



**Lesnická
a dřevařská
fakulta**

16. 9. 2017, Brno

Připravil:

doc. Ing. Zdeněk Kopecký, CSc.

Klasifikace dřevoobráběcích nástrojů

Předmět: Nástroje a procesy obrábění

Mendelova
univerzita
v Brně



Obsah přednášky

Úvod

1. Klasifikace nástrojů
2. Požadavky na nástroje
3. Terminologie nástrojů
4. Interakce nástroj-obrobek
5. Energetické parametry



Úvod

Cíl předmětu: objasnit studentům konstrukci a použití dřevořezných nástrojů

Znalost konstrukce a použití nástrojů umožní:

- rozpoznání příčin špatné kvality výroby – důsledek nevhodné geometrie nástroje, nevyhovujícího upnutí, otupení nástroje ...
- prodloužení trvanlivosti břitu a životnosti nástroje - úspora nákladů na jeho údržbu a nákup
- snížení ztrát ve výrobě – časté a dlouhé prostoje při výměně nástrojů,
- snížení ztrát surovin (opracovávaného materiálu) – velké prořezy, nadmíry ... v důsledku zhoršené stability nástroje

Předpokladem zvládnutí problematiky jsou dobré vstupní znalosti z předmětů:

- Matematika a Fyzika
- Stavba dřeva
- Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva
- Chemie dřeva
- Teorie obrábění materiálů

Nástroje pro zpracování dřeva

Prvotní i druhotné zpracování dřeva (výroba řeziva, výroba aglomerovaných materiálů, stavebně truhlářská výroba, výroba prvků dřevostaveb, výroba nábytku, ...), vyžaduje poměrně široký sortiment nástrojů pro strojní i ruční zpracování dřeva:

1. **Nástroje pro řezání a dělení dřeva:** pilové kotouče, pásy, listy, nože na dýhy, sekery...
2. **Frézovací nástroje:** hoblovací, drážkovací, čepovací, tvarové frézy, sady fréz na profily oken a dveří, frézy na nekonečný vlys, spárovací frézy, soupravy na pero a drážku, nožové hlavy, ...
3. **Stopkové nástroje:** pro vrtačky a horní frézky, speciální nástroje pro CNC stroje, vrtáky, záhlubníky, sukovníky, zátkovníky, jednobřité a dvoubřité frézy, rybinovací a speciální frézy, tvarové frézy, ...
4. **Nástroje na zpracování dřevěného odpadu:** roztřískovací nástroje, sekací nože, ...
5. **Nástroje pro ruční mechanické strojky:** pilové kotouče, drážkovací a polodrážkovací frézy, tvarové frézy, nože (žiletky) do hoblovacích hlav, brusné pásy, ...

1. Klasifikace nástrojů

Hledisko technologické a technické

I. Hledisko technologické

Nástroje je možné rozdělit podle:

- a) **druhu operace** - nástroje pilařské, frézovací, sekací, třískovací, rozvlákňovací, na výrobu dýh, ...,
- b) **druhu hlavního pohybu** – rotační (pilové kotouče, frézy,...), přímočaré (loupací nože, hoblovací nože, ...),
- c) **charakteru řezání** – plynulý nebo přerušovaný řez,
- d) **obráběné plochy** - nástroje na povrchové a hloubkové opracování (obrábění plošné, kuželové, do šroubovice, tvarové - profily),
- e) **způsobu použití nástroje** – ruční a strojní.

Poznámka: Při návrhu nástroje je rozhodující hledisko technické. Technologické prvky – druh a vlastnosti dřeva, výška řezu, řezná a podávací rychlost, ... jsou zdrojem změny dynamických činitelů procesu obrábění. Uvedené vzájemné vlivy vám jsou již známé z předmětu „Teorie obrábění“ a proto s nimi budeme pracovat aplikačně.

a) podle druhu operace

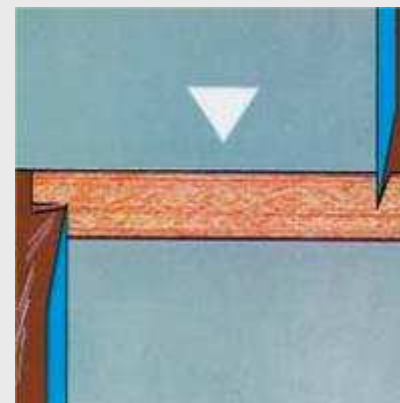
Řezání - pilový kotouč



Frézování - fréza na nekonečný spoj



Stříhání - nůž na dýhy



Broušení - brusný pás



Dlabání - dlabací řetěz



Vrtání - spirálový vrták

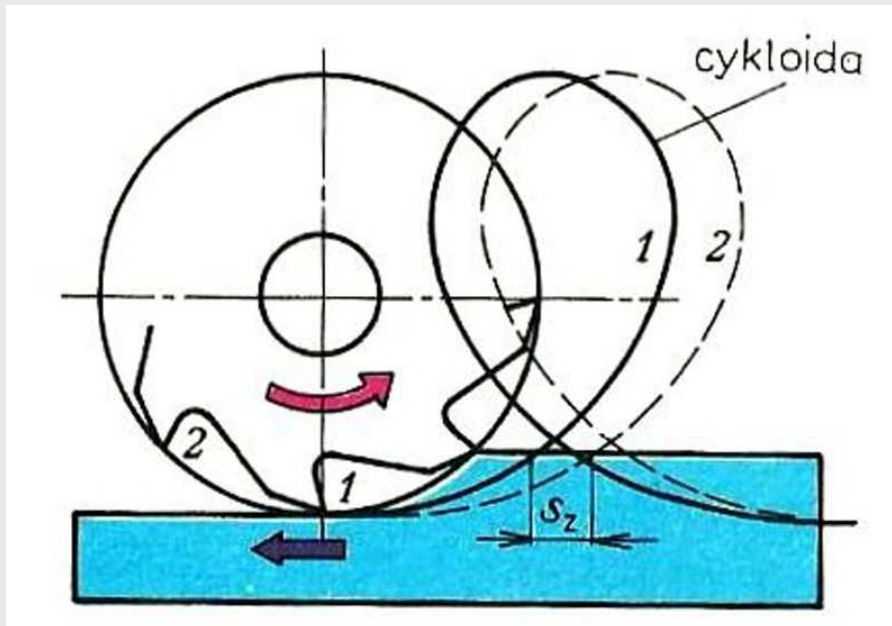


b) podle druhu hlavního pohybu

Rotační pohyb frézy

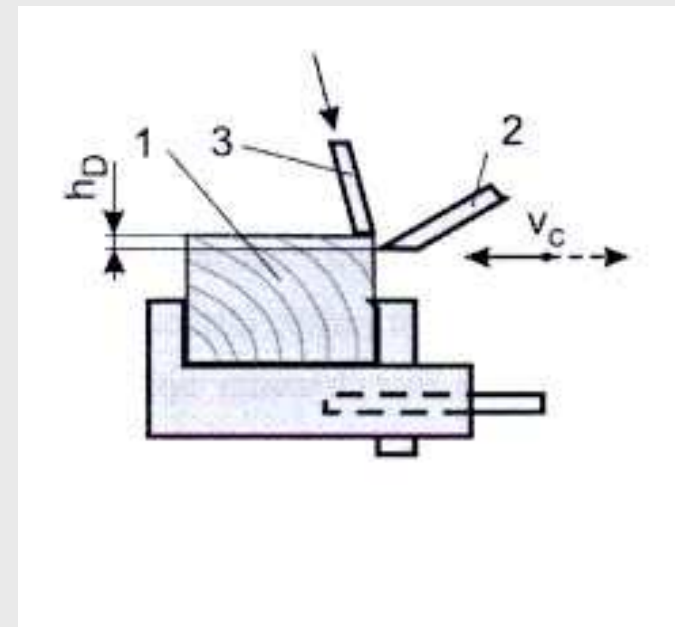
Nesousledné frézování

*(vzhledem k tomu, že se obrobek proti břítu frézy pohybuje přímočaře,
potom výsledná trajektorie břítu zubu frézy v obrobku je cykloida)*



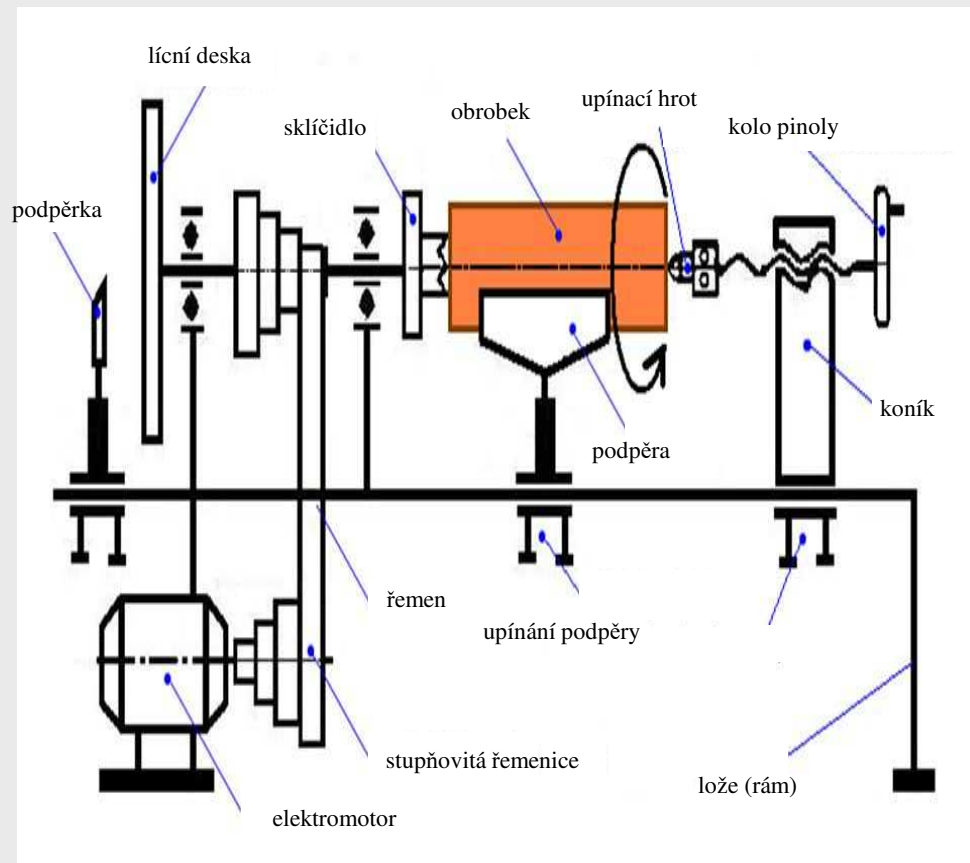
Přímočarý pohyb nože při horizontálním krájení dých

1- krájený výřez, 2 – nůž, 3 – přítláčná lišta

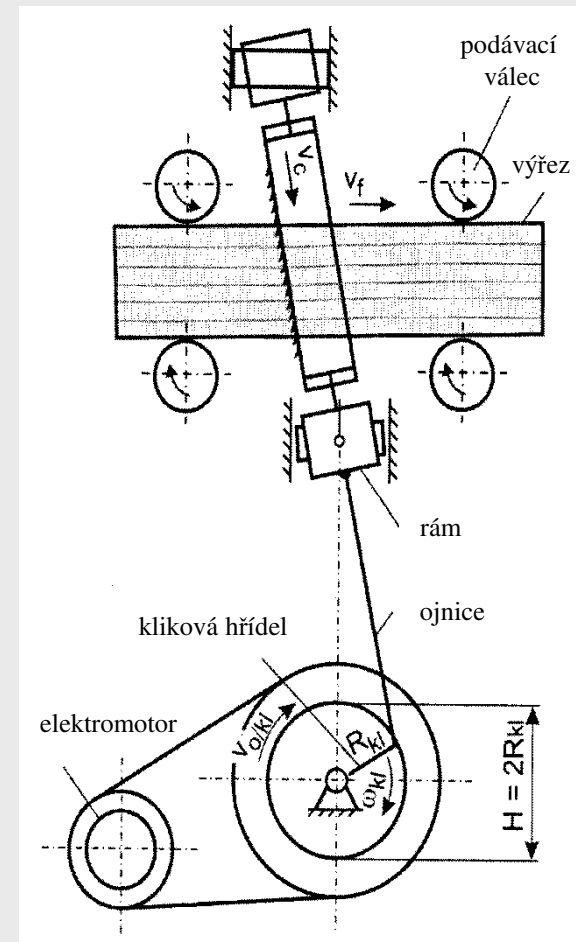


c) podle charakteru řezání

Plynulý řez (soustružnický nůž)

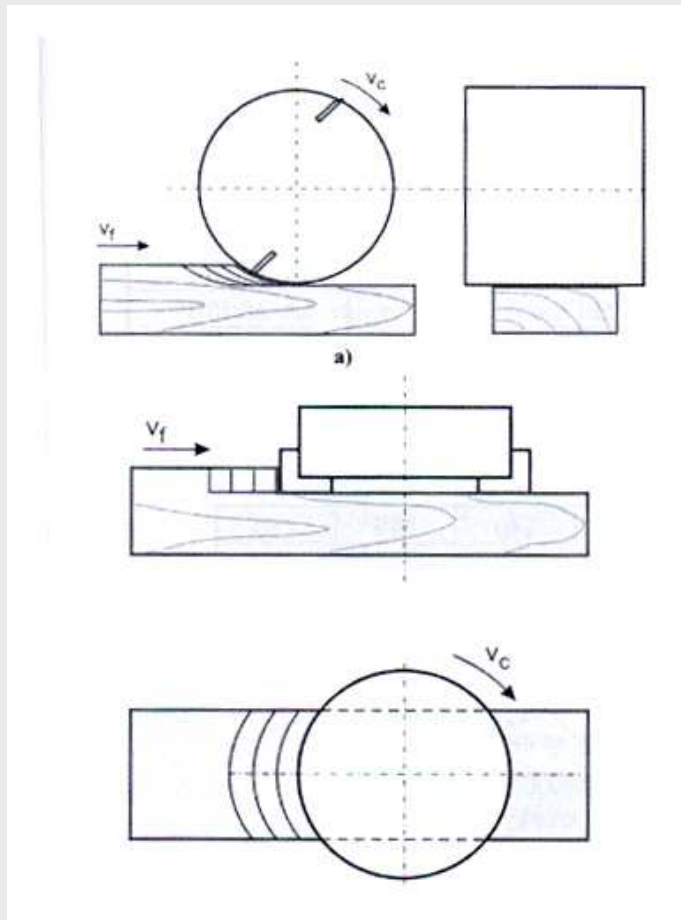


Přerušovaný řez (pilový list rámové pily)

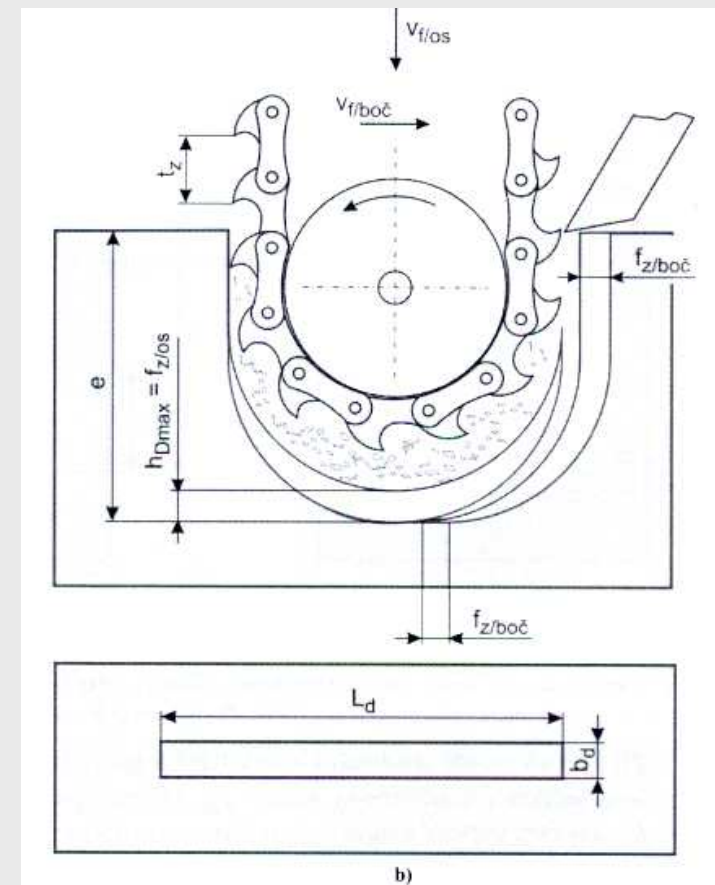


d) podle obrobené plochy

Povrchové opracování
(plošné frézování válcovou nebo čelní frézou)



Hlubkové opracování
(dlab pomocí dlabacího řetězu)



e) podle způsobu použití nástroje

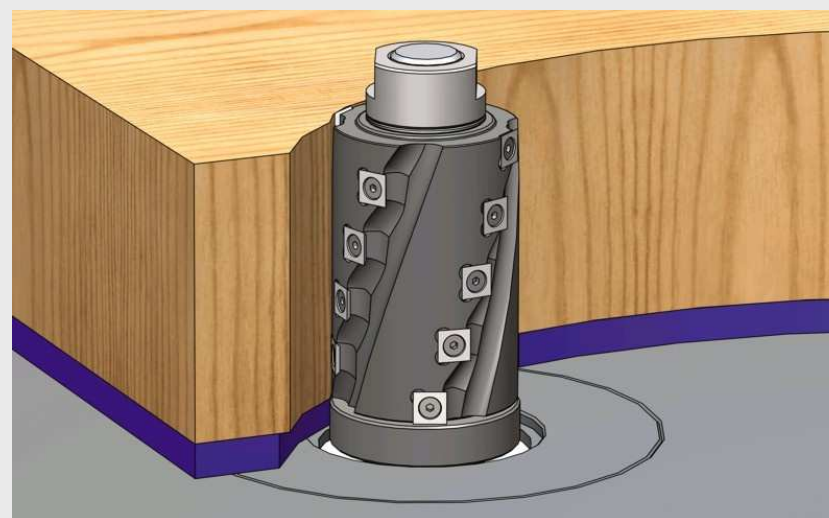
Ruční



Hoblík macek - je dlouhý hoblík s rukojetí vzadu. Je vybaven nožem s klopnou a používá se ke srovnání a fajnovému uhlazení velkých ploch. Nůž je uložen vůči hoblované ploše pod 45°, jeho klopna zalamuje třísky hoblovaného materiálu a odvádí je od hoblovaného povrchu. <http://www.zbozi.cz/vyrobek/hoblík-macek-6-51/>

Strojní

Spirálová hoblovací hlava s vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD) .
<http://www.karnedtools.cz/>



II. Hledisko technické - konstrukční

Nástroje je možné rozdělit podle:

- a) způsobu výroby** – *celistvé nástroje, složené nástroje* (vsazené zuby – nože) nebo *nástrojové komplety*,
- b) vnějšího tvaru nástroje** – *válcový, kuželový, kotoučový, stopkový ...*,
- c) tvaru řezné hrany** – *jednoduché* nebo *tvarové*,
- d) výskytu zubové mezery** – se zubovou mezerou a bez ní
- e) způsobu ostření** – *ostření na čele, hřbetu* nebo na *obou plochách*,
- f) řezného materiálu** – *nástrojová ocel, spékané karbidy, stelity, polykrystalické diamanty, ...*,
- g) způsobu upnutí** – nástroje upínané na *válcový* nebo *kuželový otvor*.

a) podle způsobu výroby

Celistvý nástroj = nástroj bez nerozebíratelně spojených nebo vyměnitelných částí, těleso a řezné části (destičky) jsou z jednoho kusu materiálu.



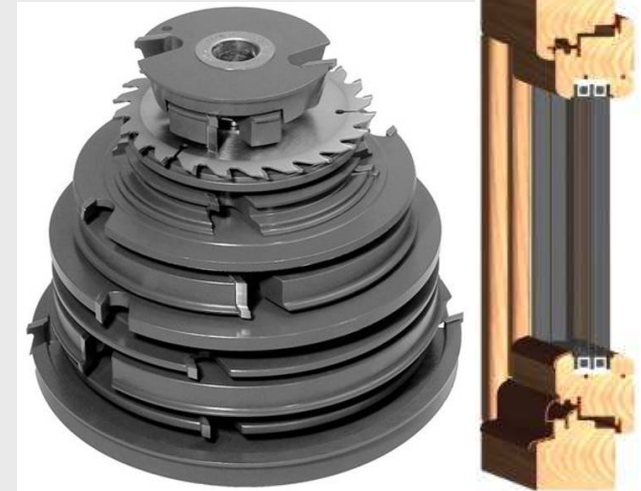
Stopková drážkovací fréza dvoubřitá – používá se na drážkování a zářezy, na výrobu čepů a pera, čelních lišt, otvorů pro spojovací kolíky, vykružování podle šablon...

Složený nástroj = nástroj sestává z nosného tělesa a obvykle výměnných řezných částí (břitových destiček, nožů)., Břitové destičky jsou obvykle spojeny rozebíratelně, v některých případech mohou být spojeny s tělesem nerozebíratelně tvrdým pájením (např. pájené pilové kotouče se zuby ze slinutých karbidů)
Jedná se o dělené nástroje, složené obvykle ze dvou i více kružců. Patří sem i nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami.



(např. falcovací fréza RH+, fréza je osazena čtyřmi předřezy pro ostré rohy a čtyřmi uběracími šikmými zuby - žiletkami.)

Sada nástrojů – nástrojový komplet = nástrojový komplet stavebnicové konstrukce – jednotlivé nástroje jsou upnuty na společném nosném prvku.

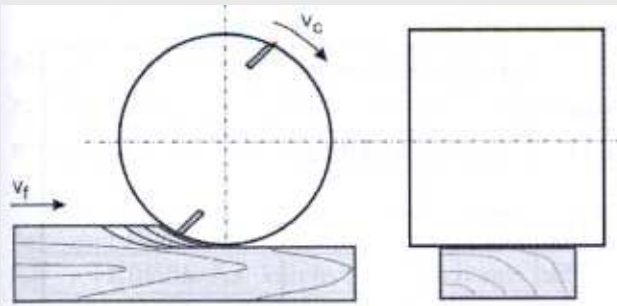


Sada fréz na EURO 68 KARNED 5090

b) podle vnějšího tvaru nástroje

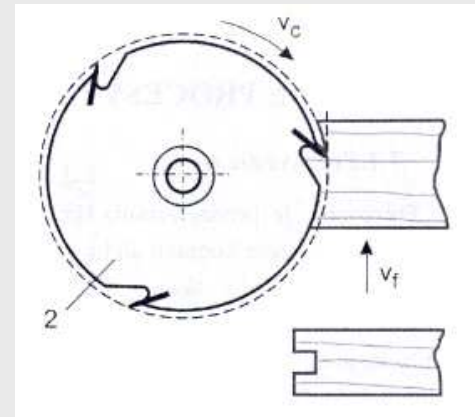
Válcový nástroj

nožová hoblovací hlava u válcového frézování



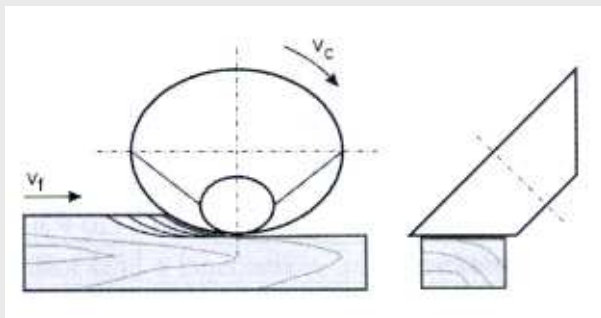
Kotoučový nástroj

kotoučová fréza (2) pro čepování



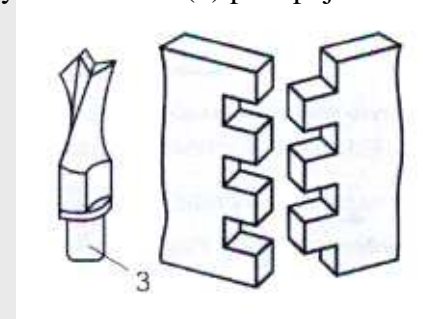
Kuželový nástroj

kuželové frézování rovinné plochy



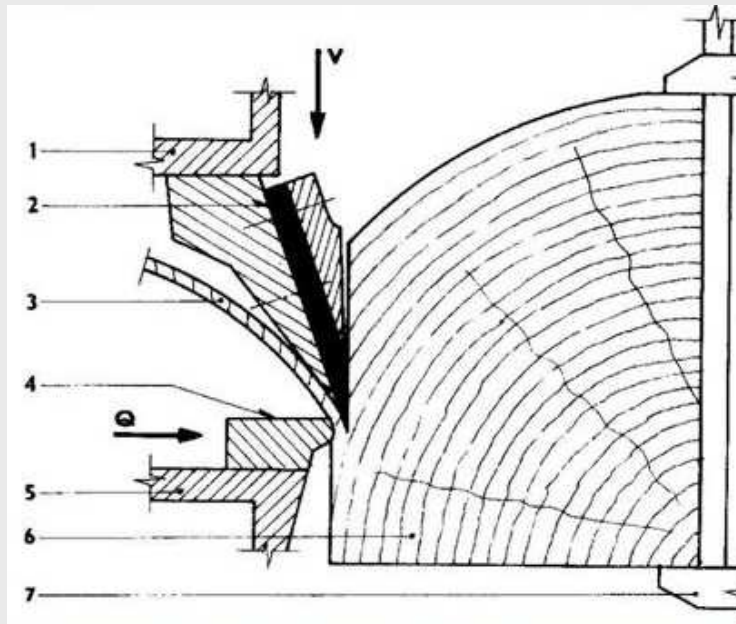
Stopkový nástroj

rybinová fréza (3) pro spoje na ozuby



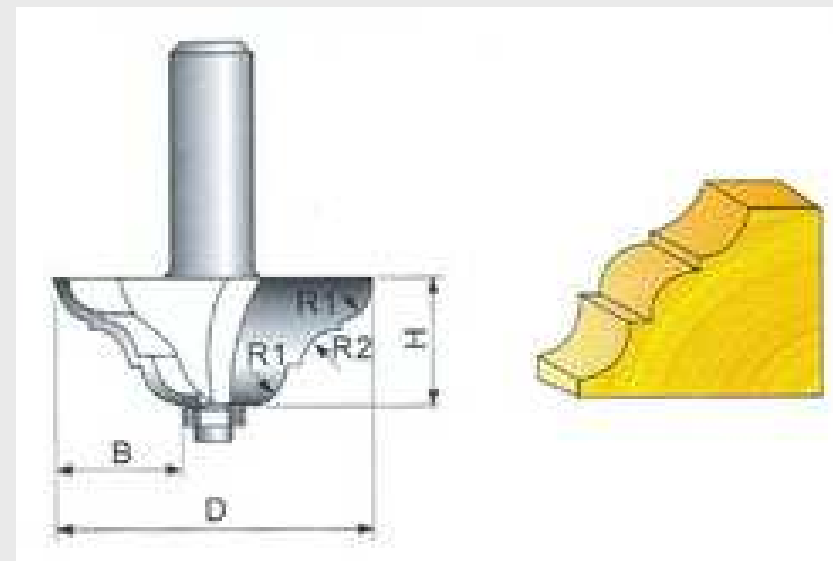
c) podle tvaru řezné hrany

Jednoduchý nástroj = nůž
pro vertikální krájení dýhy



1 – nožové břevno, 2 – nůž, 3 – dýha,
4 – tlačná lišta, 5 – přítlačné břevno,
6 – výřez, 7 – suport

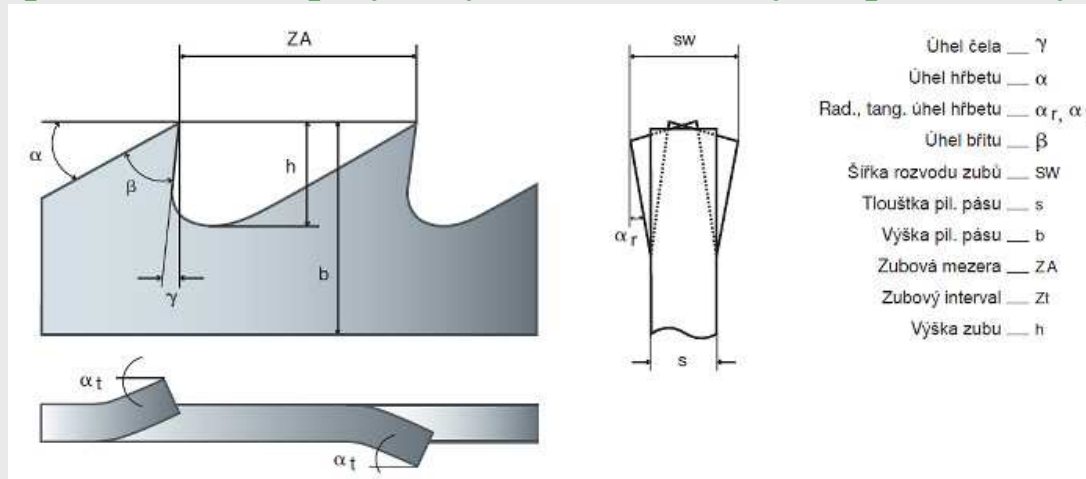
Tvarový nástroj = stopková
tvarová fréza s vodícím ložiskem pro
tvarové frézování lišt rámu pro
obrazy



d) podle výskytu zubové mezery

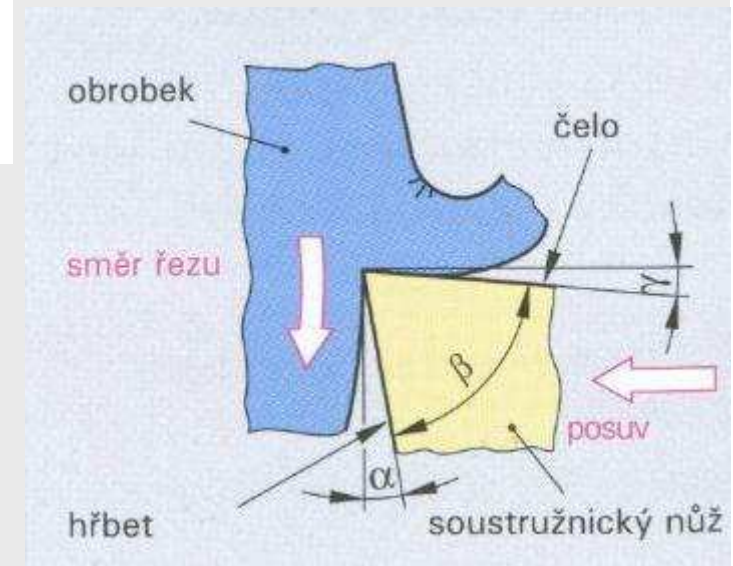
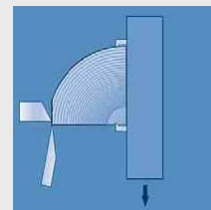
Charakteristickým prvkem je zubová mezera:

pilové kotouče, pásy, listy, kotoučové frézy, stopkové frézy, frézovací hlavy, ...



Charakteristickým prvkem je pouze řezná hrana:

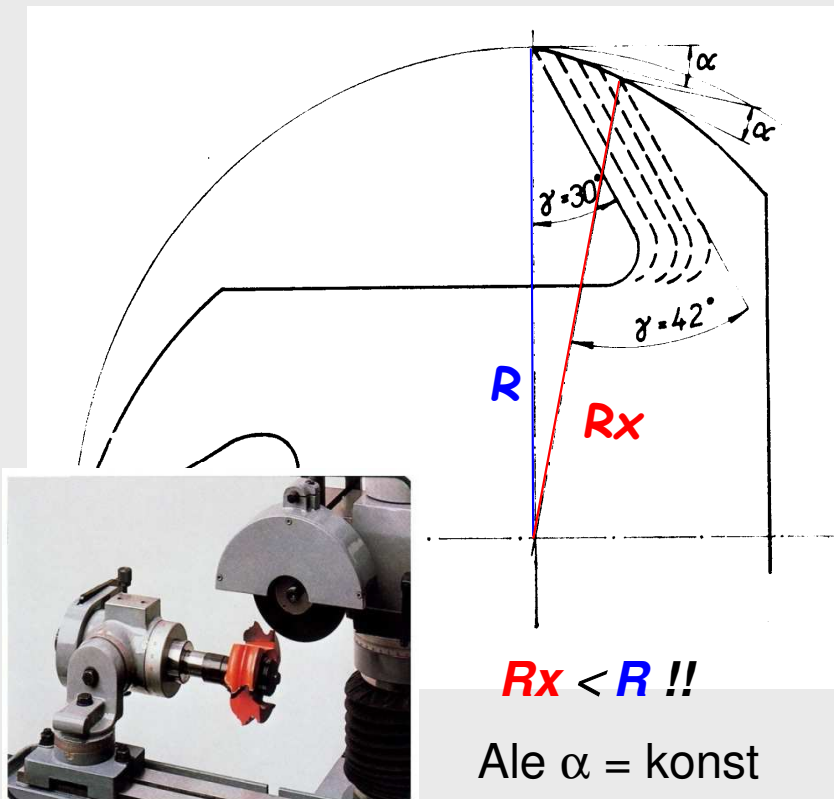
soustružnické nože, nože na dýhy, sekací nože, ...



e) podle způsobu ostření

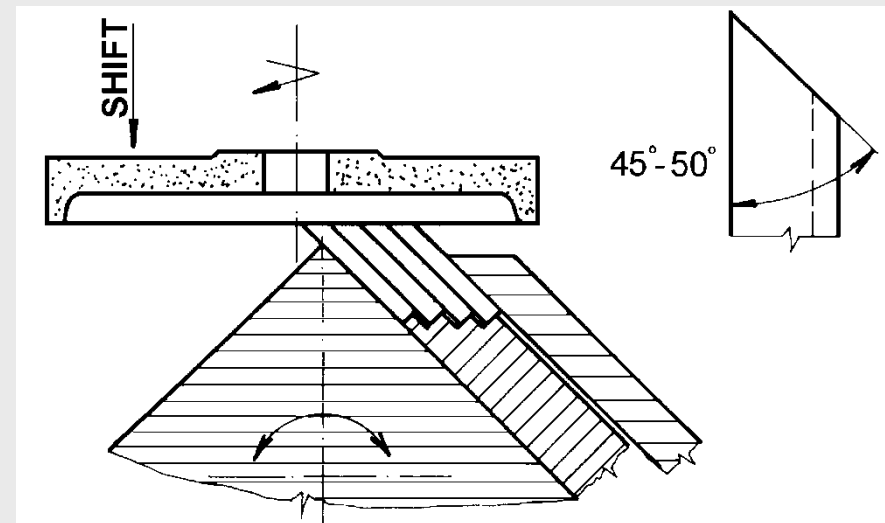
Nástroj ostřen pouze na čele

U podsoustružených celistvých fréz se nástroj brousí zásadně jen na čele, hřbet je ve tvaru Archimédovy spirály, která zabezpečuje při podbroušení čela konstantní úhel hřbetu



Nástroj ostřen pouze na hřbetu

Nože do frézovacích hlav – broušení hrncovitým kotoučem pouze na hřbetu



f) podle řezného materiálu

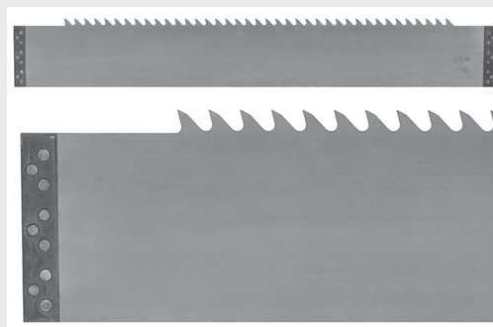
Nástrojová ocel

Rychlořezná ocel na nože hoblovacích hlav



Stellit

Neželezná návarová slitina na bázi Co-Cr-W
Použití zejména u pilařských nástrojů, pilové kotouče,
listy rámových pil, ...



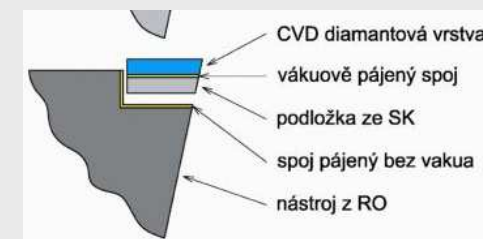
Slitný karbid

Zuby pilového kotouče pro řezání
umělého kamene (pro nábytkovou
výrobu), Al slitin, s připájenými
destičkami ze slitných karbidů



Polykrystalický diamant

Stopková fréza vhodná k obrábění
kompozitních materiálů, MDF, DTD
apod. na CNC centrech



g) podle způsobu upnutí

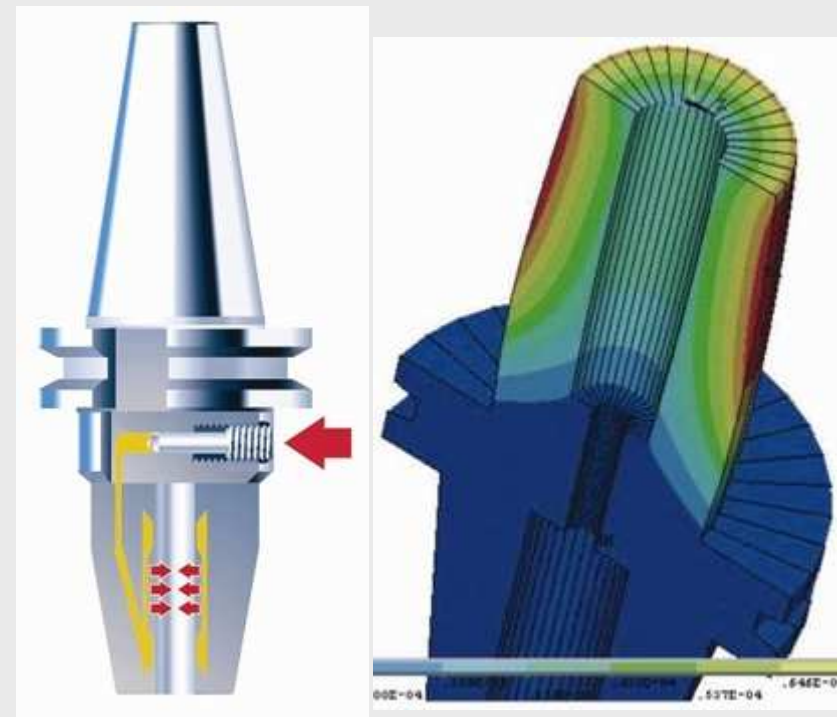
Upínání na kuželový otvor pomocí kleštiny

Systém Powermat firmy Weinig – rychlé a bezpečné
unnutí nástroje pomocí pneumatického pístu a kleštiny



Hydraulické nebo termo-upínání na válcový otvor

Určeno pro přesné a rychlé upnutí stopkových nástrojů



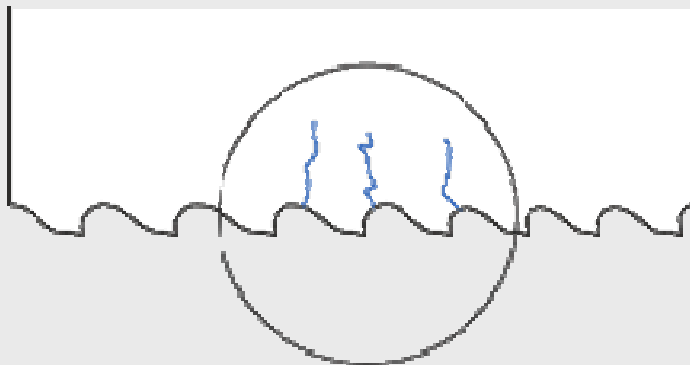
2. Požadavky na nástroje

- I. Bezpečnost práce s nástrojem*
- II. Rozměrová a povrchová přesnost obrobku*
- III. Snadná montáž a upnutí nástroje*
- IV. Jednoduchá údržba*
- V. Cena*

I. Bezpečnost práce s nástrojem

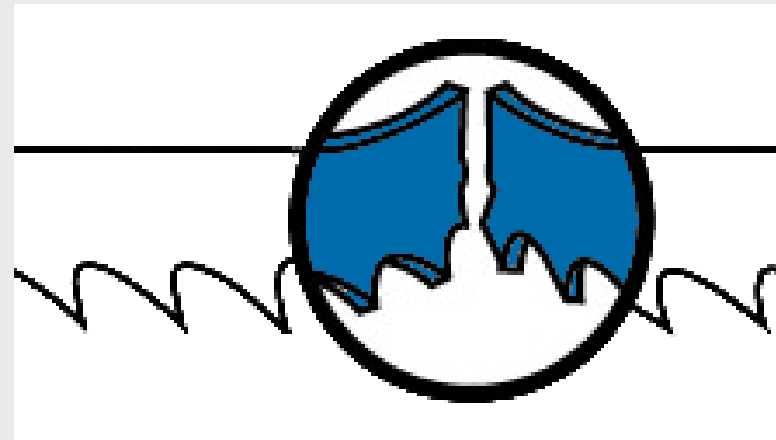
je podmíněna:

➤ druhem použitého materiálu k výrobě nástroje a dostatečně dimenzovanými rozměry tzv. „nebezpečných průřezů“



například vznik a šíření trhlin mezi zuby u pilových pásů v důsledku příliš vysokého napětí v materiálu pásu, volbou nesprávné upínací síly nebo boční vodítka jsou v kontaktu se zuby

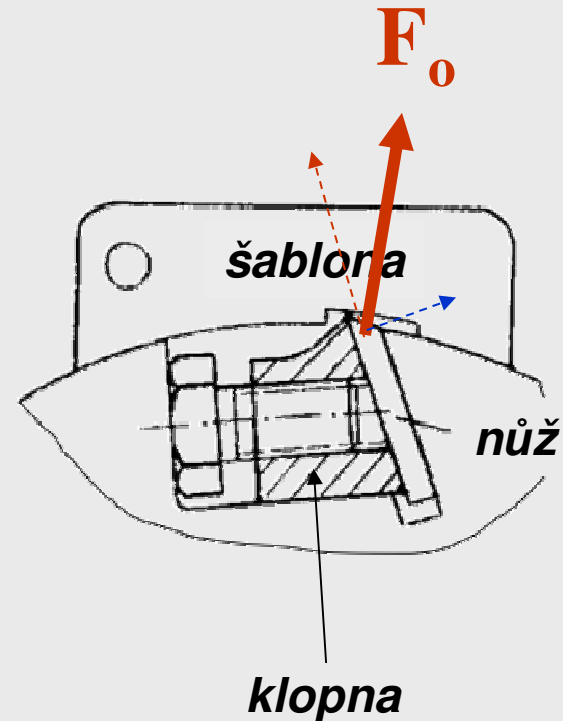
Je třeba znát rozložení napětí v nástroji pro správnou volbu napínací síly (pro každý nástroj a stroj jsou doporučované hodnoty)



je ovlivněna:

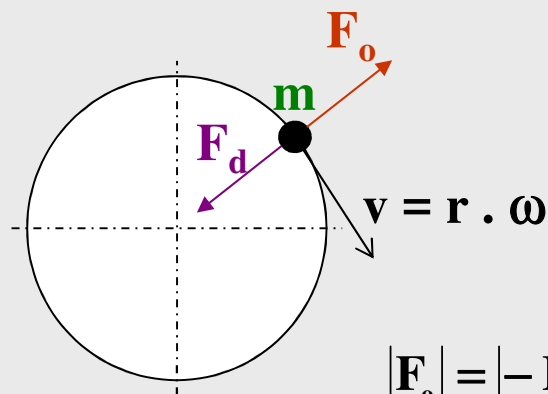
➤ utržením některé části nástroje
nejčastěji zubu pilového kotouče
nebo „vystřelením“ frézovacího
nože z hoblovací hlavy

(například účinkem odstředivé síly při vysokých
otáčkách nástroje)



Silový účinek
složek odstředivé
síly na hoblovací
nůž

Odstředivá síla

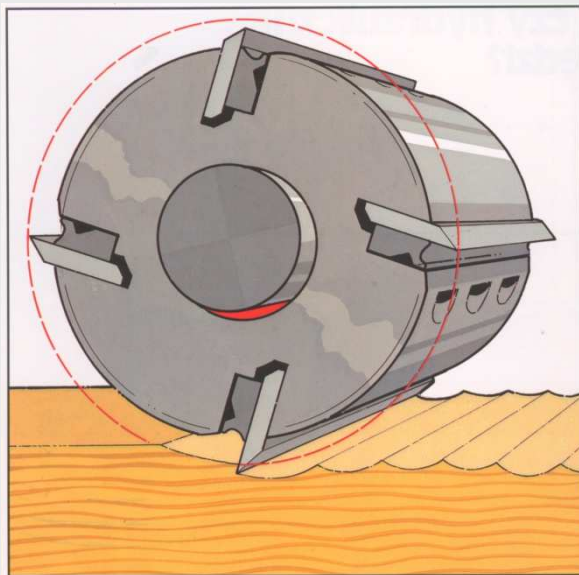


$$|\mathbf{F}_o| = |-\mathbf{F}_d| = m \cdot a_n = m \cdot \frac{v^2}{r} = m \cdot r \cdot \omega^2$$

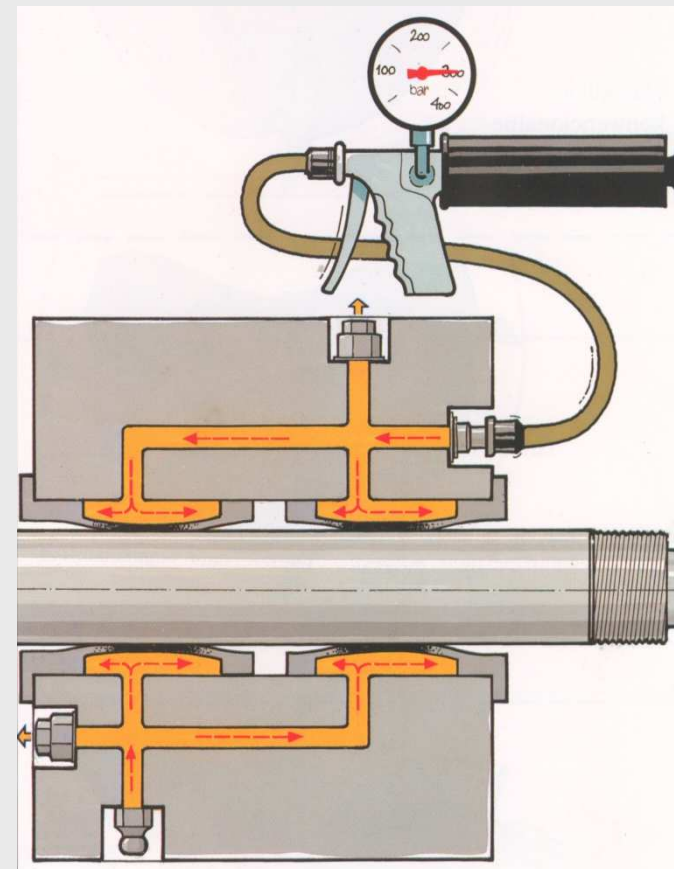
II. Rozměrová a povrchová přesnost obrobku

je ovlivňována:

- přesností nastavení (naostření) řezných klínů nástroje a upnutím nástroje



Například při mechanickém upnutí hoblovací hlavy na válcový hřídel vřetena je nutné počítat s vůlí v uložení mezi povrchem hřídele a válcovou dírou v hlavě – to má za následek „vyosení“ břitů v místě nejvyšší excentricity od řezné kružnice a negativní dominanci nejvýše vyoseného nože při tvorbě povrchu obrobku.



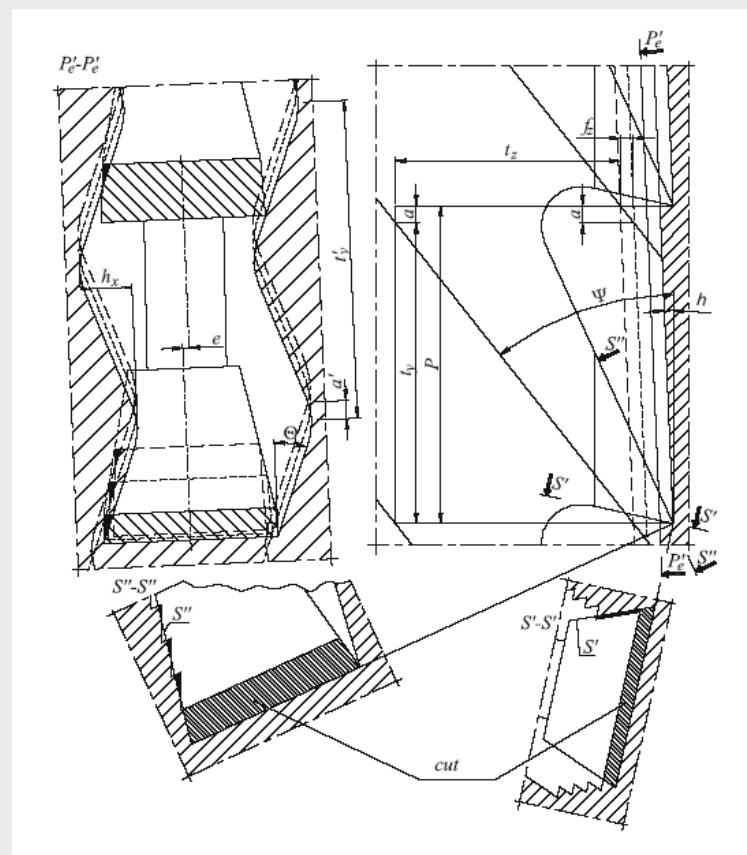
Při hydraulickém upnutí hoblovací hlavy je tento hendikep obvykle odstraněn

je ovlivňována:

- nedostatečnou tuhostí nástroje i při jeho zahřátí

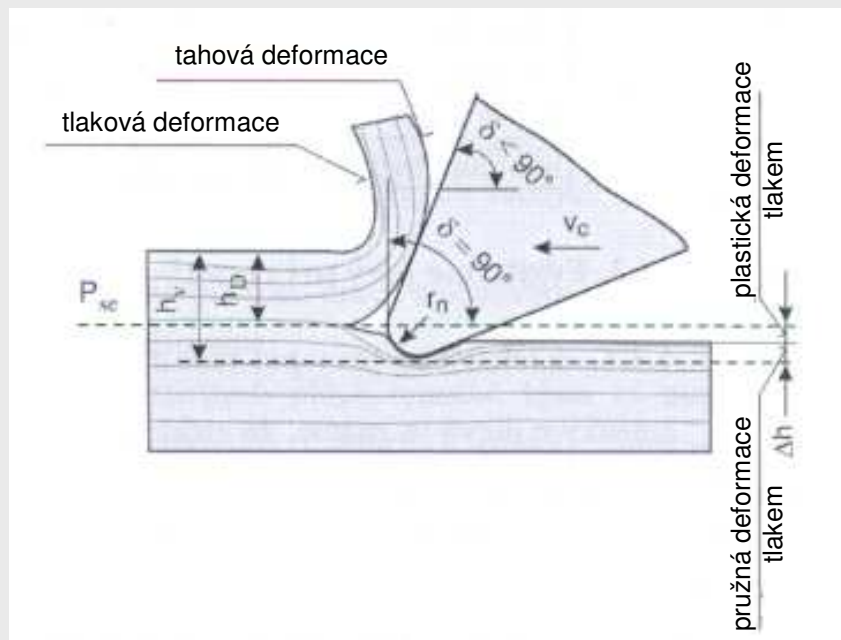


Tento jev se nejčastěji vyskytuje u pilařských a vrtacích nástrojů

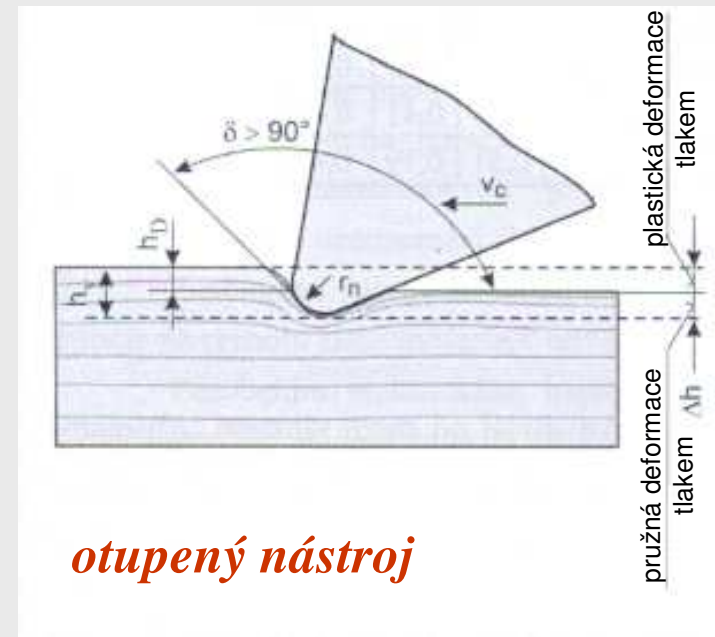


je ovlivňována:

- stavem otupení ostří a nastavenou tloušťkou třísky



ostrý nástroj

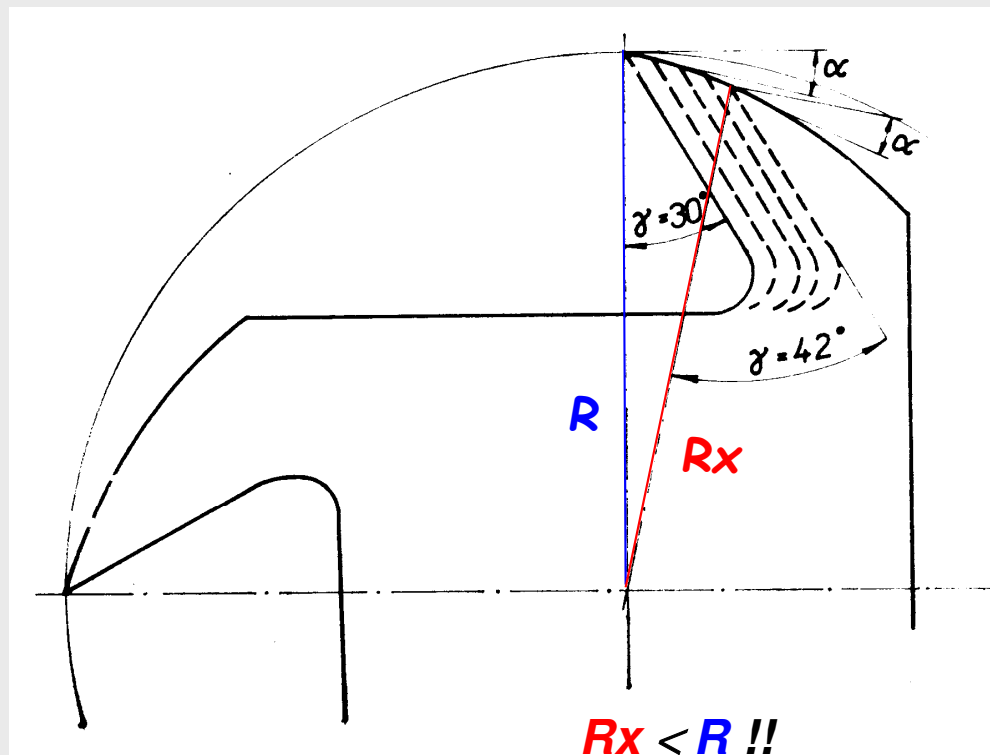


otupený nástroj

s rostoucím otupením rostou odpory při řezání, což způsobuje nárůst teploty nástroje s následnou ztrátou tuhosti a odolnosti břitu proti opotřebení

je ovlivňována:

- změnou rozměrů nástroje po broušení

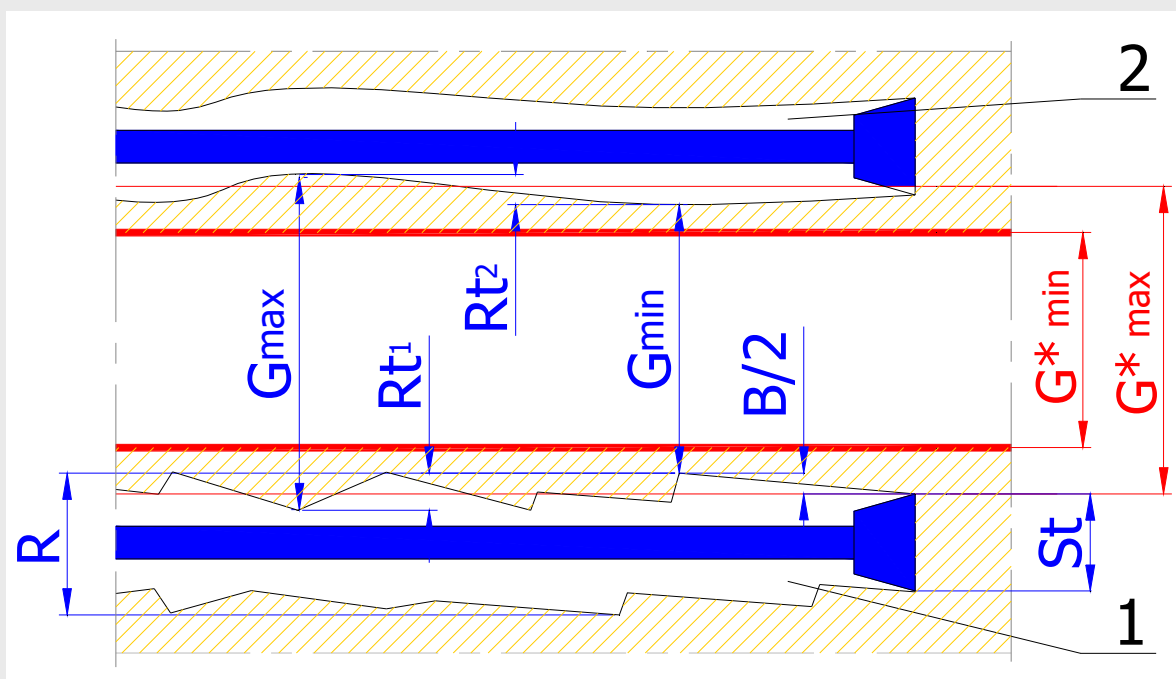
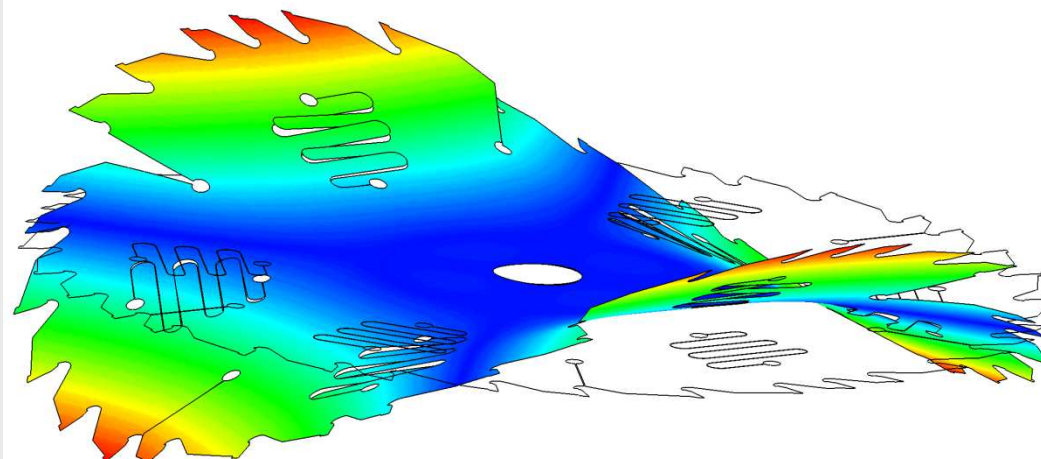


Například u celistvých fréz se ostří výhradně brousí na čele zubu a to tak, aby byla zachována geometrie a profil zubu. Při dodržování stejného sklonu nástroje dojde ke zmenšení průměru a ke zvětšení uhlu čela nástroje.

Díky „podbroušení“ hřbetů nástroje do tvaru Archimédovy spirály se tvar zubu při broušení nemění a zůstává zachován úhel hřbetu α .

je ovlivňována:

- stabilitou nástroje



je podmíněna:

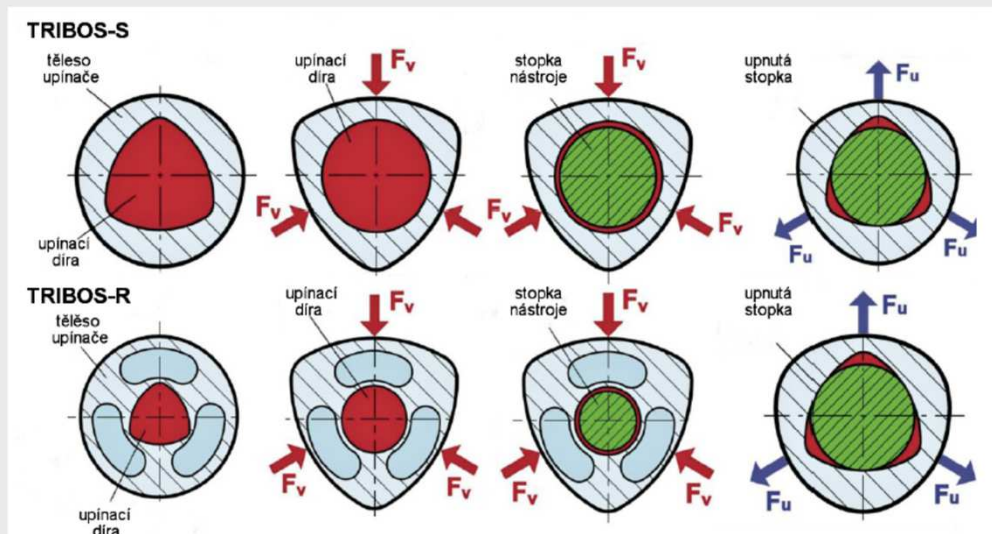
- 2 - stabilitou nástroje v řezu (např. zvlnění řezné hrany v důsledku průhybů kotouče v důsledku dosažení rezonančních otáček)
- 1 - geometrií a naostřením (otupením) řezné hrany nástroje

III. Snadná montáž a upnutí nástroje

Snadné a rychlé upínání nástrojů je standardem zejména u CNC strojů. Z hlediska hospodárnosti výroby. Při upínání nástrojů jsou využívány různé principy – hydraulické, termo-upínání, pružné deformace upínače (systém Tribos-viz schéma), atd.

Polygonální upnutí – patent fy Schunk

(upnutí do 30 s, přenášený
moment až 230 Nm)



Upínací hlava s kleštinou systém Leuco



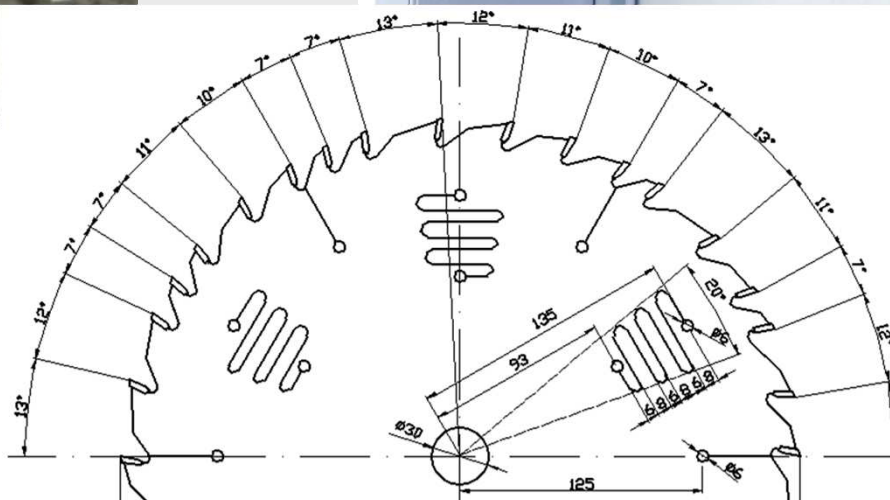
IV. Jednoduchá údržba

Standardní broušení PK se zuby ze slinutých karbidů



U PK s nepravidlenou roztečí zubů je při broušení nutno použít specializované automatické brusky např. od firmy Vollmer ...

Na druhé straně je známo, že tyto nástroje mají poměrně pozitivní vliv na snížení hluchnosti a vyšší kvalitu řezné spáry ...



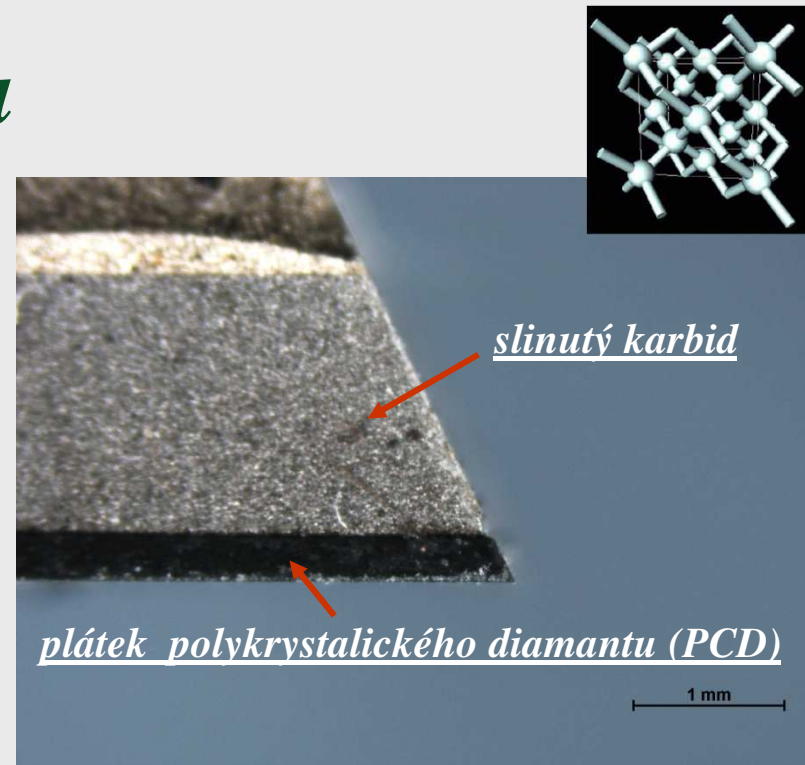
V. Cena

Závisí na aktuální nabídce a poptávce, je nutné zvažovat výrobce – poměr kvality x ceny

Použít standardní nástroj z nástrojové oceli, SK, stelitu či polykrystalického diamantu nebo se speciálními super tvrdými povlaky?

Např. cena běžného kotouče pro formátovací pilu se slinutými karbidy cca do 5000,- Kč

Cena kotouče s vrstvou polykrystalického diamantu cca 30000,- Kč.

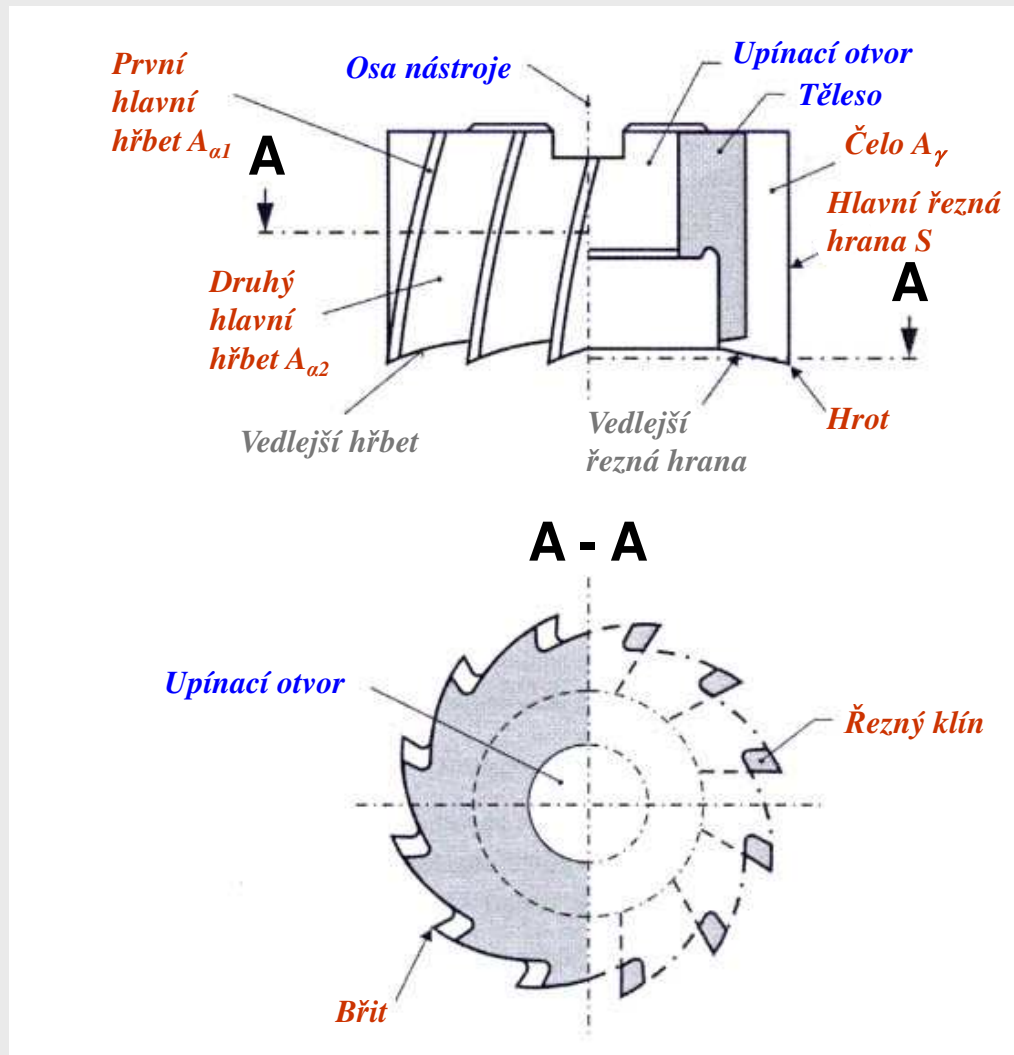


Odpověď musím hledat v použité technologii, např. výrobní linky vyžadují použití poměrně kvalitních a drahých nástrojů s povlaky z polykrystalických diamantů

V běžné truhlářské a malosériově výrobě si vystačíme se standardními nástroji z nástrojových ocelí nebo slinutých karbidů.

3. Terminologie nástrojů

Řezné hrany a plochy na čelní fréze



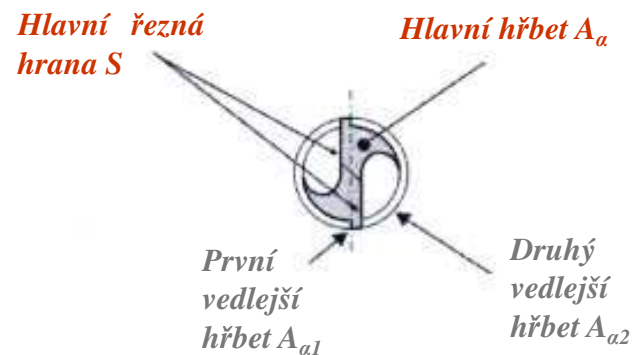
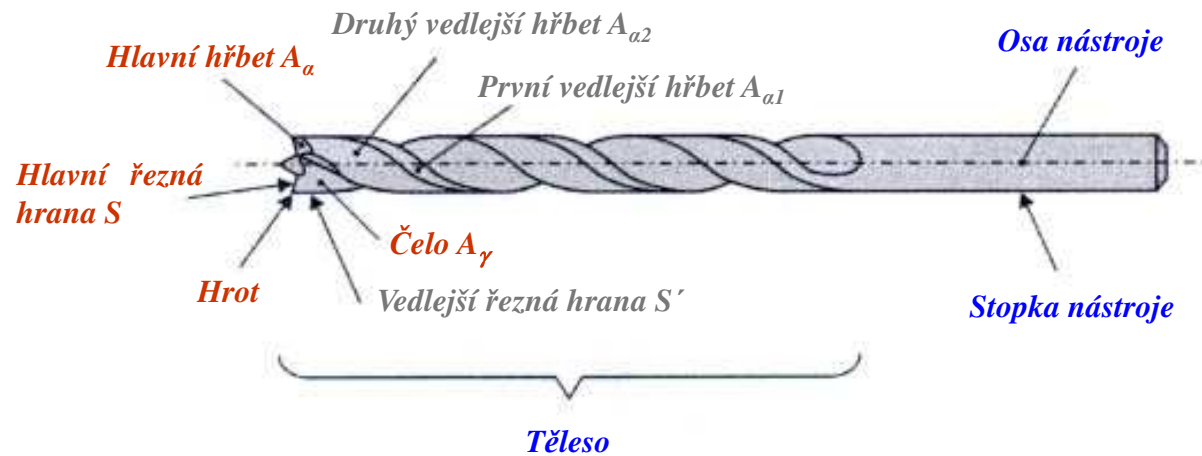
Upínací otvor – souhrn vnitřních ploch tělesa nástroje určený na nastavení a upnutí nástroje.

Řezná část – funkční část nástroje, která obsahuje prvky vytvářející třísku: řezná hrana, čelo a hřbet.

Řezný klín – díl řezné části nástroje ohraničený čelem a hřbetem.

Řezná hrana – provádí řezání a je průnikem čela a hřbetu.

Řezné hrany a plochy na vrtáku



Těleso – část nástroje na kterém jsou bezprostředně vytvořeny prvky řezné hrany.

Stopka – část nástroje určená k jeho upnutí do vřetena (suportu) stroje.

Základna – plochý povrch na stopce nástroje (je kolmý k základní rovině (ose) nástroje a slouží pro umístění, orientaci, kontrole nebo ostření (ne všechny nástroje ovšem mají určenou základnu).

V České republice existuje norma ČSN ISO 3002/1 - Řezné nástroje, ve které jsou mimo jiné definovány řezné hrany a plochy nástroje

Nástrojové a pracovní úhly

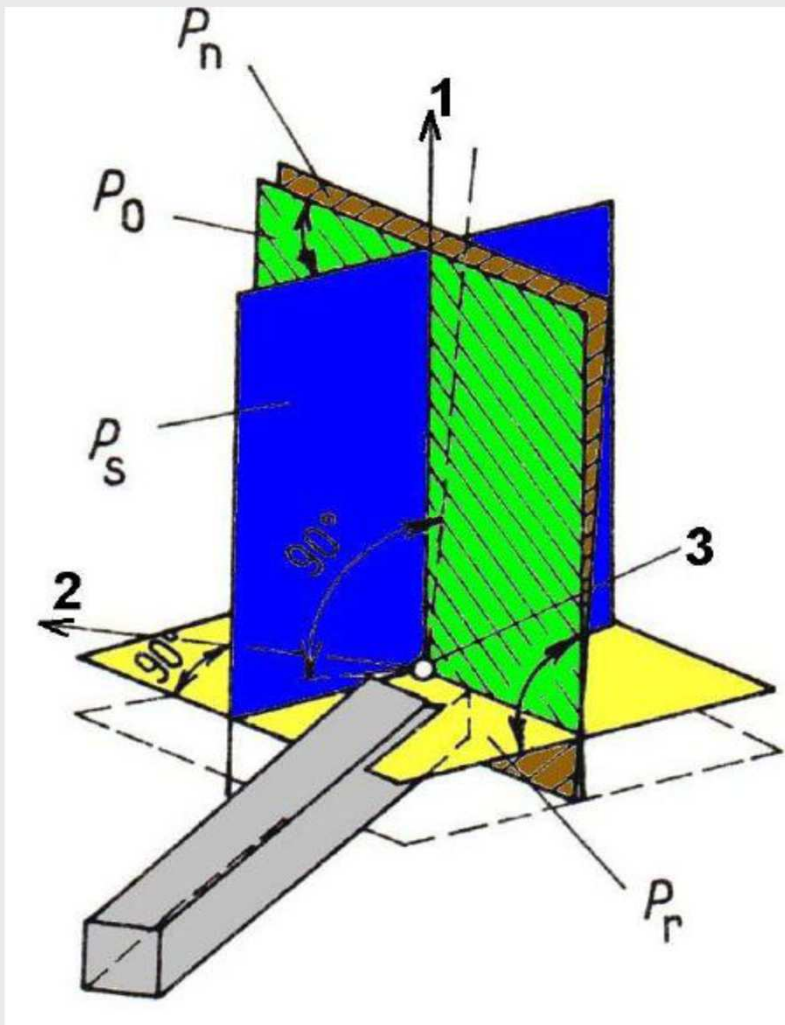
A. Nástrojová souřadnicová soustava

- *V nástrojových rovinách je definována geometrie řezné části nástroje, který je v klidu.*
- *Uplatní se zejména při konstrukci, výrobě, kontrole a ostření nástroje.*

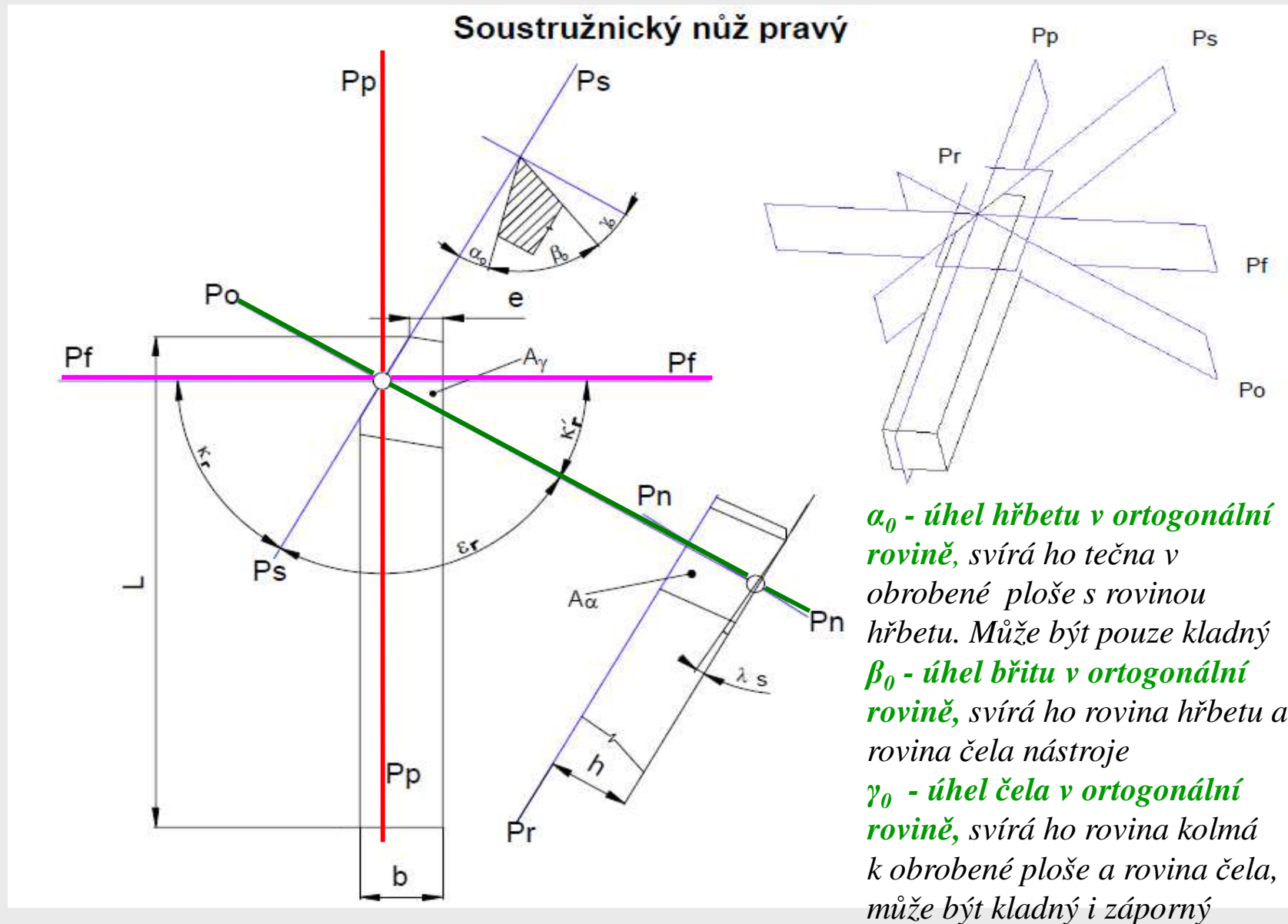
B. Pracovní souřadnicová soustava

- *V pracovních rovinách je identifikována geometrie řezné části nástroje v procesu řezání ⇒ odtud název pracovní soustava.*
- *Hovoříme o pracovních úhlech a nastavení břitu nástroje při obrábění.*
- *Nastává transformace úhlů při obrábění.*

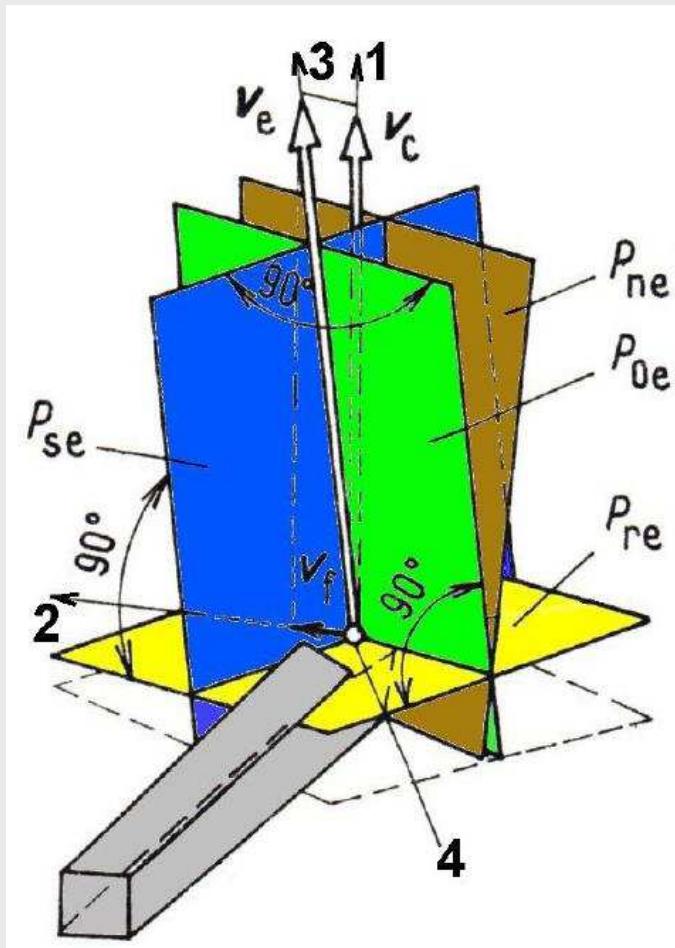
Nástrojové roviny situované k řezné hraně nástroje



- P_r **základní rovina** je kolmá na vektor řezné rychlosti I a prochází bodem ostří 3
- P_o **ortogonální rovina** je kolmá na hlavní ostří a základní rovinu P_r . Zjišťujeme v ní geometrii hřbetu, břitu a čela hlavního ostří.
- 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 $\lambda_s = 0$).



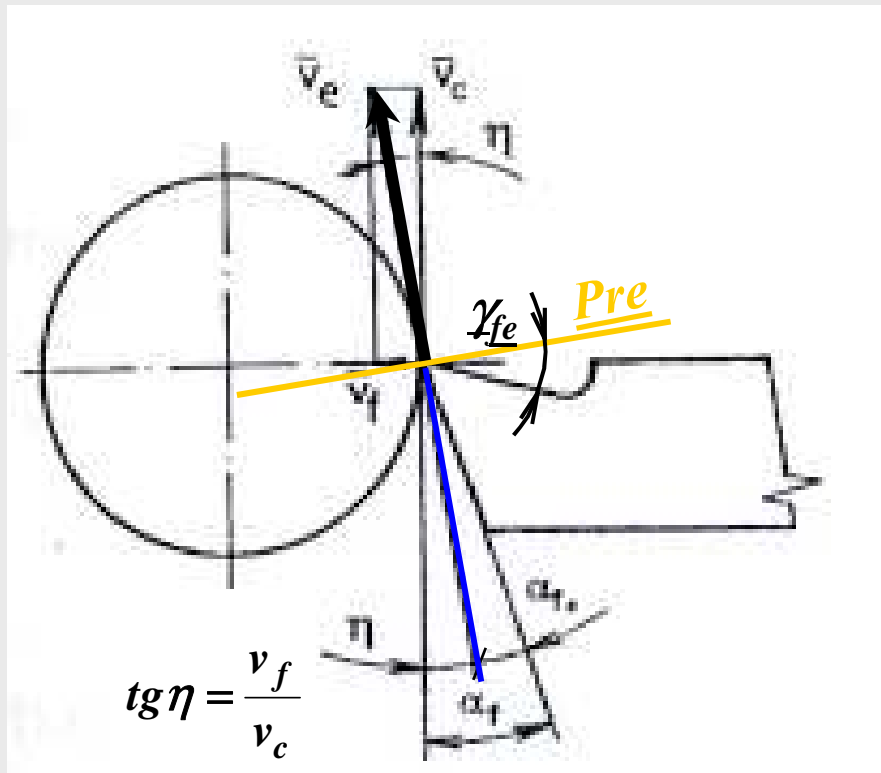
Pracovní roviny situované k řezné hraně nástroje



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 $\lambda_s = 0$).

Vliv velké posuvné rychlosti na pracovní úhly



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 v_e .

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

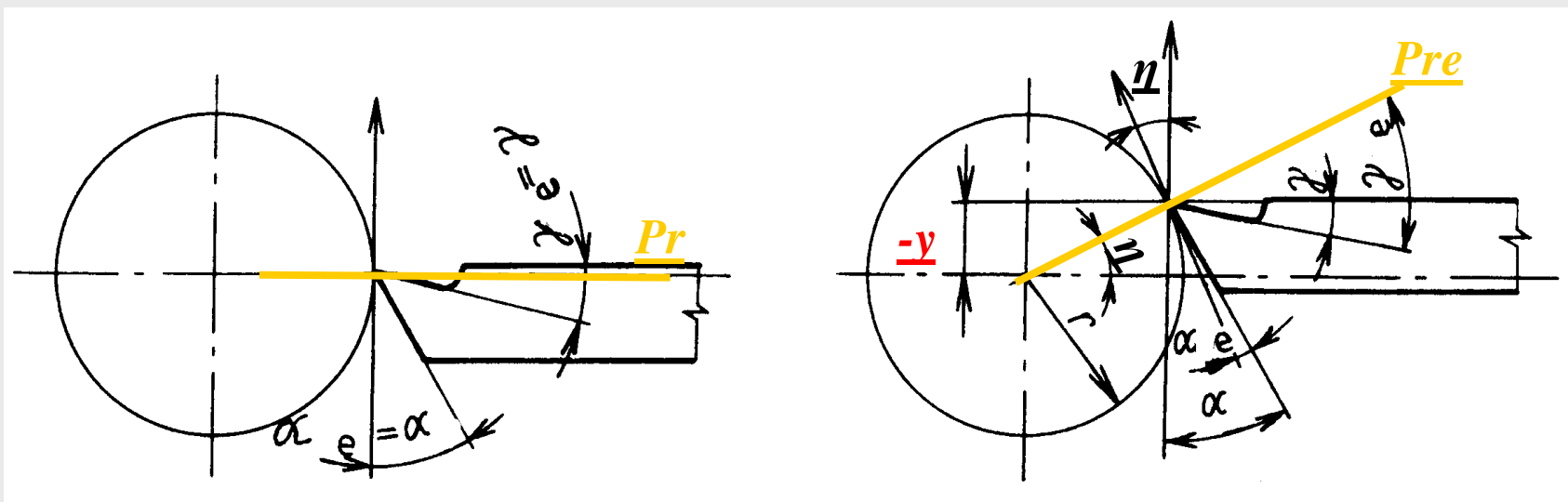
$$\alpha_{fe} = \alpha_f - \eta$$

$$\gamma_{fe} = \gamma_f + \eta$$

Poznámka: Při vysokých podávacích rychlostech dochází k rapidnímu snížení úhlu hřbetu α_{fe} a hrozí zvýšené tření břitu nástroje o obrobek se všemi negativními důsledky pro obrábění.

Vliv nastavení nástroje na pracovní úhly

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



4. Interakce nástroj - obrobek

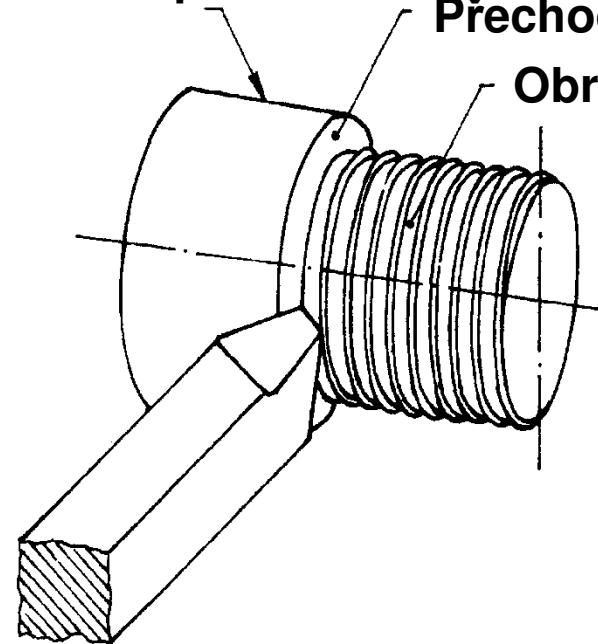
Plochy na obrobku

Obrobek jako objekt obráběcího procesu je z geometrického hlediska charakterizován obráběnou, obrobenou a přechodovou plochou.

Obráběná plocha

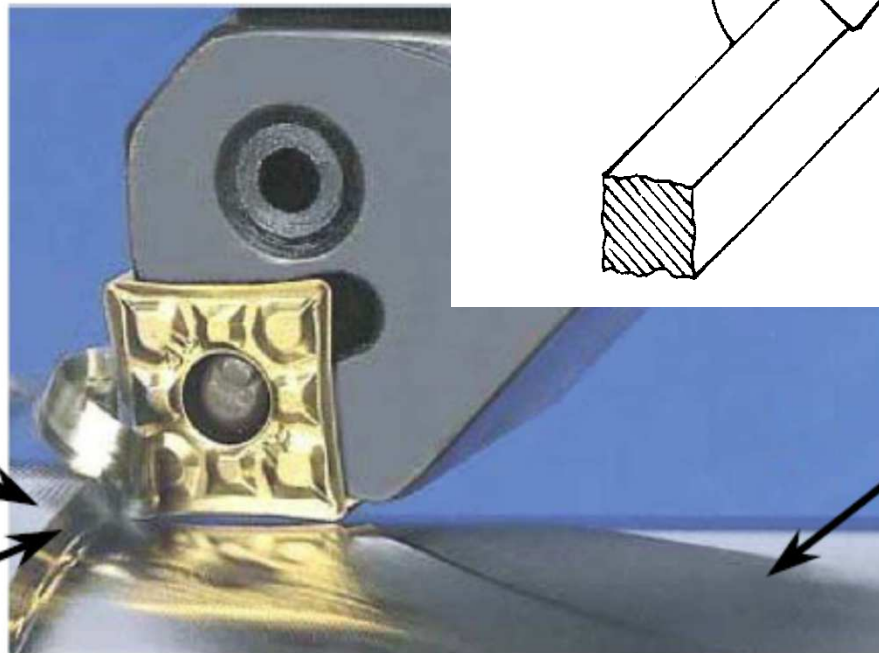
Přechodová plocha

Obrobená plocha



obráběná plocha

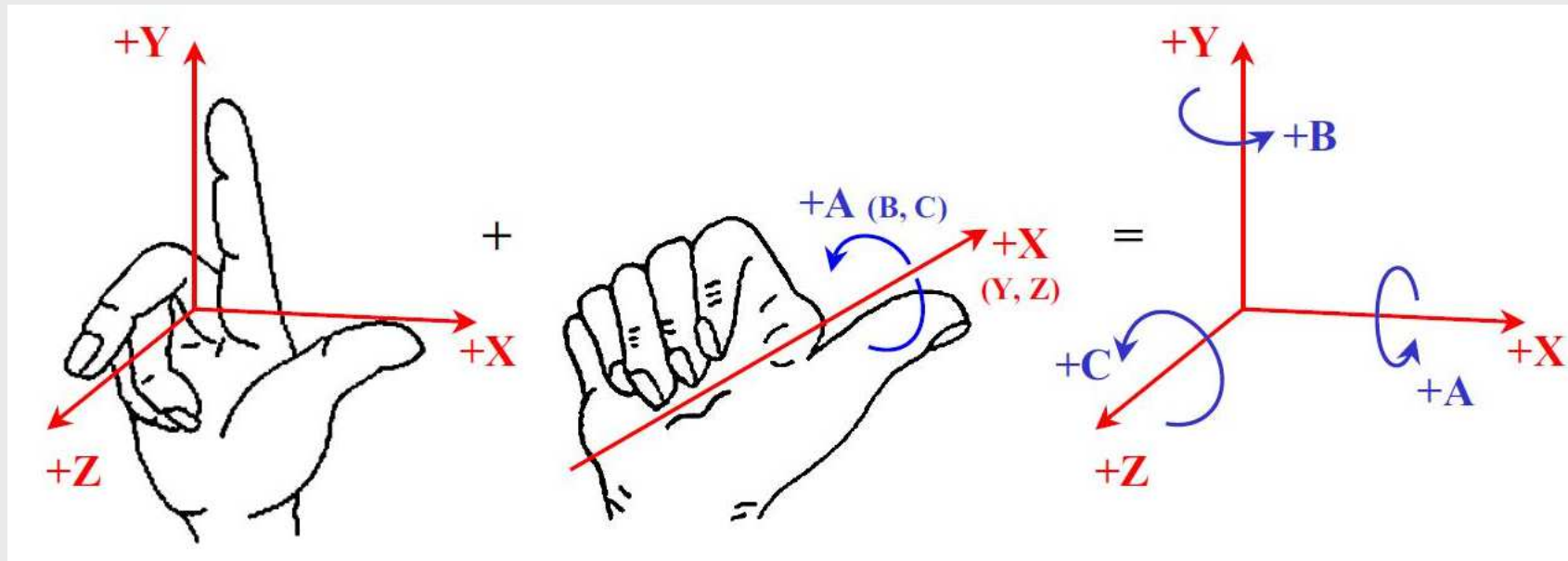
přechodová
plocha



obrobená plocha

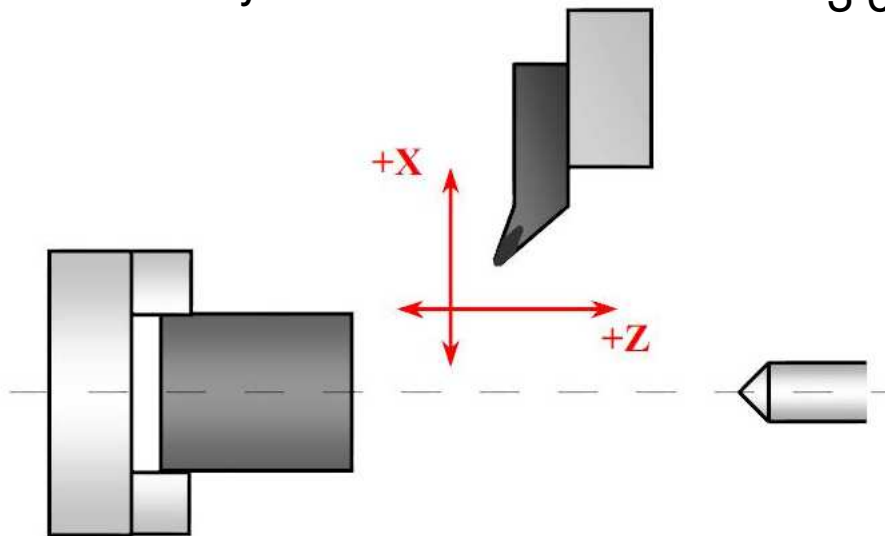
Souřadnicový systém stroje

- Řeší norma ISO 8481
- Zavádí se pravoúhlá souřadná soustava (pravotočivý kartézský souřadný systém)
- Osy X, Y, Z **označují posuvy**
- Osa Z je hlavní osou stroje \Leftrightarrow je rovnoběžná například s osou vřetene, laserového paprsku, drátu, plasmu apod.
- Osa X je hlavní osa v rovině upínání obrobku.



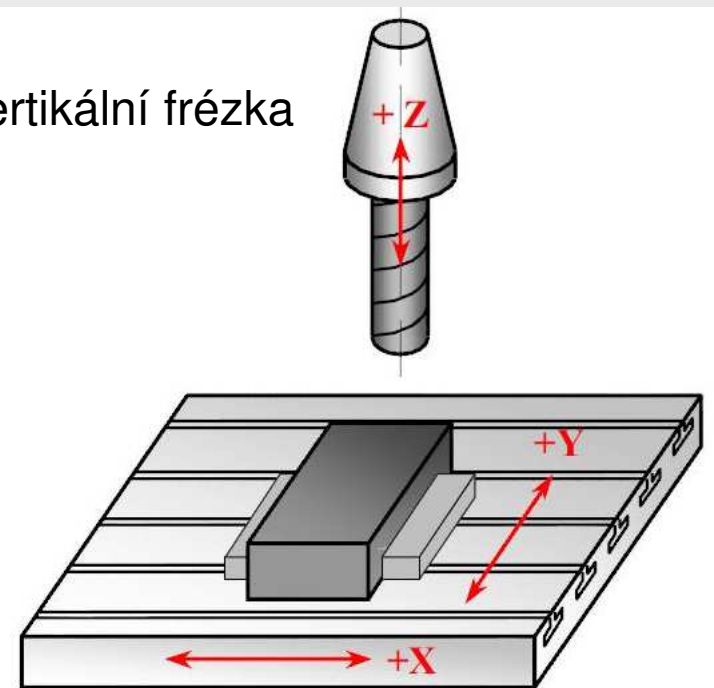
Uspořádání souřadnicového systému na stroji

2 osy - soustruh



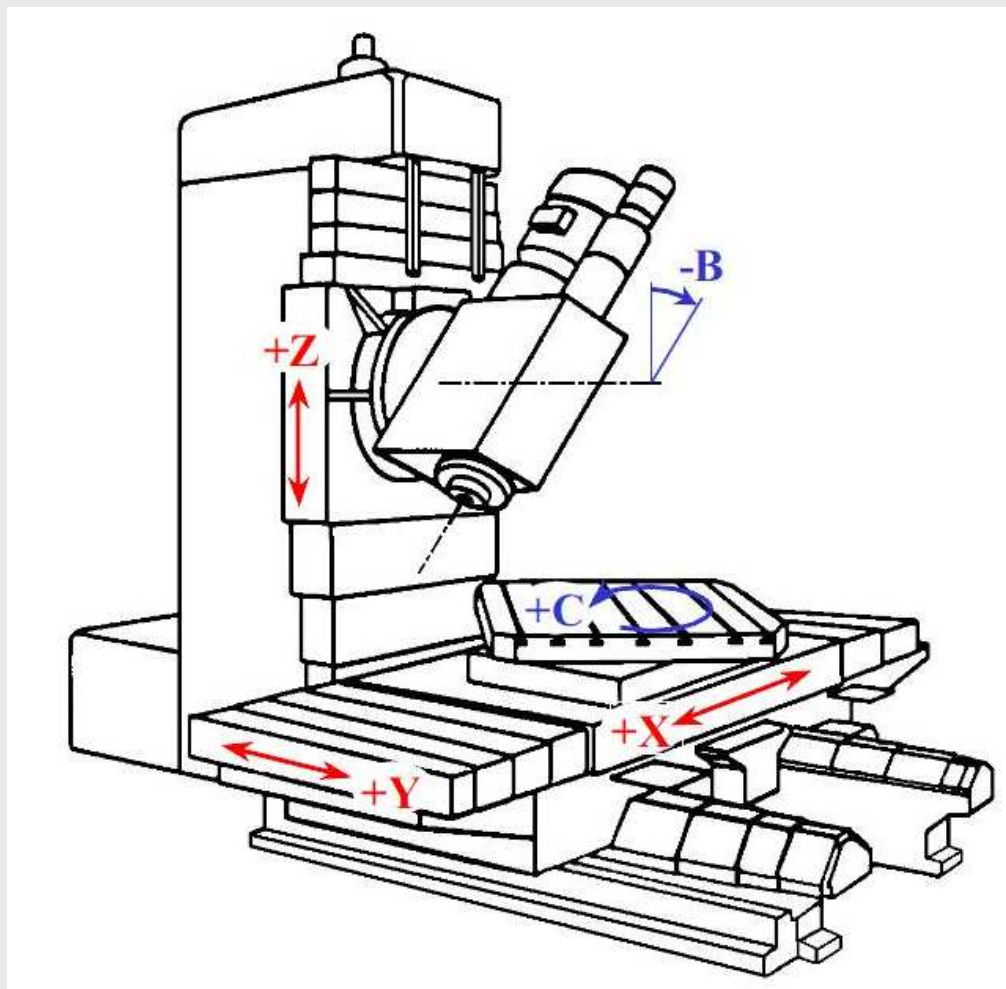
soustružnický nůž koná oba pohyby

3 osy - vertikální frézka

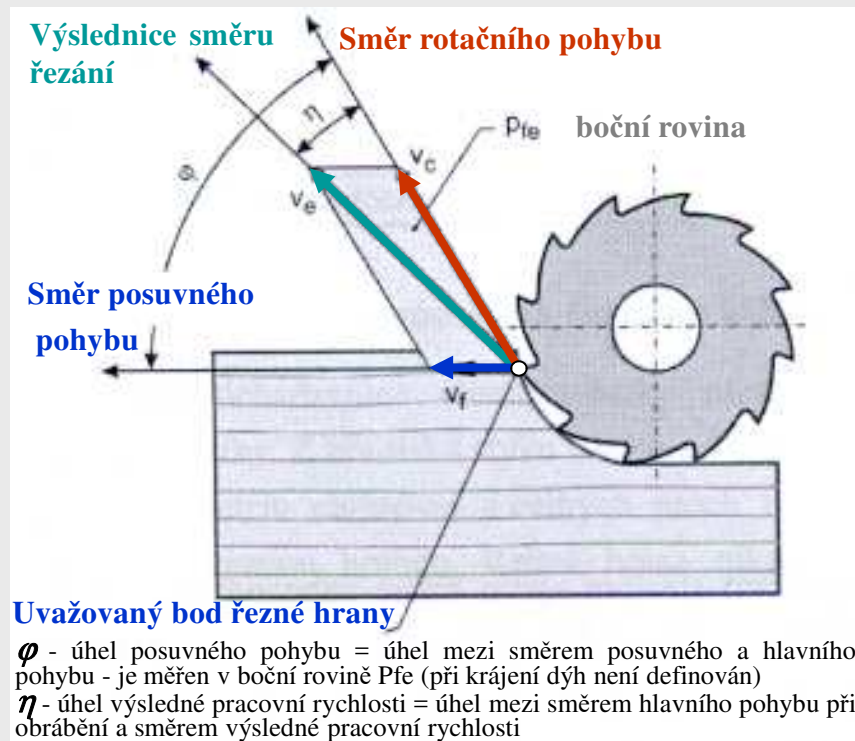


pohyby v rovině X – Y koná stůl
s obrobkem, vřeteno s frézou
se pohybuje ve směru Z

5-ti osé vertikální frézovací centrum



Pohyby nástroje a obrobku



Řezná rychlost:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} \quad [ms^{-1}]$$

Poznámka: Platí pouze u rotujícího nástroje.

Podávací rychlost:

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \quad [mm \cdot min^{-1}]$$

Výsledná pracovní rychlost:

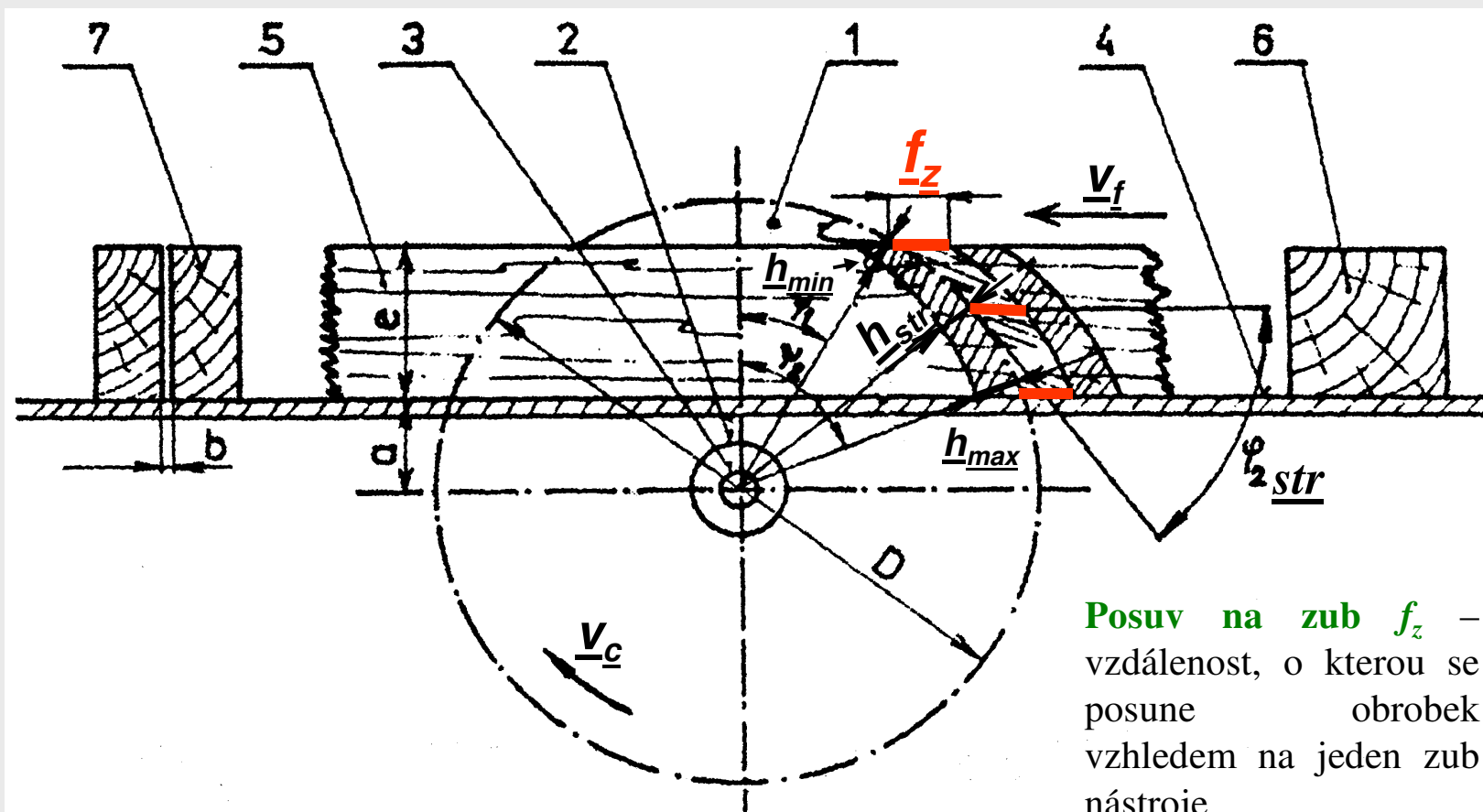
$$\overline{v_e} = \overline{v_c} + \overline{v_f} \quad [ms^{-1}]$$

D – průměr nástroje, n – otáčky nástroje (min^{-1})
 f_z – posuv na zub (m), z – počet zubů nástroje

Hlavní (rotační) pohyb – je obvykle souhlasný s pohybem hlavního mechanismu stroje, na který se spotřebuje největší část energie.

Posuvný pohyb – spolu s hlavním pohybem umožňuje opakované nebo plynulé odřezávání třísky z obráběného povrchu, spotřeba energie je obvykle menší než u hlavního pohybu.

Posuv na zub a minutový posuv



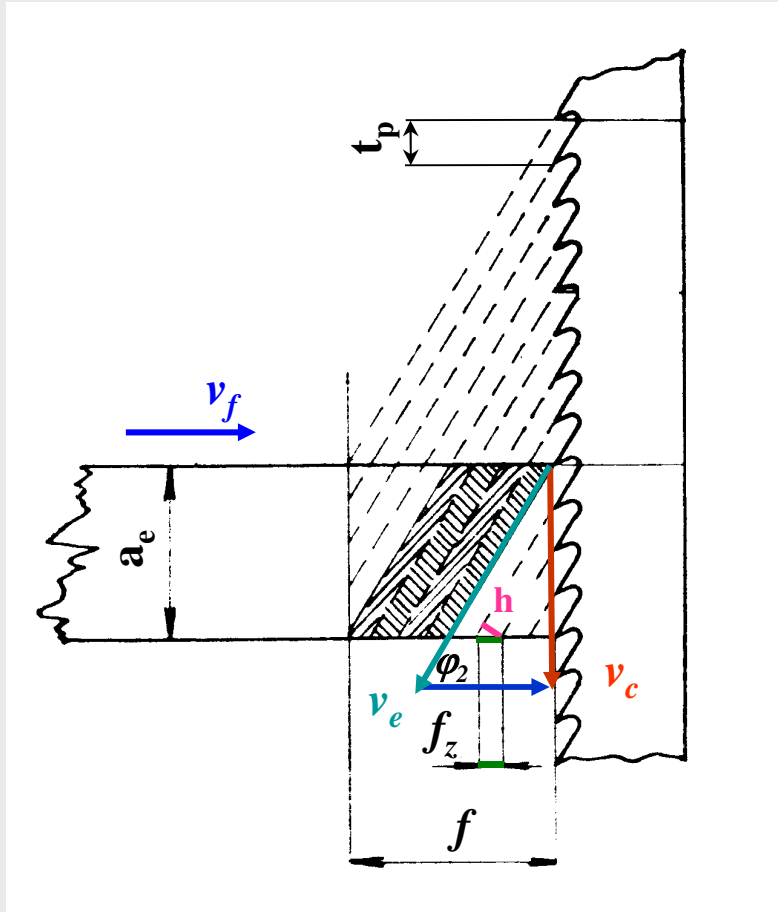
Posuv na zub f_z – vzdálenost, o kterou se posune obrobek vzhledem na jeden zub nástroje

Posuv na otáčku (minutový posuv) f_n – vzdálenost o kterou se posune obrobek vzhledem k jednomu otočení nástroje (jednomu dvoj-zdvihu, např. u rámové pily)

$$f_n = f_z \cdot z$$

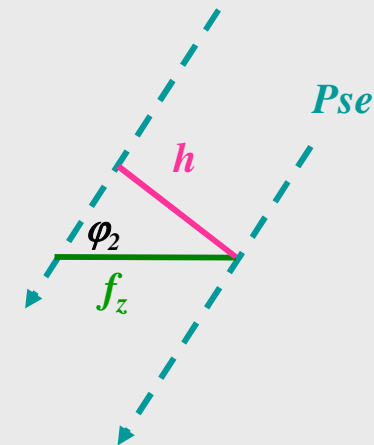
$$f_z = \frac{v_f}{z \cdot n}$$

Tloušťka třísky



Tloušťka třísky h – její velikost je závislá na kinematických parametrech řezání, zejména na posuvu na zub, výpočet se liší podle použité technologie obrábění a nástroje.

$$h = f_z \cdot \sin \varphi_2$$



kde:

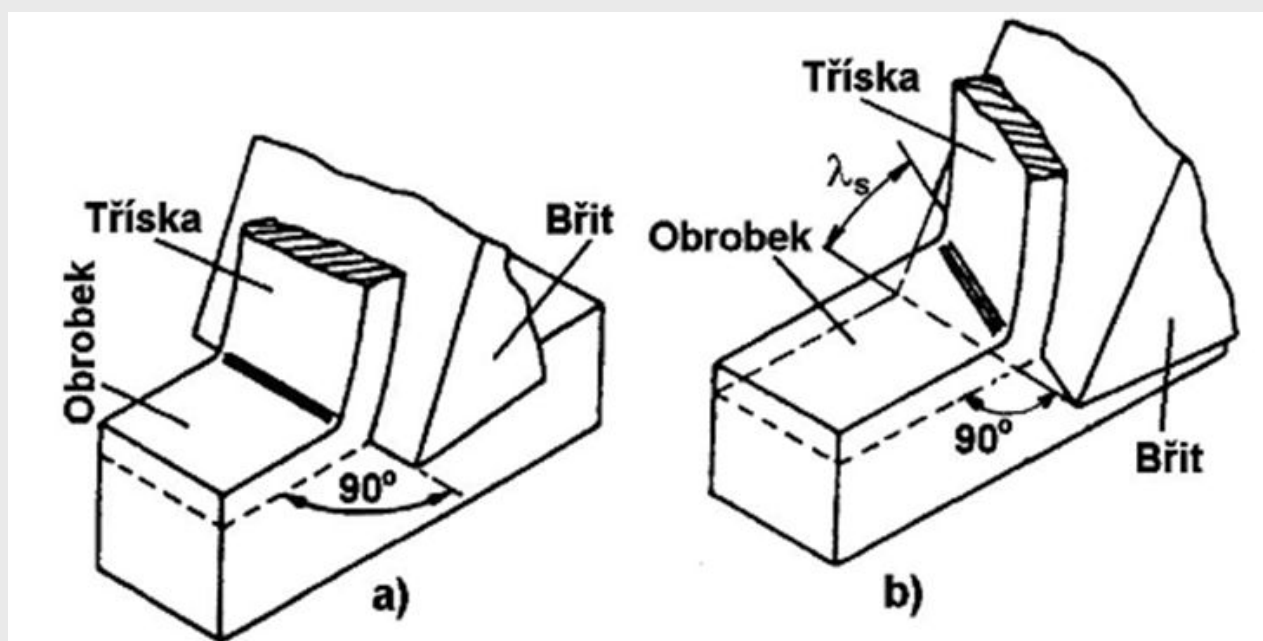
$$\varphi_2 = \arctg \frac{v_c}{v_f}$$

Úhel přezávání (úhel sklonu pracovní roviny řezu Pse)

Poznámka: a_e – výška pracovního záběru řezné hrany

5. Energetické parametry

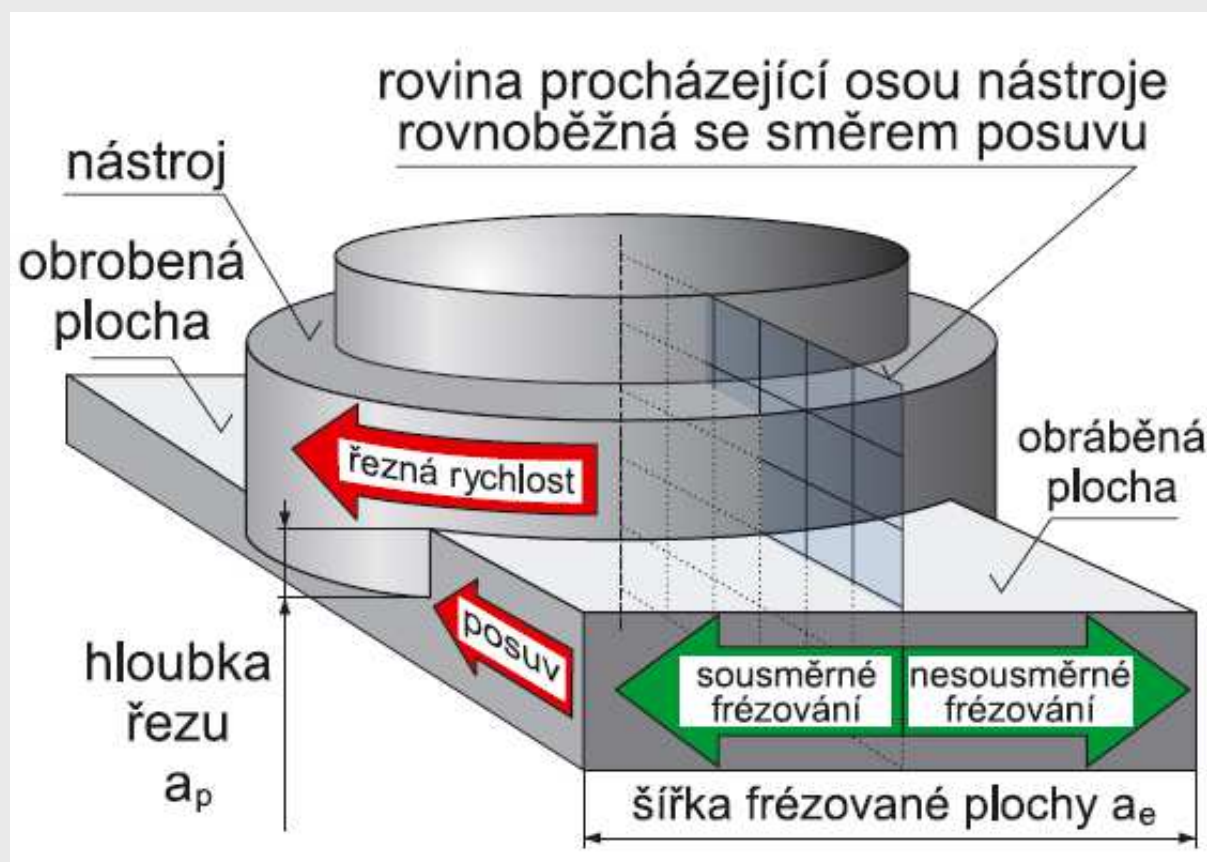
Dvozměrný model řezání



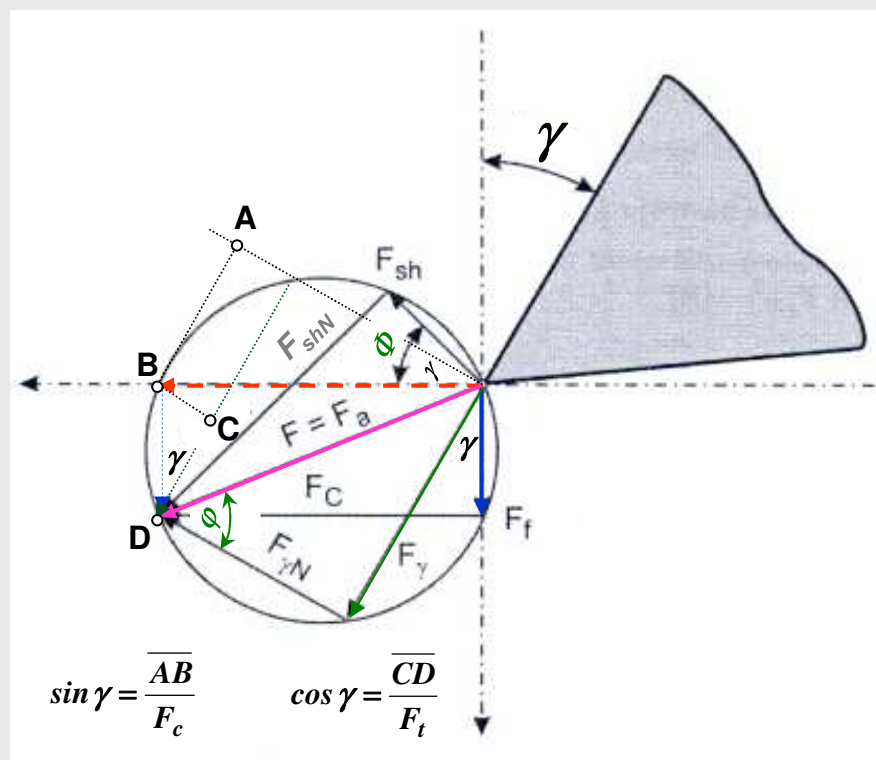
Realizace řezného procesu

a) ortogonální řezání, b) obecné řezání

Model řezání při čelním frézování



Síly řezného procesu v kruhovém diagramu (Ernst - Merchant model)



Součinitel tření μ a třecí úhel φ :

kde $F_{\gamma N} = F_c \cdot \cos \gamma - F_t \cdot \sin \gamma$

$$\mu = \operatorname{tg} \varphi = \frac{F_{\gamma}}{F_{\gamma N}}$$

Přehled sil při ortogonálním řezání,
zobrazených v pracovní rovině boční P_{fe} :

F_c ... řezná síla (Cutting force)

F_t ... pasivní (přítlačná) síla (Thrust force)

F_a ... aktivní síla (Active force)

F_{sh} ... střižná síla (Shear force)

F_{shN} ... kolmá střižná síla
(Normal force to shear plane)

F_{γ} ... třecí síla na čele nástroje
(Friction on the rake)

$F_{\gamma N}$... kolmá třecí síla na čele nástroje

ϕ ... střižný úhel (shear angle)

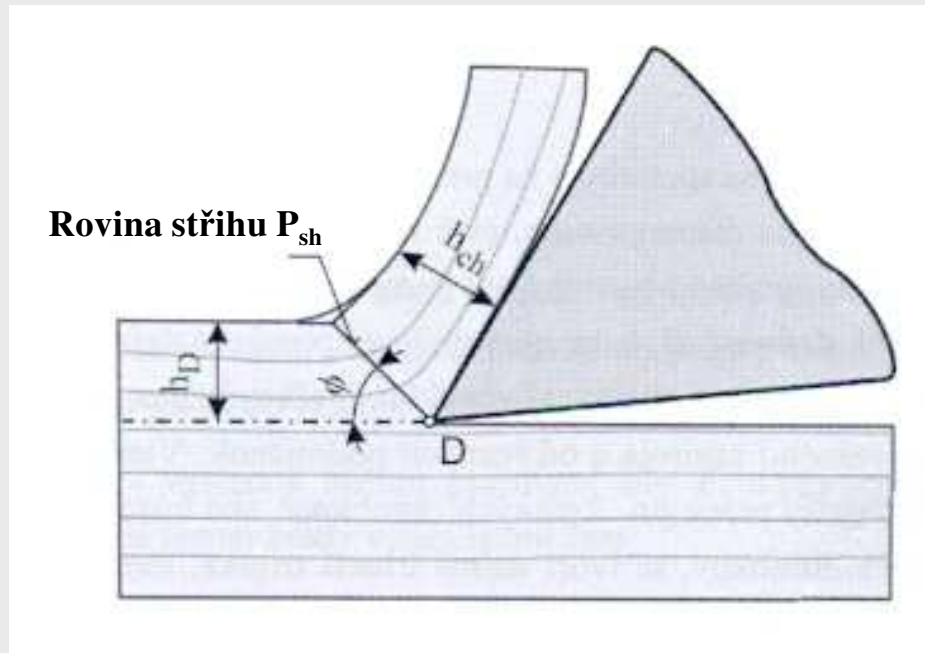
φ ... třecí úhel (friction angle)

Příklad výpočtu třecí síly na čele nástroje:

Z geometrie a pravoúhlých trojúhelníků v Ernst-Merchant modelu vyplývá

$$F_{\gamma} = \overline{AB} + \overline{CD} = F_c \cdot \sin \gamma + F_t \cdot \cos \gamma$$

Úhel roviny stříhu



h_D – nominální tloušťka třísky (nedeforovaná)

h_{ch} – skutečná tloušťka třísky (deformovaná)

Φ – střížný úhel

φ – třecí úhel

γ – ortogonální úhel čela nástroje

δ – ortogonální úhel řezu

Velikost úhlu Φ je možné určit na základě teorie minimální vynaložené práce, kdy nástroj působí na odřezávanou vrstvu minimální silou:

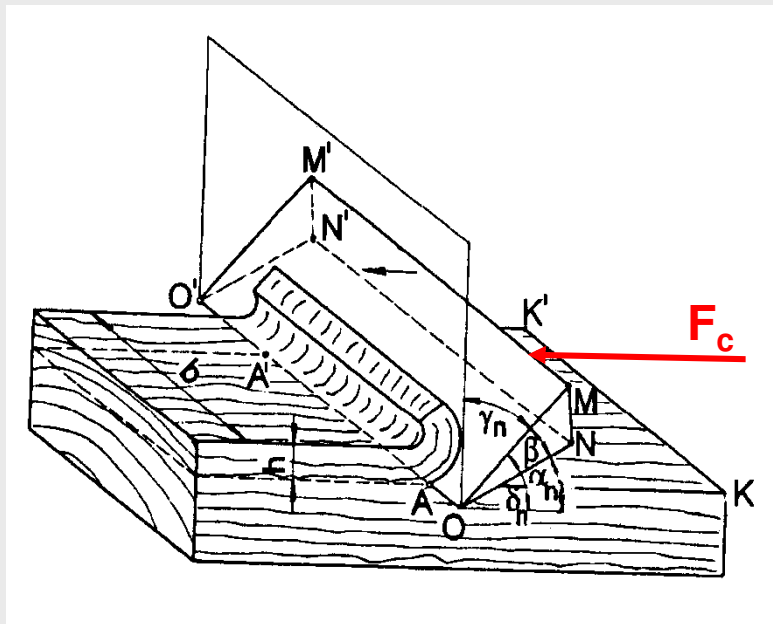
Podle prof. Kocmana platí:

$$\Phi = 90^\circ - \frac{1}{2} \cdot (\varphi + \delta)$$

nebo obdobný vztah podle prof. Atkinse:

$$\Phi = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \cdot (\varphi - \gamma)$$

Řezná síla a měrný řezný odpor při ortogonálním řezání



Působením řezné síly F_c na břit nástroje je obecně odebrána třísky o šířce b a tloušťce h . Velikost řezné síly je pak úměrná ploše příčného průřezu třísky a tzv. **měrnému řeznému odporu k_c** .

Z této úvahy je pak velikost řezné síly F_c :

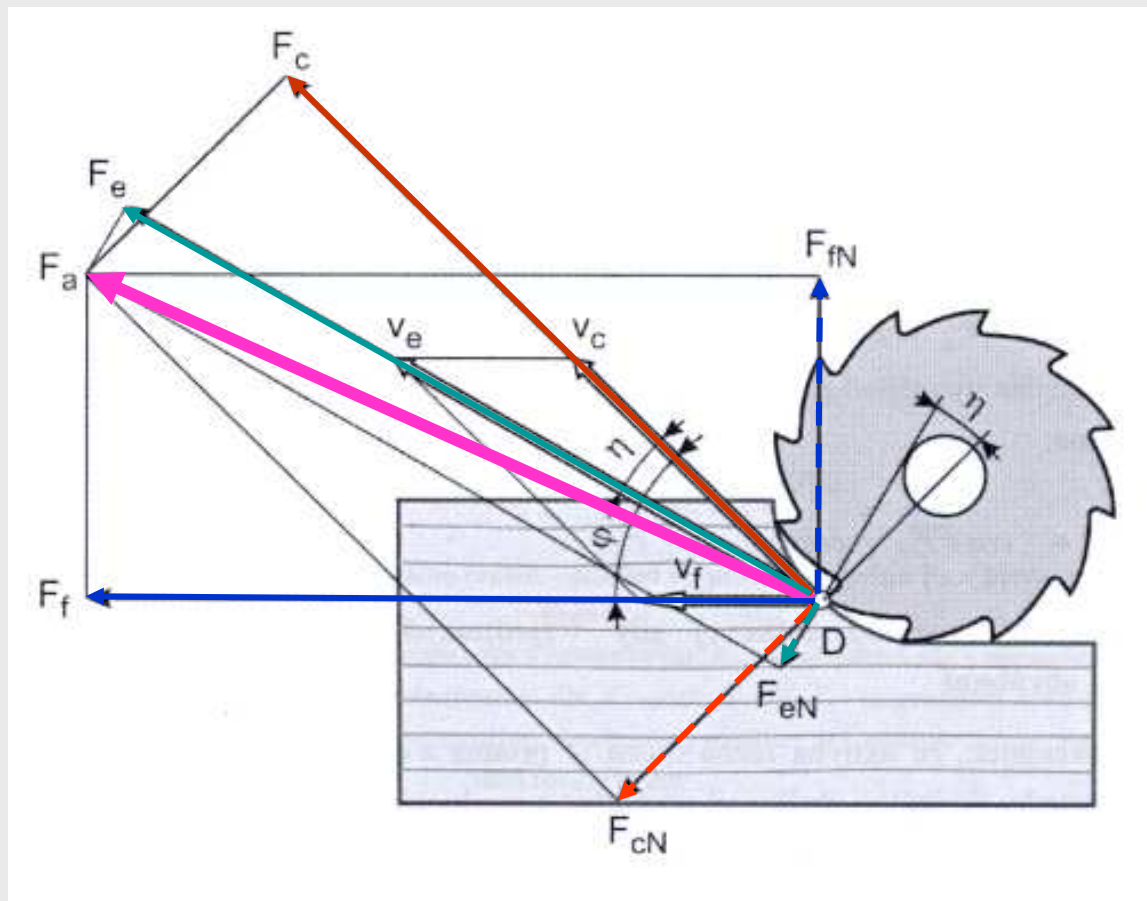
$$F_c = k_c \cdot b \cdot h \quad [N]$$

kde: b ... šířka třísky (mm)
 h ... tloušťka třísky (mm)
 k_c ... měrný řezný odpor (N/mm²)

Měrný řezný odpor (řezná síla vztažená na jednotku plochy třísky) k_c má rozměr [Pa, MPa (N/mm²)] , což vyplývá ze vztahu:

$$k_c = \frac{F_c}{b \cdot h} \quad [MPa] \text{ nebo } [Nmm^{-2}]$$

Síly při rovinném frézování válcovou frézou



F_a – aktivní síla

F_c – řezná síla

F_f – posuvná síla

F_e – pracovní síla

F_{cN} – kolmá řezná síla

F_{fN} – kolmá síla posuvu

φ – úhel posuvného pohybu

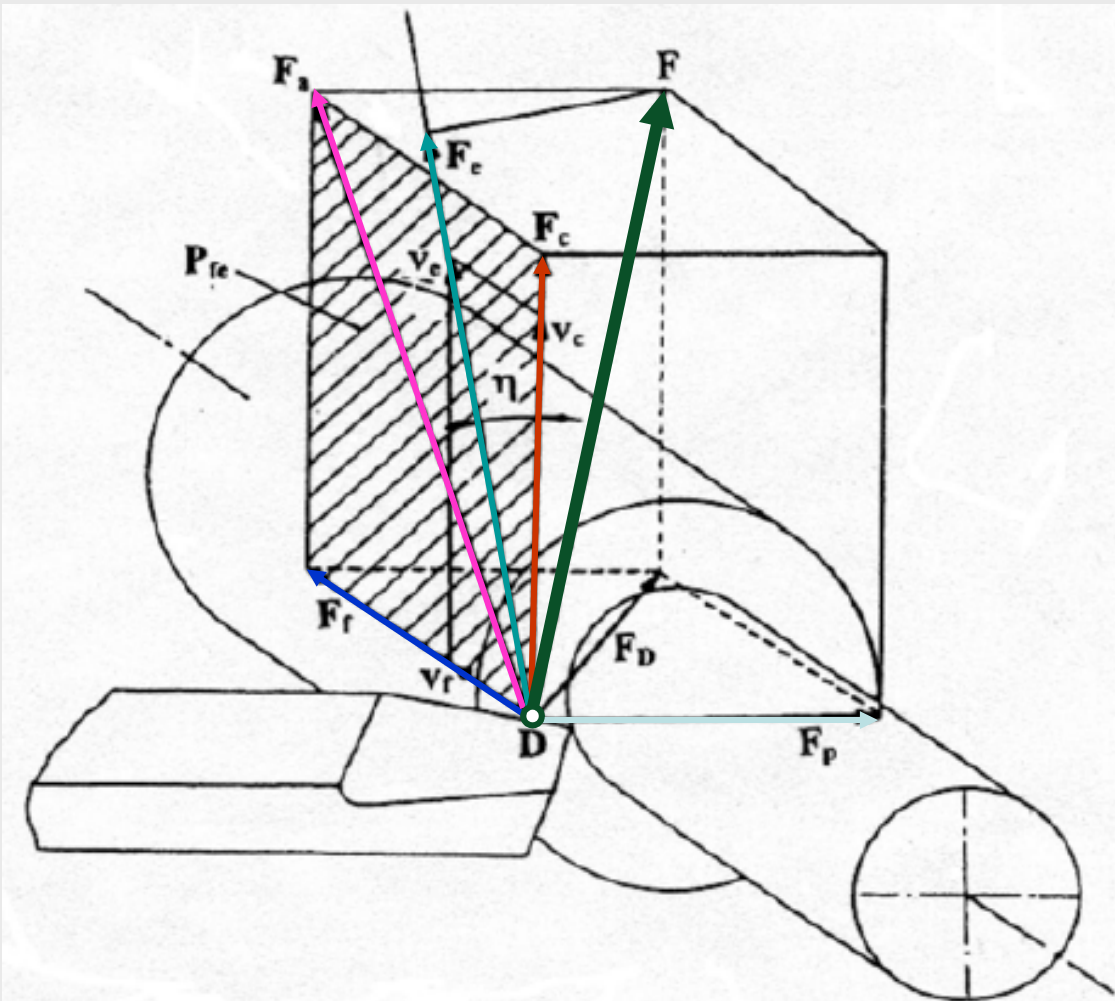
η – úhel výslednice řezné rychlosti

D – referenční bod řezné hrany

Pro aktivní řeznou sílu platí:

$$F_a = \sqrt{F_c^2 + F_{cN}^2} = \sqrt{F_f^2 + F_{fN}^2} = \sqrt{F_e^2 + F_{eN}^2}$$

Rozklad celkové řezné síly při podélném soustružení



F – celková řezná síla

F_a – aktivní síla

F_c – řezná síla

F_D – dimenzionální síla

F_f – posuvná síla

F_e – pracovní síla (je vyjádřena pravoúhlým průmětem celkové řezné síly F do směru výsledné řezné rychlosti a je definována v pracovní boční rovině P_{fe} .)

F_p – pasivní síla (přísuvu)

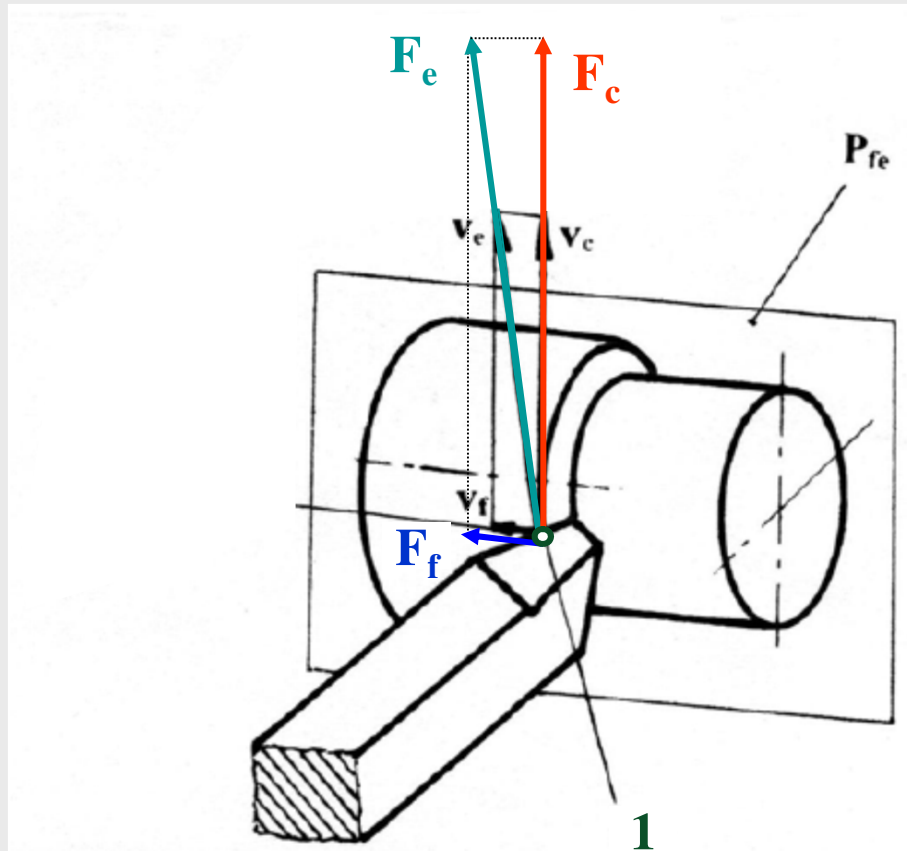
η – úhel výslednice řezné rychlosti

D – referenční bod řezné hrany

Pro celkovou řeznou sílu platí:

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

Výkony při obrábění



kde:
1 ... uvažovaný bod řezné hrany
 P_{fe} ... boční pracovní rovina

$$P_c = F_c \cdot v_c \quad [W]$$

Výkon je dán obecně součinem vektoru síly a rychlosti v tom samém čase.

Při obrábění rozlišujeme pracovní výkon výsledného řezného pohybu P_e .

$$P_e = F_e \cdot v_e \quad [W]$$

Pracovní výkon P_e se rovná součtu řezného výkonu P_c a výkonu potřebnému pro posuv P_f .

$$P_e = P_c + P_f \quad [W]$$

$$P_f = F_f \cdot v_f \quad [W]$$

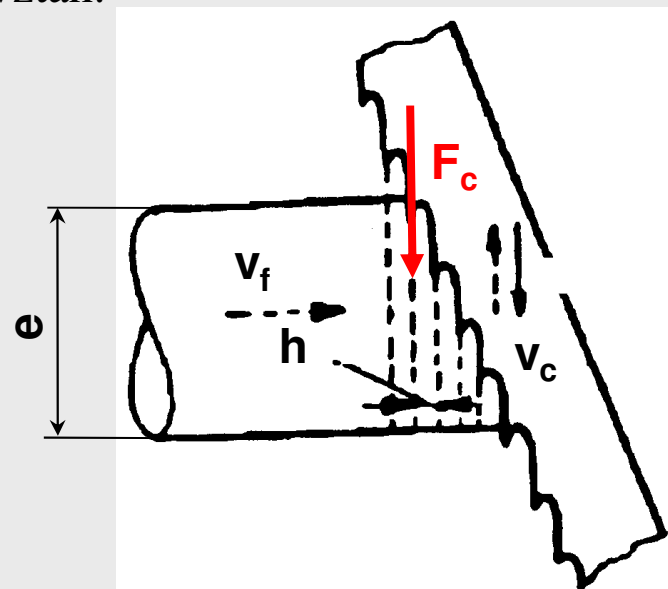
Řezná práce

Řezná práce (cutting energy) E_c je úměrná součinu velikosti řezné síly F_c na dráze l , kterou řezný nástroj (zub, břit) vykonává.

$$E_c = F_c \cdot l = k_c \cdot b \cdot h \int_0^l dl \quad [J]$$

Poznámka: Řezná práce E_c v sobě zahrnuje deformační a stříhovou energii, energii k překonání tření na čele a hřbetu nástroje, energii pro formování nového povrchu a energii na ohyb a vynesení třísky z místa řezu.

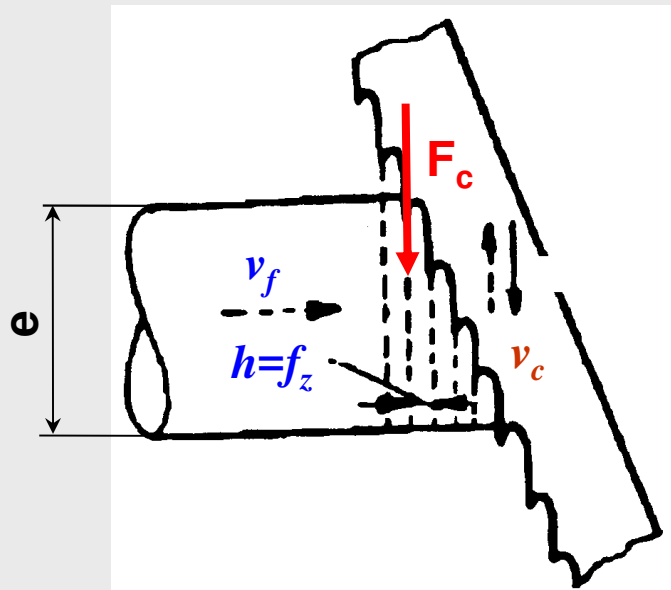
Například pro řeznou délku zubu pilového listu rámové pily můžeme použít vztah:



$$E_c = F_c \cdot e = k_c \cdot b \cdot h \cdot e \quad [J]$$

kde: b ... šířka třísky (mm)
 h ... tloušťka třísky (mm)
 e ... výška rozřezávaného materiálu (dráha zubu)

Řezný výkon



Je-li znám měrný řezný odpor k_c , pak jeho součin s odebraným objemem materiálu za jednu sekundu V_s dává jiným způsobem vyjádřený řezný výkon:

$$P_c = k_c \cdot V_s = \frac{F_c}{b \cdot h} \cdot b \cdot e \cdot v_f = k_c \cdot b \cdot e \cdot v_f$$

kde: v_f ... rychlost posuvu $v_f = f_z \cdot z \cdot n = h \cdot z \cdot n$

Řezný výkon P_c (cutting power) je úměrný řezné práci vykonané za časovou jednotku.

„Je to výsledek součinu řezné síly a řezné rychlosti, které působí v hlavním bodě řezné hrany ve stejném čase“.

$$P_c = F_c \cdot v_c \quad [W]$$

Porovnáním obou vztahů pro výpočet výkonu dostaneme výraz pro jiné vyjádření řezné síly F_c jako funkci podávací a řezné rychlosti:

$$F_c = \frac{P_c}{v_c} = k_c \cdot b \cdot e \cdot \frac{v_f}{v_c} \quad [N]$$

Děkuji za pozornost