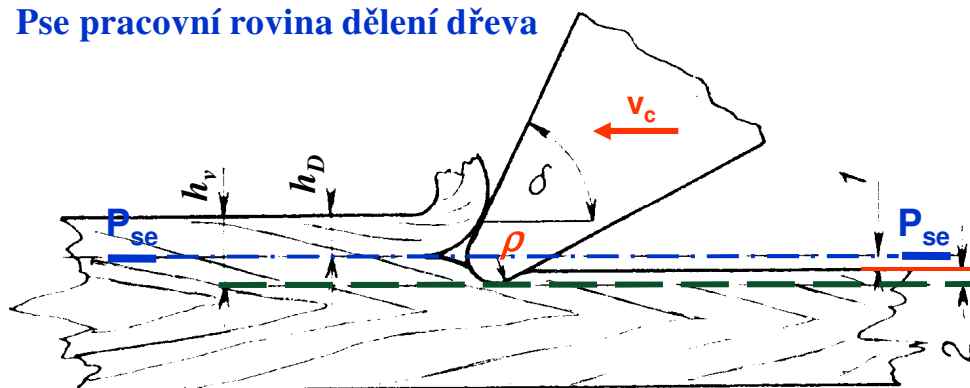
*typický profil frézovacího nože
(1-smrk, buk; 2- abrazivní obrobek)*

Vliv poloměru ostří na řezání



1 ... plastická deformace, 2 ... pružná deformace povrchu obrobku

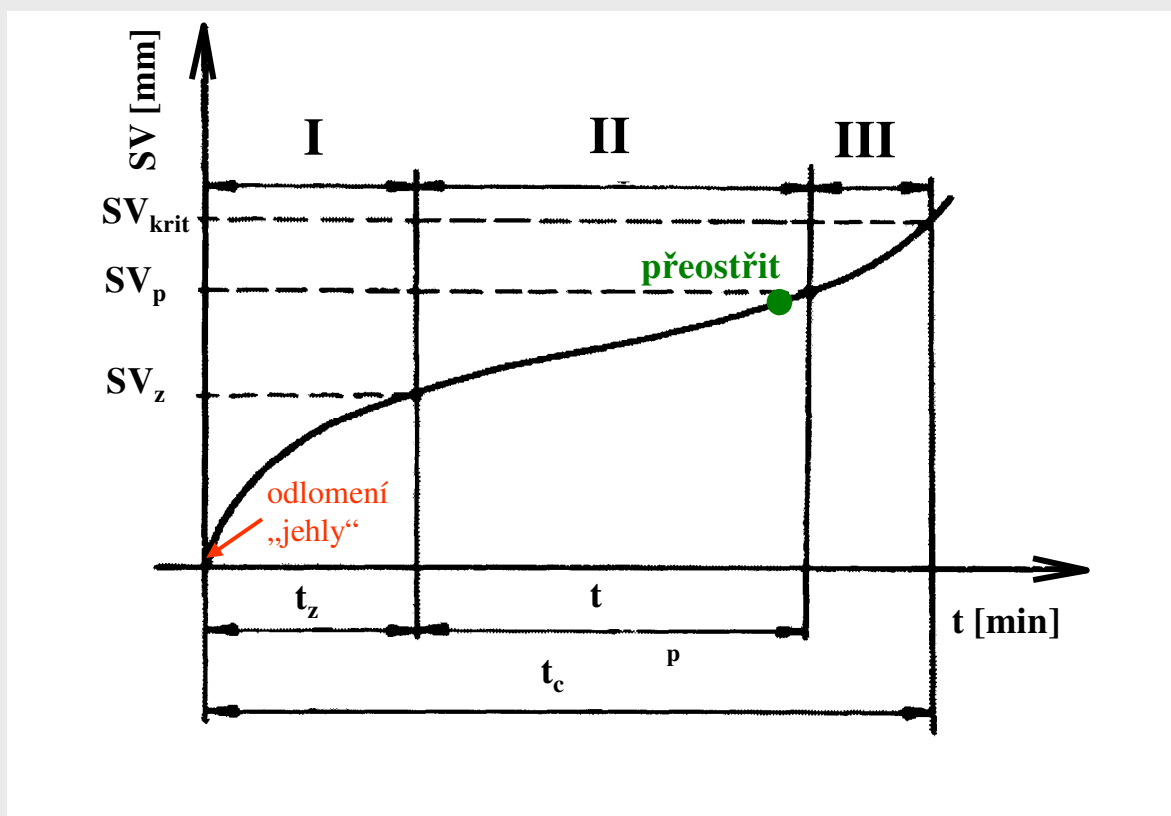
Pse pracovní rovina dělení dřeva



❖ Při otupeném nástroji, kdy nastavená tloušťka třísky h_v je menší než je poloměr zaoblení ostří ($h' < \rho$) pracuje břit s úhlem řezu $\delta' > 90^\circ$ - nástroj stlačuje hmotu obrobku pod sebe a neodřezává ji. K pohybu nástroje je potřeba značné práce k překonání tření a stlačování hmoty obrobku. Značná část energie se přeměňuje v teplo.

❖ Teprve při dostatečném rozdílu nastavené tloušťky třísky (posuvu na zub f_z) ($h_v > \rho$) se vytvoří dostatečná tříska o tloušťce h_D . Na druhé straně, čím menší je poloměr zaoblení břitu $\rho \rightarrow \min$, tím více se místo dělení dřeva (rovina A-A) přibližuje rovině obrobené plochy, obrábění je snazší a obrobená plocha kvalitnější. U běžně broušených nástrojů se hodnota poloměru ostří pohybuje v rozmezí $\rho = 5$ až $30 \mu m$).

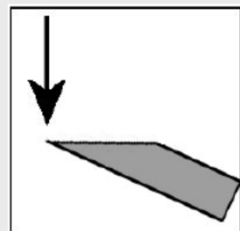
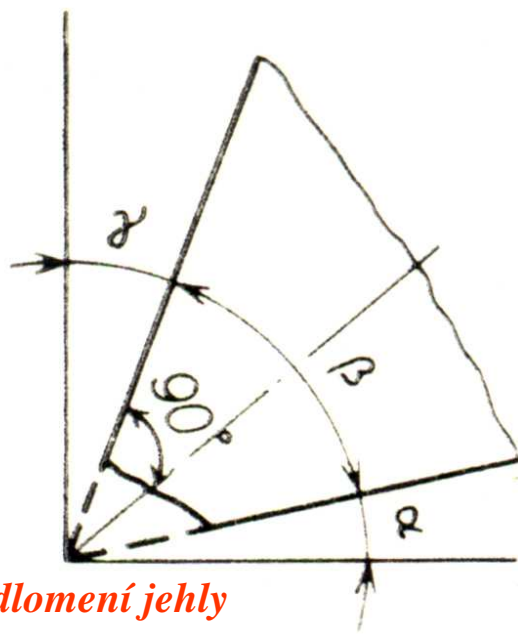
Proces otupování



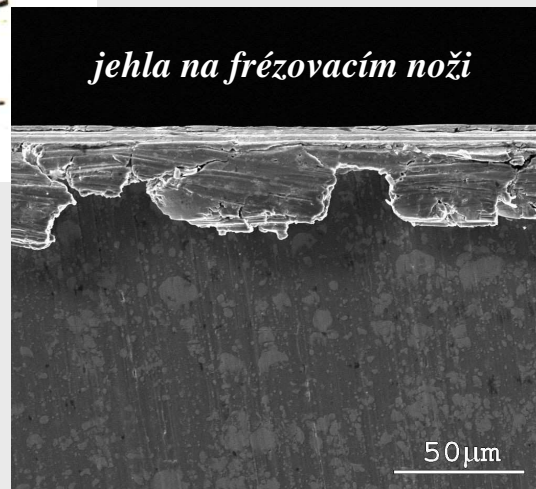
- *I - úsek počátečního opotřebení*
- *II - úsek normálního opotřebení.*
- *III - úsek zrychleného opotřebení*

SV ... míra opotřebení (ustoupení břitu), SV_z ... záběhová hodnota opotřebení, SV_p ... optimální provozní hodnota opotřebení, t_z ... čas záběhu, t_p ... čas provozu, t_c ... celkový čas

I. úsek - počáteční opotřebení

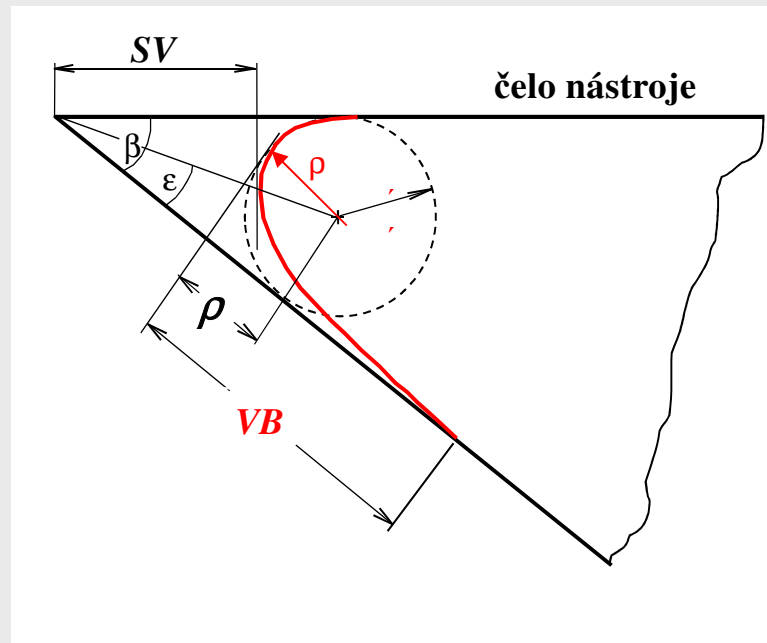


- Opotřebení intenzívně roste, pak postupně regresívně klesá, až se ustálí na určité hodnotě.
- Odstraňují se defektní povrchové vrstvy rezného klínu a vytvoří se mikrogeometrie břitu, která se již dále dramaticky nemění.
- Problém v tomto úseku je ohnutí a odlomení části jemného ostří (tzv. jehly), které by se blížilo ostří ideálnímu. Tento jev s jistotou nastává u nástrojů s malým úhlem břitu β a velkým úhlem řezu $\delta = \alpha + \beta$.



- Odlomení jehly nastává téměř okamžitě při první interakci nástroje s obrobkem. Proto je snahou, aby při ostření a následném obtahování břitu jemnými brusy byla jehla co nejmenší a tím se podstatně zkrátí časový úsek záběhu t_z .

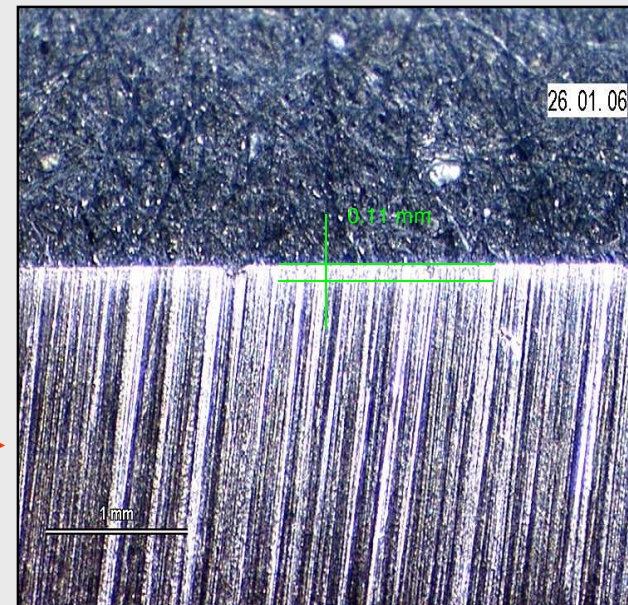
II. úsek - normální opotřebení



Opotřebení na hřbetě frézovacího nože (rychlořezná ocel 19 824) při odfrézování 3000 m bukových lišt.

Opticky zjištěná šířka opotřebení hřbetu $VB = 0,11 \text{ mm}$ →

- Intenzita růstu opotřebení je podstatně menší než v prvním úseku.
- Podmínky opotřebení se mění jen nepatrně.
- Obecným požadavkem je, aby se tento úsek byl co nejdelší a v této souvislosti se mluví s trvanlivostí břitů, viz. dále.



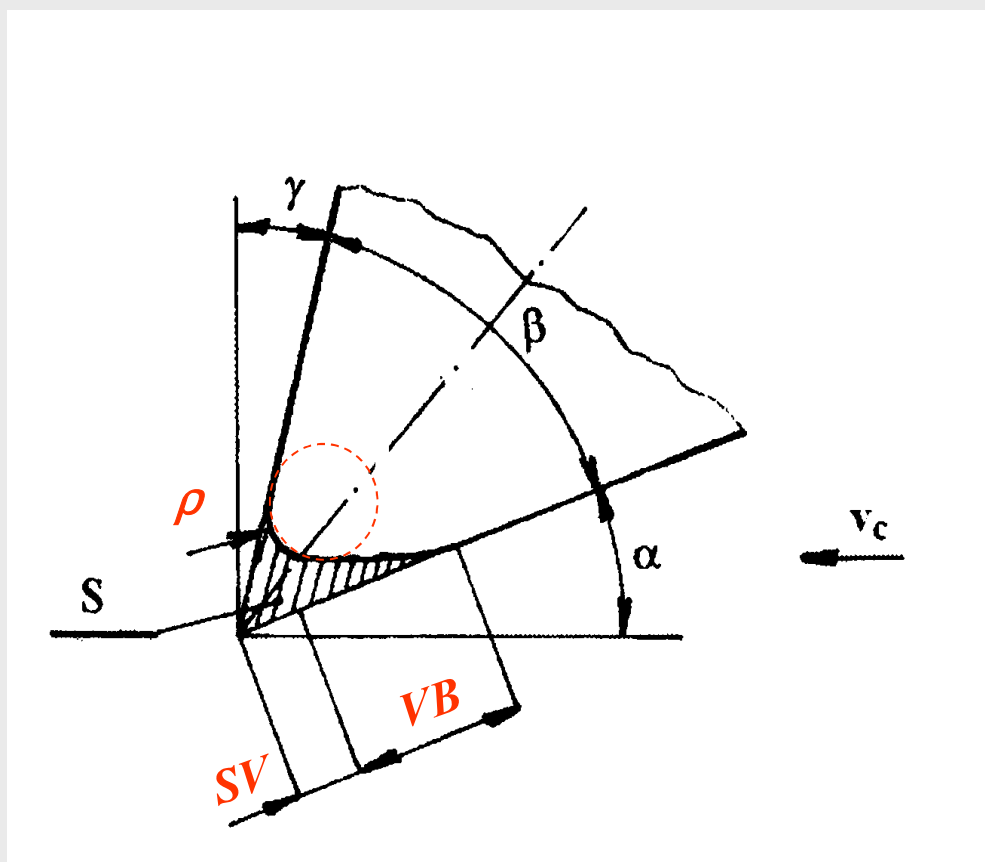
III. úsek – zrychlené opotřebení



Zničený pilový kotouč pro rozmítací pilu v důsledku přehřátí, které vyvolalo ztrátu stability a jeho mechanickou destrukci.

- Intenzita opotřebení začíná značně vzrůstat.
- Příčiny lze hledat v podstatně změněných podmínkách interakce břit nástroje a obráběný materiál.
- V důsledku růstu opotřebení a zvětšování poloměru zaoblení ostří rostou podstatně odpory při obrábění doprovázené růstem teplot, které způsobují měknutí rezného materiálu a jeho další opotřebení vedoucí ke zničení nástroje.

Základní charakteristiky opotřebení břitu



Pro vyjádření otupení dřevoobráběcích nástrojů se nejčastěji používají hodnoty:

- poloměr otupení břitu ρ
- ustoupení břitu SV
- šířka otěru na hřbetě VB
- plocha otěru S

Metody měření opotřebení břitu

K určení opotřebení můžeme použít dvě metody, a to:

- nepřímé metody
- přímé metody

Nepřímé metody jsou založeny na měření jiné veličiny, která úzce souvisí s opotřebením nástroje a má obdobný průběh (např. řezná síla, řezný výkon apod.). Nevýhodou těchto metod je, že neinformují o změně profilu (geometrii) řezné hrany.

Přímé metody je možné rozdělit na dvě skupiny:

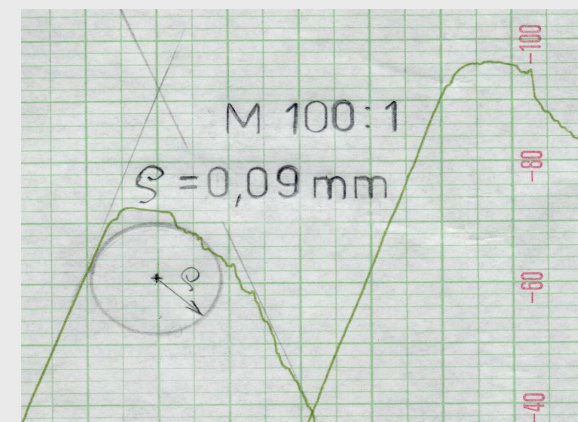
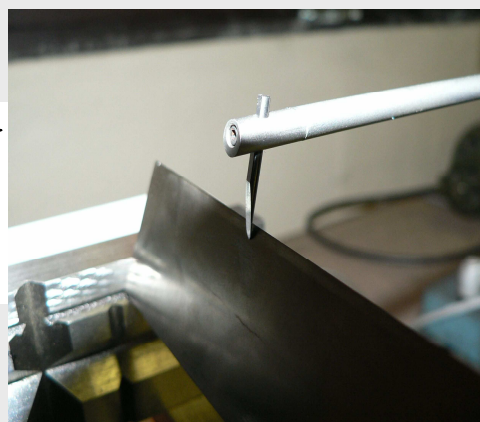
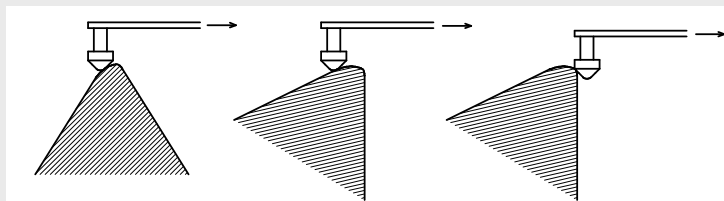
1. Měření částí nástroje (klínu), které se při obrábění z nástroje odstranily – např. váhová metoda.
2. Metody mikroskopické nebo topografické, které jsou založeny na měření vybraných charakteristik řezné hrany (ρ , SV, VB, ...)

Kontaktní metody měření opotřebení

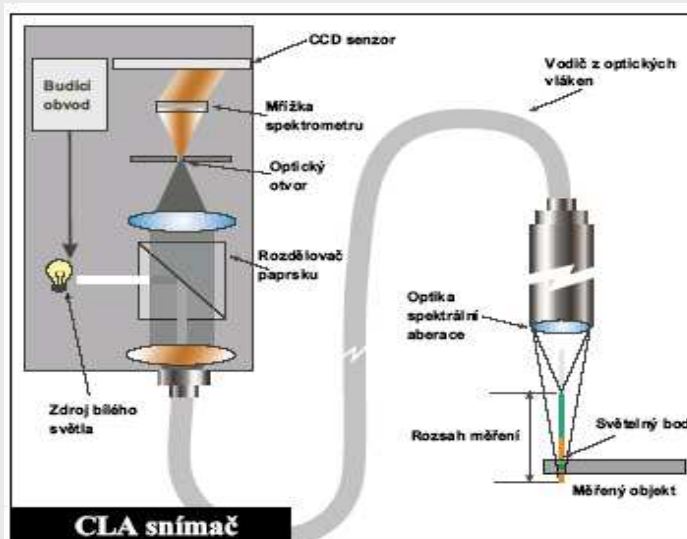
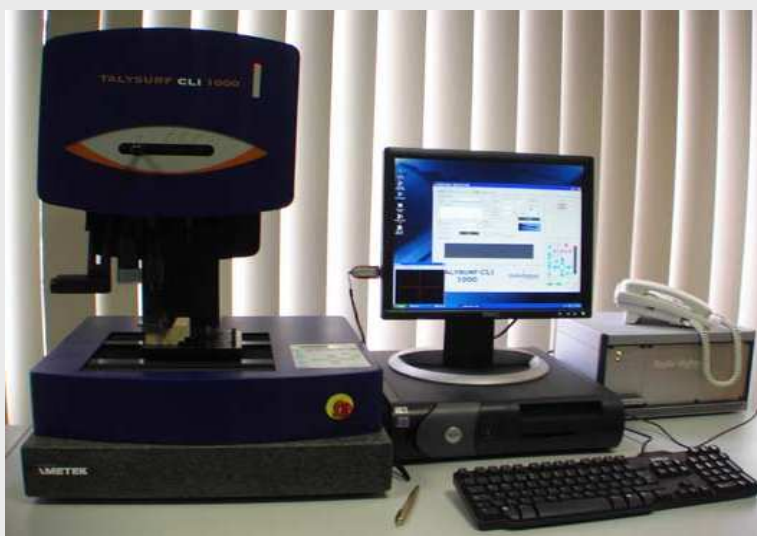
- Kontaktní metody jsou založeny na měření profilu ostří nože pomocí diamantových měřících hrotů, které jsou součástí profilometru.
- Přesnost kontaktní metody je ovšem závislá na volbě vhodného hrotu (jeho poloměr zaoblení by neměl být větší než je poloměr měřeného ostří nástroje).
- Záleží také na tom jak je měřený břit nástroje nastaven vůči trajektorii, při nesprávném nastavení může hrot ztratit kontakt s břitem nástroje a dojde k nesprávnému naměření profilu, viz. obr.



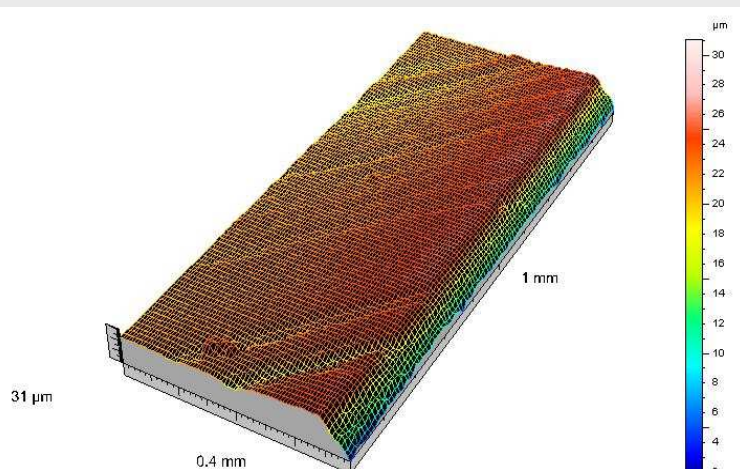
Profiloměr Hommel Tester T 6 D



Bezkontaktní metody měření opotřebení

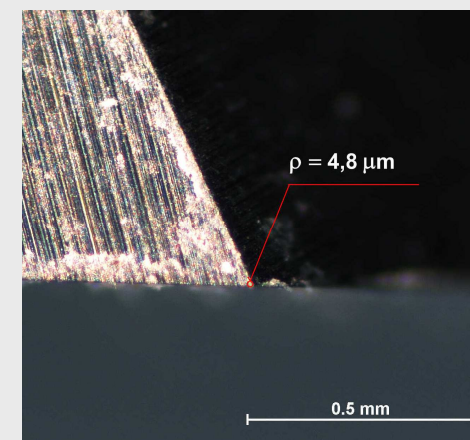
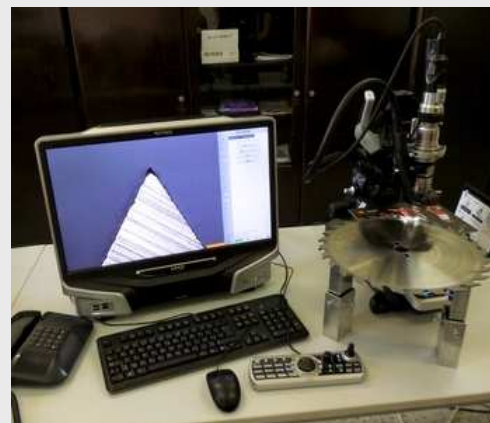


Přístroj Taylor Hobson Talysurf CLI 1000 který je novinkou v prostorovém 3D měření struktury povrchu.



topografie 3D profilu hřbetu frézovacího nože

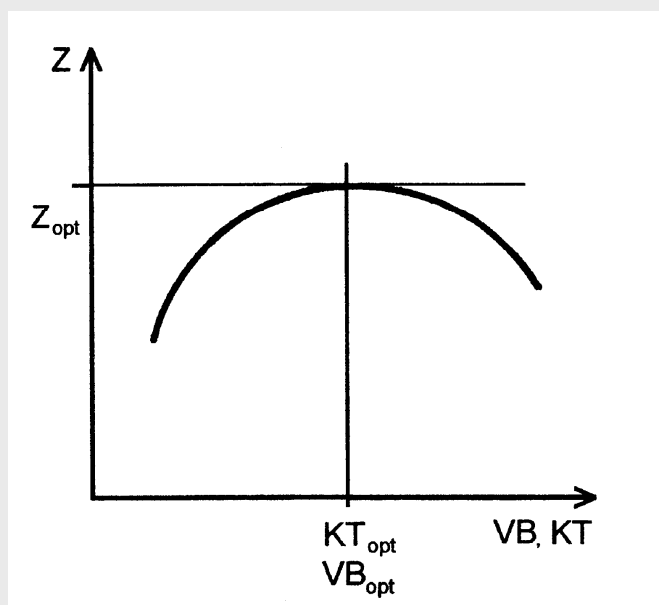
Měření poloměru otupení ostří pilového kotouče mikroskopem VHX-5000



Trvanlivost břitu a životnost nástroje

- *Trvanlivost břitu* (doba po kterou naostřený břit pracuje).
- *Životnost nástroje* – doba, která je násobkem trvanlivosti břitu, či-li je dána počtem ostření nástroje (podle některých výzkumů např. Pernica, 2001, pilové kotouče Pilana 315 mm, $z = 18$, opatřené zuby ze slinutých karbidů mohou být po dobu technického života přebroušeny max. 30x)

Vztah trvanlivosti břitu a životnosti nástroje



Z – životnost nástroje, KT – hloubka opotřebení (žlábku) na čele, VB – šířka opotřebení na čele.

Pro životnost nástroje platí, že je součtem trvanlivostí břitu.

Z praxe je prokázáno, že životnost nástroje je funkcí velikosti opotřebení a parabolicky roste k určité (optimální) hodnotě opotřebení a potom rapidně klesá.

$$Z = T \cdot (z_o + 1) = T \cdot \frac{H}{x + A}$$

kde:

Z ... životnost nástroje

T ... trvanlivost břitu

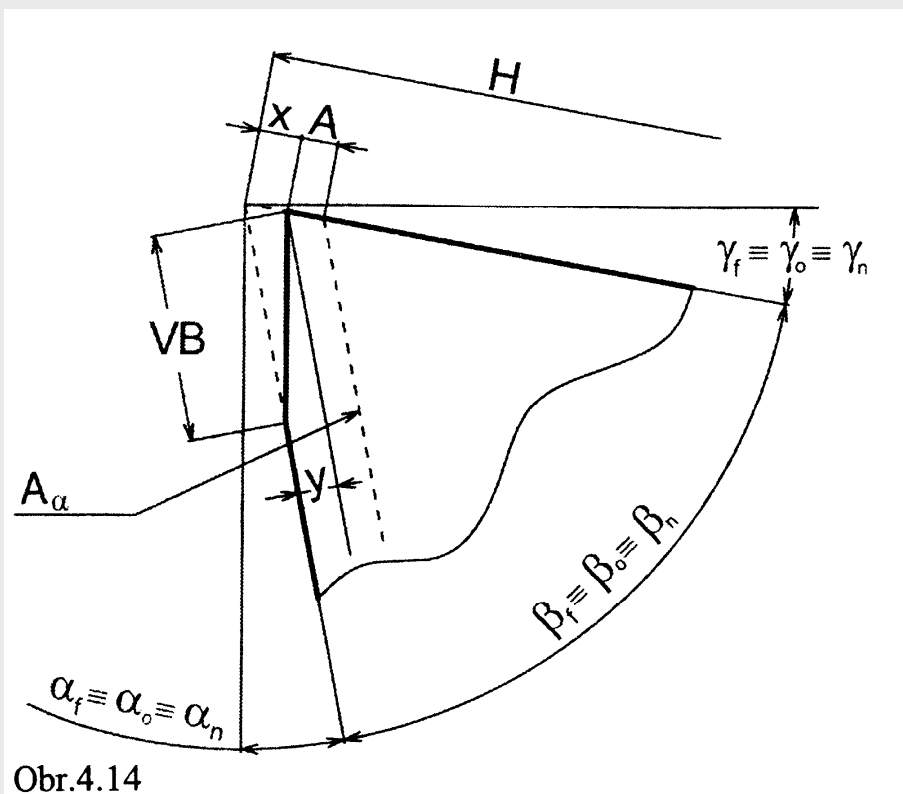
z_o ... počet přestřehnutí nástroje

A ... přídavek o který se řezná hrana odbrousí $A = (0,15 \text{ až } 0,3 \text{ mm})$

H ... délka řezné hrany nástroje, kterou je možné odbrušovat až do úplného znehodnocení nástroje

x ... šířka opotřebení na čele nástroje

Stanovení životnosti nástroje



Z geometrie pravoúhlých trojúhelníků vyplývá.

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{y}{VB} \longrightarrow y = VB \cdot \operatorname{tg} \alpha_n$$

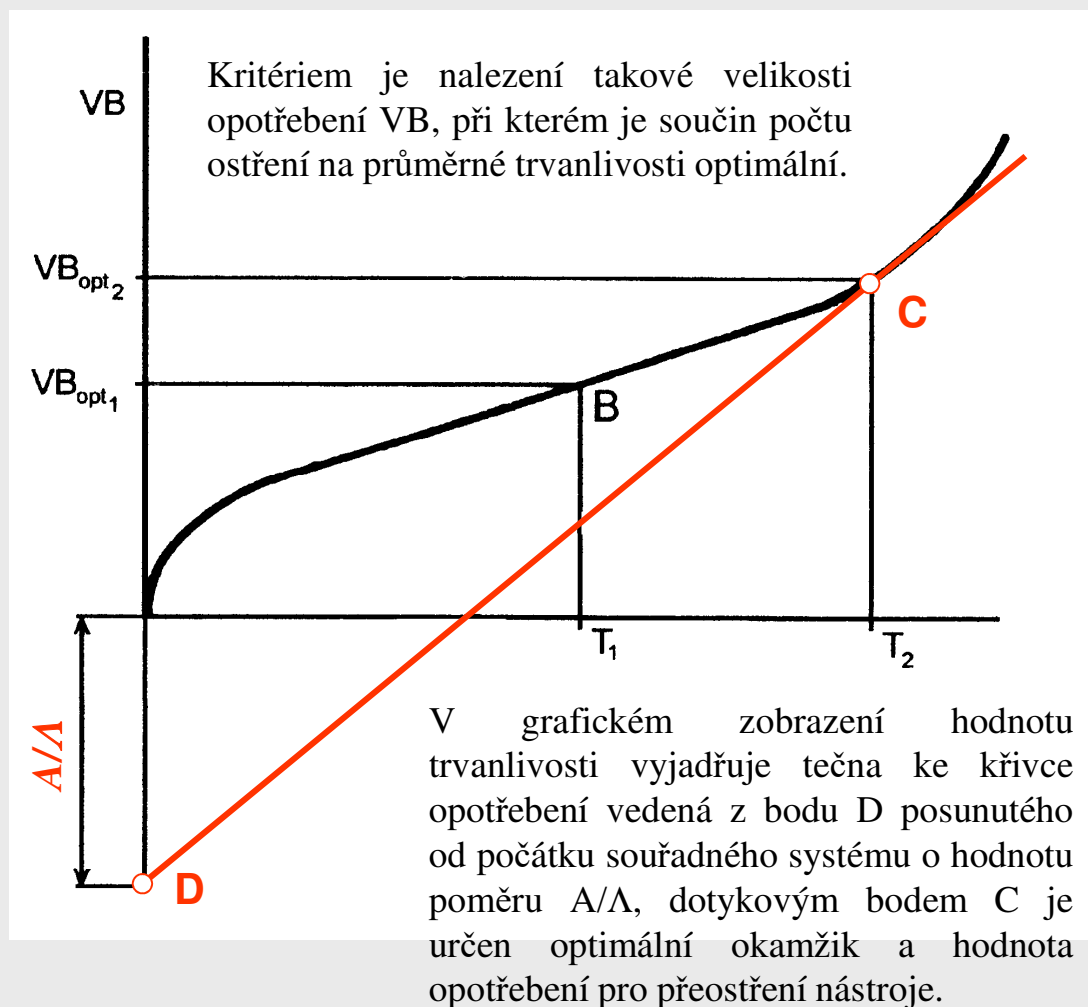
$$\sin \beta_n = \frac{y}{x} \longrightarrow y = x \cdot \sin \beta_n$$

odtud $VB \cdot \operatorname{tg} \alpha_n = x \cdot \sin \beta_n$

po úpravě $x = VB \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\sin \beta_n} = VB \cdot \Lambda$

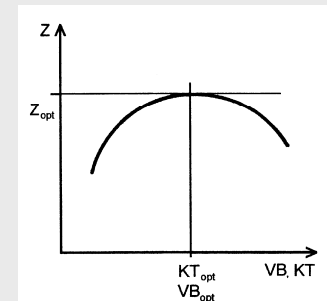
$$Z = T \cdot \frac{H}{VB \cdot \Lambda + A}$$

Optimální okamžik pro přestření nástroje



Pro nalezení optima funkce platí:

$$\frac{\partial Z}{\partial VB} = 0$$



Po úpravě dostaneme:

$$\frac{\partial Z}{\partial VB} = \frac{\frac{\partial T}{\partial VB} \cdot H \cdot (VB \cdot \Lambda + A) - T \cdot H \cdot \Lambda}{(VB \cdot \Lambda + A)^2} = 0$$

Z čitatele parciální diferenciální rovnice vyplývá:

$$\frac{\partial VB}{\partial T} = \frac{VB + \frac{A}{\Lambda}}{T}$$



Děkuji za pozornost