

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

Pedagogická fakulta – Katedra fyziky

Teorie třískového obrábění kovů v 3D aplikacích vytvořených v programu  
SolidWorks

Diplomová práce

Vedoucí práce: PaedDr. Bedřich Veselý, Ph.D

Autor: Jiří Bulánek

## **Anotace**

Diplomová práce řeší otázky spojené s teorií třískového obrábění kovů. Uvedené teorie jsou v mnoha kapitolách doplněny názornými obrázky vytvořenými v 3D modeláři SolidWorks. Úvodní část je teoretická a popisuje souhrnně a systematicky uspořádání základních pojmů třískového obrábění. V dalších kapitolách je řešena problematika geometrie břitu, druhů nástrojových materiálů, tvorby třísky, sil, práce, teploty a tepla vznikajícího při obrábění. V práci jsou řešeny i otázky spojené s hospodárností třískového obrábění. Závěr práce tvoří popis základních druhů obrábění frézováním a soustružením.

This diploma thesis addresses the issues associated with the theory of chip machining of metals. The theories are supported in many chapters by illustrative images created in the SolidWorks 3D modeler. The introductory part is rather theoretical, describing integrally and systematically the basic terms of splinter machining. The subsequent chapters address the issues of the turning tool edge geometry, different types of tools' materials, chip development, forces, work, temperatures and heat emitted during the work. Furthermore, the diploma thesis also addressed issues related to the machining efficiency. Finally, the conclusion of the thesis consists of a description of the basic types of milling and turn machining.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě - v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum:

Podpis studenta:

Touto cestou děkuji vedoucímu práce PaedDr. Bedřichu Veselému, Ph.D. za odborné vedení, rozsáhlé konzultace, připomínky a velice vstřícný přístup, který mi pomohl při zpracování této diplomové práce.

# OBSAH

Úvod .....	7
<b>1 Základy obrábění.....</b>	<b>9</b>
<b>2 Základní pojmy .....</b>	<b>10</b>
2.1 Co to je obrábění.....	10
2.2 Základní pojmy třískového obrábění .....	11
2.3 Obrobek .....	12
2.4 Řezný nástroj .....	13
2.5 Kinematika obrábění.....	14
2.6 Roviny a úhly řezného nástroje .....	17
<b>3 Geometrie břitu.....</b>	<b>22</b>
3.1 Břítový diagram čela.....	22
3.2 Břítový diagram hřbetu .....	26
3.3 Kruhový diagram čela.....	27
<b>4 Nástrojové materiály .....</b>	<b>28</b>
4.1 Nástrojové oceli .....	30
4.1.1 Nástrojové oceli uhlíkové .....	30
4.1.2 Nástrojové oceli slitinové .....	30
4.1.3 Oceli slitinové rychlořezné .....	30
4.2 Slinuté karbidy .....	31
4.2.1 Třídění a značení SK.....	32
4.3 Keramické řezné materiály .....	33
4.4 Diamanty.....	34
<b>5 Mechanika tváření třísky .....</b>	<b>36</b>
5.1 Druhy třísek .....	37
5.2 Plastická deformace při tvorbě třísky .....	39
5.3 Objemový součinitel třísky .....	41
5.4 Tvoření nárůstku .....	42
5.5 Vliv nárůstku na obrábění.....	43
5.6 Zpevňování obrobené plochy.....	44
5.7 Pnutí po obrábění .....	45
5.8 Drsnost obrobené plochy .....	45
<b>6 Práce, síla řezání .....</b>	<b>47</b>

6.1	Práce při obrábění .....	47
6.2	Řezná síla .....	48
6.3	Řezný odpor .....	50
<b>7</b>	<b>Teplo a teplota .....</b>	<b>52</b>
7.1	Tepelná bilance .....	52
7.2	Teplota řezání .....	53
7.3	Chlazení, mazání.....	55
7.4	Řezné kapaliny.....	55
<b>8</b>	<b>Produktivita a hospodárnost obrábění .....</b>	<b>57</b>
8.1	Opotřebení břitu nástroje .....	57
8.2	Vnější opotřebení břitu .....	58
8.3	Trvanlivost břitu .....	59
8.4	Produktivita obrábění.....	61
8.5	Optimální řezné podmínky .....	62
<b>9</b>	<b>Soustružení .....</b>	<b>63</b>
9.1	Soustružnické nože .....	63
9.2	Speciální tvarové nože .....	65
9.3	Soustruhy .....	67
<b>10</b>	<b>Frézování .....</b>	<b>68</b>
10.1	Řezné úhly frézy .....	68
10.2	Druhy frézování .....	69
10.2.1	Sousledné frézování.....	69
10.2.2	Nesousledné frézování.....	70
10.3	Frézování rovinných ploch čelními frézami .....	71
10.4	Frézování úkosů.....	72
10.5	Frézování drážek.....	72
10.6	Značení fréz .....	73
10.7	Frézka.....	74
<b>11</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>76</b>
<b>12</b>	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>77</b>
<b>13</b>	<b>Přílohy.....</b>	<b>79</b>

# Úvod

Teorie třískového obrábění kovů je velice rozsáhlým vědním oborem v oblasti strojírenského obrábění kovů. Strojírenský průmysl měl v Českých zemích vždy velkou tradici. Dalo by se říci, že jsme byli strojařskou velmocí. V současnosti tomu již tak zcela není. Strojařské obory dnes nejsou příliš prestižní, spíše jsou odsouvány do pozadí.

Jedním z aktuálních problémů dnešní doby je finanční krize a hledání adekvátních způsobů k jejímu řešení. Dle mého názoru je jeden z možných způsobů překonání krize, větší zaměření na domácí výrobu (*především v oblasti strojírenství*) a na používání dokonalejších a hospodárnějších technologií.

Mezi tyto technologie se bezpochyby řadí technologie obrábění kovů. Ve své diplomové práci se zabývám především třískovým obráběním kovů, které je vhodné, jak pro kusovou a sériovou, tak pro hromadnou výrobu za použití minimálního zařízení. Mezi další dvě technologie obrábění kovů se dále řadí beztřískové obrábění a technologie vypalování, někdy také nazývané elektroerozivní obrábění. Tyto dvě technologie jsou však finančně náročnější co se týká kusové výroby a pořizovacích nákladů na zařízení.

Zaměříme-li se na jiné technologie, jako je kování, lití atd., dojdeme k závěru, že ve většině případů se tyto výrobky musí na funkčních plochách dále obrábět. Je tedy potřeba vždy zvážit nejhospodárnější způsob výroby. Zvláště se zaváděním CNC strojů je nutné se nad touto problematikou zamyslet a to z důvodu náročných a drahých CNC strojů a programů pro jejich řízení.

Motivem pro výběr tématu mé diplomové práce pro mě byla skutečnost, že katedra fyziky Pedagogické fakulty Jihočeské univerzity je od roku 2009 vlastníkem cca 400 licencí na program SolidWorks. Tento produkt, zakoupený od brněnské firmy SolidVision, je jedním z nejprodávanějších a nejúspěšnějších CAD programů v posledních letech. Výběr tohoto tématu mi navíc umožnil navázat na mou bakalářskou práci, ve které jsem se podobnou problematikou již zabýval.

Hlavním cílem této diplomové práce je vytvořit přehledný a srozumitelný výukový materiál, který bude využíván k výkladu v hodinách předmětu „Technická praktika – strojní obrábění kovů“ na pedagogické fakultě Jihočeské univerzity. Součástí textu jsou obrázky vytvořené v 3D aplikacích programu SolidWorks, které budou sloužit studentům k názornému a snadnému pochopení dané problematiky.

Práce je členěna do deseti kapitol, ve kterých se postupně zabývám problematikou třískového obrábění. Především se zaměřuji na základní pojmy, na řezné podmínky jako je posuv, řezná rychlost, chlazení, mazání, na geometrii břítu a na nástrojový či obráběný materiál.

Doufám, že se mi v této práci podaří uceleně popsat problematiku třískového obrábění za pomoci programu SolidWorks, vystihnout její podstatu a vytvořit vhodný materiál využitelný ve vyučovací praxi.



# 1 Základy obrábění

Obrábění zaujímá významné místo ve strojírenské výrobě. Obrábění umožňuje vytvářet pomocí technologických procesů z polotovaru výrobky požadovaných rozměrů a tvarů, požadované přesnosti a kvality obrobených ploch. Na strojírenských výrobcích se proces obrábění podílí přibližně jednou třetinou. Z tohoto důvodu je velmi žádoucí, aby byl proces obrábění pokud možno co nejhospodárnější.

V dřívějších dobách, kdy se převážně používalo klasických (*ručních*) obráběcích strojů, byla ve značné míře volba řezných podmínek ponechána na obsluze obráběcích strojů. Hospodárnost obrábění byla tedy značně závislá na zkušenostech dělníků obsluhujících obráběcí stroje.

Dnes se převážně používají automatické obráběcí stroje, výrobní linky, číslicově řízené obráběcí stroje, výrobní centra, která jsou řízena počítači. Za těchto podmínek přechází odpovědnost za efektivitu a hospodárnost obrábění na technologa. Přesto je nezbytně nutné, aby obsluha těchto zařízení měla znalosti všech zákonitostí, které se v průběhu obrábění uplatňují. Pokud by tomu tak nebylo, docházelo by často ke ztrátám, které budou tím větší, čím modernějších a výkonnějších zařízení bude při procesu obrábění využíváno.

Většina poznatků v teorii obrábění je získána na základě experimentů a statistik. Při tak velké proměnlivosti řezných podmínek obrábění, je každá zákonitost platná pouze pro jistou oblast použití. Přesto přispívají dosavadní výsledky výzkumu obrábění ke zvýšení kvality a hospodárnosti obrábění. [5]

## 2 Základní pojmy

Než budou objasněny pojmy důležité z hlediska potřeb vysvětlení teorie obrábění, je nutné seznámit se se základními pojmy, které jsou pro pochopení teorie obrábění a tvorby třísky stěžejní. Tyto pojmy budou jednoduše a srozumitelně vysvětleny v následujícím textu a následně znázorněny na obrázcích, které jsou z převážné části tvořeny v programu SolidWorks.

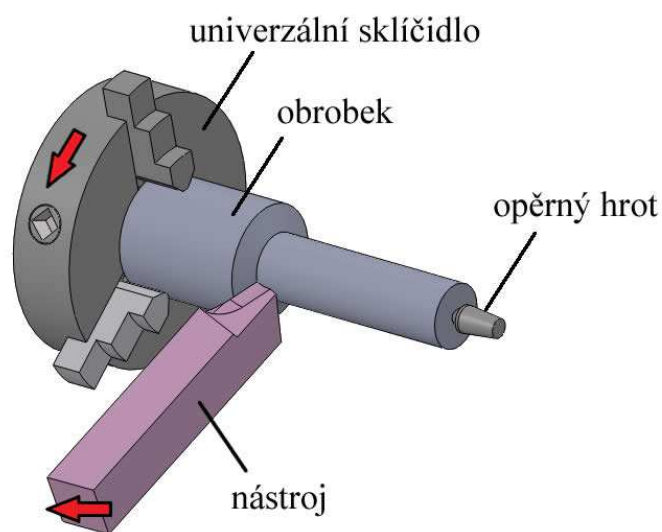
Tento program je v současné době jedním z nejrozšířenějších a velice úspěšných strojírenských 3D CAD programů u nás. Jedná se o parametrický 3D modelář, který umožňuje objemové a plošné modelování, práci s rozsáhlými sestavami a automatické generování výrobních výkresů. [12, 13]

### 2.1 Co to je obrábění

Pokud bychom se pustili do hledání přesné definice obrábění, narazíme na mnoho různých formulací a definicí.

V knize Strojírenská technologie 2 Ing. Miroslav Hluchý a kolektiv popisují obrábění takto: *Obrábění je technologický proces, při kterém je přebytečná část materiálu oddělována z obrobku klínem řezného nástroje ve formě třísky.*

*Obrábění se uskutečňuje v soustavě stroj – nástroj – obrobek, kde je stroj zastoupen symbolicky univerzálním sklíčidlem a opěrným hrotem.* [5] (obr. č. 1). [5, 12]



Obr. č. 1 Soustava  
stroj – nástroj – obrobek

Pokud bychom se zaměřili na obrábění podrobněji, dospěli bychom k těmto známým závěrům:

- *V širším významu je obrábění jakýkoli technologický proces, kterým se polotovar mění na hotový výrobek, tedy kdy se dosahuje požadovaného tvaru, rozměrů a jakosti povrchu. Patří sem tedy všechny strojírenské technologie, jako je slévání, tváření, řezání, svařování, tepelné zpracování, úprava povrchu, ale i montážní práce. [12]*
- *V užším významu je obrábění technologický proces, kterým se polotovar mění na hotový výrobek požadovaného tvaru, rozměrů a jakosti povrchu odebráním materiálu mechanickými, elektrickými nebo chemickými pochody či kombinacemi těchto pochodů. [12]*
- *V nejužším významu je obrábění technologický proces, kterým se polotovar mění na hotový výrobek požadovaného tvaru, rozměrů a jakosti povrchu oddělováním přebytečného materiálu ve formě třísek, což nazýváme třískové obrábění.. [12]*
- *Třískové obrábění je vtlačování řezného klínu do materiálu za účelem dosažení požadovaného tvaru, rozměrů a jakosti povrchu, přičemž dochází k porušení soudržných sil obráběného materiálu, který se odděluje ve formě třísky jako odpadu (obr. č. 2). [12]*

## **2.2 Základní pojmy třískového obrábění**

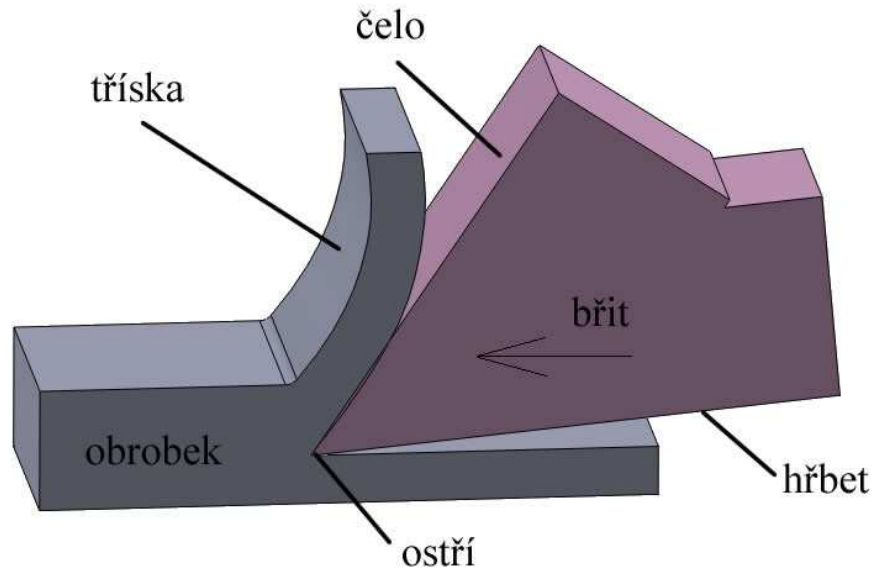
Jedním ze základních pojmů teorie obrábění je řezný klín. Řezný klín je funkčním prvkem, neboli pracovní částí každého řezného nástroje. Řezný klín je tvořen plochou čela, plochami hlavního a vedlejšího hřbetu, ostřím a špičkou.

**Plochy na nástroji jsou:**

- **Plocha hlavního hřbetu** - je přikloněna k řezné ploše obrobku
- **Plocha vedlejšího hřbetu** - je přikloněna k obrobené ploše obrobku
- **Plocha čela** - je ta plocha po které odchází tříska

**Další základní prvky na nástroji vznikající průnikem ploch a hran jsou:**

- **Hlavní ostří** - je průnik hlavního hřbetu a čela
- **Vedlejší ostří** - je průnik vedlejšího hřbetu a čela
- **Šička nástroje** - vzniká průnikem hlavního a vedlejšího ostří
- **Břit** - tvoří bezprostřední okolí ostří. [12]



Obr. č. 2 Řezný klín, popis základních faktorů

„Nástroje mohou být jednobřité (např. soustružnické, hoblovací, obrážecí, vyvrtávací nože atp.), nebo vícebřité (např. frézy, vrtáky, výstružníky, protahováky, brusné kotouče atp.)“ [12]

### 2.3 Obrobek

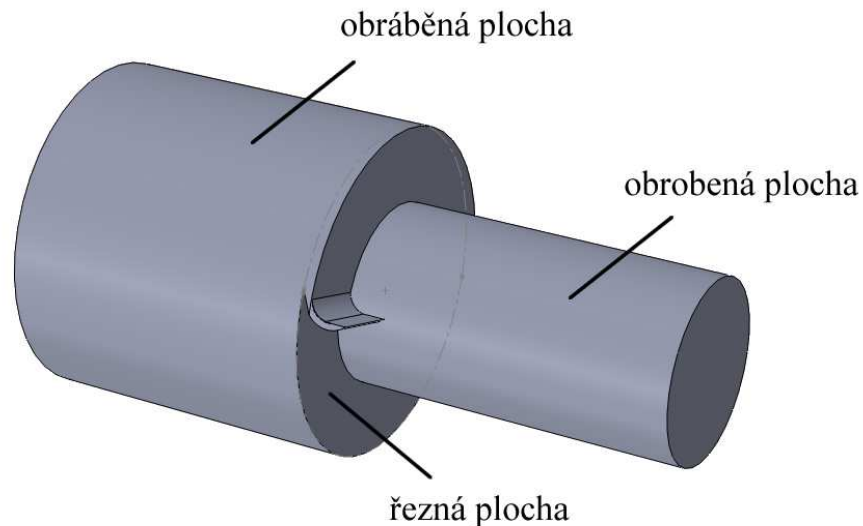
Termín obrobek se používá u předmětu, na kterém probíhá procesem obrábění nebo již tímto procesem prošel. Naopak předmět označovaný jako polotovár se teprve obrábět bude. Část povrchu obrobku, ze které bude teprve odebírán materiál procesem obrábění, se nazývá obráběná plocha. Plocha, která vznikla procesem obrábění, se označuje jako plocha obrobena. Plocha vznikající bezprostředně za břitem řezného nástroje se označuje jako plocha řezu, která někdy bývá označována jako řezná plocha (obr. č. 3). [12, 5]

## Plochy na obrobku:

**Plocha obráběná** – je původní část polotovaru určeného k obrábění, (plocha) která se bude obráběcím procesem přetvářet.

**Plocha obrobená** – je plocha vytvořená obráběcím procesem.

**Plocha řezná** – je plocha vznikající bezprostředně za ostřím (často bývá pouze plochou dočasnou). [12]



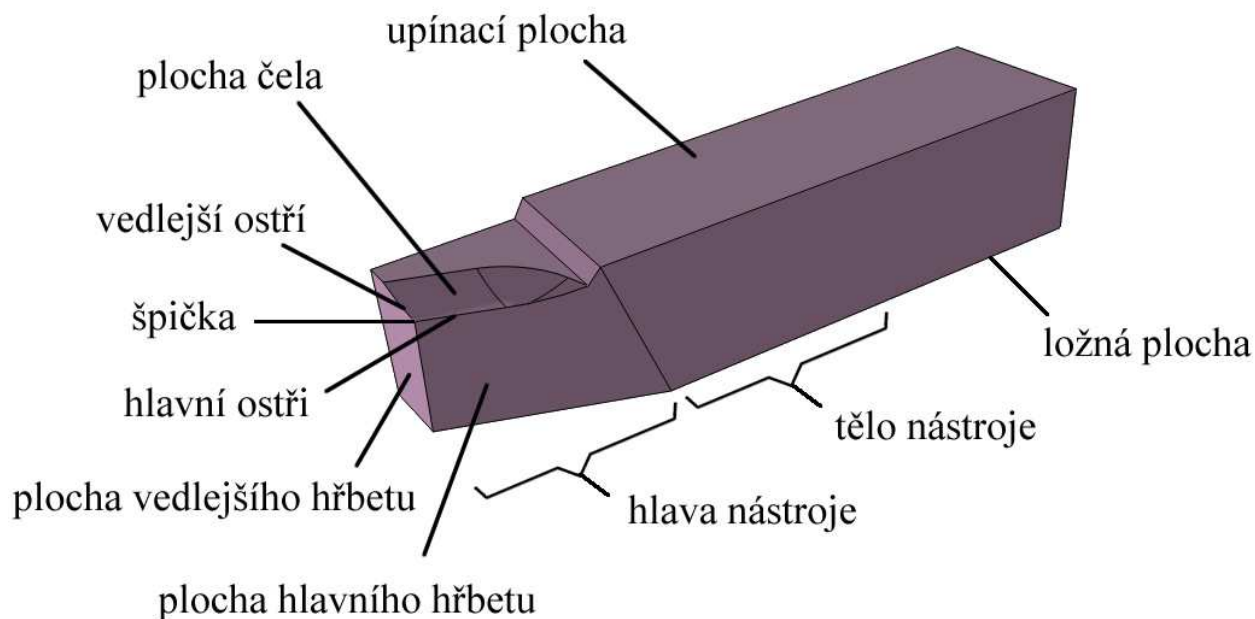
Obr. č. 3 Obrobek – základní pojmy

## 2.4 Řezný nástroj

Aktivním prvkem při obrábění je tzv. řezný nástroj. Řezný nástroj se skládá ze dvou základních částí – hlavy (*někdy činná část nástroje*) a těla (*někdy upínací část nástroje*). Hlava nože obsahuje aktivní část neboli břit.

Břit je ohraničen plochou čela a plochou hřbetu, má tvar klínu. Protnutím plochy čela a plochy hřbetu vzniká ostří. Hlava řezného nástroje má dva druhy ostří, hlavní a vedlejší ostří (obr. č. 4).

Další částí řezného nástroje je tělo. Tělo nástroje je část, za kterou je řezný nástroj upínán (*připevněn*) v držáku. Tělo nástroje se skládá z upínací a ustavovací plochy. U nástroje jako je např. vrták, fréza, výstružník, výhrubník atd. je ustavovací plocha a upínací plocha totožná. [12]



Obr. č. 4. Řezný nástroj – základní pojmy

## 2.5 Kinematika obrábění

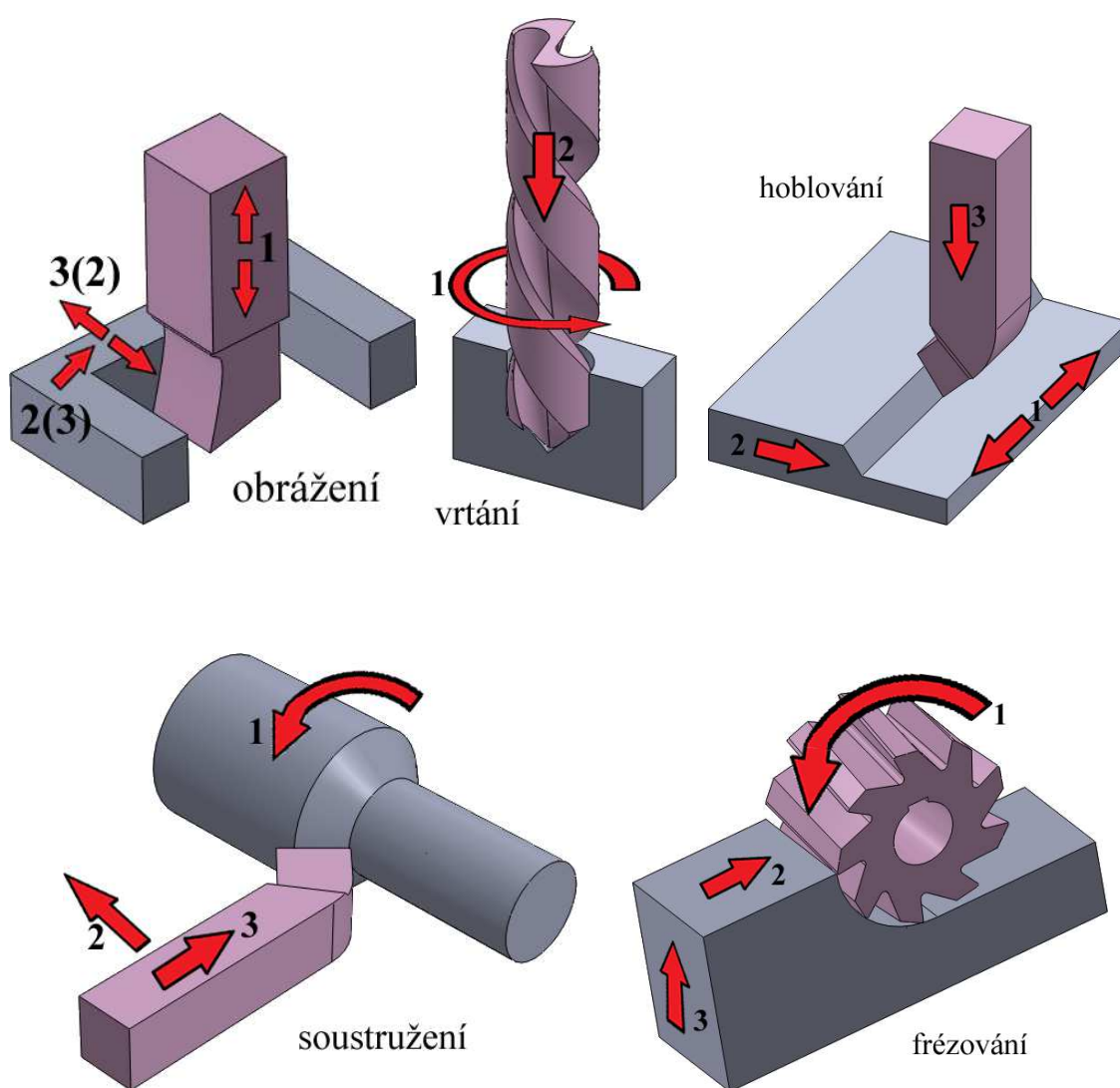
Řezným pohybem se nazývá vzájemný pohyb obrobku a řezného nástroje, který probíhá určitou rychlostí po určité dráze. Co se týče obrábění, skládá se tento pohyb ze dvou složek: hlavního řezného pohybu a vedlejšího řezného pohybu

**Hlavní řezný pohyb** - je to pohyb, který způsobuje vznik třísky. Je to tedy otáčivý pohyb vřetene u vrtaček, soustruhů, fréz. Dále sem spadá také přímočarý vratný pohyb u hoblovek a obrážeček atd.

**Vedlejší řezný pohyb – Posuv** – tento pohyb je převážně kolmý na hlavní řezný pohyb, a je označován jako posuv. Rozeznáváme několik základních posuvů podle druhu obrábění např. příčný, podélný, ale také podle dráhy pohybu kruhový, přímočarý atp. Dále pak můžeme posuv rozdělovat na plynulý a přerušovaný. Posuv označujeme zpravidla písmenem malé *s*. Pomocí posuvu vzniká obrobená plocha se kterou je vždy rovnoběžný.

Velikost posuvu je dána u soustružení v milimetrech na jednu otáčku obrobku. U některých jiných způsobů obrábění se udává posuv v milimetrech na jeden zdvih (*dvozdvih*) pracovního stolu (*např. obrážení*). U vícebřitého nástroje, jako je například fréza, se někdy posuv udává v milimetrech na jeden zub ( $S_z$ ), nejčastěji však v milimetrech za minutu ( $S_m$ ), případně v milimetrech na jednu otáčku nástroje ( $S_o$ ).

Dalším pohybem je **přísuv**. Tento pohyb vzniká vzájemným pohybem mezi obrobkem a nástrojem, zpravidla se obrábění aktivně neúčastní. Přísuv je převážně kolmý na obráběnou plochu, umožňuje nastavit nástroj do pracovní polohy a zpravidla určuje hloubku záběru nástroje. Na obr. č. 5 je znázorněno rozložení pohybů na některých základních druzích obrábění, jako je soustružení, vrtání, frézování, hoblování a obrážení. Tyto druhy obrábění lze nalézt jako 3D sestavy na přiloženém CD, a je zde možno pro lepší názornost a snadné pochopení tyto obrázky po spuštění v programu SolidWorks rozpohybovat. Znázorněné rozložení řezných pohybů na hrotovém soustruhu najdete na obr. č. 6. [5, 12]



Obr. č. 5 Řezné pohyby

1 – hlavní řezný pohyb, 2 – vedlejší řezný pohyb (posuv), 3 – přísuv

Výsledný **řezný pohyb** je určen kinematickým součtem hlavního pohybu a vedlejšího pohybu (*posuvu*). Při srovnání hlavního a vedlejšího pohybu je rychlost vedlejšího pohybu zanedbatelně malá a tudíž nemá na výslednou rychlost řezného pohybu téměř žádný vliv. Z tohoto důvodu se rychlost hlavního řezného pohybu nazývá řezná rychlost  $v$ . [12, 5]

*Pro rotační pohyb se hlavní řezný pohyb ( $v$ ) určí z rovnice:*

$$v = \pi \cdot D \cdot n \quad (1)$$

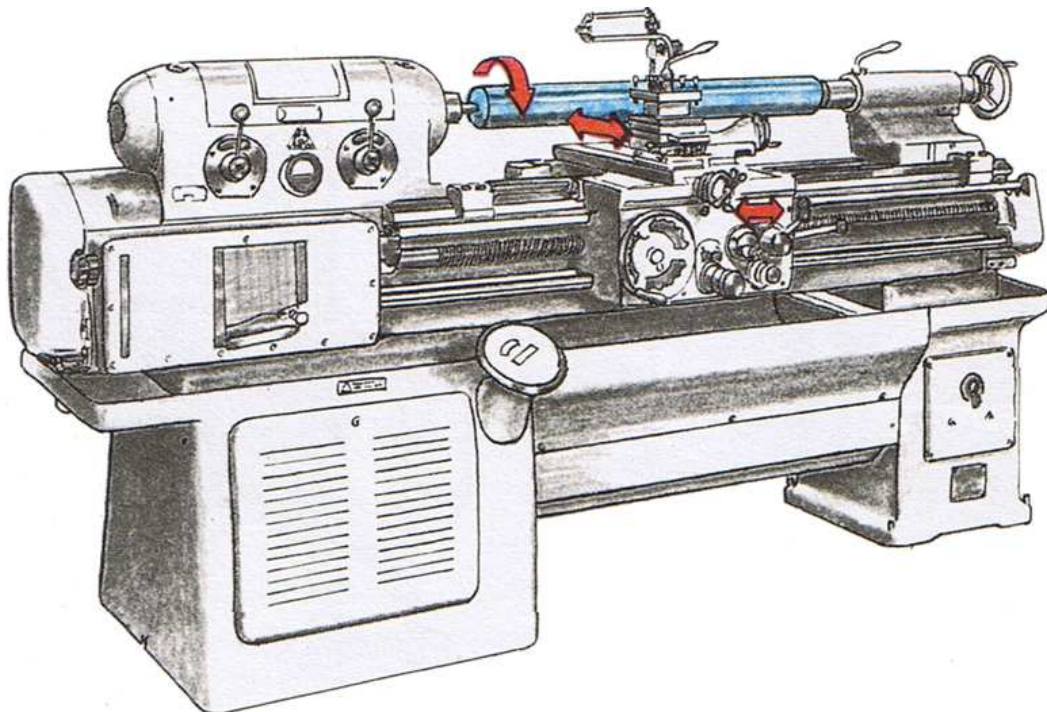
$D$  – průměr obrobku nebo nástroje ( $m$ )

$n$  – otáčky vřetene ( $min^{-1}$ )

Z toho plyne závěr že: **Hlavní pohyb** způsobuje vznik třísky.

**Posuv** způsobuje vznik obrobené plochy.

**Řezný pohyb** vznikne složením hlavního pohybu a posuvu. Je to relativní pohyb mezi obrobkem a nástrojem, čímž se uskutečňuje třískové obrábění. [12]



Obr. č. 6 Řezné pohyby  
na hrotovém soustruhu, převzato a upraveno z [5]



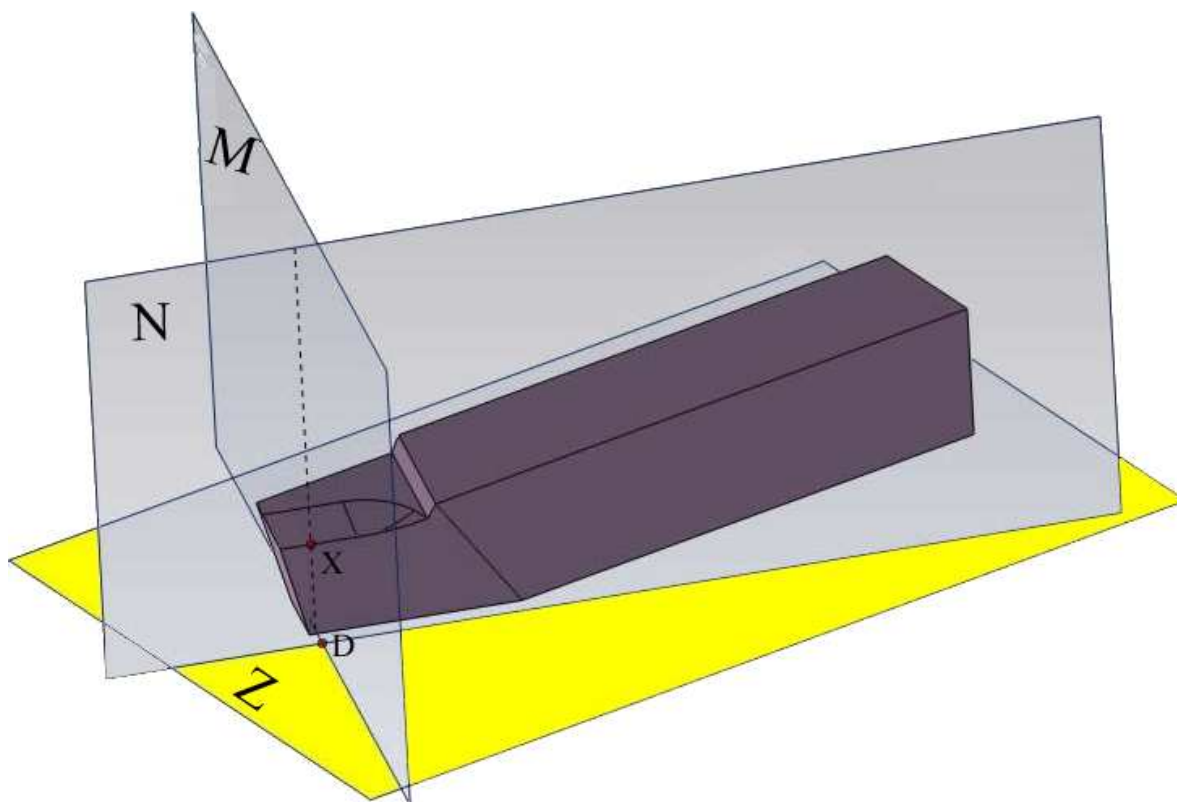
## 2.6 Roviny a úhly řezného nástroje

Pro snadné vysvětlení problematiky strojního obrábění a určení geometrie břitu je nutné se seznámit s následujícími pojmy, jako je řezná rovina ( $N$ ), základní rovina ( $Z$ ) a měřicí rovina ( $M$ ). (obr. č. 7)

**Řezná rovina  $N$**  – je tečná k řezné ploše v místě ostří.

**Základní rovina  $Z$**  – je kolmá na řeznou rovinu v místě ostří. Tato rovina je rovnoběžná nebo totožná s ustavovací plochou nože.

**Měřicí rovina  $M$**  – tato rovina je kolmá na hlavní ostří. Prochází bodem, ve kterém se geometrie ostří určuje. [5]



Obr. č. 7 Roviny řezného nástroje

Tvar břitu řezného nástroje je určen několika úhly. (obr. č. 8). Tyto úhly se v jednotlivých rovinách označují:

V rovině  $Z$ :

„**Úhel nastavení hlavního ostří** – ( $\kappa$  „ $\chi$ “) – je úhel mezi hlavním ostřím a směrem posuvu“ [12].

„**Úhel nastavení vedlejšího ostří** – ( $\kappa$  s čarou „ $\chi'$ “) – je úhel mezi vedlejším ostřím a směrem posuvu“ [12].

„**Úhel špičky nástroje** – ( $\epsilon$  „ $\varepsilon$ “) – je úhel, který svírá rovina řezu  $N$  hlavního ostří s rovinou řezu  $N'$  vedlejšího ostří. Neboli úhel špičky je úhel, který svírá hlavní a vedlejší ostří“ [12].

V rovině  $M$ :

**Úhel hřbetu** – ( $\alpha$  „ $\alpha$ “) – je úhel mezi řeznou rovinou a tečnou k ploše hřbetu v místě ostří. „Musí být vždy kladný a jeho velikost se pohybuje od  $3^\circ$  do  $15^\circ$ “ [12].

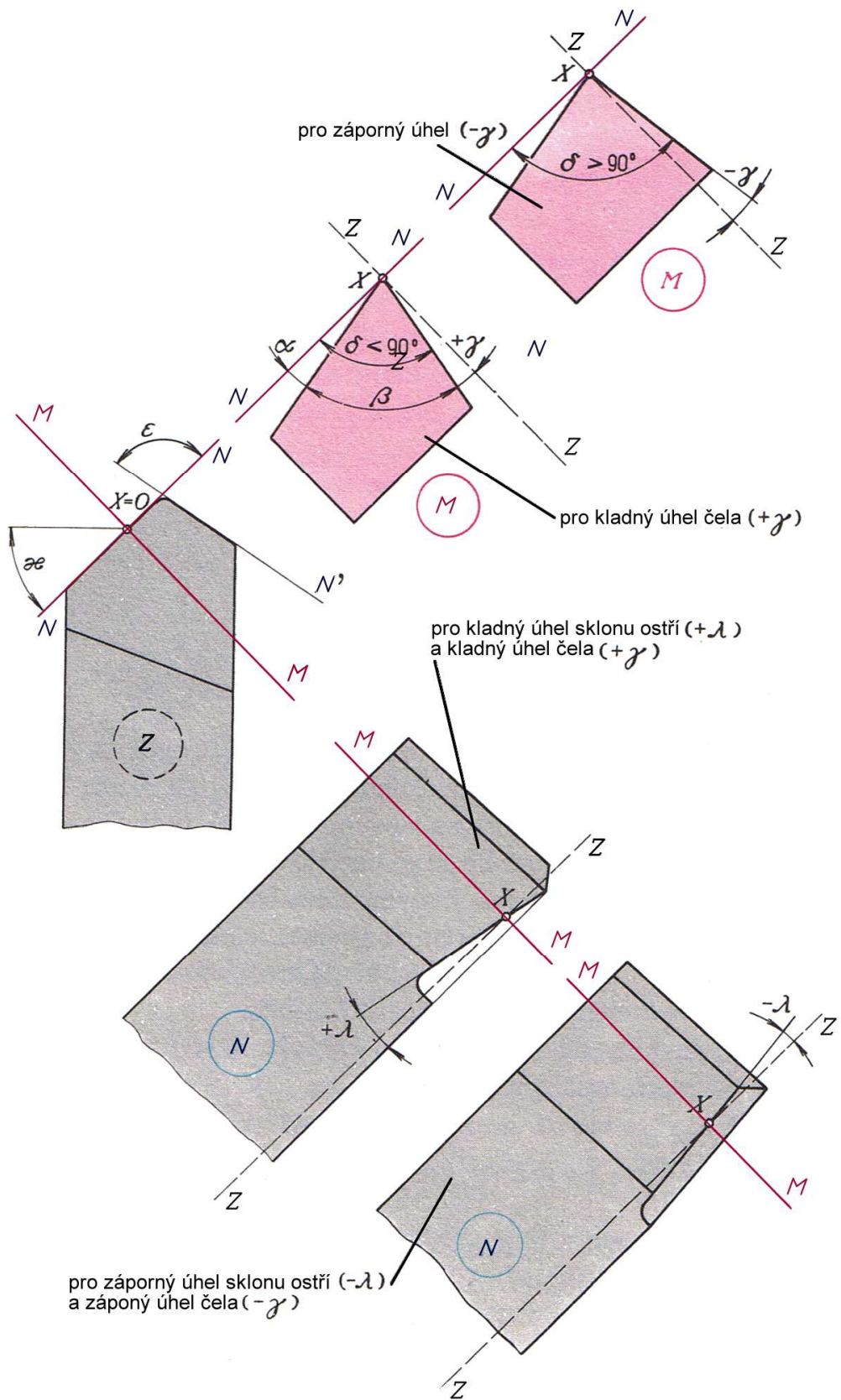
**Úhel břitu** – ( $\beta$  „ $\beta$ “) je úhel mezi rovinou tečnou k ploše hřbetu v místě ostří a rovinou tečnou k ploše čela v místě ostří.

**Úhel čela** – ( $\gamma$  „ $\gamma$ “) – je úhel mezi základní rovinou a tečnou k ploše čela v místě ostří.

„**Úhel řezu** – ( $\delta$  „ $\delta$ “) – je součtem úhlů alfa a beta“ [12].

V rovině  $N$ :

**Úhel sklonu hlavního ostří** – ( $\lambda$  „ $\lambda$ “) – je úhel, který svírá hlavní ostří se základní rovinou (*případně s rovinou ložnou – jde-li o soustružení a je-li nůž výškově nastaven do středu otáčení obrobku*). [12]



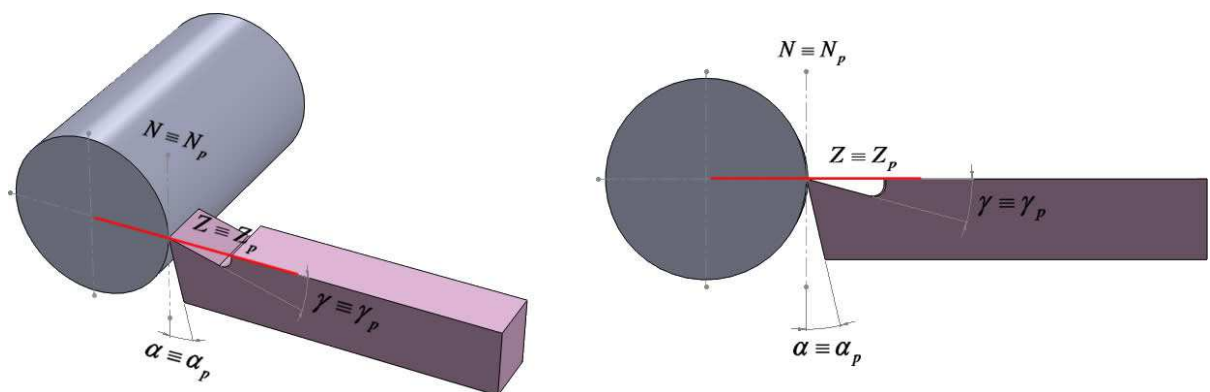
Obr. č. 8 Úhly nástroje, převzato a upraveno z [5]

Uvedené úhly a roviny mají značný význam z konstrukčního hlediska a především z hlediska výroby a ostření řezných nástrojů. Tyto roviny a úhly se označují jako nástrojové roviny a nástrojové úhly.

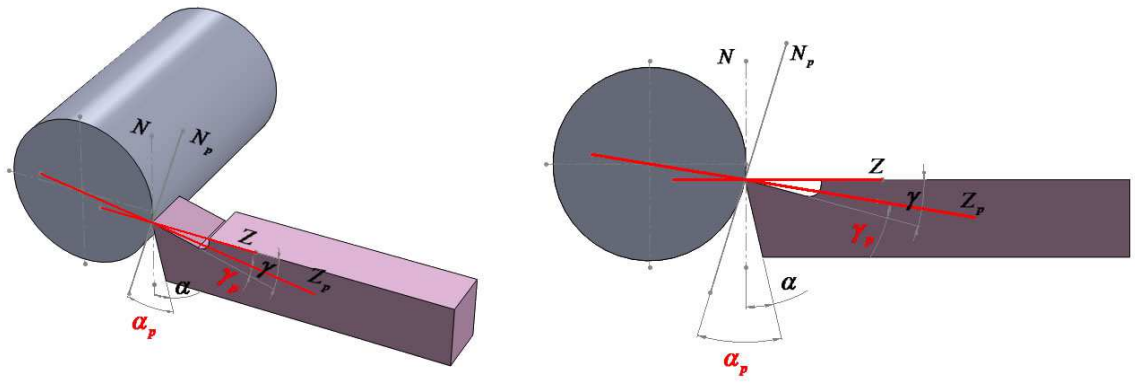
Z hlediska polohy řezného nástroje při obrábění k obrobku hovoříme o pracovních rovinách a pracovních úhlech (*někdy technologické úhly*). Tyto prvky určujeme k základní pracovní rovině. Tato rovina je značena  $Z_p$  a je kolmá na směr hlavního řezného pohybu. (*pracovní prvky se označují dolním indexem  $p$* ).

Pracovní a nástrojové prvky se od sebe liší. Odlišnost je dána vzájemnou polohou obrobku a řezného nástroje. Leží-li bod, ve kterém se zjišťuje geometrie v rovině  $Z$ , která prochází osou obrobku, tak jsou nástrojové a pracovní úhly totožné. Toto je znázorněno na obr. č. 9.

Pokud nástrojové a pracovní úhly nejsou při soustružení shodné, je toto nastavení v převážné většině nežádoucí. Bude-li špička soustružnického (*řezného*) nástroje pod osou obrobku (obr. č. 1), bude při čelním soustružení (*zarovnávání*) zůstávat ve středu obrobku neobrobený materiál (*vytvoří se ve středu obrobku malý čípek*). V opačném případě, bude-li špička nástroje nad osou obrobku, bude řezný nástroj nesprávně namáhán (*může dojít k znehodnocení nástroje*) a do obráběcího procesu nebude zapojena ta část nástroje, u které je to žádoucí. [5, 12]



Obr. č. 9 Nástrojové a pracovní prvky (*totožné*)



Obr. č. 10 Nástrojové a pracovní prvky (*odlišné*)

### 3 Geometrie břítu

Geometrie břítu obsahuje parametry, které určují tvar břítu. Má značný vliv na hospodárnost obrábění, trvalost břítu, drsnost obrobené plochy a především na velikost řezných sil. Zejména při konstrukci řezného nástroje, ale i při ostření řezného nástroje je nezbytně nutná znalost geometrie břítu a to proto, aby nedocházelo ke ztrátám v hospodárnosti nákladů na obrábění. Určování všech prvků potřebných pro samotnou konstrukci a následné ostření řezných nástrojů se dá provádět třemi metodami:

1. početní metodou
2. grafickou metodou
3. graficko-početní metodou

Co se týče praxe, je nejvíce používaná třetí metoda (*graficko-početní*) a to z důvodu její rychlosti a dostatečné přesnosti. Tato metoda využívá tzv. břitový diagram. [5, 12]

#### 3.1 Břitový diagram čela

V této části je vysvětlen princip břitového diagramu čela na soustružnickém noži (obr. č. 11) podle Ing. Miroslava Hluchého, který tento princip uvedl v knize *Strojírenská technologie 2* takto: *Geometrie břítu se určuje ve zvoleném bodě X ostří nástroje, kterým jsou vedeny následující roviny s příslušnými úhly čela: **Příčná rovina 1**, která vytíná v řezu 1 – 1 trojúhelník OXR s **příčným úhlem čela  $\gamma_1$** .*

*Pro tento úhel platí vztah:*

$$\cotg \gamma_1 = \frac{OR}{OX} \quad (2)$$

*Zvolením délky odvěsny OX za jednotkovou, tj.  $OX=1$ , bude přímo*

$$\cotg \gamma_1 = OR \quad (3)$$

**Podélná rovina 2**, která vytíná v řezu 2 – 2 trojúhelník OXP s **podélným úhlem čela**  $\gamma_2$  pro který platí:

$$\cotg \gamma_1 = \frac{OP}{OX} = \frac{OP}{1} = OP \quad (4)$$

**Rovina měření M**, zde označena jako **rovina 4**, vytíná v řezu 4 – 4 trojúhelník OXN s **úhlem čela**  $\gamma$ . Pro úhel  $\gamma$  platí:

$$\cotg \gamma = \frac{ON}{OX} = \frac{ON}{1} = ON \quad (5)$$

V **kolmém pohledu A** na rovinu řezu N se jeví trojúhelník OXL s **úhlem sklonu ostří**  $\lambda$ , pro který platí:

$$\cotg \lambda = \frac{OL}{OX} = \frac{OL}{1} = OL \quad (6)$$

Protože body R, P, N a L jsou **stopníky** přímek procházejícím bodem X a ležících v jedné rovině (v rovině čela), **musí uvedené body ležet v základní rovině na jedné přímce, na stopě roviny čela**. Stopa roviny čela má pro břitový diagram zásadní význam a proto se nazývá základní přímka roviny čela.

Rovina kolmá k základní přímce roviny čela (rovina 5) vytíná v řezu 5 – 5 trojúhelník OXM s **maximálním úhlem čela**.  $\gamma_{max}$ . Pro něj platí obdobně:

$$\cotg \lambda_{max} = \frac{OM}{OX} = \frac{OM}{1} = OM \quad (7)$$

Trojúhelník ORL v základní rovině s úsečkami OP, ON a OM tvoří vlastní břitový diagram čela, při řešení konkrétního úkolu se rýsuje bez průmětů a řezů nástroje.

Břitový diagram čela má celkem šest prvků: úhel  $\chi$  a příslušné kotangenty úhlů  $\lambda$ ,  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ ,  $\gamma$  a  $\lambda_{max}$ . Jsou-li dány hodnoty tří libovolných prvků břitového diagramu (v praxi jsou to nejčastěji úhly  $\chi$ ,  $\lambda$ ,  $\gamma$ ) lze diagram narýsovat a hodnoty zbývajících prvků z diagramu odečíst. Je třeba počítat s tím, že některá zadání mají dvě řešení.

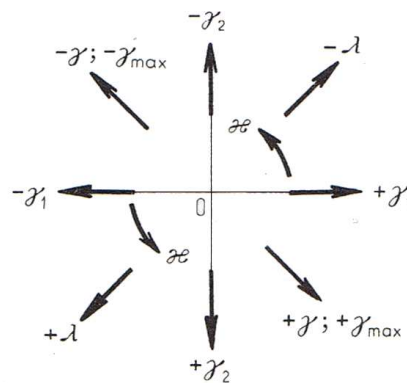
Při rýsování diagramu a odečítání hodnot se musí dbát měřítka, v němž je diagram rýsován.

Příčná rovina  $I$  a základní přímka roviny čela svírají úhel  $\chi_\gamma$ , jehož velikost se určí ze vztahu:

$$\operatorname{tg} \chi_\gamma = \frac{OP}{OR} = \frac{\cot g \gamma_2}{\cot g \gamma_1} \quad (8)$$

Úhel  $\chi_\gamma$  spolu s úhly  $\lambda_{\max}$  mají stěžejní význam pro ustavení nástroje při jeho výrobě a ostření.

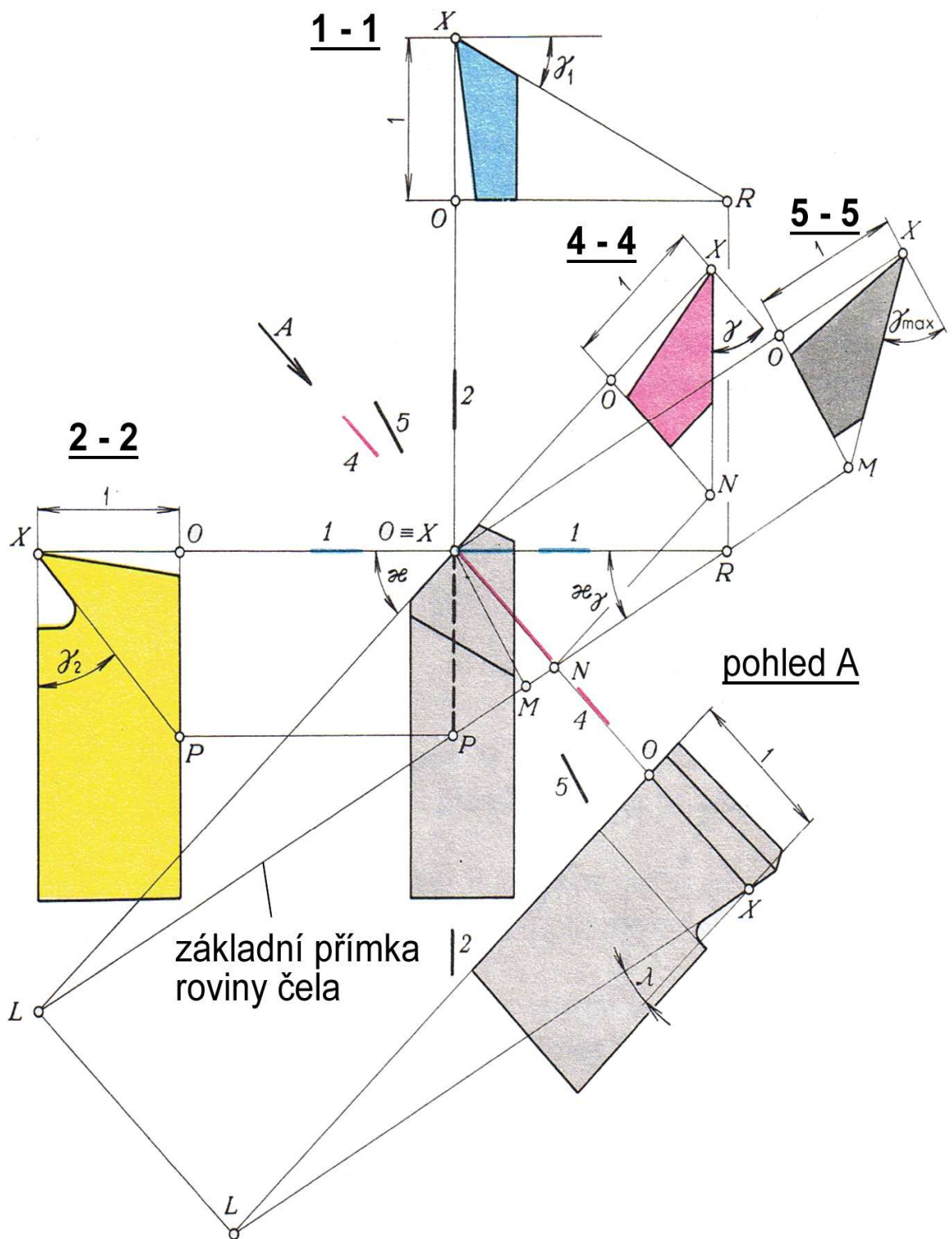
Jejich použití bude podrobněji vysvětleno dále.



Obr. č. 12 Schéma vynášení tangent úhlů [5]

Při sestavování břitového diagramu čela je třeba brát v úvahu kladný nebo záporný smysl jednotlivých úhlů (nelze zaměnit) a vynášet jejich kotangenty podle obr. č. 12. [5]

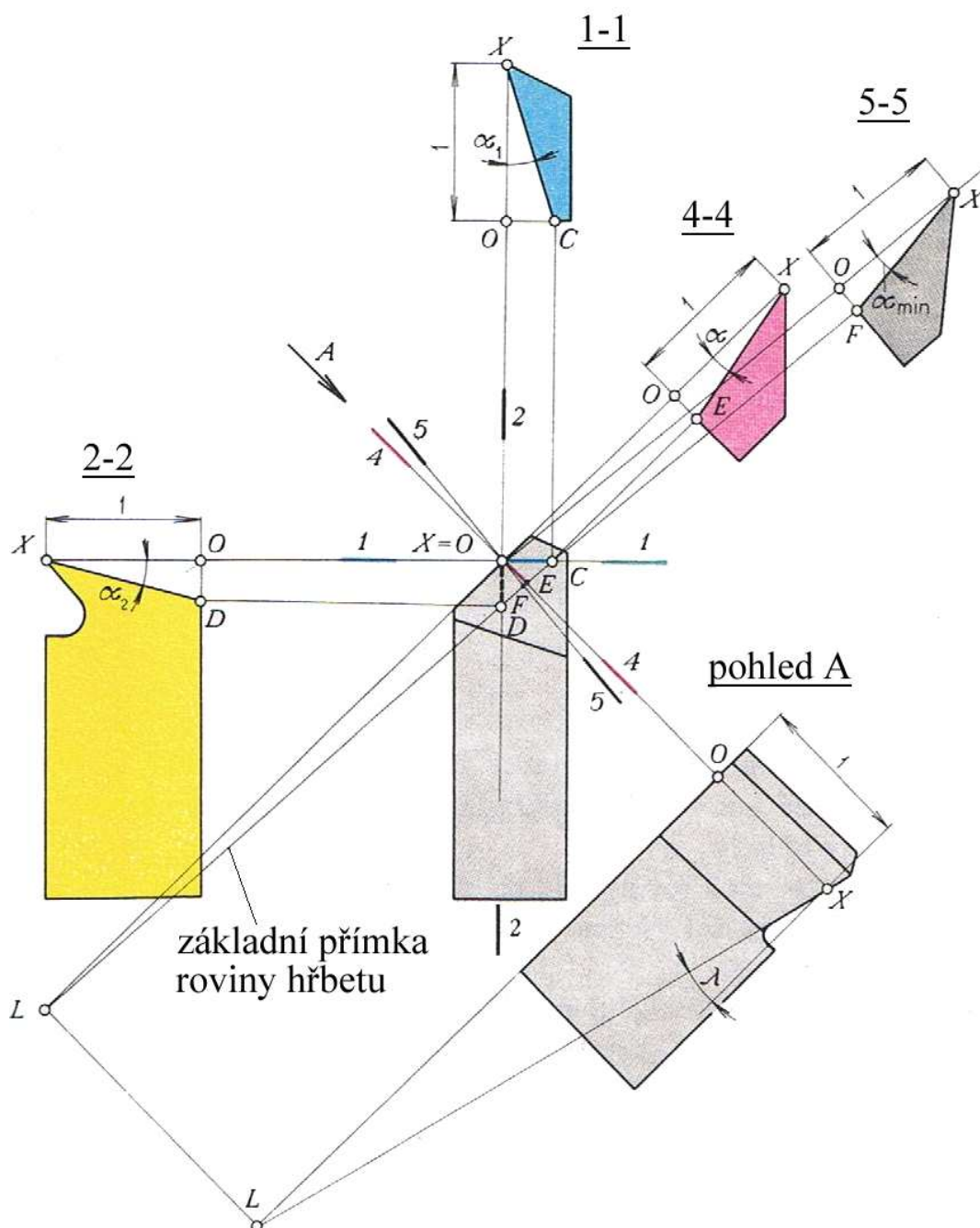




Obr. č. 11 Odvození břitového diagramu čela, převzato a upraveno z [5]

### 3.2 Břítový diagram hřbetu

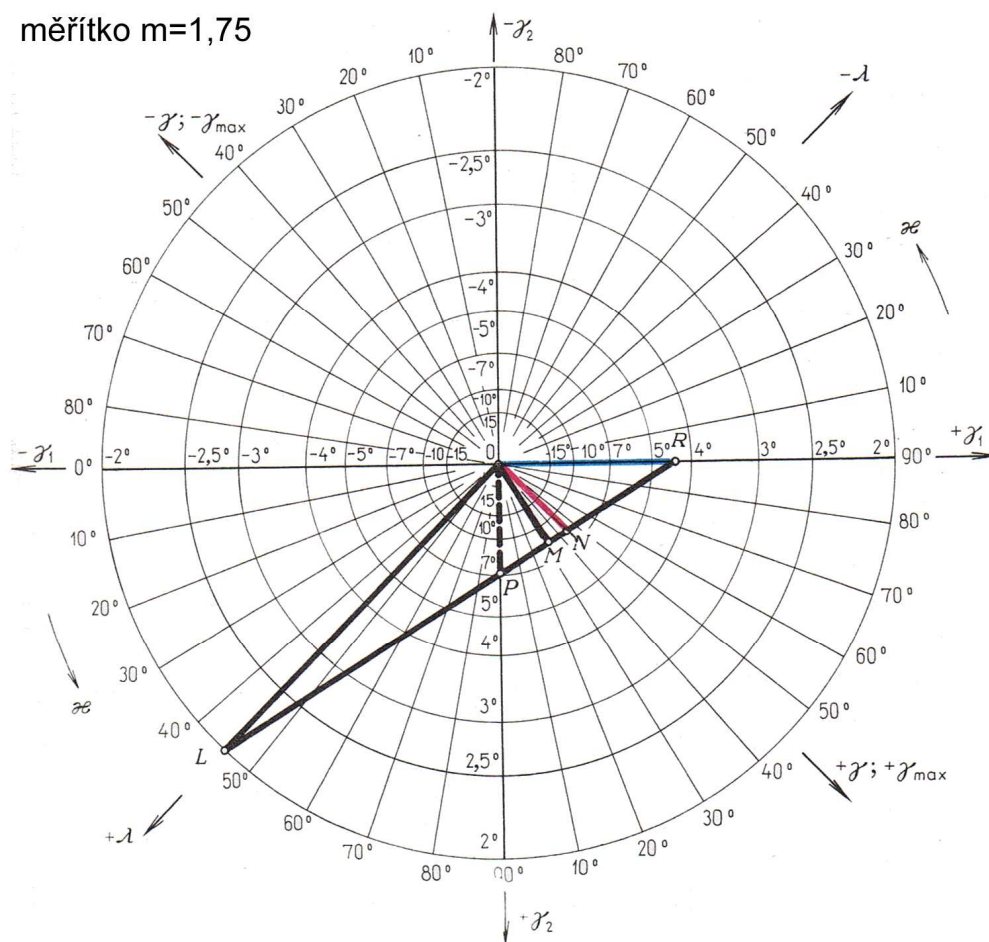
„Co se týče břítového diagramu hřbetu, ten je založen na stejném principu jako břítový diagram čela. Na obr. č. 13 je ve stejných rovinách, vedených rovněž bodem  $X$  ostřím soustružnického nože, jsou obsaženy nejen příslušné úhly čela ale i hřbetu“ [12].



Obr. č. 13. Odvození břítového diagramu hřbetu, převzato a upraveno z [5]

### 3.3 Kruhový diagram čela

Kruhové diagramy čela (obr. č. 14) jsou založeny na úhlech ortogonálních a slouží k určení polohy základní přímky jako spojnice dvou bodů odpovídajících dvěma úhlům čela. Poloměry kružnic v diagramu jsou odstupňovány v měřítku kotangent úhlů čela. Měřítko diagramu se volí tak, aby diagram byl dobře čitelný a srozumitelný. [12]



Obr. č. 14 Břítový diagram čela, převzato a upraveno z [5]

## 4 Nástrojové materiály

Nástrojové materiály mají zásadní vliv na trvalost břitu řezného nástroje. Na volbě materiálu břitu řezného nástroje závisí produktivita, hospodárnost a především vlastní proces obrábění. Z toho důvodu je velice nutné věnovat volbě materiálu břitu nástroje značnou pozornost.

Hovoříme-li o nástrojových materiálech, zavádí se s tímto tématem nový pojem tzv. **řezivost**. Řezivostí se označují vlastnosti materiálů používaných na řezné nástroje. Řezivost zahrnuje tvrdost, pevnost, houževnatost, odolnost proti otěru a tepelnou odolnost. Co se týče tvrdosti materiálu, ta musí být minimálně o 6 HRC větší, než je tvrdost obráběného materiálu. (*HRC - normalizovaná statická zkouška tvrdosti materiálu, tato zkouška je zahrnuta v normách: ČSN 42 0373, ČSN EN ISO 6508-1, ČSN EN ISO 6508-2, ČSN EN ISO 6508-3*).

Řezivost je ovlivněna řadou faktorů, jako je chemické složení, způsob výroby, tepelné zpracování atd. V současnosti se jako řezné materiály používají:

1. Nástrojové oceli      a) uhlíkové  
                                         b) slitinové
2. Slinuté karbidy
3. Keramické řezné materiály
4. Diamanty
5. Broušící materiály      [5, 10]

Na následujícím obrázku je přehled některých dalších výkonných řezných materiálů používaných při obrábění (Obr. č. 15).



Obr. č. 15 Výkonné řezné materiály, převzato a upraveno z [10]

## 4.1 Nástrojové oceli

### 4.1.1 Nástrojové oceli uhlíkové

U této nástrojové oceli se s větším obsahem uhlíku zvyšuje tvrdost a odolnost proti opotřebení, navzdory tomu však klesá její houževnatost. Většinou mají teplotní odolnost okolo 250 °C. Pro výrobu závitníků, dlát, pil, atd. se používají oceli s obsahem uhlíku od 1,0 do 1,35 %. Oceli s obsahem uhlíku do 1,5 % se vyznačují vysokou tvrdostí, ale mají nízkou houževnatost. Proto se používají pro výrobu pilníků. Závěrem lze tedy říci, že tyto oceli se převážně používají u ručních nástrojů a pro strojní obrábění nejsou příliš vhodné. Zde se používají jen výjimečně. [15, 5, 12]

### 4.1.2 Nástrojové oceli slitinové

Nástrojové oceli slitinové, oproti uhlíkovým, jsou více odolné proti opotřebení. Mají větší tvrdost a pevnost při vyšších teplotách. Teplotní odolnost je do 350 °C. Obsahují do 1,25 % uhlíku a jsou legovány zejména: manganem, chromem a wolframem. Používají se převážně pro výrobu pilových listů, výhrubníků, výstružníků, protahováků atd. [15, 12]

### 4.1.3 Oceli slitinové rychlořezné

Tyto nástrojové oceli mají vysoký obsah wolframu, který může dosahovat až 18%. Ve srovnání s ostatními nástrojovými oceli, mají mnohonásobně vyšší řezivost a dobrou pevnost v ohybu při zachování vysoké tvrdosti. Jsou odolné do teplot okolo 550 °C. Tento druh materiálu se nejvíce používá pro výrobu nejrůznějších soustružnických nožů, fréz a hoblovacích nožů. Lze jej použít i při přerušovaném řezu či obrábění s rázy. Podle výroby rozdělujeme rychlořezné oceli vyrobené **práškovou metalurgií** a na **povlakované rychlořezné oceli**. [15, 12]

- Rychlořezné oceli vyrobené práškovou metalurgií – pomocí této metody lze vytvářet homogenní struktury a různé chemické varianty. Tato metoda zajišťuje dobré technické vlastnosti (*brousitelnost, leštitelnost*), ale je příliš ekonomicky a materiálově náročná. [15]
- Povlakované rychlořezné oceli – u této metody jde především o úpravy povrchových vrstev funkčních částí nástroje za účelem zvýšení výkonu a především životnosti řezného nástroje. [15]

## 4.2 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy (*často se také používá označení SK*) jsou vyráběny práškovou metalurgií z karbidů těžkých kovů, jako jsou karbid wolframu (*WC*), karbid titanu (*TiC*), karbidu tantalu (*TaC*). Pojícím kovem je nejčastěji kobalt (*Co*).

Slinuté karbidy nejsou na rozdíl od předchozích materiálů slitiny, ale směsi minimálně dvou, ale i více fází. Tyto materiály se dají pro svoji značnou tvrdost upravovat pouze broušením, lapováním a elektroerozivním obráběním.

Tvrdost, houževnatost a zejména odolnost proti otěru se dá u slinutých karbidů zásadně ovlivnit množstvím jednotlivých složek použitých při výrobě. Nástroje z tohoto materiálu umožňují velký úběr materiálu a vysoké rychlosti při obrábění. Slinuté karbidy mají vysokou teplotní odolnost oproti slitinám a to okolo 800 °C. [5, 15, 12]

### Karbid wolframu

- „zaručuje tvrdost při vysokých teplotách“ [12]
- „odolnost proti opotřebení“ [12]
- „chemickou stálost“ [12]

### Karbid titanu

- „zvýšuje tvrdost a chemickou stálost za vyšších teplot“ [12]
- „snižuje pevnost slinutých karbidů v ohybu a zvyšuje jejich křehkost“ [12]
- „zhoršuje tepelnou vodivost a zvětšuje tepelnou roztažnost“ [12]

## **Karbid tantalu**

„Má vlastnosti podobné jako karbid titanu a ještě zjemňuje strukturu slinutých karbidů“ [12].

## **Kobalt**

*Vytváří síťové pojivo mezi zrny karbidů. Karbidy wolframu při slinování v kobaltu jsou rozpustné. Kobalt vytváří proti jiným kovům pojivo značně houževnaté a díky tomu je zajištěna pevnost SK v ohybu. Zvyšováním obsahu kobaltu v SK roste jejich tažnost a pevnost, ale zároveň klesá jejich tvrdost.* [12]

### **4.2.1 Třídění a značení SK**

Pro velké množství různých druhů slinutých karbidů se zavádí jejich třídění a značení, které tak zajišťuje snadnou a rychlou volbu slinutých karbidů. Tímto tématem se zabývá mezinárodní norma ISO 513:2004, která má zároveň status české technické normy. Touto normou byla nahrazena původní norma ISO (ČSN 22 0801) z roku 1994. Podle normy ISO 513:2004 se materiály dělí do šesti skupin, které jsou značeny písmeny *P*, *M*, *K*, *N*, *S*, a *H*. Pro každou z těchto skupin je přiřazena charakteristická barva pro snadné a rychlé určení. [5, 17]

- Skupina ***P*** — Je určena pro obrábění houževnatých materiálů, které tvoří dlouhou (*tvářenou*) třísku, jako jsou například oceli, oceli na odlitky a temperované litiny. Pro tuto skupinu nástrojů je charakteristická modrá barva.
- Skupina ***M*** — Tato skupina má univerzální použití. Převážně je určena k obrábění všech druhů litin, ocelí a hůře obrobitelných slitin, které tvoří střední či delší třísku. Tato skupina se převážně používá k hrubování nebo přerušovanému řezu. Pro tuto skupinu nástrojů je charakteristická žlutá barva.
- Skupina ***K*** — je určena pro obrábění materiálů s krátkou (*drobivou*) třískou, jako jsou šedé litiny, kalené oceli a plasty. Dlouhá tříška tuto skupinu tepelně zatěžuje a tím pádem je nežádoucí. Pro tuto skupinu nástrojů je charakteristická červená barva.



- Skupina **N** — Je určena pro obrábění neželezných kovů, jako je hliník a jeho slitiny, dále pak pro nekovové materiály. Pro tuto skupinu nástrojů je charakteristická zelená barva.
- Skupina **S** — Tato skupina je určena k obrábění tepelně odolných slitin a těžce obrobitelných slitin (*železo, nikl, titan, kobalt*). Pro tuto skupinu nástrojů je charakteristická hnědá barva.
- Skupina **H** — je určena pro obrábění vysoce tvrdých ocelí a kalených litin. Pro tuto skupinu nástrojů je charakteristická šedá barva.

Pokud hovoříme o těchto skupinách, ty se dále ještě dělí podle mechanických vlastností. [5, 15]

### **4.3 Keramické řezné materiály**

Keramické řezné materiály jsou ve srovnání s předchozími materiály odlišné v tom, že mají velice malou pružnost v ohybu. Z toho důvodu nejsou vhodné pro obrábění rázem, nebo přerušovaným řezem. Řezná keramika odolává teplotě okolo 1 200 °C.

Ve srovnání se slinutými karbidy má řezná keramika větší odolnost proti otěru. V současné době se používají dva druhy řezné keramiky: na bázi nitridu křemíku ( $Si_3N_4$ ) a bázi oxidu uhlíku ( $Al_2O_3$ ). Řezná keramika se nejčastěji vyrábí práškovou metalurgií. Další odlišnost oproti předchozím materiálům je taková, že řezná keramika se vyrábí jako výměnné břitové destičky, které se po otupení řezným procesem nebrousí, ale rovnou vymění za jinou destičku. Destičky obsahují 6 až 8 řezných hran (obr. č. 16). Keramické materiály se vyznačují vysokou tvrdostí, odolností proti mechanickému namáhání, odolností proti opotřebení, vysokou řezivostí a trvanlivostí a v neposlední řadě příznivou cenou. [5, 15, 12]



Obr. č. 16 Ukázka výměnných keramických destiček SGAC s.r.o. Trutnov, převzato a upraveno z [18]

#### **4.4 Diamanty**

Diamant je díky velkým vazebným energiím nejtvrdějším nástrojovým materiálem a nelze ho nahradit slinutými karbidy ani řeznou keramikou. Je to vlastně čistý uhlík s příměsí, která určuje jeho fyzikální vlastnosti. Používá se pro jednobřité nástroje k jemnému obrábění s plynulým nepřerušovaným řezem. V opačném případě hrozí poškození diamantu. Nejčastěji se používá k obrábění měkkých, houževnatých materiálů, plastů, prakticky všech materiálů s malou tepelnou vodivostí. Použití diamantu vyžaduje obráběcí stroje s klidným chodem. [5, 12, 15]



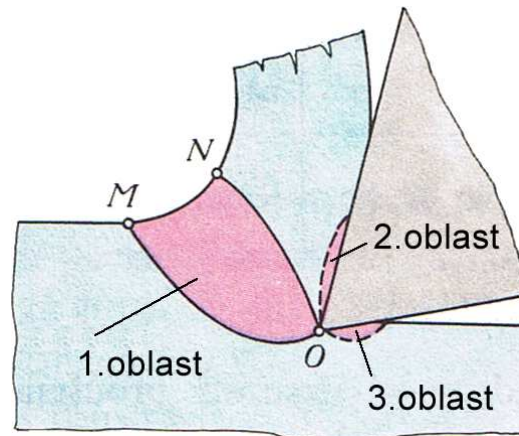
Obr. č. 17. Ukázka diamantové frézy, převzato a upraveno z [19]

Tab. Č. 1 Popínání některých vlastností řezných nástrojů [11]

Řezný materiál	Tvrdost [HV]	Pevnost		Modul pružnosti [GPa]	Rázová houževnatost [J/cm <sup>2</sup> ]	Součinitel vrubové houževnatosti K <sub>IC</sub> [MPa/m <sup>-1/2</sup> ]
		v tlaku [MPa]	ohybu [MPa]			
RO	800	3600	2500	220	8	14
	1000	4200	4500	240	30	17
SK	1200	3000	1100	410	0,7	6
	1900	5000	2200	690	4	10
ŘK	2200	3500	500	380	0,3	1,5
	2500	4500	900	420	0,5	2,5
KBN	4500	3000	660	720		1
	6000	5000	1000			
PKD	6000	6000	500	1160		
	8000	8000	1000			

## 5 Mechanika tváření třísky

Při obrábění vniká řezný nástroj do obrobku a tím dochází k odřezávání přebytečného materiálu (vzniká třísky). Přitom však dochází k velké deformaci a namáhání odřezávané vrstvy. Deformace nastává v oblasti ohraničené body  $OMN$  (obr. č. 18).



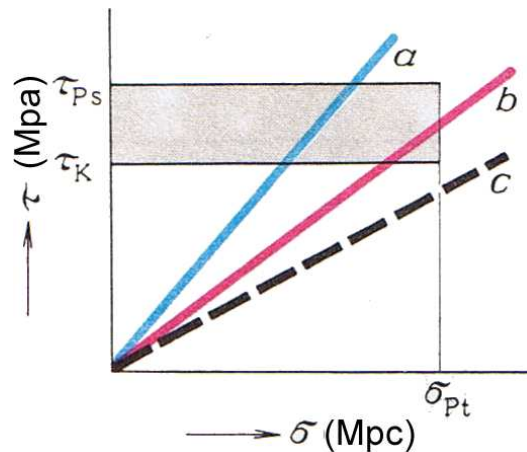
Obr. č. 18 Oblast plastické deformace, převzato a upraveno z [5]

Velikost deformace a namáhání je závislá na vlastnostech obráběného materiálu. Při obrábění mohou nastat různé případy namáhání, které jsou závislé na poměru pevností v tahu a ve smyku (graf č. 1).

1. Namáhání materiálu probíhá podle přímky  $a$ . Tečné napětí dosáhne v tomto případě meze kluzu  $\tau_k$  a meze pevnosti ve smyku  $\tau_{ps}$  dříve než normálové napětí meze pevnosti v tahu  $D_{pt}$ . V tomto případě se materiál odřezávané vrstvy intenzivně plasticky tváří a následně odděluje. [5]

2. Namáhání odřezávaného materiálu podle přímky  $c$  dosáhne normálové napětí meze pevnosti v tahu dříve, než tečného napětí meze kluzu  $\tau_k$ . Materiál odřezávané vrstvy je odtržen, aniž byl tvářen. [5].

3. Mezi těmito dvěma případy může namáhání ještě probíhat podle přímky  $b$ . „Normálové napětí dosáhne sice meze pevnosti v tahu dříve než tečné napětí meze pevnosti ve smyku, ale později než meze kluzu a materiál je před odtržením částečně tvářen“ [5]. [12, 5]

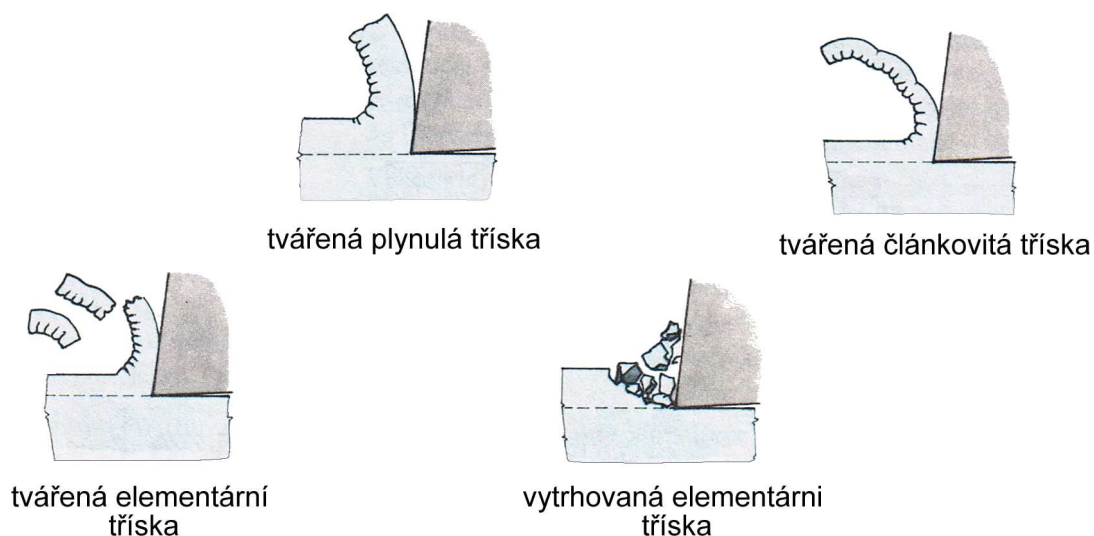


Graf č. 1 Druhy namáhání odřezávané vrstvy, převzato a upraveno z [5]

## 5.1 Druhy třísek

Tříska vzniká odebráním přebytečného materiálu z obrobku břitem řezného nástroje. Velikost a tvar třísky má velký význam pro celý proces obrábění, zejména co se týče kvality obrobené plocha a hospodárného obrábění. Tříska je závislá na mnoha faktorech: na obráběném materiálu, na použití řezného nástroje (*úhly, materiál*). V neposlední řadě na řezných podmínkách (*posuv, otáčky hloubka řezu, použití řezných emulzí...*). V závislosti na těchto podmínkách může vznikat několik různých druhů třísek.

- Tříska tvářená plastickým kluzem [vzniká na přímce „a“ (graf č. 1)]  
Tato tříska se nejčastěji tvoří při obrábění ocelí, slitin uhlíku nebo mědi a jiných houževnatých kovových materiálů. Může být článkovitá nebo plynulá.
- Tříska vznikající štěpením bez předchozího tváření [vzniká na přímce „c“ (graf č. 1)]. Tato tříska se tvoří zejména při obrábění dřeva, skla, plastů a podobně. Vzniká tzv. elementární tříska.
- Tříska elementární tvářená [vzniká na přímce „b“ (graf č. 1)]. Nejčastěji se tvoří při obrábění křehkých kovových materiálů jako je litina nebo bronz.

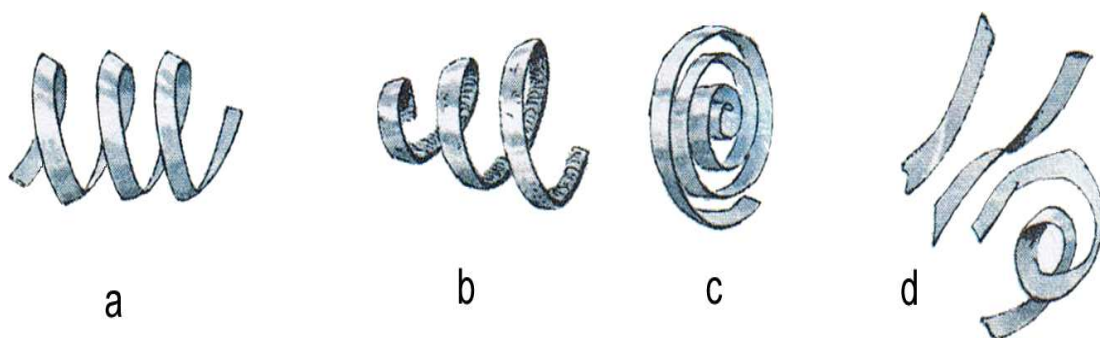


Obr. č. 19 Druhy třísek, převzato a upraveno z [5]

Zaměříme-li se na třísku plynulou, zjistíme, že je na straně čela nástroje hladká a na opačné straně drsná. Tříška plynulá se stáčí do různých křivek, šroubovic a někdy až do spirál.

Dalším druhem třísky je tříška článkovitá. Ta je na straně čela také hladká, jako je tomu v předchozím případě u plynulé třísky, ale na rozdíl od ní je na vnější straně členitá až pilovitá. Velice snadno se láme.

Dalším druhem třísky je tříška elementární. Tato tříška není tvářená (v některých případech jen částečně), a na straně čela nástroje je drsná. Na opačné straně má vlastnosti jako je obráběný materiál (stejná jakost jako je u obráběného materiálu). Některé tyto třísky se dále ještě dají dělit na krátké, dlouhé, spirálovité a stuhové (obr. č. 20). [1, 12, 5]



Obr. č. 20 Druhy třísek, převzato a upraveno z [5]

a) šroubovitá dlouhá, b) šroubovitá krátká, c) spirálová, d) stuhová

## 5.2 Plastická deformace při tvorbě třísky

Při procesu obrábění dochází k plastické deformaci, která je způsobena vnikáním břitu řezného nástroje do obrobku. Plastické deformace probíhají v oblasti ohraničené třemi body (Obr. č. 18)

- Oblast primární plastické deformace (*oblast 1*) je ohraničena křivkou *OM* a *ON*. Tato oblast náleží do odebírané vrstvy.
- Oblast sekundární plastické deformace (*oblast 2*) se nachází v malé oblasti v místě dotyku plochy čela řezného nástroje s plochou třísky.
- Další oblast plastické deformace (*oblast 3*) leží na obrobené ploše.

Tříska a její tvorba je nejvíce ovlivněna oblastí *OMN*. Velikost a tvar oblasti *OMN* je závislá na mnoha faktorech, jako je geometrie břitu řezného nástroje, vlastnosti obráběného materiálu a také na řezných podmínkách.

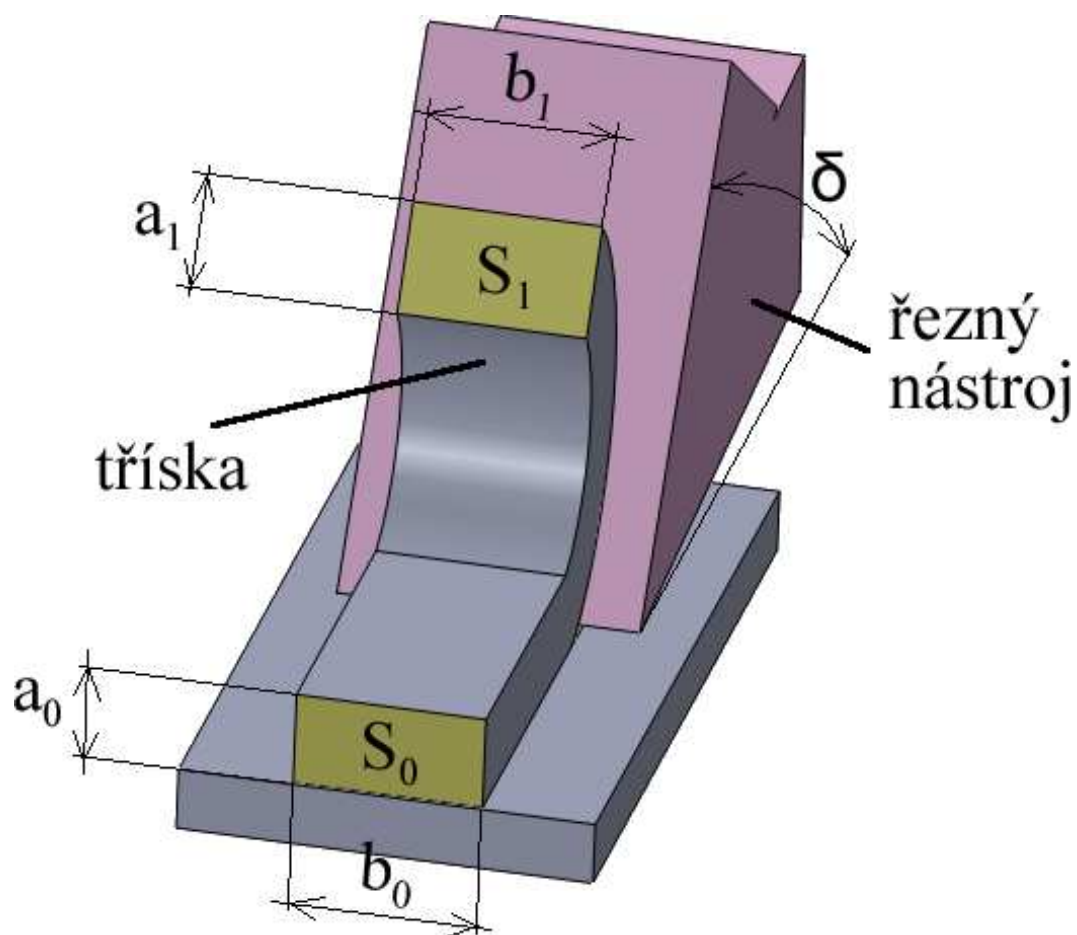
Pokud při obrábění nedochází ke změně řezných podmínek, je oblast *OMN* konstantní (*má stále stejný tvar*).

Důsledkem plastické deformace je změna rozměrů odebírané vrstvy při přeměně v třísku. Plocha průřezu třísky je vždy větší než plocha průřezu odebíraného materiálu. Naopak délka třísky je vždy menší, nežli délka odřezávané vrstvy. Takováto tříska se označuje termínem *pěchovaná tříska* (obr. č. 21).

Poměr průřezu třísky ( $S_1 = a_1 b_1$ ) k průřezu odřezávané vrstvy ( $S_0 = a_0 b_0$ ) nebo poměr délky odřezávané vrstvy  $l$  k délce třísky  $l_1$  je tzv. **součinitel pěchování  $K$** . Součinitel pěchování  $K$  slouží jako hodnota k porovnání intenzity primární plastické deformace při obrábění. [12, 5]

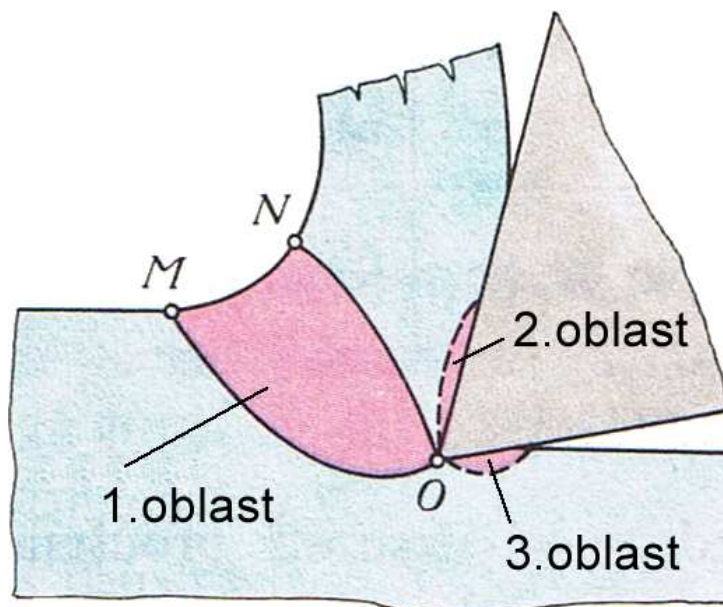
$$K = \frac{S_1}{S_0} = \frac{l_0}{l_1} > 1 \quad (9)$$

[12, 5]



Obr. č. 21 Pěchovaná tříska

$$a_1 > a_0, b_1 = b_0, S_1 > S_0$$



Obr. č. 18.

Oblast plastické deformace, převzato a upraveno z [5]



### 5.3 Objemový součinitel třísky

Pro určení velikosti objemu třísky se zavádí tzv. **objemový součinitel třísek**, který se značí  $K_{vo}$  :

$$K_{vo} = \frac{V_t}{V_m} \succ 1 \quad (10)$$

$V_t$  – objem třísky (po obrábění)

$V_m$  – objem materiálu před obráběním

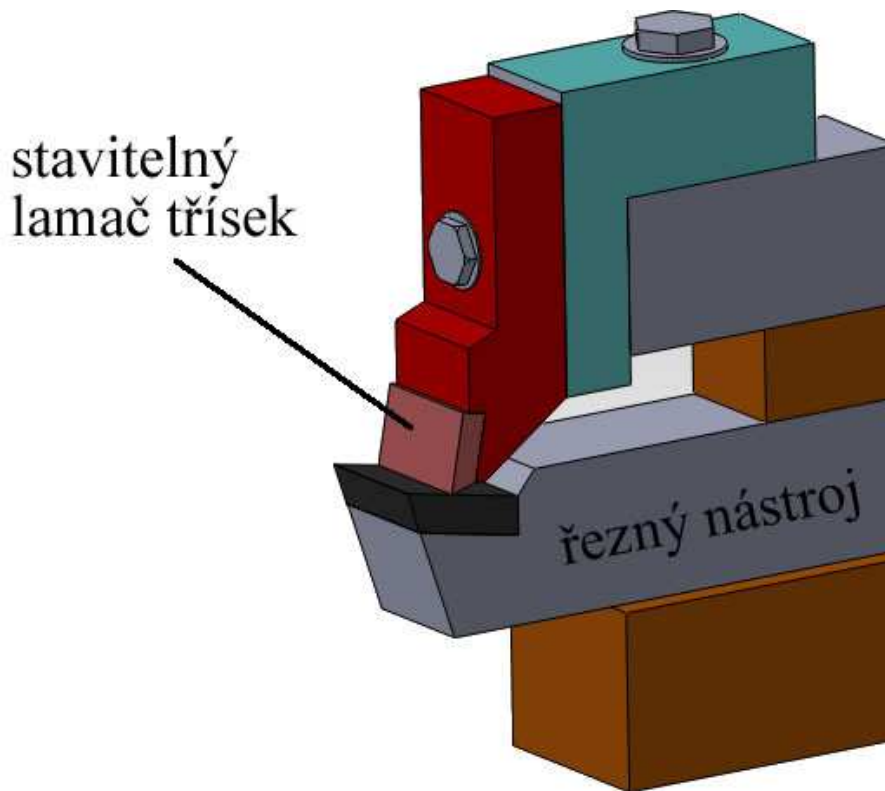
Pokud je použita nevhodná geometrie břitu řezného nástroje a nevhodné podmínky při procesu obrábění, dochází ke značnému nabývání třísky, které pak zabírají značný prostor a objemový součinitel třísek může nabývat hodnotu až 400.

Pokud nastanou takovéto situace je ohrožena plynulost práce a třísky zaplňují veškerý volný prostor, ze kterého se obtížně odstraňují. Z toho důvodu nám jde o to, abychom vytvářeli takové řezné podmínky, při kterých bude objemový součinitel třísek co nejmenší. Toto téma je nejvíce aktuální při obrábění na automatických strojích či výrobních linkách.

Nejčastější způsoby pro snížení hodnoty objemového součinitele třísek:

1. Vhodná volba materiálu, nejlépe takového, který tvoří drobnou třísku.
2. Vhodná volba geometrie břitu řezného nástroje a komplexních řezných podmínek.
3. Použití lamačů třísek (*použití lamače či utvářeče třísek zásadně snižuje hodnotu objemového součinitele třísek*)

Velice často nastávají situace, kdy lze použít pro snížení hodnoty objemového součinitele třísek pouze lamače třísek, přičemž použití lamače třísek je vhodnou volbou jak u strojního tak ručního obrábění. Na následujícím obrázku (obr. č. 22) je ukázka jednoho z mnoha stavitelných lamačů třísek.



Obr. č. 22 Stavitelný lamač třísek

Jedním z nejjednodušších způsobů zajišťující lámání třísek je vybroušení žlábků na čelo řezného nástroje. Velikost a poloha takového žlábků je bohužel omezena pro určitý rozsah řezných podmínek. Podstatně šetrnější vzhledem k řeznému nástroji a hospodárnějším způsobem je použití stavitelných lamačů třísek. [12, 4, 5, 7]

#### 5.4 Tvoření nárůstku

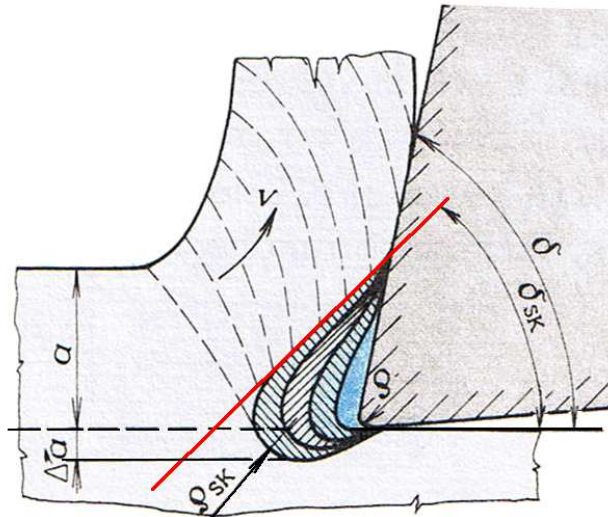
Při tvorbě nárůstku jde v podstatě o navaření obráběného materiálu (*třísky*) na čelo řezného nástroje. Nárůstek vzniká vlivem tření třísky o čelo za působení velkých tlaků a teplot v místě dotyku třísky s čelem. Část třísky zůstane navařená na čelo nástroje a tak vzniká nárůstek.

Pro nárůstek je charakteristická velká pevnost (*a tvrdost*), která často bývá 2-5 krát větší nežli je tvrdost obráběného materiálu. Za těchto podmínek může nárůstek převzít funkci břitu. Nárůstek však není stálý útvar a během obrábění dochází k jeho

nabývání (obr. č. 23). Vlivem nárůstku dochází ke změně úhlu řezu  $\delta$  na úhel řezu skutečný, tedy  $\delta_{sk}$ .

K deformaci nárůstku dojde tehdy, je-li porušena rovnováha sil působících na nárůstek. Nejčastěji se odlomí jen část nárůstku. V některých případech může dojít až k úplnému odlomení nárůstku (*v tomto případě dochází i k odlomení části nástroje*). Tento proces tvorby nárůstku se pak opakuje s frekvencí  $10^2$  až  $10^3$  Hz.

Pro různé materiály jsou charakteristické teploty, kdy dochází k nejintenzivnější tvorbě nárůstku, například u oceli je to  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , nad  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  se nárůstek netvoří. Tvorbě nárůstku se dá předcházet použitím různých maziv či řezných emulzí. [5, 12]



Obr. č. 23 Tvoření nárůstku, převzato a upraveno z [5]

## 5.5 Vliv nárůstku na obrábění

Jak je již známo z předchozí kapitoly, dochází vlivem nárůstku ke zmenšování úhlu řezu  $\delta$ . Důsledkem toho je zvětšování poloměru ostří  $\rho$ . Změna původního úhlu řezu  $\delta$  na úhel  $\delta_{sk}$  způsobuje změnu oblasti  $OMN$  a to tak že ji zužuje.

Jak již bylo řečeno, vlivem nárůstku dochází ke zvětšení poloměru ostří  $\rho_{sk}$ . Tím pak dochází ke zvětšování odřezávané vrstvy o  $\Delta a$  a díky tomu dochází ke větší

deformaci obrobené plochy. Pokud provádíme konečné obrábění (*obrábění na čisto*) musíme brát hodnotu  $\Delta a$  v úvahu abychom docílili přesného rozměru.

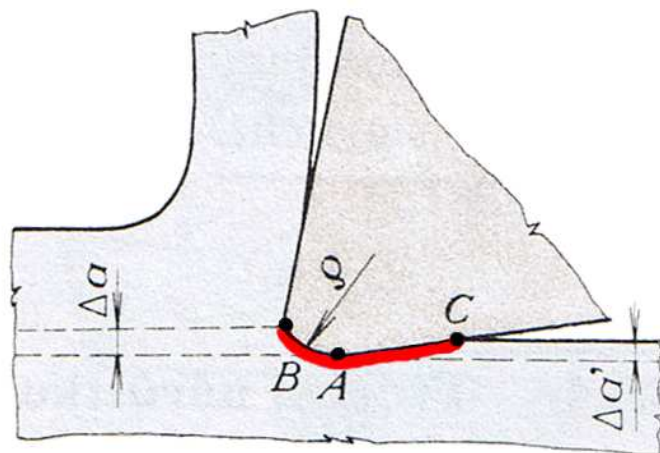
Co se týče kvality (*jakosti*) obrobené plochy má na ni nárůstek negativní vliv, což zapříčiňuje rozpadající se nárůstek, který se zachytává na obrobené ploše a díky tomu zhoršuje její drsnost. [5, 12]

## 5.6 Zpevňování obrobené plochy

Zaměříme-li se na ostří řezného nástroje, zjistíme, že ostří není dokonale ostrá hrana, ale jedná se o zaoblenou plochu o poloměru cca. 5 až 20 $\mu\text{m}$ . Z toho důvodu nastává styk břitu nástroje s plochou řezu v bodech *BAC* (obr. č. 24). Jak je na obrázku vyznačeno, dochází vlivem zaobleného ostří ke stlačení obrobené plochy o  $\Delta a$  a povrch je plasticky sekundárně tvářen. V okamžiku, kdy řezný nástroj (*břit*) přejde přes plochu řezu, vystoupí stlačený materiál o  $\Delta a'$  (*jedná se o pružné deformace*).

Někdy také nastávají situace, kdy dochází ke vzniku tzv. zpevňené vrstvy. Vznik této vrstvy je závislý na druhu obráběného materiálu. Jde o tzv. plastické materiály se sklonem ke zpevňení. Pokud již ke zpevňení dochází, je dále závislé na řezné rychlosti, na odřezávané vrstvě, na úhlu hřbetu, úhlu řezu a poloměru špičky nástroje.

Pokud je zpevňená vrstva dokonale soudržná se základním materiálem, zvyšuje se tím odolnost proti mechanickému opotřebení a také odolnost proti korozi. [12, 5, 4]



Obr. č. 24 Stiková plocha, převzato a upraveno z [5]

## 5.7 Pnutí po obrábění

Při obrábění vzniká v povrchových vrstvách obrobene plochy tlakové nebo tahové napětí. Pro tlakové napětí je charakteristický takový způsob obrábění, u kterého je značné mechanické zatížení při malých teplotách povrchu obrobku. V takovýchto případech převažuje plastická deformace nad teplotou a dochází ke vzniku tlakového napětí. Naopak tahové napětí vzniká u obrábění, kde jsou v povrchových vrstvách vysoké teploty ( $800\text{ }^{\circ}\text{C} - 1\ 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). V okamžiku, kdy chladne ohřátá povrchová vrstva, dochází ke zmenšování jejího objemu. Tomu však brání spodní vrstva, která má nízkou teplotu, ale přesto nemění svůj objem. Důsledkem toho je vznik tahového napětí v povrchové vrstvě.

Pnutí má velký vliv na vlastnosti obrobku a to tak zásadní, že je tím ovlivněna mez únavy. Tlakové napětí mez únavy zvyšuje, přičemž tahové pnutí mez únavy snižuje. Pokud bychom se zabývali pnutím více do hloubky, zjistíme, že jde o podstatně složitější proces, který není pro tuto práci stěžejní. [1, 5, 12]

## 5.8 Drsnost obrobene plochy

Hovoříme-li o drsnosti obrobene plochy, zavádí se odborný termín tzv. jakost obrobene plochy. Jakost je dána mnoha faktory:

- Geometrií břitu nástroje
- Posuvem
- Řeznou rychlostí
- Řezným prostředím
- Fyzikálními a chemickými vlastnostmi materiálu
- Tuhostí soustavy (*stroj – nástroj - obrobek*)

**Geometrie břitu nástroje** – jakost obrobene plochy je nejvíce závislá na úhlu  $\chi$  a  $\chi'$  (*úhel nastavení hlavního a vedlejšího ostří*). Větší úhly  $\chi$  a  $\chi'$  mají při použití větších posuvů větší drsnost obrobene plochy. V případě použití menších posuvů a většího poloměru špičky řezného nástroje nemají úhly  $\chi$  a  $\chi'$  takový vliv na jakost obrobene plochy jako v předchozím případě. Dále má na jakost obrobene plochy značný

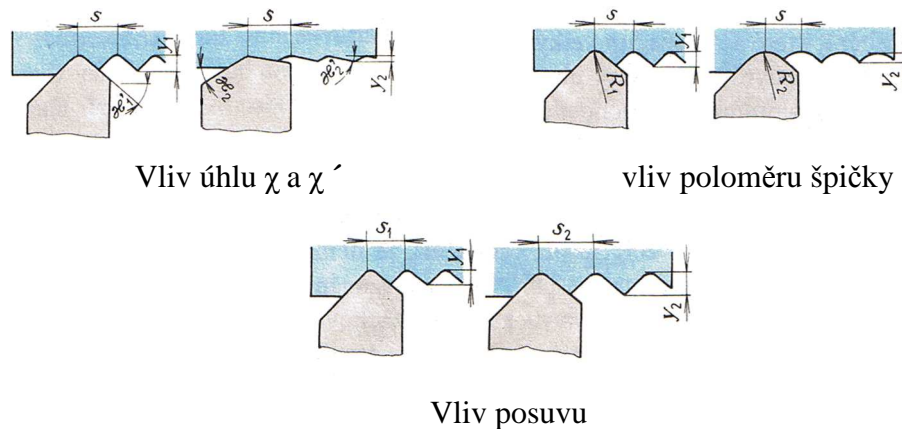
vliv poloměr zaoblení špičky řezného nástroje. Pokud je poloměr zaoblení větší, snižuje se tím drsnost obrobeneé plochy a to zejména za použití malých posuvů a malé hloubky řezu.(obr. č. 25)

**Posuv** – tento faktor má největší vliv na drsnost (*jakost*) obrobeneé plochy. Čím je posuv větší, tím je zároveň drsnější obrobeneý povrch.

**Řezná rychlost** – čím je řezná rychlost menší, tím je horší (*drsnější*) obrobeneý povrch. To je zapříčiněno možností tvoření nárůstku.

**Řezné prostředí** – drsnost obrobeneé plochy se dá pozitivně ovlivnit použitím vhodného řezného prostředí, jako například použitím řezných olejů a emulzí, které snižují možnost tvoření nárůstku.

**Tuhost soustavy** – pokud má soustava (*stroj – nástroj - obrobek*) malou tuhost, může dojít k tomu, že vznikne chvění, které zhoršuje jakost obrobeneé plochy. Nejčastější příčiny chvění: nedostatečné upnutí obrobku, nevhodné vyložení řezného nástroje (*u soustruhu*), špatný posuv nebo řezná rychlost. [12, 5, 1]



Obr. č. 25 Drsnost obrobeneé plochy, převzato a upraveno z [5]

## 6 Práce, síla řezání

### 6.1 Práce při obrábění

Na každý proces obrábění je třeba použít určité množství práce. Tyto práce se dělí na:

- Práci plastických deformací
- Práci elastických deformací
- Práci tření na čele nástroje
- Pasivní práci deformační
- Pasivní práci tření

**Práce plastických deformací**  $A_p$  – tato práce je vynaložena na plastické deformace, které probíhají v oblasti  $OMN$ . Z celkové práce zabírá až 80 %.

**Práce elastických deformací**  $A_e$  – hodnota této práce bývá do 2 %, je tedy téměř zanedbatelná.

**Práce tření na čele nástroje**  $A_{t\check{c}}$  – jde v podstatě o práci související s odvodem třísky. Z celkové práce zabírá až 35 %.

**Pasivní práce deformační**  $A_d$  – tato práce probíhá na ploše  $BAC$  a je způsobena nedokonalostí ostří (obr. č. 24). Hodnota z celkové práce je tak malá až je zanedbatelná.

**Pasivní práci tření**  $A_{th}$  – je způsobena třením plochy hřbetu po ploše řezu. Hodnota této práce může dosahovat až desítky %.

Pokud bychom chtěli přesně určit hodnoty jednotlivých složek, je nutno se touto problematikou zabývat z jiných zdrojů. Pro účely této práce to není příliš podstatné a dále se tímto tématem nebudeme zabývat. Pouze uvedeme vztah pro celkovou práci.

[12, 5]

$$A = F \cdot v \cdot t \cdot \cos \omega \quad (11)$$

$F$ ..... výsledná řezná síla

$\Omega$ ..... úhel vektoru (obr. 27)

$v$ ..... řezná rychlost

$t$ ..... čas obrábění

[12, 5]

## 6.2 Řezná síla

Pro jednodušší vysvětlení použijeme případ, kdy je oblast primární plastické deformace zúžena natolik, že bod  $M = N$ , následně se pak bude tříška tvořit jen na jedné ploše kluzu (obr. č. 26).

Odporová síla  $F_R$  (*síla materiálu působící proti vnikání břitu*) je geometrickým součtem normálového napětí  $\sigma$  a tečného napětí  $\tau$  na ploše kluzu a je v rovnováze s řeznou silou  $F$ , která musí působit na břit nástroje. [12, 5]

$$F_R = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} \quad (12)$$

Vektor řezné síly  $F$  má v prostoru obecnou polohu. Úhel  $\omega$  se nazývá úhel působení řezné síly. Jeho velikost charakterizuje silové poměry probíhající v oblasti tvoření třísky.

Řezná síla  $F$  se může rozložit (*nahradit*) třemi složkami, které jsou na sebe navzájem kolmé a leží v osách  $x$ ,  $y$  a  $z$ . (obr. č. 27). Jsou to: [12, 5]

- $F_x$  – tato složka je rovnoběžná se směrem posuvu (*vedlejší řezný pohyb*), bývá označována jako axiální složka.
- $F_y$  – tato složka je při soustružení kolmá na osu rotace obráběného materiálu, u fréz, vrtáků je kolmá na osu rotace nástroje.
- $F_z$  – je tečná na směr hlavního řezného pohybu.

Následující rovnice vyjadřuje vztah složek k řezné síle:

$$F = \sqrt{F_z^2 + F_y^2 + F_x^2} \quad (13)$$

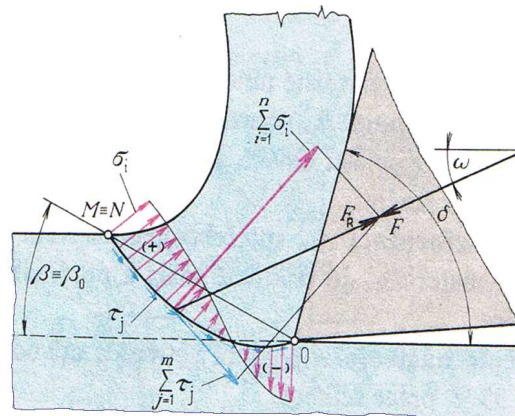
Poměr složek řezné síly není stálý, ale je závislý na geometrii břitu řezného nástroje. Jako příklad poměrů jednotlivých složek řezné síly je zde uveden poměr pro úhel  $\chi = 45^\circ$ , který nejčastěji bývá:



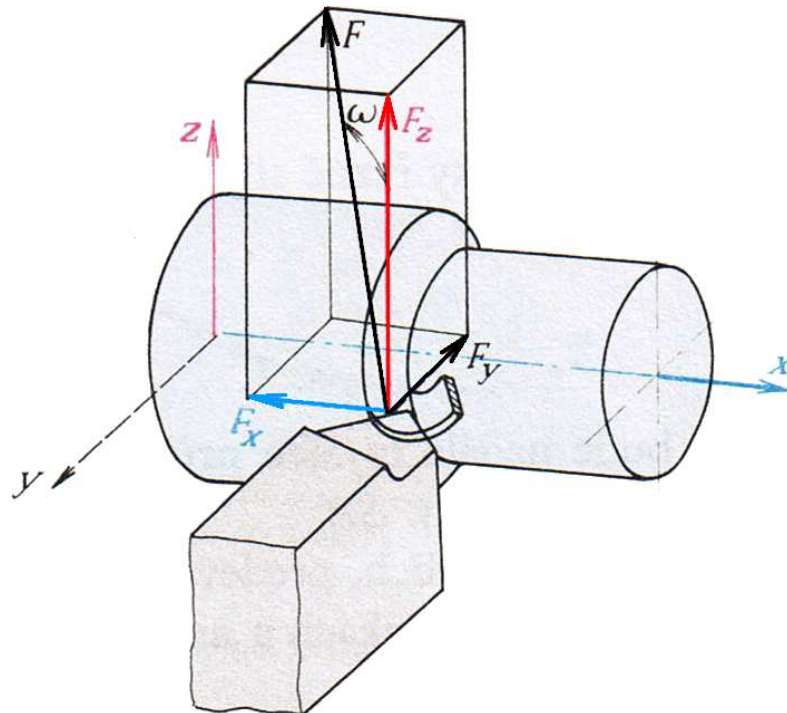
$$F_X : F_Y : F_Z = 0,5 : 0,4 : 1 \quad (14)$$

Pokud hovoříme o těchto složkách, musíme si uvědomit, že největší význam má složka  $F_Z$ , která určuje velikost krouticího momentu u rotačního způsobu obrábění, což je soustružení, frézování a vrtání. Zároveň také určuje spolu s řeznou rychlostí výkon při obrábění. [5, 12]

$$P = F_Z \cdot v \quad (15)$$



Obr. č. 26 Rozložení napětí na ploše kluzu ( $M = N$ ), převzato a upraveno z [5]



Obr. č. 27 Řezné síly, převzato a upraveno z [5]

### 6.3 Řezný odpor

Jedná se o poměr složky  $F_z$  (viz předchozí kapitola) a plochy průřezu třísky  $S$ :

$$p = \frac{F_z}{S} \quad (16)$$

$P$ ..... řezný odpor

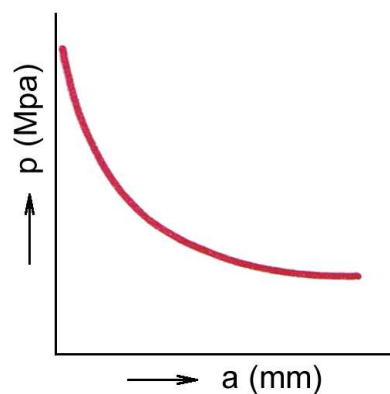
$F_z$ ..... složka řezné síly

$S$ ..... průřez třísky

Jak již bylo uvedeno v předchozích kapitolách, proces obrábění a tudíž i řezný odpor  $p$  je závislý na několika faktorech a to na :

- vlastnostech obráběného materiálu
- Geometrii břitu
- Komplexních řezných podmínkách

Řezný odpor je nejvíce závislý na tloušťce odebíraného materiálu, tedy na tloušťce třísky  $a$ . Na následujícím grafu (graf č. 2) je vidět téměř hyperbolická závislost odporu na tloušťce třísky.



Graf č. 2 Závislost řezného odporu na tloušťce třísky, převzato a upraveno z [5]

Paradoxně menší tloušťce třísky odpovídá větší hodnota řezného odporu, což se vysvětluje:

- větším zpevněním v oblasti  $OMN$
- relativně většími pasivními odpory

V následující tabulce (Tab. č. 2) jsou uvedeny hodnoty řezných odporů některých materiálů. [5, 12]

Tab. č. 2 Hodnoty řezného odporu, převzato a upraveno z [5]

Materiál	$\sigma_{pt}$ (Mpa)	Řezný odpor $p$ (Mpa)		
		soustružení	frézování	vrtání
Uhlíková ocel	450	2100	3650	2700
Uhlíková ocel	600	2160	4500	3400
Uhlíková ocel	700	2450	4950	4000
Chromniklová ocel	500	2500	5050	4300
Chromniklová ocel	700	2800	5400	5200
Bronz	200 až 300	1100	1750	1500
Bronz	300 až 500	1400	2100	1800
Hliníkové slitiny	180 až 250	850	1300	1150
Hliníkové slitiny	250 až 350	1150	1450	1300
Šedá litina	140 až 160	1380	2650	1750
Šedá litina	160 až 180	1480	2800	2050
Šedá litina	180 až 200	1580	3050	2500

\*) u litin se neudává pevnost ale tvrdost HB [5]

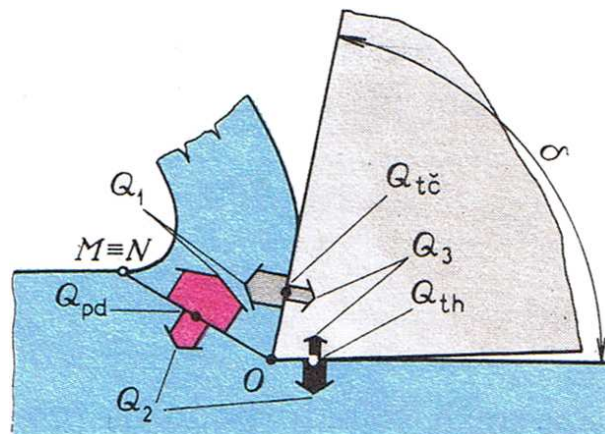
## 7 Teplo a teplota

V okamžiku, kdy dochází k přeměně odřezávané vrstvy v třísku, dochází k přeměně mechanické práce (*tato práce je potřebná k přeměně v třísku*) v teplo.

Vznik tepla probíhá v poměrně malé oblasti. Důsledkem toho jsou vysoké teploty až 1000 °C. Pokud jde o teplotu, ta má velký vliv zejména na opotřebení rezného nástroje, dále pak na přesnost obrábění a v neposlední řadě i na jakost (*kvalitu*) obrobenej plochy. [5, 4]

### 7.1 Tepelná bilance

Teplo při obrábění vzniká přeměnou z mechanické práce v jednotlivých místech zdrojů. (obr. č. 28)



Obr. č. 28 Jednotlivé zdroje tepla, převzato a upraveno z [5]

Teplo  $Q_p$  – vzniká v oblasti  $OMN$  přeměnou práce plastických deformací.

Teplo  $Q_{tc}$  – vzniká na styčné ploše čela, přeměnou práce tření.

Teplo  $Q_{th}$  – vzniká na styčné ploše hřbetu, přeměnou práce tření.

Celkové teplo  $Q$  se dá určit z práce vykonané složkou řezné síly  $F_z$  podle vztahu:

$$Q = A \approx F_z \cdot v \cdot t \quad (17)$$

Zaměříme-li se na odvod tepla při obrábění, zjistíme, že největší část tepla je odváděna třískou  $Q_1$ , dále je pak teplo ještě odváděno obrobkem  $Q_2$  a řezným nástrojem  $Q_3$ . Nesmíme ale opomenout, že je určitá malá část tepla vyzářena do okolí  $Q_4$ . Velikost složek odváděného tepla je závislá na:

- tepelné vodivosti materiálů, (jak obrobku, tak i nástroje)
- řezných podmínkách, (zejména na řezné rychlosti)
- řezném prostředí, (chlazení, mazání)
- geometrii břitu nástroje

Pro jednotlivé zdroje tepla a složky odváděného tepla zavádíme tzv. rovnici tepelné bilance:

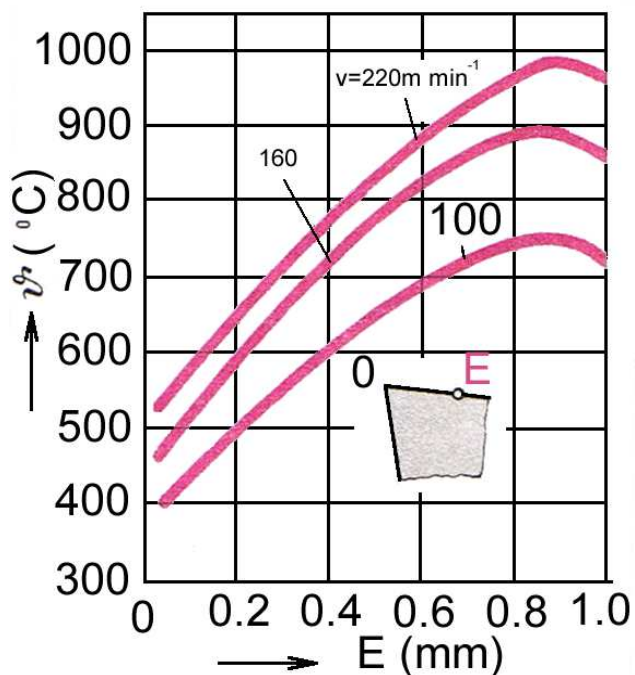
$$Q_p + Q_{ic} + Q_{th} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (18)$$

[5, 12]

## **7.2 Teplota řezání**

Teplota jako taková má značný vliv na břit řezného nástroje, zejména na rychlost jeho opotřebení. Rozdíl teplot na čele a hřbetu řezného nástroje je značný (na čele o 50 až 100 % vyšší než na hřbetu). Z tohoto důvodu jsou teploty na čele nástroje významnější nežli teploty na hřbetě.

Na špičce řezného nástroje však není nejvyšší teplota, ač by se to dalo očekávat. Tento jev je zapříčiněn zaoblením špičky nástroje. Hodnota nejvyšší teploty na čele nástroje je tedy posunuta dále od špičky. Závislost teplot na vzdálenosti od špičky je znázorněn na grafu č. 3. V oblasti s nejvyšší teplotou dochází k největšímu opotřebení.



Graf č. 3 Závislost teploty čela na vzdálenosti, převzato a upraveno z [5]

Jedním z nejdůležitějších pojmů této kapitoly je tzv. **teplota řezání**, Jedná se o střední hodnotu teploty styčné plochy čela s třískou. Teplota řezání je závislá na vlastnostech nástrojových materiálů. Přípustné tepelné hodnoty některých nástrojových materiálů jsou uvedeny v tabulce č. 3. Překračováním těchto hodnot dochází k rychlému opotřebení nástroje (*snižuje se tvrdost*). [5, 4]

Tab. č. 3 Hodnoty řezání, převzato a upraveno z [5]

Materiál břítu rezného nástroje	Max. přípustná teplota řezání (°C)	Řezná rychlost ( $\text{m min}^{-1}$ )
Slitinová ocel	260	12 - 18
Rychlořezná ocel	560	24 - 36
Slinuté karbidy	700 - 1100	60 - 150
Keramické materiály	1100 - 1200	170 - 300

### 7.3 Chlazení, mazání

Chlazení a mazání ovlivňuje zásadním způsobem řezný proces. Hlavním cílem řezného prostředí je:

- Odvádět teplo z oblasti kde se tvoří
- Snížit tření
- Snížit rychlost opotřebení nástroje
- Zlepšit kvalitu obrobené plochy
- Zlepšit odvod třísky

Požadavky na každé řezné prostředí jsou děleny do dvou částí: účinky chladící a účinky mazací.

- **Chladící účinek** – snižuje teplotu a tím zároveň snižuje opotřebení řezného nástroje (*u některých materiálů se použitím chlazení snižuje opotřebení až o jednu pětinu*).
- **Mazací účinek** – použitím mazání se snižuje tření na řezných plochách nástroje. Následně na to se usnadňuje plastická deformace třísky a řezný odpor se dá snížit až o 25 %. Použití mazání zlepšuje kvalitu obrobené plochy. [5]

### 7.4 Řezné kapaliny

Řezné kapaliny lze dělit na:

- Vodní roztoky
- Emulze (*olejů, tuků a vody*)
- Řezné oleje

Ne pro každý druh obrábění jsou tyto kapaliny vhodné. Vhodně zvolený způsob chlazení je závislý na obráběném materiálu, nástrojovém materiálu a na způsobu obrábění. Vhodné použití řezného prostředí je uvedeno v tabulce č. 4.

**Vodní roztoky** – jedná se o roztoky uhličitanu, křemičitanu a dusitanu sodného. Vyznačují se dobrými chladícími účinky a jejich použití je směřováno na broušení.

**Emulze** – tato řezná kapalina je jednou z nejpoužívanějších, což je dáno velice dobrým chladícím a mazacím účinkem. Je složena z vody, různých druhů olejů a tuků. Složka která má za úkol zabránit smíchání olejů a tuků se nazývá emulgát (*na bázi mýdla*). Na trhu je dnes celá řada výrobců co dodává do strojírenství různé druhy takovýchto emulzí. Emulze je dodávána nenaředená a její ředění je závislé na druhu obrábění. Emulze má tu výhodu, že jí lze použít opakovaně, ovšem při dlouhodobém opakovaném používání klesají její mazací a chladící účinky.

**Řezné oleje** – u těchto olejů převládají mazací účinky nad chladícími. Nejvíce jsou vhodné pro řezání závitů, protahování atd. [5, 4]

Tab.č. 4 Vhodné použití řezného prostředí, převzato a upraveno z [5]

MATERIÁL	ŘEZNÉ PROSTŘEDÍ
Ocel uhlíková	emulze
Ocel slitinová	emulze, řezné oleje
Šedá litina	vzduch, vodní roztoky
Slitiny mědi	emulze, řezní oleje (bez síry)
Slitiny hliníku	vzduch, řezné oleje (bez síry)
Slitiny titanu	řezné oleje s obsahem chloru
Slitiny hořčíku	řezné oleje (nikdy ne s obsahem vody)



## 8 Produktivita a hospodárnost obrábění

S touto kapitolou se dostáváme z části i do ekonomické oblasti. Samotný proces obrábění je hodnocen jak po ekonomické, tak i po kvalitativní stránce. Na tuto oblast mají velký vliv řezné podmínky a zavádí se termín optimální řezné podmínky. Jedná se o takové podmínky, při kterých se dosáhne minimálních nákladů na obrábění. [5]

### 8.1 Opotřebení břitu nástroje

Pokud budeme hovořit o opotřebení (*opotřebení = otupení*) nástroje, máme tím na mysli proces, při kterém dochází k postupnému zvětšování poloměru špičky. Důsledkem toho je změna geometrie břitu. K opotřebení dochází:

- Otěrem ploch
- Plastickou deformací na povrchu břitu
- Porušením ostří (*křehkými lomy*)

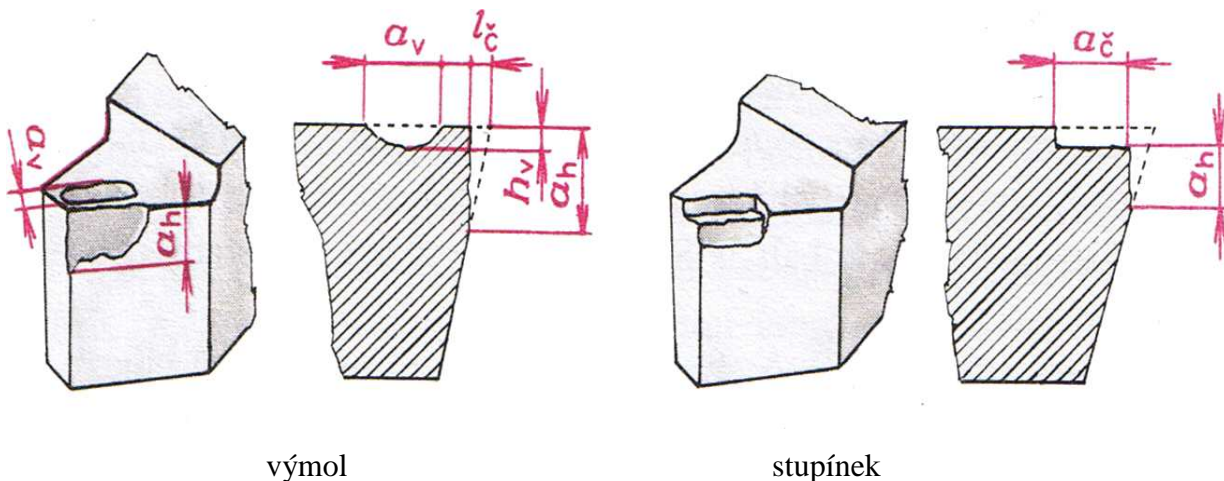
**Otěr stykových ploch** – následkem otěru stykových ploch je působení obrazy, adheze a difúze.

**Plastická deformace na povrchu břitu** – nastává při obrábění měkkých materiálů, kdy se teplo neodvádí materiálem, ale hromadí se v řezném nástroji a spolu s tlakem vyvolává teplo plastickou deformaci v povrchových vrstvách břitu.

**Porušení ostří (*křehkými lomy*)** – nejvíce se vyskytuje u slinutých karbidů a keramických materiálů. Příčiny vzniku: přerušovaný řez, zvýšení řezného odporu, nevhodné ostření nástroje. [5, 7, 1, 12]

## 8.2 Vnější opotřebení břitu

Opotřebení nástroje se projevuje tvořením plošky na hřbetě nástroje a vznikem výmolu na čele. Někdy také dochází k tvorbě opotřebení ve tvaru stupínku.



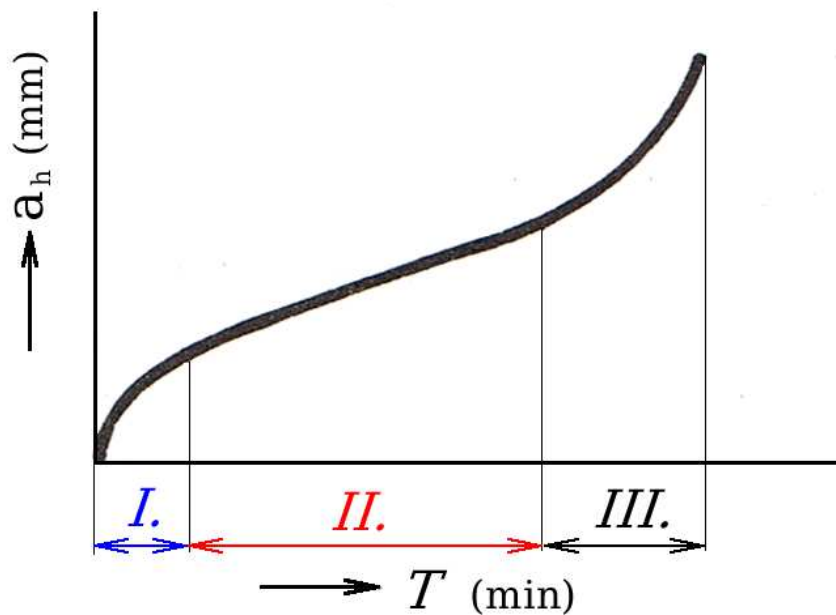
Obr. č. 29 Otupení, převzato a upraveno z [5]

Otupení na čele nástroje nejčastěji vzniká při hrubování. Otupená čela se hodnotí podle hloubky  $h_v$  a šířky  $a_v$  výmolu (obr. č. 29). Otupení hřbetu má vliv zejména na přesnost obrábění a hodnotí se podle hodnoty  $a_h$  a  $l_c$  (obr. č. 29). Podle druhu obrábění je vždy jeden druh opotřebení převažující.

Zaměříme-li se na otupení na hřbetě, zjistíme, že otupení probíhá ve třech fázích, jak je znázorněno na grafu č. 4.

- V této fázi probíhá velmi rychlé otupení, jehož příčinou je nerovnoměrné ostří a velké tlaky. (fáze I.)
- V této fázi probíhá rovnoměrné otupení, které je způsobeno vychlazením ostří a vyrovnaní tlaků. (fáze II.)
- Ve třetí fázi se otupení stále zvyšuje, až nastává lavinovitý otěr. (fáze III.)

[5, 1]

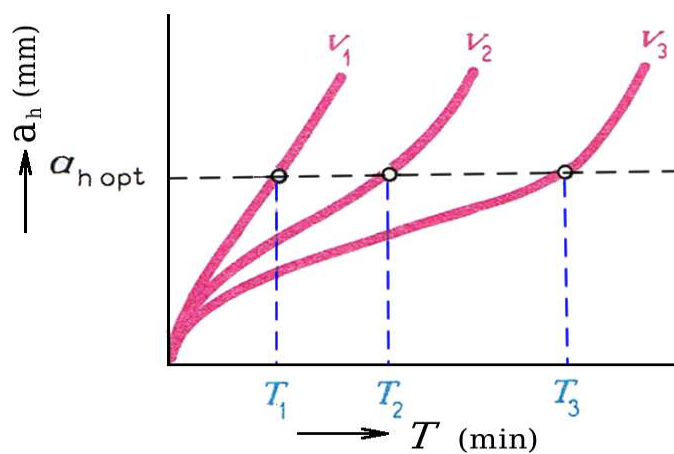


Graf č. 4 Opotřebení na hřbetě nástroje, převzato a upraveno z [5]

### 8.3 Trvanlivost břítu

„Trvanlivost břítu je základní veličinou, která určuje vztah řezných podmínek k hospodárnosti obrábění“[5]. Trvanlivost „ $T$ “ je doba práce řezného nástroje od nabroušení po otupení. Na grafu č. 5 je vidět průběh opotřebení v závislosti na řezné rychlosti v čase. Trvanlivost je tedy pro každou řeznou rychlost jiná. [5]

$$\begin{aligned} v_1 > v_2 > v_3 \\ T_1 < T_2 < T_3 \end{aligned}$$



Graf č. 5 Odvození trvanlivosti ostří, převzato a upraveno z [5]

**Optimální opotřebení** – jedná se o takové opotřebení, kdy klesnou náklady na naostření nebo výměnu nástroje na minimum. Optimální opotřebení lze zjistit následujícím postupem:

- Zjistíme příslušné trvanlivosti  $T_1, T_2, T_3, \dots$  které se pak s řeznou rychlostí vynesou do grafu č. 6.
- Vzniklá závislost lze vyjádřit vztahem č. 19.
- Pokud známe hodnotu  $T_1$ , která odpovídá rychlosti  $v_1$ , lze za stejných řezných podmínek pro novou řeznou rychlost  $v_2$  určit trvanlivost  $T_2$  ze vztahu č. 20. [5]

$$T = \frac{C_T}{v^m} \quad (19)$$

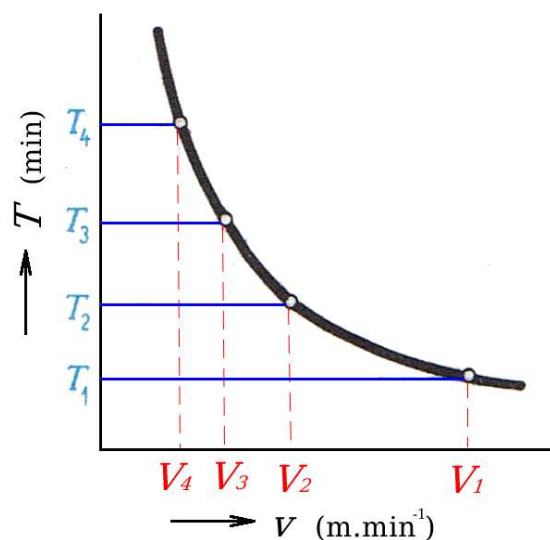
$T$ ..... trvanlivost (min)

$C_T$ ..... konstanta obsahující ostatní řezné podmínky (v tabulkách)

$V$ ..... řezná rychlost (m/min)

$m$ ..... konstanta závislá na nástrojovém materiálu [5]

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^m \quad \dots \dots \dots \quad T_2 = T_1 \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^m \quad (20)$$



Graf č. 6 Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti, převzato a upraveno z [5]

## 8.4 Produktivita obrábění

Produktivita obrábění hodnotí počet vyrobených kusů za jednotku času. Principem levného obrábění je vyrábět s co nejmenšími náklady. Výpočet celkových nákladů je uveden ve vztahu č. 21. Náklady na obrábění dělíme do třech základních kategorií:

1. Náklady na strojní práci - značíme je -  $N_s$  [kč]
  2. Náklady na řezný nástroj - značíme je -  $N_n$  [kč]
  3. Náklady vedlejší - značíme je -  $N_v$  [kč]
- Náklady celkové – značíme je -  $N_c$  [kč]

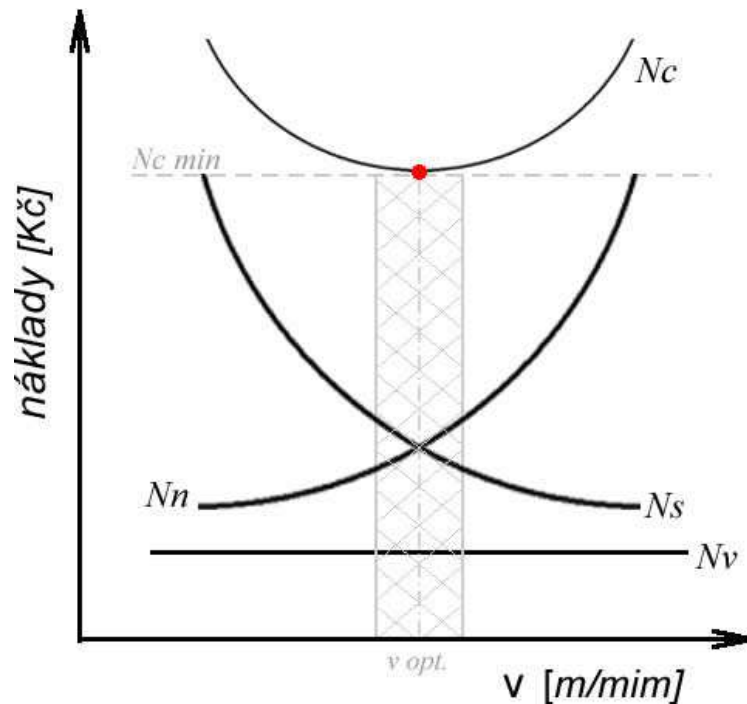
Náklady na strojní práci  $N_s$  obsahují náklady na údržbu stroje, potřebné energie k provozu a v neposlední řadě pořizovací cenu stroje neboli odpis stroje.

Náklady na řezný nástroj  $N_n$  obsahují náklady potřebné na pořízení nástroje a jeho následné ostření, dále pak i čas potřebný na výměnu nástroje.

Náklady vedlejší  $N_v$  obsahují náklady potřebné na výměnu obrobku, měření obrobku, náklady na přípravu atd. (*do vedlejších nákladu spadá i mzda obsluhy*)

$$N_c = N_s + N_n + N_v \quad (21)$$

V grafu č. 7 je znázorněno rozložení jednotlivých nákladů. Na křivce celkových nákladů  $N_c$  je minimum, které odpovídá minimálním celkovým nákladům a zároveň opt. trvanlivosti nástroje. Celkové náklady jsou primárně závislé na řezné rychlosti. [12, 5, 1, 4]



Graf č. 7 Náklady

## 8.5 Optimální řezné podmínky

Řezné podmínky, jedná se o podmínky, které ovlivňují zásadním způsobem obrábění. Optimální řezné podmínky, jsou takové podmínky, které zajišťují hospodárné a produktivní obrábění. Mezi základní řezné podmínky patří řezná rychlost, hloubka řezu a posuv.

Při ručním obrábění a kusové výrobě je pro volbu řezných podmínek velice důležitá zkušenost obsluhy obráběcího stroje. Pro malosériovou, hromadnou či strojní výrobu lze určit optimální řezné podmínky těmito způsoby:

- Výpočtem
- Z tabulek
- Pomocí kalkulačtorů
- Pomocí tabulky na stroji

Optimální řezné podmínky se stanovují zvlášť pro hrubování a zvlášť pro obrábění na čisto. Rozdíl mezi hrubováním a obráběním na čisto je především v tom, že při obrábění na čisto jsou podstatně menší řezné síly, od čehož se odvíjí optimální řezné podmínky. [5]

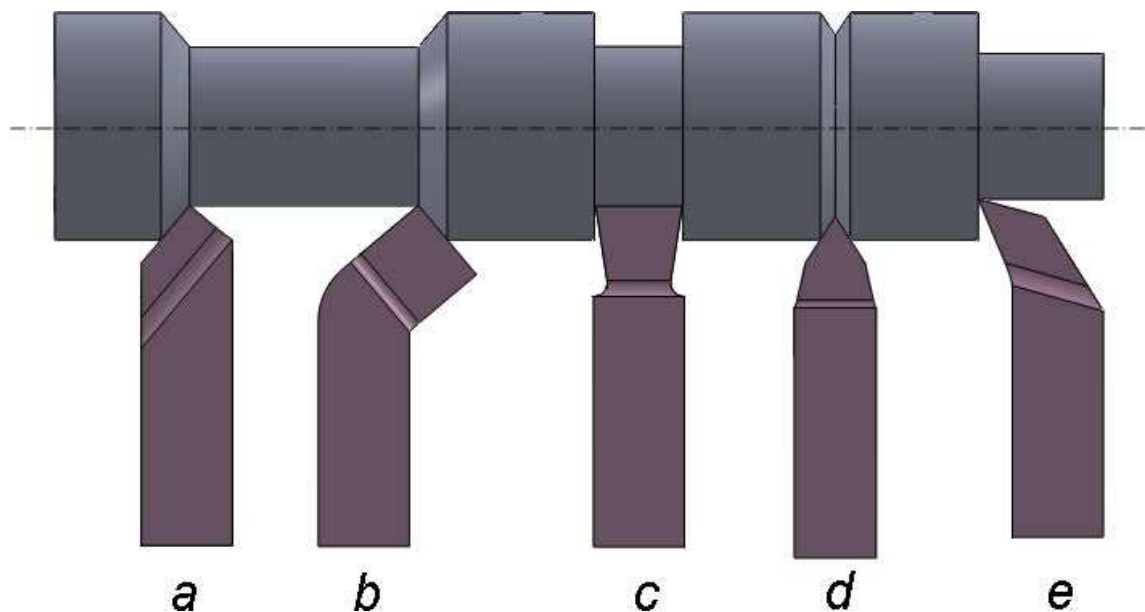
## 9 Soustružení

Soustružení je velmi rozšířený způsob obrábění. Pomocí soustružení lze obrábět téměř každou rotační plochu a to jak vnitřní tak vnější. Za pomoci soustruhu lze provádět následující operace:

- Vrtání a vyvrtávání
- Řezání závitů
- Soustružení průměrů a délek
- Soustružení kuželů
- Soustružení různých zakřivení (*rotačních*)

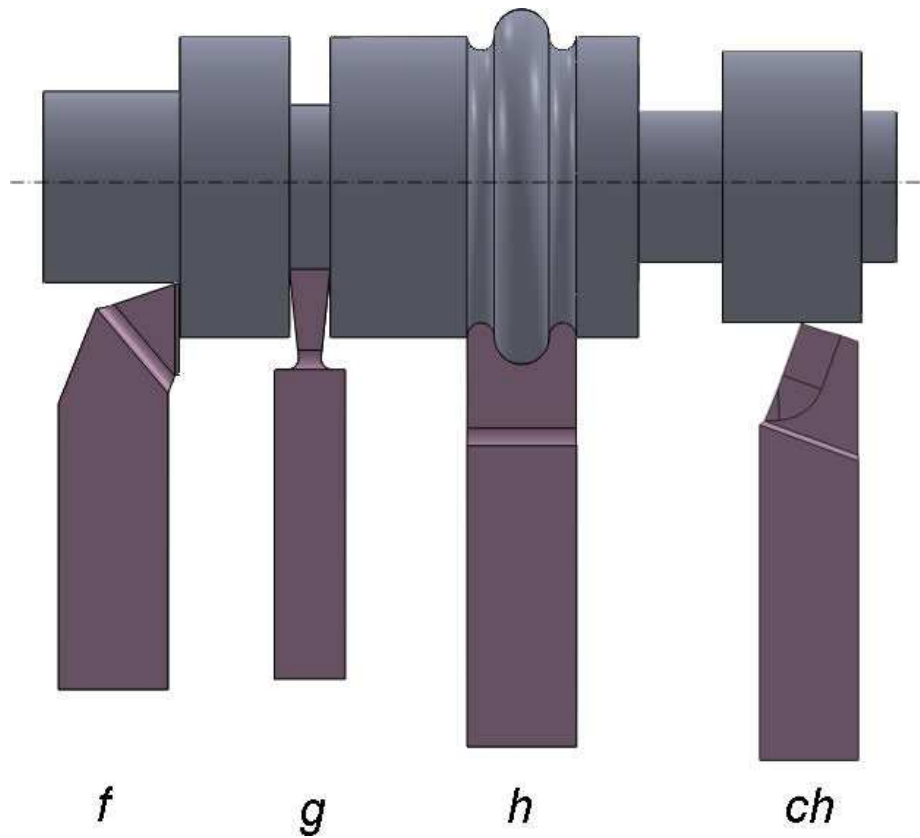
### 9.1 Soustružnické nože

K soustružení se používají soustružnické nože různých tvarů a rozměrů. Pro běžné soustružení jsou soustružnické nože stanoveny normou (*ČSN 22 3501 – ČSN 22 3558 a ČSN 22 3710 – ČSN 22 3730*). Nejpoužívanější soustružnické nože a jejich použití je znázorněno na obrázcích 30a, 30b, 30c. [4]



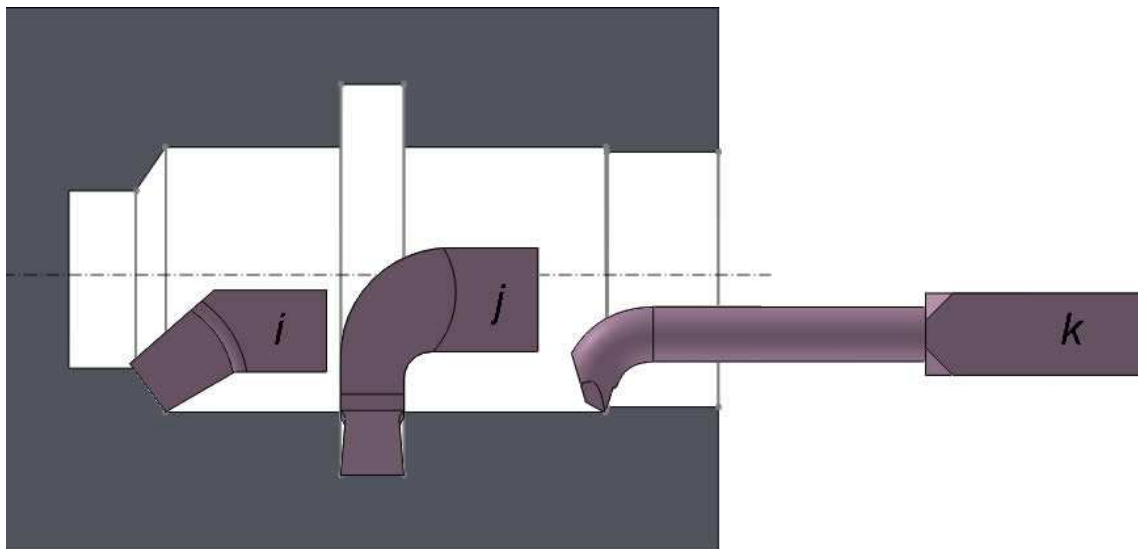
Obr. č. 30a Vnější soustružnické nože

- a)* pravý ubírací nůž (*přímý*), *b)* levý ubírací nůž, *c)* nůž nabírací,  
*d)* zapichovací nůž, *e)* pravý rohový nůž



Obr. č. 30b. Vnější soustružnické nože

*f*) levý ubírací nůž stranový, *g*) upichovací nůž, *h*) tvarový nůž,  
*ch*) pravý ubírací nůž (*přímý*)



Obr. č. 30c Vnitřní soustružnické nože

*i*) vnitřní ubírací nůž, *j*) vnitřní zapichovací nůž, *k*) vnitřní hladící nůž

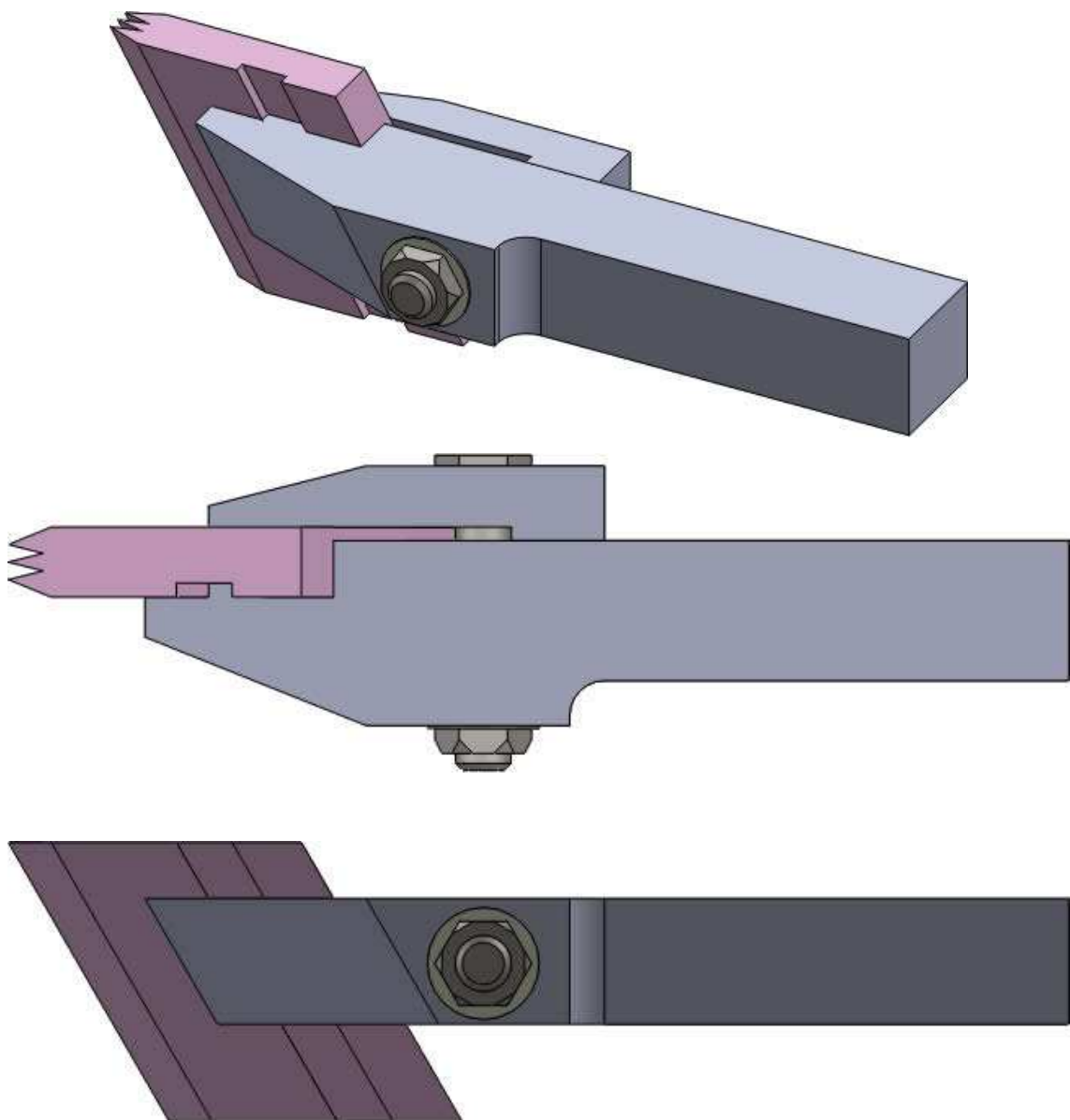


## 9.2 Speciální tvarové nože

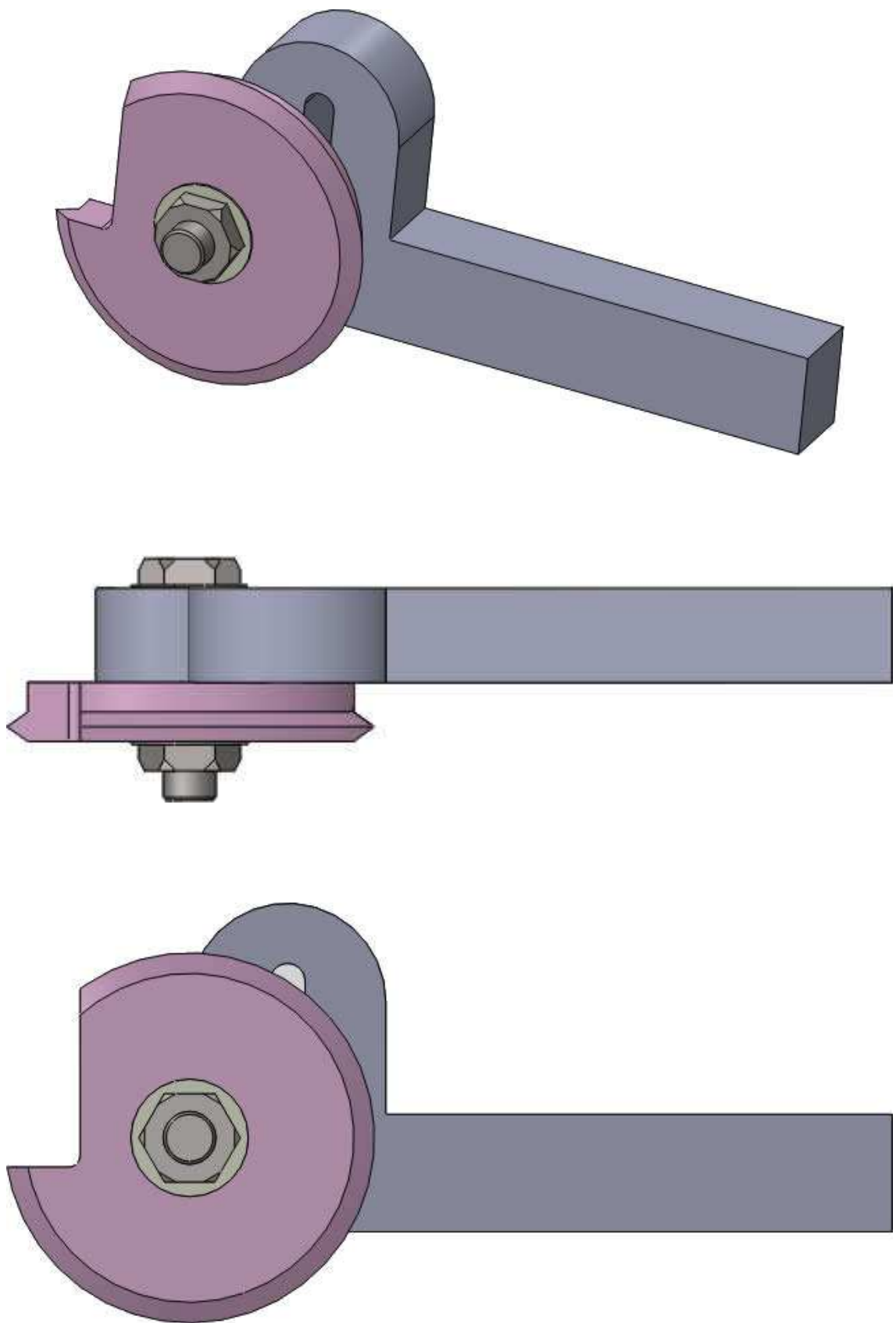
K soustružení různě zakřivených (*rotačních*) ploch se používají nejrůznější tvarové nože s příslušně zakřivenou břitovou hranou. Tyto tvarové nože mohou být konstruované jako klasické soustružnické nože, jen s tím rozdílem, že je jejich břit vybroušen podle příslušného (*požadovaného*) zakřivení (obr. č. 30b<sub>h</sub>).

Dále mohou být konstruovány složitějším způsobem a to jako kotoučové či hranolové. Tyto tvarové nože se musí upínat do speciálních držáků (obr. č. 31a, 31b).

[4]



Obr. č. 31a Tvarový nůž plochý (*hranolovitý*)

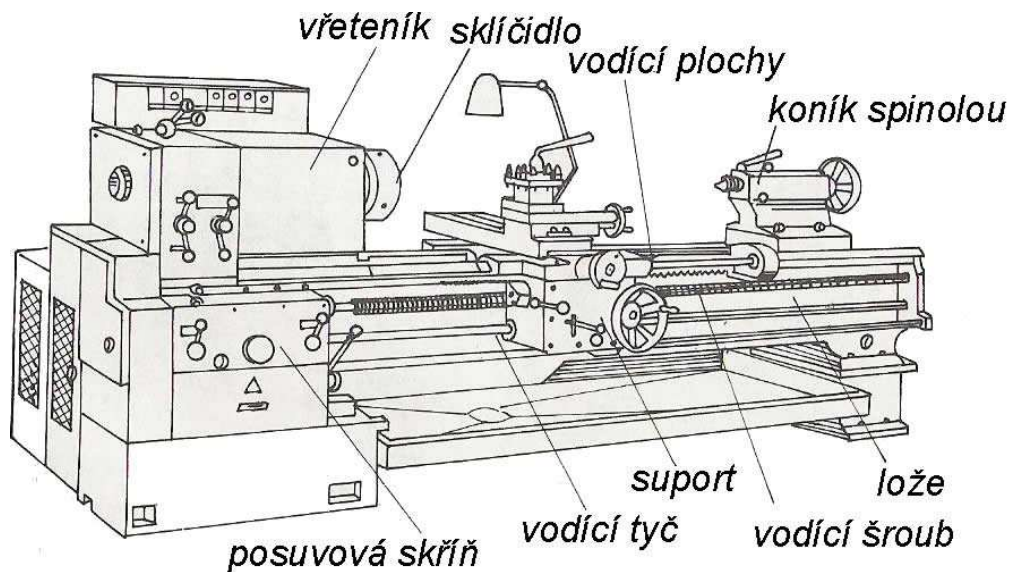


Obr. č. 31a Tvarový nůž kotoučový

### 9.3 Soustruhy

Zařízení (*stroje*), které slouží k obrábění rotačních ploch, se nazývají soustruhy. Soustruhy patří mezi nejdůležitější obráběcí stroje a díky tomu jsou velice rozšířené ve strojírenské oblasti. Na soustruhu koná hlavní řezný pohyb obrobek a vedlejší pohyb soustružnický nůž (*podélný a příčný posuv*).

Soustruhy můžeme rozdělit na soustruhy hrotové, svislé (*karusely*), revolverové a čelní. Na obrázku č. 31 jsou popsány jednotlivé části univerzálního hrotového soustruhu.



Obr. č. 32 Hlavní části hrotového soustruhu, převzato a upraveno z [16]

- Lože soustruhu – musí být tuhé. Převážně se skládá ze dvou nohou. Lože zachytávají řezné síly a chvění.
- Vřeteník – je v něm uloženo vřeteno soustruhu, zachycuje radiální a axiální síly, které vznikají při obrábění. Vřeteno je duté a je poháněno motorem. Funkcí vřetene je přenášení otáčivého pohybu na obrobek.
- Koník – slouží k podpírání delších obrobků za pomoci upínacího hrotu. Dále slouží k vrtání a při soustružení kuželů.
- Suport – zajišťuje podélný a příčný posuv. Suport se pohybuje po loži soustruhu a to za pomoci vodícího šroubu nebo vodící tyče.
- Posuvová skříň – zajišťuje změnu otáček a směru otáčení vřetene.
- Vodící tyč – zajišťuje podélný nebo příčný posuv.
- Vodící šroub – používá se pro posuv při řezání závitů.

[14]

## 10 Frézování

Frézování je jedním ze základních druhů strojního obrábění. Používá se k obrábění rovinných ploch, drážek, úkosů, ozubených kol atd.

Fréza je vícebřítý řezný nástroj s břity uspořádanými v kruhu. Fréza koná rotační pohyb, který je současně hlavním řezným pohybem. Vedlejší pohyb koná obrobek (*obrobek je upnut převážně v čelistech svěráku, který je připevněn na pohyblivém pracovním stole, který zajišťuje posuv*). Jednotlivé břity (zuby) frézy jsou jen krátkou dobu v záběru, tím je řezná práce rozdělena na všechny břity a díky tomu je možno použít větších řezných rychlostí a s většího posuvu. [4, 14]

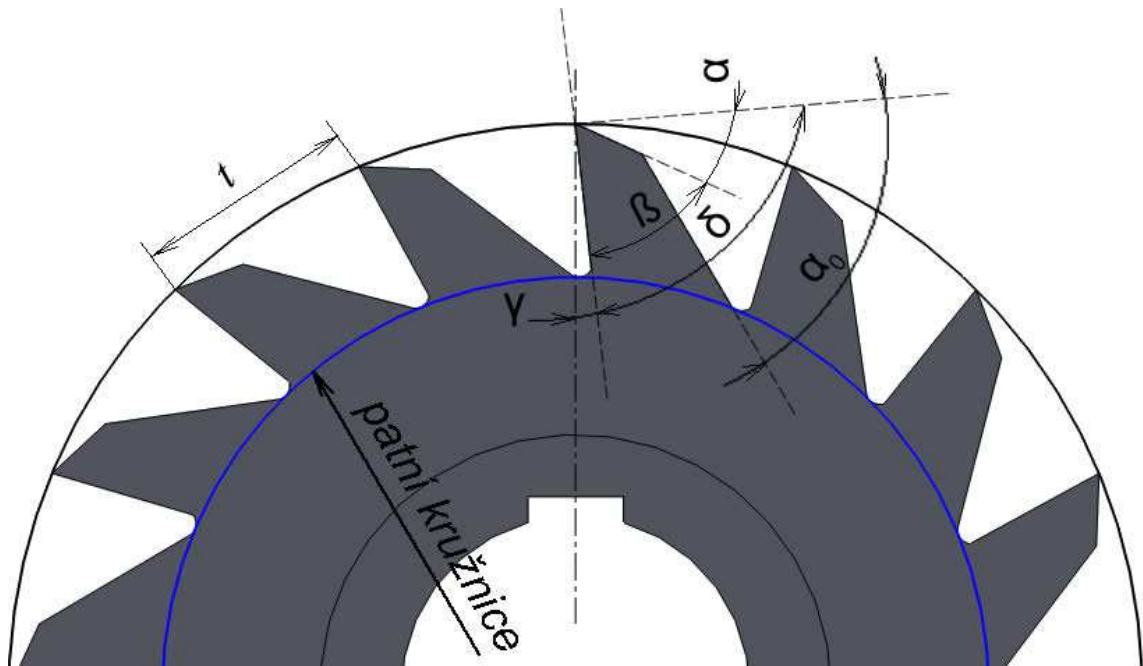
### 10.1 Řezné úhly frézy

Zuby frézy se skládají z tzv. řezných úhlů, které byly definovány v předchozích kapitolách. Na obrázku č. 33 jsou vyznačeny řezné úhly frézy. Jsou to:

- $\alpha$  - úhel hřbetu
- $\beta$  - úhel břitu
- $\gamma$  - úhel čela
- $\delta$  - úhel řezu
- $\alpha_0$  - úhel odklonu ostří
- $t$  - rozteč zubů

Úhel hřbetu bývá u normalizovaných fréz  $7^\circ - 10^\circ$ , u čelních a kotoučových fréz se používá úhel hřbetu  $5^\circ$  a u podsoustružených fréz až  $18^\circ$  v závislosti na tvaru frézy.

Úhel čela je závislý na počtu zubů vzhledem k průměru frézy. [4, 14]

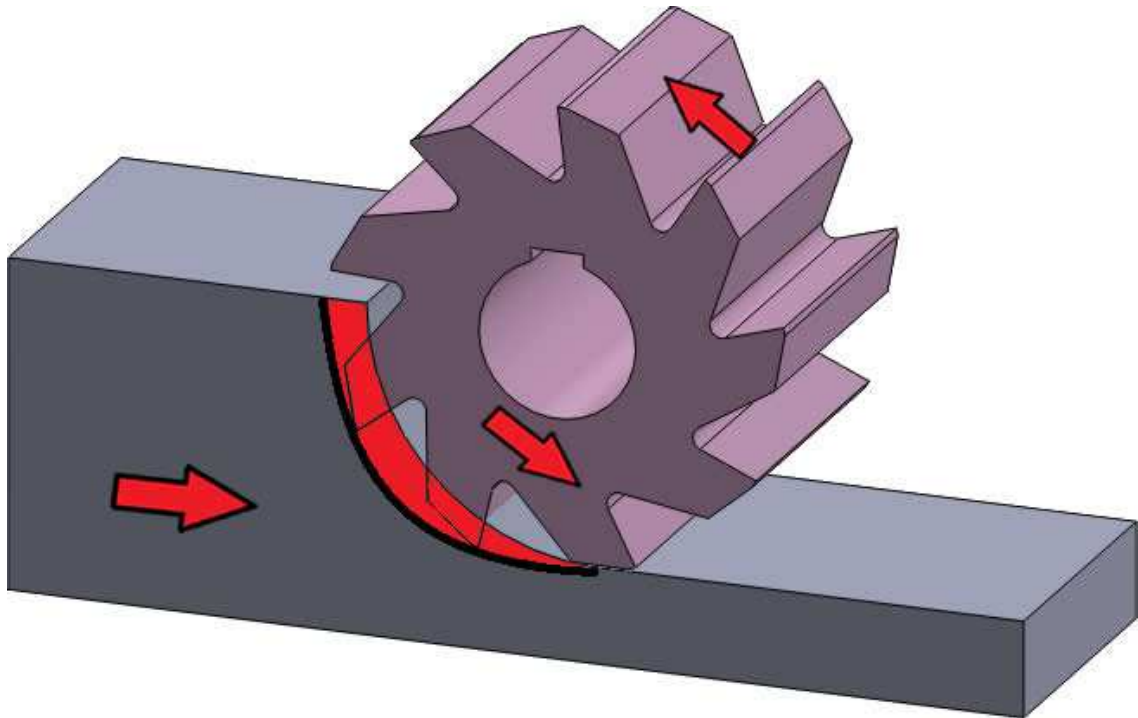


Obr. č. 33 Řezné úhly frézy

## 10.2 Druhy frézování

### 10.2.1 Sousedné frézování

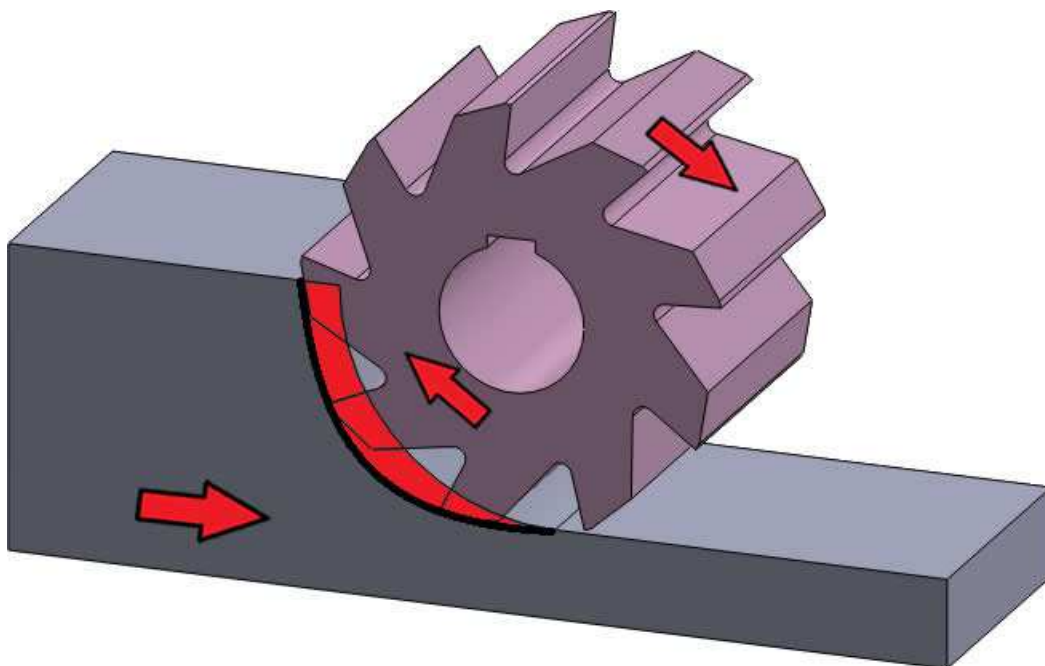
Při sousledném frézování sleduje směr posuvu obrobku směr hlavního pohybu nástroje (*se směrem rotace frézy*). Zuby frézy začínají odřezávat třísku největšího průřezu a končí nejmenším průřezem (obr. č. 34). Z toho plyne, že řezání je rázovité. Výhodou sousledného frézování je menší opotřebení břitu a s tím související vyšší kvalita obrobku než při frézování nesousledném. Řezné síly přitlačují obrobek směrem k upínadlu (bezpečnější upnutí) [4, 14]



Obr. č. 34 Sousedné frézování

### 10.2.2 Nesousedné frézování

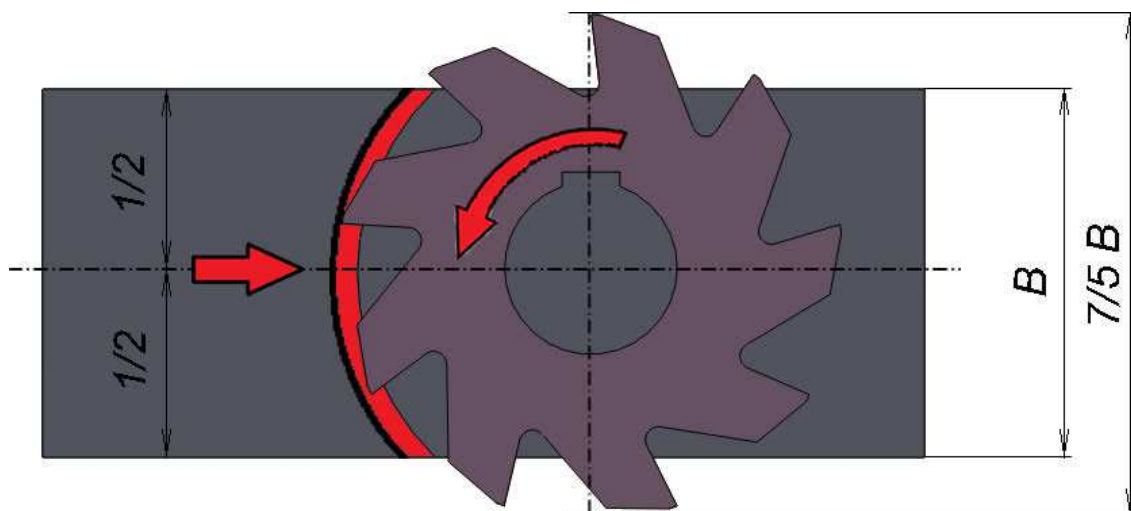
Při nesousedném frézování se obrobek pohybuje proti směru hlavního pohybu nástroje (*proti smyslu otáčení frézy*). Zuby frézy začínají odřezávat třísku nejmenšího průřezu a končí největším průřezem (obr. č. 35). Odřezávání je klidné, bez rázů, na rozdíl od sousledného frézování, kde rázy frézování provázejí. Ostří frézy se nejprve tře po obrobené ploše aniž by se do ní zařízlo. Povrch obráběné plochy se z počátku pouze pružně deformuje pod tlakem ostří. To pronikne do materiálu teprve po překonání elasticity povrchu obrobku. Z tohoto důvodu vzniká méně kvalitní obrobená plocha (*obrobená plocha je často i vlnitá*). Při tomto způsobu obrábění vzniká i větší teplo a řezné síly působí tak, že se snaží vytáhnout obrobek z upínadla (*méně bezpečné upnutí*). Kvalita obrobené plochy je závislá na průměru frézy a to tak, že čím je menší průměr frézy a větší posuv, tím je obrobená plocha horší. [4, 14]



Obr. č. 35 Nesousledné frézování

### 10.3 Frézování rovinných ploch čelními frézami

Při rovinném frézování čelními frézami je osa frézy k obráběné (*obrobené*) ploše kolmá. Je-li průměr frézy v poměru k frézované ploše  $7/5$ , pak je průřez třísky téměř stejný, chod stroje je pak klidný a nenastává téměř žádné chvění (obr. č. 36). K odřezávání materiálu dochází na obvodové (*válcové*) části frézy a čelní zuby pouze hladí obrobený povrch. [14]



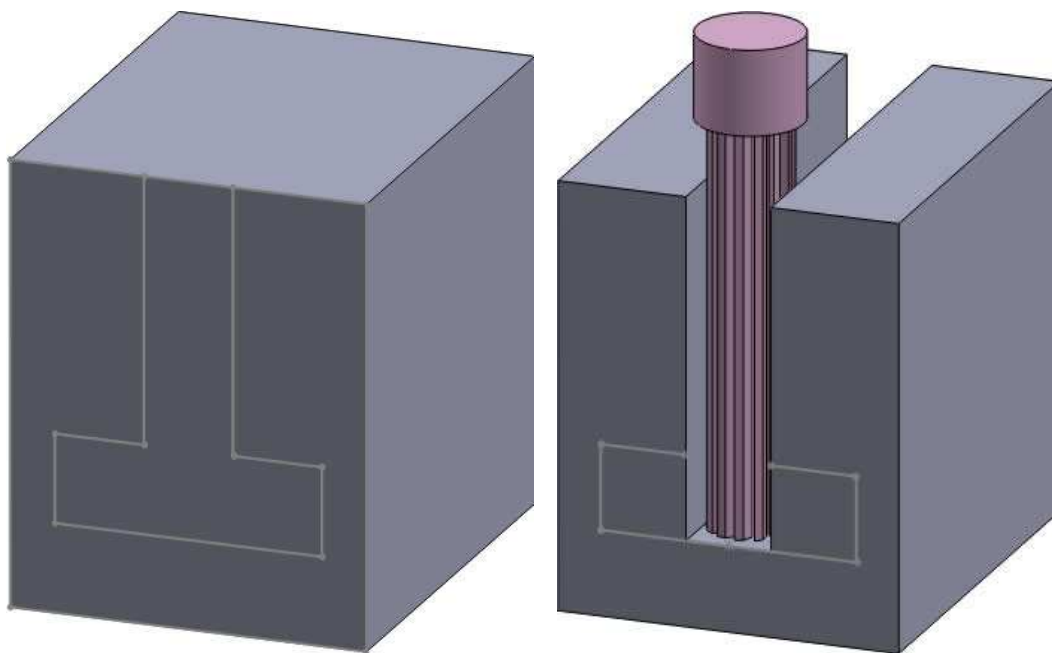
Obr. č. 36 Frézování čelní frézou

## 10.4 Frézování úkosů

Úkosem se rozumí plochy, které spolu svírají jiný úhel než  $90^\circ$  (*šikmé plochy*). Úkosy se dají frézovat úhlovými frézami (*používají se pro úzké šikmé plochy*), které jsou normalizované podle ČSN 22 2240, ČSN 22 2244, ČSN 22 2250, ČSN 22 2254. Dalším způsobem tvorby úkosů je speciální ustavení a upnutí obrobku za pomoci úhlového svěráku. Jde o takové upnutí, kdy je orýsovaná šikmá plocha ve vodorovné nebo svislé poloze, v závislosti na druhu vřetene frézky (*svislé nebo vodorovné*). Takovým to způsobem se dá úkos vytvořit pomocí válcové nebo čelní frézy. Tento způsob tvorby úkosů je vhodný zejména pro kusovou výrobu. [14]

## 10.5 Frézování drážek

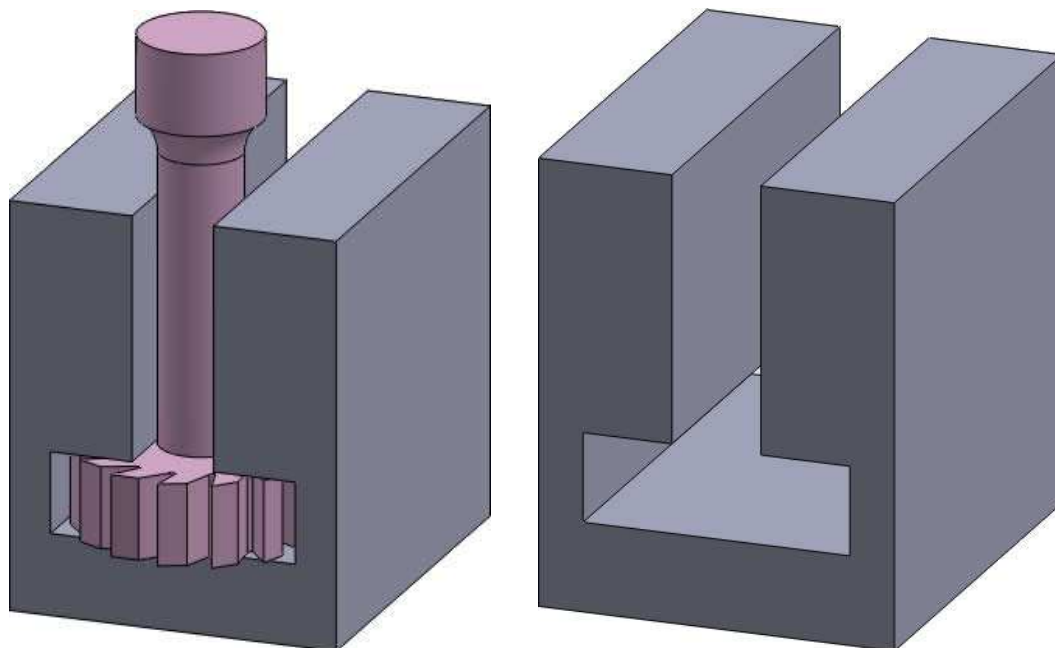
Frézováním na rozdíl od soustružení lze vytvořit různé druhy drážek. Na tvorbu těchto drážek se používají nástroje, které jsou závislé na tvaru drážky. Na následujícím obrázku (obr. č. 37 a, b) je znázorněn postup tvorby drážky tvaru *T*. Nejprve se na obrobku vyfrézuje drážka pomocí stopkové nebo kotoučové frézy o požadované hloubce, šířce a délce. Teprve potom použijeme frézu (*normovanou*) na tvar drážky *T* a dofrézuje drážku.



Obr. č. 37a Drážka frézovaná stopkovou frézou

Je-li drážka průchozí, prořízneme ji nejdříve kotoučovou frézou (*ne čepovou*)





Obr. č. 37 b Dofrézování *T* drážky

Frézy nám dále umožňují tvorbu ozubených kol, drážkových hřídelů atd., které lze provádět za pomoci dělicích přístrojů. Tato oblast není pro naše účely stěžejní a proto se touto problematikou nebudeme dále zabývat. [14]

## 10.6 Značení fréz

Každá fréza obsahuje značku výrobce, hlavní rozměry jako jsou průměr, délka, případně vrcholový úhel nebo poloměr zaoblení. Dále pak obsahuje značku ČSN a číslo normy. V poslední řadě obsahuje také vyznačený nástrojový materiál, ze kterého je daná fréza vyrobena. Příklad značení nástrojových materiálů na fríze:

- N – nástrojová ocel nízkolegovaná
- R – rychlořezná ocel
- RL – odlévané nástroje z rychlořezné oceli

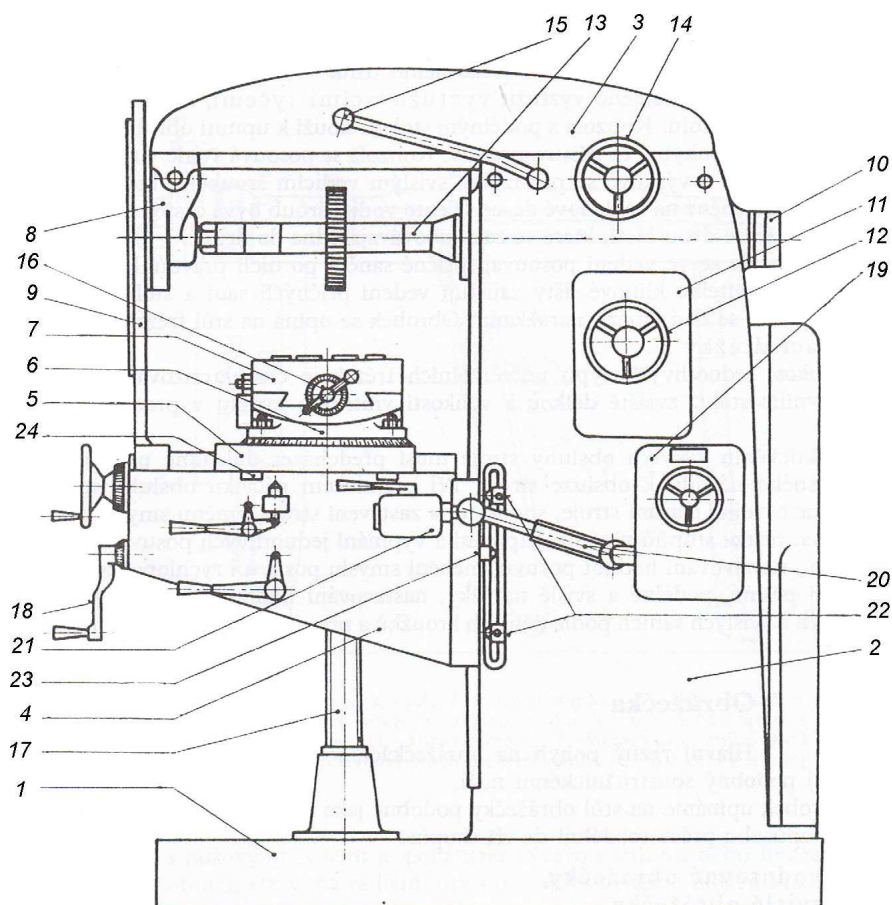
[14]

## 10.7 Frézka

Termínem frézka se rozumí obráběcí stroj, na kterém se obrábí materiál za pomoci řezného nástroje, tedy frézy. Mnoho lidí dnes tyto pojmy (*frézka a fréza*) zaměňuje, nebo slučuje v jeden. Pro proces obrábění je dnes k dispozici celá řada frézek:

- Frézky konzolové
  - svislé
  - vodorovné
  - univerzální
- Frézky s výškově stavitelným vřeteníkem
- Frézky speciální

Největší zastoupení mají však frézky univerzální, které zajišťují velký rozsah operací (Obr. č. 38). Lze na nich obrábět šikmé plochy, šroubovitě drážky, šikmé ozubení atd.



Obr. č. 38 Univerzální frézka, převzato a upraveno z [14]

Popis obrázku č 38.: 1) základová deska, 2) stojan, 3) výsuvné rameno, 4) konzola, 5) příčné saně, 6) otočná deska, 7) podélný stůl, 8) podpěrné rameno s ložiskem, 9) vyztužovací tyče, 10) vřeteno, 11) rychlostní skříň pro vřeteno, 12) ruční kolo na otáčkové stupně vřetene, 13) frézovací trn, 14) ruční kolo k posouvání výsuvného ramena, 15) spouštěcí páka, 16) klika pro ruční podélný posuv, 17) svislý vodící šroub, 18) klika pro svislý posuv, 19) převodová skříň pro posuvy, 20) dvoudílný kloubový hřídel, 21) vratné kuželové soukolí, 22) narážka pro svislý posuv, 23) narážkový kolík, 24) narážky příčného posuvu. [14]

Základem frézky je stojan, který nese všechny části stroje. Řezný pohyb je na nástroj přenášen pomocí frézovacího vřetene, kde se do jeho kuželové dutiny upínají nástroje. Obrobek se na frézkách upíná do stavitelného svěráku, který je připevněna na stole frézky, nebo přímo na stůl za pomoci upínacích *T* drážek. [14]

## 11 Závěr

Cílem předložené diplomové práce bylo podrobné seznámení se s problematikou teorie třískového obrábění kovů a vyhledání dalších zdrojů zabývajících se touto problematikou. Dále pak seznámení se s 3D CAD programem SolidWorks a osvojení si práce v tomto programu. Jako hlavní cíl jsem si stanovil vytvořit přehledný a srozumitelný výukový materiál, který bude využíván k výkladu v hodinách předmětu „Technická praktika – strojní obrábění kovů“ a jsem přesvědčen, že se mi tohoto cíle podařilo dosáhnout.

V úvodu jsem se věnoval souhrnnému a systematickému uspořádání základních pojmů, jejichž definování je nezbytné pro pochopení následujících kapitol. V dalších kapitolách jsem se zabýval geometrií břitu, nástrojovými materiály, tvorbou třísky, prací a silou které vznikají při obrábění, teplotou a teplem vznikajícím při obrábění, a v neposlední řadě také ekonomickými faktory působící na obrábění. Dále jsem realizoval rozbor důsledků změn řezných podmínek a to zejména změny úhlu  $\chi$  a  $\chi'$ . Závěr práce tvoří popis základních druhů obrábění frézováním a soustružením a předpokládám, že tato didakticky pojatá část bude dobrou pomůckou pro výuku téma třískového obrábění na školách.

V práci je zakomponována tvorba 3D obrázků tvořených v programu SolidWorks doplněná popisky, jejichž vytvoření program SolidWorks neumožňuje. Tyto popisky jsou vytvořeny pomocí grafického programu Fireworks. Domnívám se, že především tyto obrázky budou dobře použitelné v další pedagogické praxi.

V rámci práce se mi podařilo vypracovat ucelený, přehledný, jednoduchý a srozumitelný text, který lze použít pro výuku dané problematiky nejen na Pedagogické fakultě Jihočeské univerzity. Důkladné seznámení se s programem SolidWorks mě velmi obohatilo. Jsem přesvědčen, že schopnost pracovat v tomto programu je pro mě přínosem a rozšíří možnosti mého uplatnění na trhu práce.

## 12 Seznam použitých zdrojů

Literatura:

- [1] SCHMIDT, E. a kol. *Příručka řezných nástrojů*. Praha: SNTL – nakladatelství technické literatury, 2001. ISBN Neuvedeno.
  
- [2] GAZDA, J. *Teorie obrábění – Průvodce tvorbou třísky*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004. ISBN 80-7083-789-6.
  
- [3] LEINVEBER, J. VÁVRA, M., *Strojírenské tabulky*. Úvaly: ALBRA – Pedagogické nakladatelství, 2003. ISBN 80-86490-74-2.
  
- [4] HLUCHÝ, M., HANĚK, V. *Strojírenská technologie 2 – 2.díl – Koroze, základy obrábění, výrobní postupy*. Praha: SNTL – nakladatelství technické literatury, 1998. ISBN 80-7183-127-1.
  
- [5] HLUCHÝ, M. a kol. *Strojírenská technologie*. Praha: SNTL – nakladatelství technické literatury, 1979. ISBN Neuvedeno.
  
- [6] BOTHE, O. *Strojírenská technologie II - pro strojírenské učební obory*. Praha: SOBOTÁLES, 1999. ISBN 80-85920-58-1.
  
- [7] FOREJT, M., PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: FSI VUT, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. ISBN 80-214-2374-9.
  
- [8] VÁVRA, J., LEINVEBER, J. *Strojírenské tabulky*. Praha: ALBRA – Pedagogické nakladatelství, 2006. ISBN 80-7361-033-7.
  
- [9] ŘASA, J., ŠVERCL, J. *Strojírenské tabulky 2 pro školu a praxi*. Praha: SCIENTIA, s.r.o., 2007. ISBN 978-80-86960-20-3621.
  
- [10] AB SANDVIK COROMANT – SANDIK CZ, s.r.o. *Příručka obrábění – Kniha pro praktiky*. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. ISBN 91-97 22 99-4-6.

- [11] BRICHTA, J. *Obrábění I. – návody pro cvičení – 1.část*. Ostrava: VŠB–TU, 1998. ISBN 80-7078-436-9.
- [12] BULÁNEK, J. *Teorie třískového obrábění kovů*. České Budějovice, 2008. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Pedagogická fakulta. Katedra fyziky. Vedoucí práce B. Veselý.
- [13] VLÁČILOVÍ, H. a kol. *Základy práce v CAD systému SolidWorks*. Brno: Computer Press, a.s., 2007. ISBN 80-251-1314-0.
- [14] VESELÝ, B. *Technická praktika strojního obrábění kovů*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Pedagogická fakulta, 1994. ISBN 80-7040-116-8.

Internetové zdroje:

- [15] ČEP, R. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu - disertační práce*. Ostrava: VŠB–TU Ostrava Fakulta strojní, 2005.  
[http://home.vsb.cz/robert.cep/PDF/disertacni\\_prace.pdf](http://home.vsb.cz/robert.cep/PDF/disertacni_prace.pdf) , 20.4.2008.
- [16] Druhy soustruhů. <http://www.tumlikovo.cz/druhy-soustruhu/> , 11.5.2011.
- [17] HRAZDIL, J. *Technické normy*. [www.normy.biz](http://www.normy.biz) , 23.9. 2011.
- [18] SAINT–GOBAIN Advanced Ceramics, s.r.o., *Břitové destičky z řezné keramiky*.  
<http://www.sgac-turnov.cz/index.php?content=210&lang=cs> , 11.5.2011.
- [19] HABILIS TOOLS, *Diamantové frézy ECONOMY* <http://www.truhlarske-nastroje.cz/katalog/drevoobrabeci-nastroje-5/stopkove-frezy-15/diamantove-54/diamantove-frezy-economy-171/> , 20.6. 2011.

## 13 Přílohy:

Příloha č. 1 – Konstrukční oceli ke tváření

Příloha č. 2 – Nástrojové materiály (rozdělení a značení nástrojových ocelí)

Příloha č. 3 – Řezný odpor

Příloha č. 4 – Přídavky na obrábění (*soustružení*)

Příloha č. 5 – Přídavky na obrábění (*frézování*)

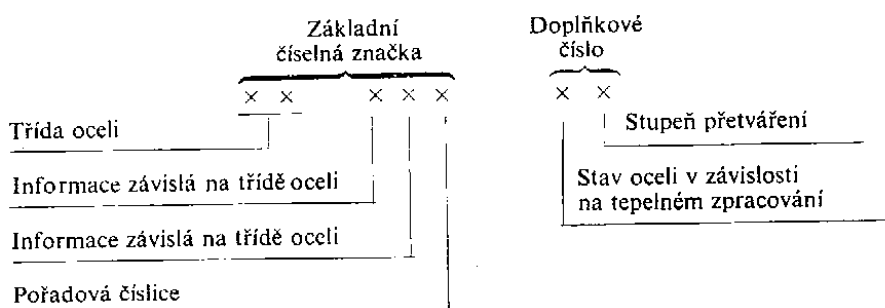
## KONSTRUKČNÍ OCELI KE TVÁŘENÍ

Výběr z ČSN 42 0002

### ČÍSELNÉ OZNAČOVÁNÍ A ROZDĚLENÍ OCELÍ K TVÁŘENÍ

Oceli ke tváření se označují číselně a toto označení se skládá ze **základní číselné značky** a **doplňkového čísla** odděleného tečkou.

Schéma číselného označení



**Základní číselná značka** je pětimístné číslo, označující základní materiál.

První číslice v základní značce je 1 a označuje tvářenou ocel.

Druhá číslice ve spojení s první označuje třídu oceli (tab. 2).

Třetí a čtvrtá číslice mají různý význam podle třídy oceli.

Doplňkové číslo má jednu nebo dvě doplňkové číslice, jejichž význam je v tab. 3.

Podle stupně legování, daného součtem středních obsahů legovacích prvků, se oceli rozdělují takto:

**nelegované** (uhlíkové) s tímto max. obsahem prvků (%):  
 0,9 Mn, 0,5 Si, 0,3 Cr, 0,5 Ni, 0,3 Cu, 0,2 W, 0,2 Co, ostatní, tj. Mo, V, Ti, Al, Nb, Zr a Pb jednotlivě 0,1;

**legované** – střední obsah kteréhokoliv z uvedených prvků vyšší než uvedené hodnoty.

Podle středního nebo maximálního obsahu uhlíku se nelegované oceli rozdělují takto (tab. 1):

Tab. 1

Ocel	Obsah C (%)
nízkouhlíková	do 0,25
středněuhlíková	od 0,25 do 0,60
vysokouhlíková	nad 0,60



## NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY

Výběr z ČSN 42 002

### ROZDĚLENÍ A OZNAČOVÁNÍ NÁSTROJOVÝCH OCELI

Tyto oceli třídy 19 se rozdělují na nelegované a legované.

Schéma číselného označení a význam prvního dvojčíslí v základní číselné značce je na str. 384.

Třetí číslice v základní číselné značce charakterizuje jednak nelegované oceli, jednak typ legování oceli jednotlivými legovacími prvky nebo skupinou hlavních legovacích prvků.

Význam třetí číslice

Třetí číslice	Druh oceli	Třetí číslice	Druh oceli
0	nelegované oceli	6	oceli legované Ni - Cr, Ni - Cr - V, Ni - Cr - W, Ni - Mo - Cr, Ni - Cr - Mo - V, Ni - Cr - W - V, Ni - Cr - W - Mo, Ni - Cr - W - Si, Ni - Cr - W - Si - V
1			
2			
3	oceli legované Mn, Si, V, Mn - Si, Mn - V, Mn - Cr - V, Mn - Cr - W - V	7	oceli legované W, W - Cr, W - V, W - Cr - Mn, W - Cr - Si, W - Cr - V, W - Cr - Si - V, W - Cr - Ni - V, W - Cr - V - Co
4	oceli legované Cr, Cr - Mn, Cr - Al, Cr - V, Cr - Si, Cr - Mn - V, Cr - Si - V, Cr - W - V, Cr - Mn - Si - V	8	rychlěžné oceli, legované W - Cr - V, W - Cr - Mo - V, W - Cr - V - Co, W - Cr - Mo - V - Co
5	oceli legované Cr - Mo, Cr - Mo - Mn, Cr - Mo - V, Cr - Mo - Si - V, Cr - Mo - W - V, Cr - Mo - Ni - V - Co, Cr - Mo - W - Si - V	9	speciální oceli jako např. vytvrzované oceli typu Ni - Co - Mo - Ti

U nelegovaných ocelí vyjadřuje dvojčíslí z třetí a čtvrté číslice střední obsah C odstupňovaný po 0,01 % např.: 00—0,05 % C, 01—0,1 % C, 02—0,15 % C, 03—0,2 % C, 27—1,4 % C, 28—1,45 % C, 29 — 1,5 % C a více.

Obsah uhlíků ovlivňuje též tvrdost oceli. Podle toho jsou oceli: velmi houževnaté — do 0,7 % C, houževnaté tvrdé — 0,8 až 0,9 % C, tvrdé — 1,25 až 1,35 % C a tvrdé s obsahem nad 1,4 % C.

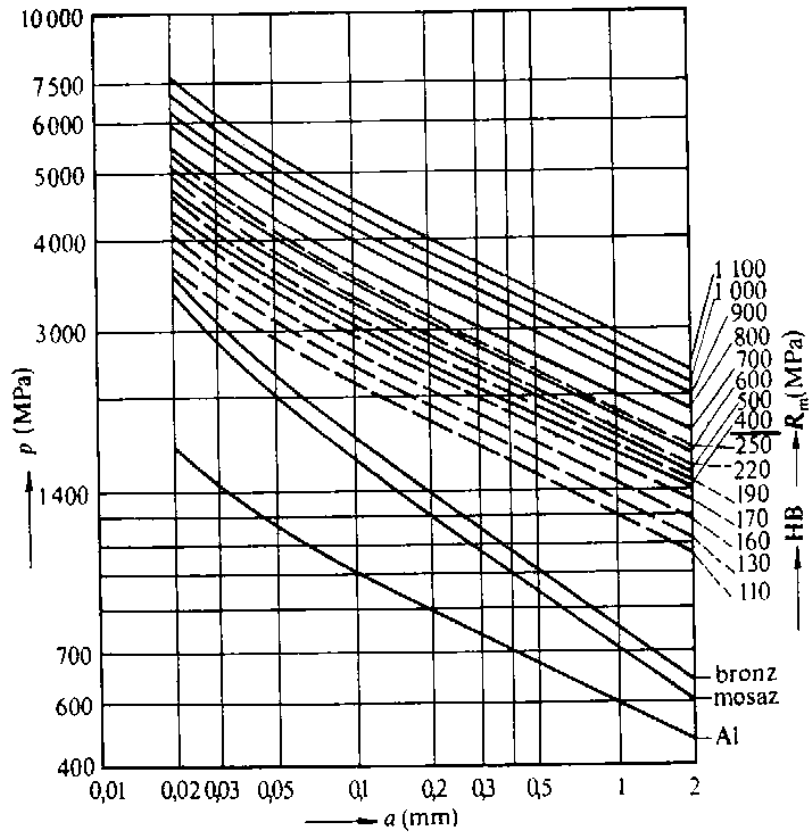
U legovaných ocelí má čtvrtá číslice význam pořadový.

Přísadové prvky W, Cr, V, Mo, Co, zajišťují vysokou tvrdost za vyšších teplot (do 600 °C)

### ŘEZNÝ ODPOR

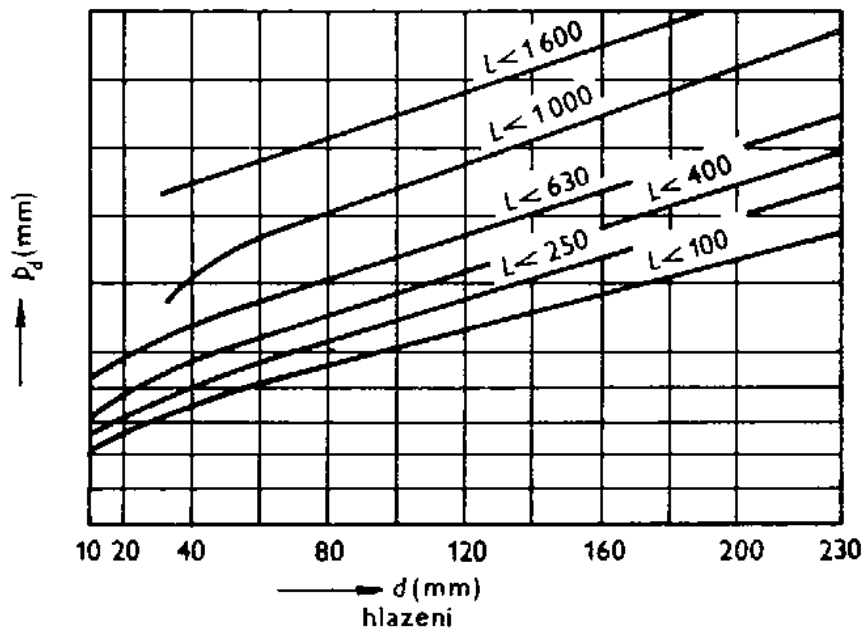
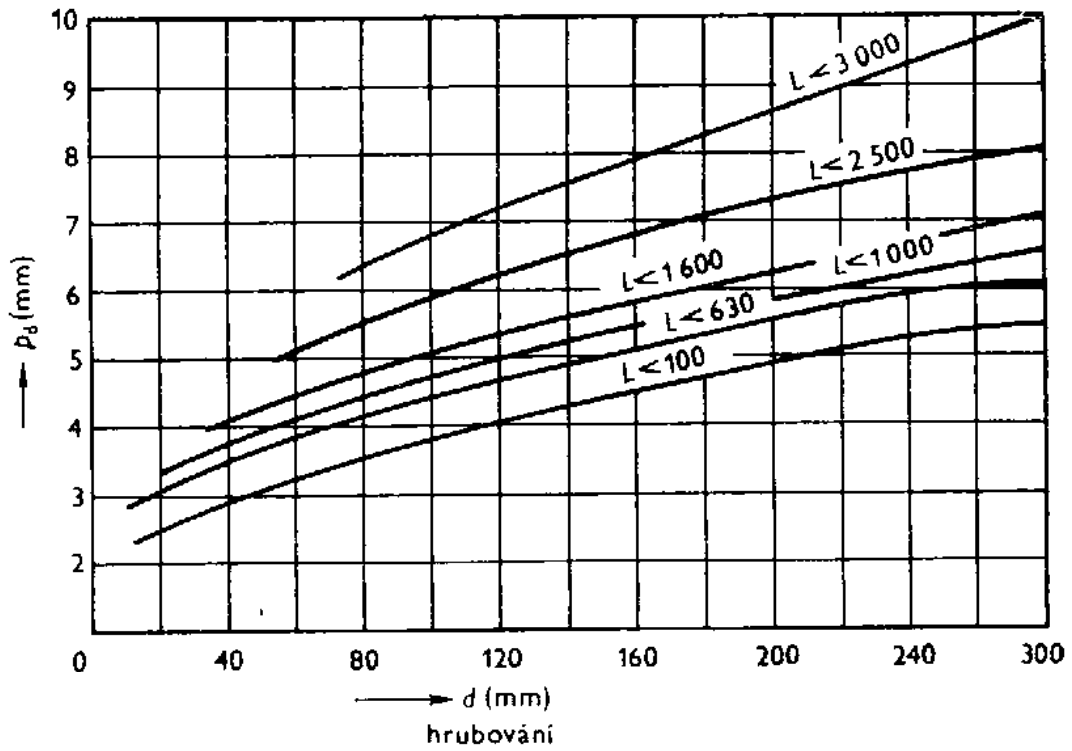
Řezný odpor je odpor materiálu proti působení řezné síly  $F_z$ , vztažený na plochu třísky  $1 \text{ mm}^2$

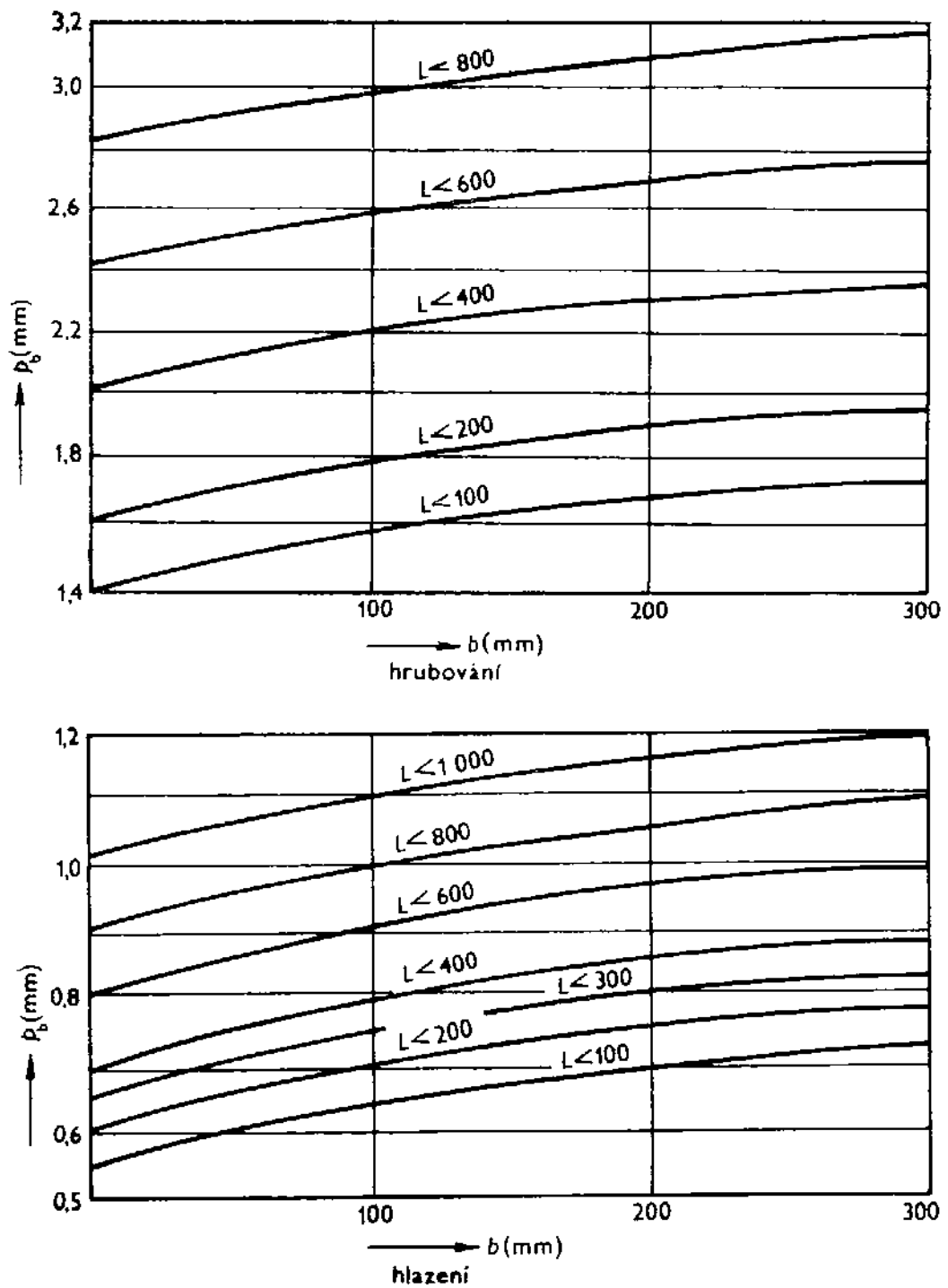
$$p = F_z/S$$



Obr. 1. Směrné střední hodnoty řezného odporu při běžných řezných podmínkách a běžné geometrii nástroje

### PŘÍDAVKY NA OBRÁBĚNÍ





Obr. 2. Přidavky pro frézování a hoblování rovinných ploch