



**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**



# **NOVÉ SMĚRY V PROGRESIVNÍM OBRÁBĚNÍ**

**učební text**

**Josef Brychta, Robert Čep, Marek Sadílek,  
Lenka Petřková, Jana Nováková**

**Ostrava 2007**

Recenze: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Název: **Nové směry v progresivním obrábění**  
Autor: **Josef Brychta, Robert Čep, Marek Sadílek, Lenka Petřkovská, Jana Nováková**  
Vydání: první, 2007  
Počet stran: 251  
Náklad: 200  
Vydavatel a tisk: Ediční středisko VŠB – TUO

Studijní materiály pro studijní obor strojírenská technologie Fakulty strojní  
Jazyková korektura: nebyla provedena.

**Určeno pro projekt:**

Operační program Rozvoj lidských zdrojů  
Název: E-learningové prvky pro podporu výuky odborných a technických předmětů  
Číslo: CZ.O4.01.3/3.2.15.2/0326  
Realizace: VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Projekt je spolufinancován z prostředků ESF a státního rozpočtu ČR

© Josef Brychta, Robert Čep, Marek Sadílek, Jana Nováková, Lenka Petřkovská  
© VŠB – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-1505-3

## Obsah:

**Předmět :** Nové směry v progresivním obrábění  
**Garant:** doc. Dr. Ing. Josef BRYCHTA

**Autorský kolektiv:** doc. Dr. Ing. Josef Brychta  
Ing. Robert Čep Ph.D.  
Ing. Marek Sadílek Ph.D.  
Ing. et Ing. Mgr. Jana Nováková,  
Ing. Lenka Petřkovská

**Techničtí pracovníci a jejich role:** Ing. Petr Foltýn Ph.D., (programátor, kameraman):

**Osnova předmětu** s vyznačením hotových částí (na které se navazuje) a plánem nových částí  
Autorská část (12 AA) názvy a rozsahy kapitol technologie obrábění

1. Nové trendy v technologii obrábění (Čep, Petřkovská)
2. Současná teorie obrábění (Brychta, Sadílek)
3. Progresivní metody v třískovém obrábění (Brychta, Nováková)

Názvy a rozsahy skupin otázek (konkrétní obsah je uveden vždy u každé kapitoly)

### 1. Nové trendy v technologii obrábění

- 1.1 Vybrané pojmy a definice třískového obrábění
- 1.2 Produktivní operace třískového obrábění
- 1.3 Určování síly řezání a jejich složek
- 1.4 TPV a zásady tvorby technologických postupů
- 1.5 Základy metrologie a kontrola součástí
- 1.6 Technologie montáže a montážní postupy

### 2. Současná teorie obrábění

- 2.1 Metody určování řezivosti a obrobitelnosti
- 2.2 Teorie vzniku a tvorby třísky
- 2.3 Vliv řezných parametrů na tvorbu třísky
- 2.4 Kritéria v optimalizaci řezných parametrů
- 2.5 Omezení v optimalizaci řezných parametrů

### 3. Progresivní metody v třískovém obrábění

- 3.1 Zásady hospodárneho vysokovýkonného obrábění
- 3.2 Aspekty vysokorychlostního – HSC obrábění
- 3.3 Výkonnostní – HVC obrábění
- 3.4 Problematika posouzení externích zakázek

## POKYNY KE STUDIU

### Nové směry v progresivním obrábění

Pro předmět Nové směry v progresivním obrábění 7. semestru kombinovaného studia oboru strojírenská technologie jste obdrželi studijní balík obsahující

- integrované skriptum pro distanční studium obsahující i pokyny ke studiu
- CD-ROM s doplňkovými animacemi vybraných částí kapitol
- harmonogram průběhu semestru a rozvrh prezenční části
- rozdělení studentů do skupin k jednotlivým tutorům a kontakty na tutorý
- kontakt na studijní oddělení

#### Prerekvizity

Pro studium tohoto předmětu se předpokládá absolvování předmětu Základy strojírenské technologie II (nebo střední průmyslové školy), Technologie II,

#### Cílem předmětu

je seznámení s nejdůležitějšími pojmy v technologii a teorii třískového obrábění. Po prostudování modulu by měl student nabyt a pochopit nové teoretické vědomosti, metody a trendy, které pro něj budou nezbytné a prospěšné pro rychlé a aktivní zapojení do současné výrobní praxe

#### Pro koho je předmět určen

Modul je zařazen do **bakalářského** i **magisterského** studia oborů strojírenská technologie studijního programu **kombinovaného** i **prezenčního**, ale může jej studovat i zájemce z kteréhokoliv jiného oboru, pokud splňuje požadované prerekvizity.

Skriptum se dělí na části, kapitoly, které odpovídají logickému dělení studované látky, ale nejsou stejně obsáhlé. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může výrazně lišit, proto jsou velké kapitoly děleny dále na číslované podkapitoly a těm odpovídá níže popsaná struktura.

#### Při studiu každé kapitoly doporučujeme následující postup:



**Čas ke studiu:** xx hodin

Na úvod kapitoly je uveden **čas** potřebný k prostudování látky. Čas je orientační a může vám sloužit jako hrubé vodítko pro rozvržení studia celého předmětu či kapitoly. Někomu se čas může zdát příliš dlouhý, někomu naopak. Jsou studenti, kteří se s touto problematikou ještě nikdy neseťkali a naopak takoví, kteří již v tomto oboru mají bohaté zkušenosti.



**Cíl:** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsat ...
- definovat ...
- vyřešit ...

Ihned potom jsou uvedeny cíle, kterých máte dosáhnout po prostudování této kapitoly – konkrétní dovednosti, znalosti.



## Výklad

Následuje vlastní výklad studované látky, zavedení nových pojmů, jejich vysvětlení, vše doprovázeno obrázky, tabulkami, řešenými příklady, odkazy na animace.



## Shrnutí kapitoly

Na závěr kapitoly jsou zopakovány hlavní pojmy, které si v ní máte osvojit. Pokud některému z nich ještě nerozumíte, vraťte se k nim ještě jednou.



## Kontrolní otázka

Pro ověření, že jste dobře a úplně látku kapitoly zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek.



## Úkol k řešení

Protože většina teoretických pojmů tohoto předmětu má bezprostřední význam a využití v databázové praxi, jsou Vám nakonec předkládány i praktické úlohy k řešení. V nich je hlavní význam předmětu a schopnost aplikovat čerstvě nabyté znalosti při řešení reálných situací hlavním cílem předmětu.



## Klíč k řešení

Výsledky zadaných příkladů i teoretických otázek výše jsou uvedeny v závěru učebnice v Klíči k řešení. Používejte je až po vlastním vyřešení úloh, jen tak si samokontrolou ověříte, že jste obsah kapitoly skutečně úplně zvládli.

**OBSAH:**

<b>1. NOVÉ TRENDY V TECHNOLOGII OBRÁBĚNÍ.....</b>	<b>2</b>
1.1. VYBRANÉ POJMY A DEFINICE TRÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ .....	3
<b>q</b> <i>Obecné pojmy a terminologie .....</i>	<i>3</i>
<b>q</b> <i>Rozdělení metod obrábění .....</i>	<i>4</i>
<b>q</b> <i>Obrobek.....</i>	<i>5</i>
<b>q</b> <i>Řezný nástroj .....</i>	<i>5</i>
<b>q</b> <i>Pohyby při obrábění.....</i>	<i>7</i>
<b>q</b> <i>Geometrie obráběcích nástrojů.....</i>	<i>8</i>
<b>q</b> <i>Volba geometrických parametrů břitů.....</i>	<i>14</i>
1.2. PRODUKTIVNÍ OPERACE TRÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ .....	16
<b>q</b> <i>Soustružení .....</i>	<i>17</i>
<b>q</b> <i>Frézování.....</i>	<i>28</i>
<b>q</b> <i>Vrtání, vyhrubování, vystružování, vyvrtávání.....</i>	<i>42</i>
<b>q</b> <i>Hoblování a obrážení.....</i>	<i>55</i>
<b>q</b> <i>Protahování a protlačování.....</i>	<i>59</i>
<b>q</b> <i>Broušení .....</i>	<i>61</i>
<b>q</b> <i>Dělení materiálu .....</i>	<i>74</i>
1.3. URČOVÁNÍ SÍLY ŘEZÁNÍ A JEJICH SLOŽEK.....	81
<b>q</b> <i>4.1 Přímé měření sil a momentů .....</i>	<i>85</i>
<b>q</b> <i>Cejchování dynamometrů.....</i>	<i>92</i>
<b>q</b> <i>Nepřímé měření sil a momentů .....</i>	<i>92</i>
1.4. TPV A ZÁSADY TVORBY TECHNOLOGICKÝCH POSTUPŮ.....	94
<b>q</b> <i>Technologický postup a jeho členění.....</i>	<i>95</i>
<b>q</b> <i>Volba základen.....</i>	<i>97</i>
<b>q</b> <i>Sled operací.....</i>	<i>98</i>
<b>q</b> <i>Zásady pro vypracování technologického postupu.....</i>	<i>98</i>
<b>q</b> <i>Technologičnost konstrukce výrobku.....</i>	<i>99</i>
1.5. ZÁKLADY METROLOGIE A KONTROLA SOUČÁSTÍ.....	101
<b>q</b> <i>Základní pojmy .....</i>	<i>102</i>
<b>q</b> <i>Měřicí soustava SI.....</i>	<i>103</i>
<b>q</b> <i>Chyby měření, jejich příčiny a členění .....</i>	<i>105</i>
<b>q</b> <i>Struktura povrchu .....</i>	<i>110</i>
<b>q</b> <i>Měření drsnosti povrchu.....</i>	<i>112</i>
<b>q</b> <i>Základní měřidla.....</i>	<i>113</i>
<b>q</b> <i>Měření úchylek tvaru a polohy.....</i>	<i>116</i>
1.6. TECHNOLOGIE MONTÁŽE A MONTÁŽNÍ POSTUPY .....	119
<b>q</b> <i>Členění montážního procesu.....</i>	<i>121</i>
<b>q</b> <i>Druhy montáže.....</i>	<i>121</i>
<b>q</b> <i>Analýza rozměrových řetězců .....</i>	<i>124</i>
<b>q</b> <i>Metody montáže .....</i>	<i>127</i>
<b>q</b> <i>Přesnost výroby a její vliv na náklady montáže .....</i>	<i>129</i>

# 1. NOVÉ TRENDY V TECHNOLOGII OBRÁBĚNÍ

## Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

### Budete umět:

- Vybrané **základní pojmy a definice** v třískovém obrábění a celou **geometrii nástrojů** používaných při obrábění.
- Orientovat se v základních produktivních metodách obrábění (**soustružení, frézování, broušení, vrtání a vyvrtávání, vystružování a vyhrubování, hoblování a obrážení, protahování a protlačování, dělení materiálu**).
- Rozlišit jednotlivé **složky síly řezání** a **vliv mnoha vnějších parametrů** na jejich velikost a směr.
- Dělení technologických postupů na jednotlivé části (**operace, úsek, úkon a pohyb**) a znát vhodné metody jeho tvorby při různých typech výroby (**kusová, hromadná, sériová**).
- Orientovat se v základních **jednotkách SI**, včetně odvozených a předpon, znát základy **struktury a drsnosti povrchu** a jeho měření, **základní měřidla** používaná v metrologii, **odchylky polohy a tvaru** důležité pro funkčnost součástí a plně eliminovat **chyby měření**.
- Znat **základy montáže, metody a způsoby** sestavování součástí v jeden celek a **analýzu rozměrových řetězců** pro bezvadnou funkčnost sestavené skupiny.

Budete umět

### Budete schopni:

- Orientovat se v základních problémech nových trendů obrábění a jednoznačně identifikovat obráběcí nástroj.
- Vytvářet základní technologické postupy pro výrobu jednoduchých součástí.
- Měřit síly při obrábění a jejich identifikaci.
- Vybrat si vhodnou metodu obrábění, přiřadit nejvhodnější nástroj a stroj a zvolit základní řezné podmínky pro ekonomickou výrobu vybrané součásti.
- Měřit všechny základní rozměry a parametry ve správných jednotkách včetně určování velikosti chyb měření.
- Vybrat vhodnou metodu a způsob montáže a spočítat jednotlivé tolerance pro plnou funkci celku.

Budete schopni

## 1.1. Vybrané pojmy a definice třískového obrábění



**Čas ke studiu:** 15 hodin



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Obecné pojmy a terminologii obrábění
- Popsat obráběcí nástroj, včetně geometrie
- Rozeznat základní pohyby při obrábění
- Rozdělit metody obrábění



**Výklad**

Technologie obrábění zaujímá ve strojírenské výrobě významné místo. Umožňuje v mnoha technologických procesech vytvořit z polotovaru výrobek požadovaného tvaru, požadované rozměrové přesnosti a jakosti obrobených ploch. Obsahem této kapitoly jsou základní pojmy a definice z teorie procesu řezání.

### α Obecné pojmy a terminologie

*Obrábění* je technologický proces, kterým vytváříme povrchy obrobku určitého tvaru, rozměrů a jakosti, a to odebráním částic materiálu pomocí účinků mechanických, elektrických, chemických apod., případně jejich kombinacemi.

*Řezání* je obrábění, při kterém dochází k odebrání částic materiálu ve tvaru třísky břitem (ostřím, řeznou hranou) řezného nástroje.

*Obrábění* je realizováno v soustavě obrábění (SNOP). Tato soustava se skládá z následujících čtyř částí (rovněž se uvažují pouze tři části absentující přípravek):

- obráběcí stroj (S),
- řezný nástroj (N),
- obrobek (O),
- přípravek (P).

*Obrobek* představuje objekt obráběcího procesu a je to obráběná nebo již obrobená součást či dílec. Z geometrického hlediska je obrobek charakterizován rozměry a tvary jednotlivých ploch.

*Přídavek* je vrstva materiálu mezi obráběnou a obrobenou plochou obrobku, kterou je potřeba odstranit obráběním.

*Odebíraná vrstva* je část přídavku přikloněná k ploše řezu, která je odřezávaná jedním břitem ve formě třísky.

*Tříska* je odříznutá a deformovaná odebíraná vrstva materiálu obrobku.



## q Rozdělení metod obrábění

Obráběcí metody lze dělit podle různých hledisek. Klasifikace metod obrábění využívá různé charakteristiky, jako je vzájemný kontakt nástroje s obrobkem, kombinace variant pohybů stroje, nástroje a obrobku.

Podle charakteru vykonávané práce na:

- ruční,
- strojní.

Ruční obrábění se rozumí práce vykonávané člověkem pomocí ručních nástrojů jako je sekání, pilování, zaškrabávání apod. Patří sem rovněž práce vykonávané pomocí ručně ovládaných strojů, jako jsou ruční elektrické brusky, vrtačky aj. Při ručním obrábění je využívána fyzická síla a manuální zručnost pracovníka. Produktivita ručního obrábění má v současné době vzhledem ke stavu techniky nízkou úroveň. Svůj neopomenutelný význam má ruční obrábění především v údržbě a opravárenství.

V případě strojního obrábění je potřebná energie, která je přiváděna obvykle ve formě elektrické energie k obráběcímu stroji, kde se transformuje v energii mechanickou, využívanou pro realizaci obráběcího procesu.

Dělením obrábění podle charakteristických znaků břitové geometrie nástroje je:

- obrábění s definovanou geometrií břitu (soustružení, frézování, vrtání, vyhrubování, vystružování, vyvrtávání, hoblování a obrážení, protahování aj.),
- obrábění s nedefinovanou geometrií (broušení, honování, lapování aj.),
- nekonvenční metody obrábění (např. elektroerozivní, chemické, ultrazvukem, laserem, soustředěným paprskem),
- úpravy obrobeneých ploch (např. válečkování, leštění, hlazení, brokování).

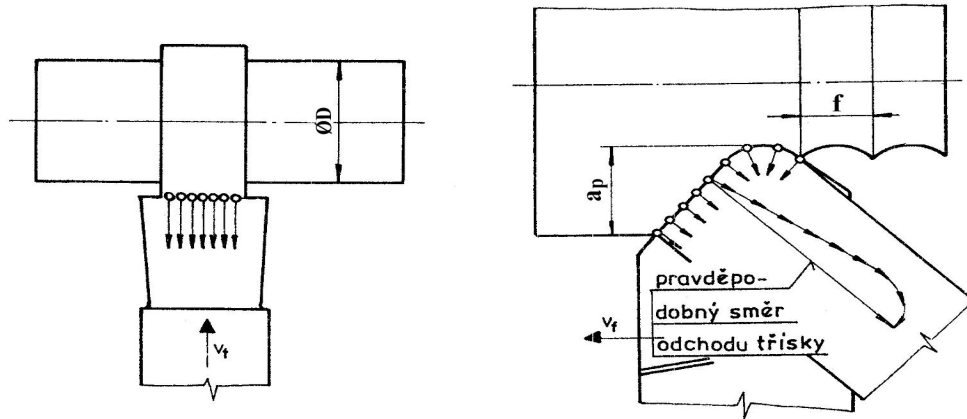
Podle charakteru záběru řezání:

- plynulé řezání, při kterém je řezný klín po celou dobu řezání stále v záběru,
- přerušované řezání, při němž řezný klín střídavě vchází do záběru a vychází ze záběru. Typickým příkladem takového řezání je frézování.

Podle směru přemístování částic materiálu vzhledem k řezné hraně se dělí na:

- volné obrábění, při kterém je směr přemístování částic třísky ve všech bodech řezné hrany stejný,
- vázané obrábění, při kterém se částice třísky pohybují různými směry, v zásadě však kolmo na řeznou hranu.

Soustružení zapichovacím nebo naběracím soustružnickým nožem je typickým příkladem volného řezání viz obr. 1.1.1. Naopak při vázaném řezání určuje výslednice pohybů jednotlivých částic třísky skutečný směr odchodu třísky. Uvedený příklad vázaného řezání na obr. 1.1.1 je podélné soustružení nástrojem se zaoblenou špičkou.



Obr. 1.1.1. Příklad volného a vázaného řezání

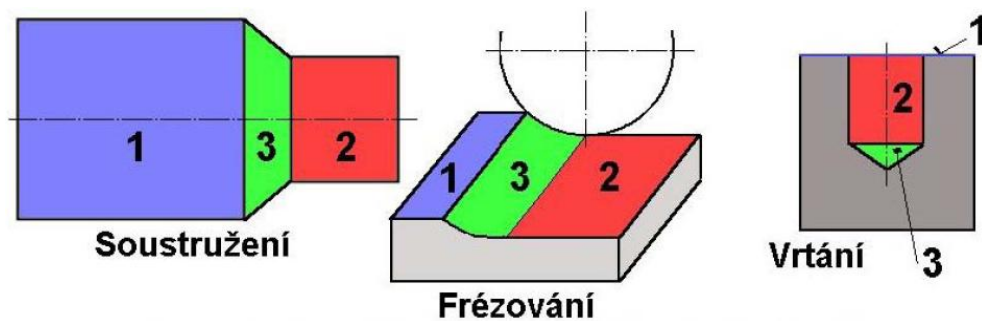
## q Obrobek

Obrobek je z geometrického hlediska charakterizován obráběnou, obrobenou a přechodovou plochou (známa též jako plocha řezu).

*Obráběná plocha* je částí povrchu obrobku odstraňovaná obráběním. Na obr. 1.1.2 je znázorněna modrou barvou a označena číslem 1.

*Obrobená plocha* je plocha na obrobku vzniklá působením řezného nástroje. Na obr. 1.1.2 je tato vytvořená plocha vyznačena červeně a označena čísle 2.

*Přechodová plocha* je okamžitá plocha obrobku vytvářená při obrábění působením ostří řezného nástroje během otáčky nebo zdvihu. Na níže uvedeném obrázku je přechodová plocha znázorněna zelenou barvou s číslem 3.



Obr. 1.1.2. Plochy na obrobku

## q Řezný nástroj

Obráběcí nástroj je aktivním prvkem v soustavě obrábění. Právě nástroj v interakci s obrobkem umožňuje realizaci řezného procesu. Uskutečňuje řezání tím, že svou pracovní částí tj. břitem vniká do materiálu obrobku a odděluje z něho postupně částice ve tvaru třísky. Řezné nástroje se skládají z těchto základních částí.

*Řezná část* je funkční část nástroje, která obsahuje prvky tvořící třísku (viz obr. 1.1.3, označeno 3). Patří sem zejména ostří, čelo a hřbet. V případě vícebřitého (vícezubého) nástroje má každý břit (zub) svou řeznou část.

*Břit* je prvek řezné části nástroje ohraničený čelem a hřbetem. Je to klínovitá část nástroje vnikající do obrobku. Plochy tvořící tento klín zobrazuje obr. 1.1.3.

*Upínací část (stopka)* je část nástroje, která slouží k upínání do obráběcího stroje (viz obr. 1.1.3, označeno 1).

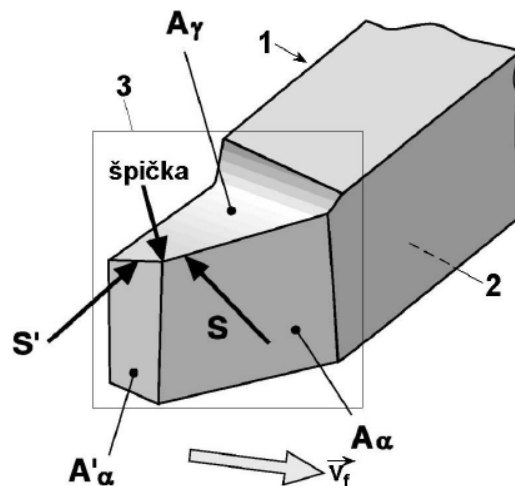
*Základna* je plochý prvek stopky nástroje sloužící pro umístění a orientaci nástroje při výrobě, kontrole a ostření. Ne všechny nástroje mají jednoznačně určenou základnu (viz obr. 1.1.3, označeno 2).

*Plochy na nástroji* se označují symboly, které se skládají z písmene A a z indexu řecké abecedy označující druh plochy (např.  $A_\gamma$  - čelo). Plochy přiřazené k vedlejšímu ostří se označují s čárkou (např.  $A'_\alpha$  - vedlejší hřbet).

*Hřbet nástroje  $A_\alpha$*  je plocha nebo souhrn ploch, které při řezném procesu směřují k ploše obrobku. Hlavní hřbet  $A_\alpha$  směřuje k přechodové ploše obrobku, vedlejší hřbet  $A'_\alpha$  směřuje k obrobené ploše obrobku viz obr. 1.1.3.

*Čelo nástroje  $A_\gamma$*  je plocha nebo souhrn ploch, po kterých odchází třísky. Tvar čela určuje křivka vytvořená průřezem plochy čela  $A_\gamma$  s požadovanou rovinou, přičemž je tento tvar obvykle definovaný a měřený v nástrojové rovině ostří  $P_n$ .

*Utvařec třísky* je část čelní plochy určené k lámání nebo svinování třísky. Mohou být vylisovány nebo přiloženy na čelo nástroje.



Obr. 1.1.3. Části, plochy a ostří na řezné části soustružnického nože

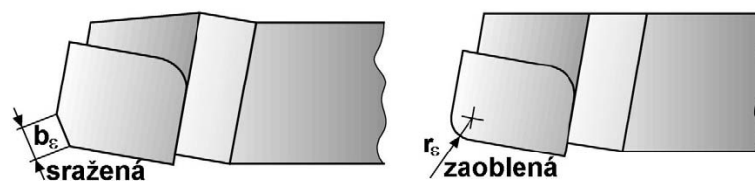
*Ostří* je prvek řezné části, kterým se realizuje vlastní proces řezání. Je průřeznicí hřbetu a čela.

*Hlavní ostří  $S$*  je část ostří, která má sloužit k vytvoření přechodové plochy na obrobku.

*Vedlejší ostří  $S'$*  provádí dokončovací práci na obrobené ploše, ale nevytváří plochu přechodovou.

*Uvažovaný bod ostří* je bod nacházející se v kterémkoliv místě hlavního nebo vedlejšího ostří, ve kterém se nachází počátek souřadnicového systému.

*Špička nástroje* je relativně malá část ostří nacházející se na spojnici hlavního a vedlejšího ostří. Může být přímá (sražená) nebo zaoblená.



Obr. 1.1.4. Špička nástroje

## q Pohyby při obrábění

*Hlavní řezný pohyb* je vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem, který realizuje obráběcí stroj. Směr hlavního řezného pohybu je definován jako směr okamžitého hlavního pohybu uvažovaného bodu ostří.

*Řezná rychlost*  $v_c$  je vyjádřena jako okamžitá rychlost hlavního řezného pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku.

*Posuvový pohyb* (vedlejší řezný pohyb) je realizován jako další relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem. U některých způsobů obrábění tento pohyb není.

*Posuvová rychlost*  $v_f$  je určena jako okamžitá rychlost posuvového pohybu v uvažovaném bodě ostří vzhledem k obrobku.

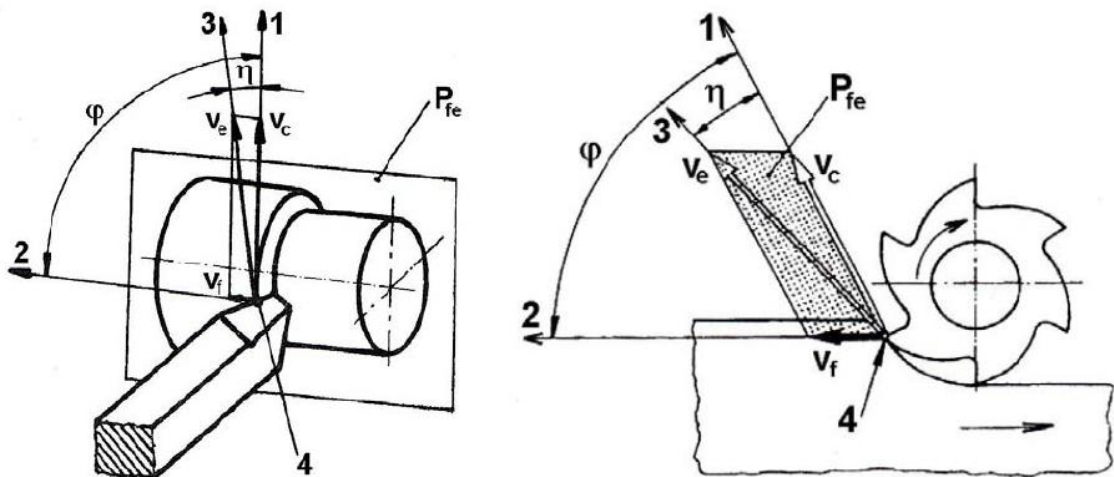
*Výsledný řezný pohyb* je vycházející pohyb ze současného hlavního a posuvového pohybu. Vznikne vektorovým součtem obou pohybů.

*Rychlost výsledného řezného pohybu*  $v_e$  je okamžitá rychlost výsledného pohybu v uvažovaném bodě ostří vzhledem k obrobku.

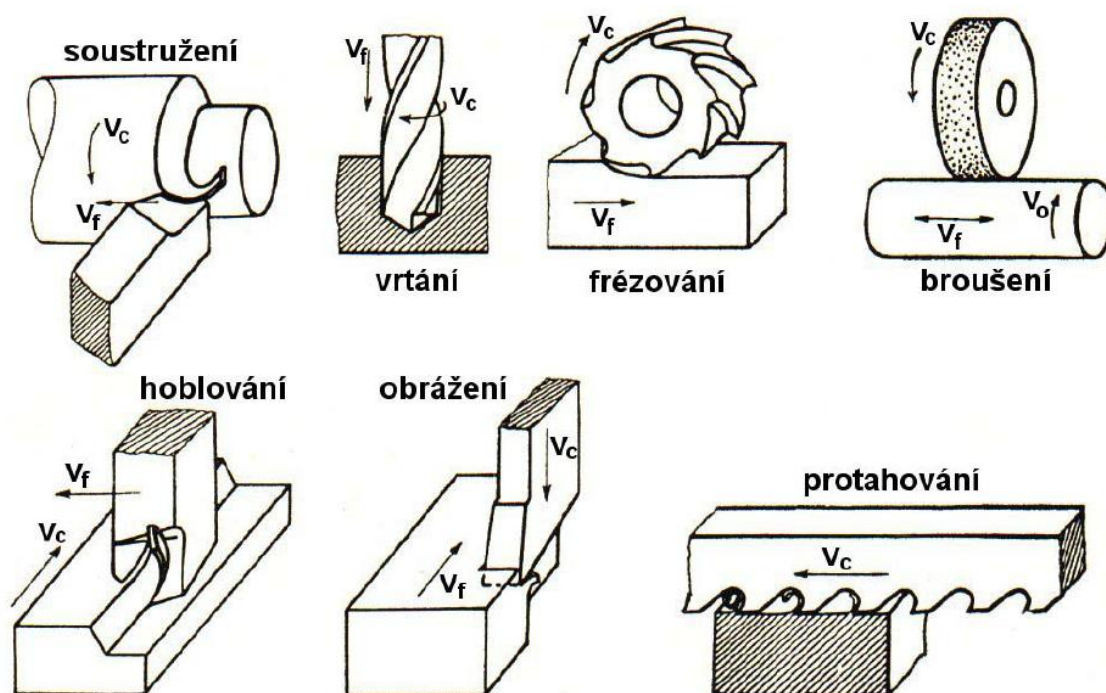
*Úhel řezného pohybu*  $\eta$  je úhel mezi směrem hlavního řezného pohybu a výsledného řezného pohybu v pracovní rovině boční Pfe.

*Úhel posuvového pohybu*  $\varphi$  lze vyjádřit jako úhel mezi směry současného posuvového pohybu a hlavního řezného pohybu v pracovní rovině boční Pfe. Pro některé obráběcí procesy není tento úhel definovaný, například pro hoblování, protahování.

*Přísuv* je pohyb nástroje nebo obrobku, kterým se nastavuje nástroj do pracovní polohy na požadovanou šířku záběru  $a_p$  (v praxi ještě stále používanou hloubku řezu  $h$ ).



Obr. 1.1.5. Pohyby nástroje a obrobku při podélném soustružení a nesousledném rovinném frézování válcovou frézou s přímými zuby (Pozn. 1 – směr hlavního pohybu, 2 – směr řezného pohybu, 3, směr posuvového pohybu, 4 – uvažovaný bod ostří)



Obr. 1.1.6. Hlavní a posuvový pohyb u vybraných metod obrábění

## q Geometrie obráběcích nástrojů

Geometrie řezného nástroje má značný vliv na velikost síly řezání a její rozložení do jednotlivých složek, na utváření a odvod třísky, drsnost, přesnost a kvalitu výsledné obrobené plochy, trvanlivost břitu a hospodárnost obráběcího procesu.

Z uvedeného je zřejmé, že chceme-li při využívání nástroje minimalizovat ztráty, je při konstrukci nástroje a zejména jeho ostření nezbytná dokonalá znalost vhodné pracovní geometrie břitu a jejího vlivu na proces obrábění.

Nástrojové i geometrické parametry jsou charakterizovány pomocí úhlů, které jsou definovány v příslušných rovinách. Pro jednoznačnou identifikaci úhlů řezné části se definují dvě souřadnicové soustavy:

- nástrojová - v této rovině se definuje geometrie řezné části ve statickém pojetí. Uplatní se zejména při konstrukci, výrobě, kontrole a ostření nástroje. Roviny používané v této rovině se nazývají nástrojové roviny.
- pracovní - tato soustava se nazývá také jako efektivní nebo kinetická. Identifikuje se zde geometrie v procesu řezání. Roviny používané v této soustavě se nazývají pracovní roviny. Jejich názvy a značení je totožné jako u nástrojových rovin, s tím rozdílem, že se přidává index e (např. Pre).

### Nástrojové roviny

*Nástrojová rovina základní Pr* je rovina procházející uvažovaným bodem ostří a je kolmá na předpokládaný směr hlavního řezného pohybu.

*Nástrojová rovina boční Pf* je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, leží v ní vektor posuvového pohybu  $v_f$  a je kolmá na rovinu základní Pr. (Pozn. leží v ní vektory všech pohybů  $v_c$ ,  $v_f$ ,  $v_e$  a všeobecně je tato rovina orientována ve směru posuvového pohybu).

*Nástrojová rovina zadní  $P_p$*  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na nástrojovou rovinu základní  $P_r$  a na nástrojovou rovinu boční  $P_f$ .

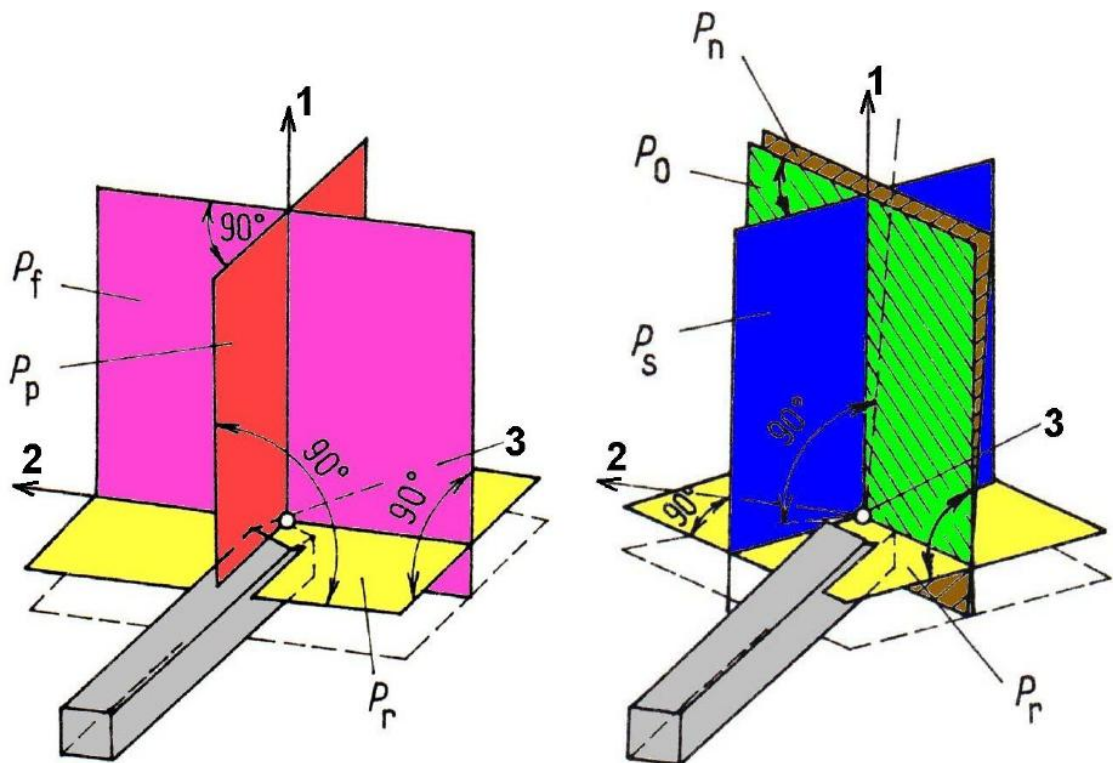
*Nástrojová rovina ostří  $P_s$*  je rovina tečná k ostří v uvažovaném bodě ostří, kolmá na rovinu základní  $P_r$ .

*Nástrojová rovina ortogonální  $P_o$*  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na nástrojovou rovinu základní  $P_r$  a nástrojovou rovinu ostří  $P_s$ .

*Nástrojová rovina normálová  $P_n$*  je rovina kolmá na ostří  $S$  v uvažovaném bodě ostří. Jako jediná není obecně kolmá na nástrojovou rovinu základní  $P_r$  (pouze když je úhel sklonu ostří  $\lambda_s = 0$ ).

*Nástrojová rovina největšího spádu čela  $P_g$*  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na čelo nástroje  $A_\gamma$  a na nástrojovou rovinu základní  $P_r$ . Vyznačuje se tím, že úhel čela měřený v této rovině je největší, tedy  $\gamma_g$  je maximální.

*Nástrojová rovina největšího spádu hřbetu  $P_b$*  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na rovinu hřbetu nástroje  $A_\alpha$  a na nástrojovou rovinu základní  $P_r$ . Vyznačuje se tím, že úhel hřbetu měřený v této rovině je nejmenší, tedy  $\alpha_b$  je minimální.



Obr. 1.1.7. Roviny nástrojové souřadné soustavy soustružnického nože (pozn. 1 – směr vektoru hlavního řezného pohybu (předpokládáný), 2 – směr posuvového pohybu, 3 – uvažovaný bod ostří).

### Pracovní roviny

V pracovní (efektivní, kinetické) souřadnicové soustavě se identifikuje geometrie řezné části nástroje v procesu řezání. Roviny používané v pracovní souřadnicové soustavě se nazývají pracovní roviny.

*Pracovní rovina základní  $P_{re}$*  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří a je kolmá na předpokládaný směr řezného pohybu.

*Pracovní rovina boční  $P_{fe}$*  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, je rovnoběžná se směrem posuvového pohybu a je kolmá na pracovní rovinu základní  $P_{re}$ .

*Pracovní rovina zadní  $P_{pe}$*  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na pracovní rovinu základní  $P_{re}$  a na pracovní rovinu boční  $P_{fe}$ .

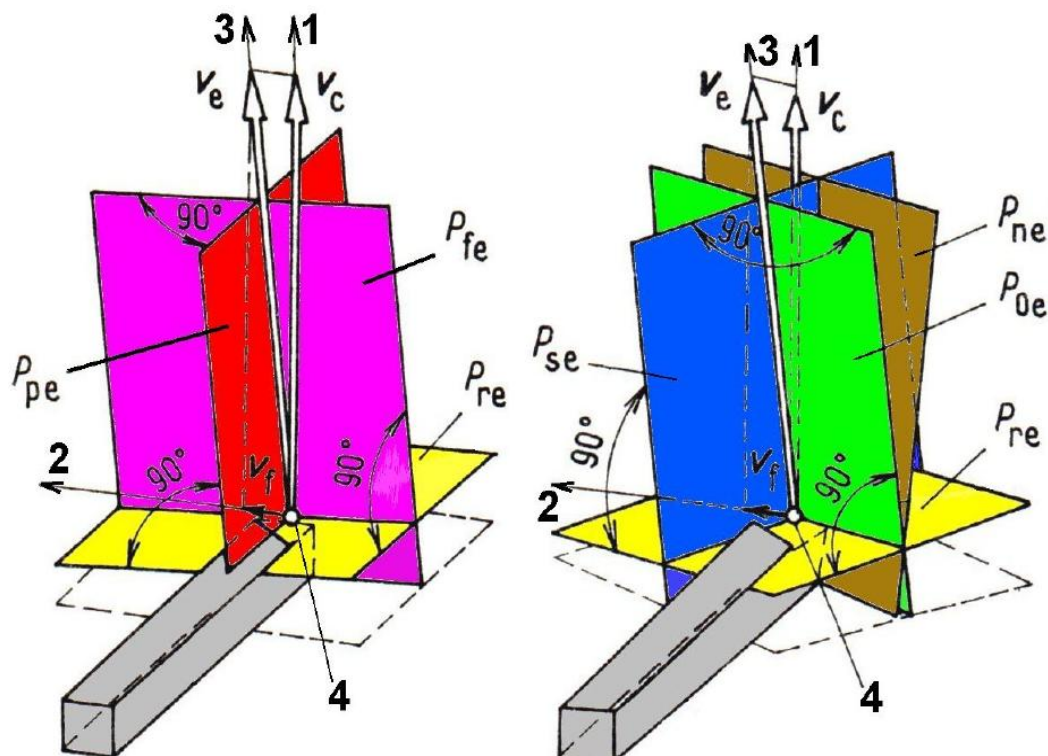
*Pracovní rovina ostří  $P_{se}$*  je rovina tečná k ostří v uvažovaném bodě ostří a je kolmá na pracovní rovinu základní  $P_{re}$ .

*Pracovní rovina ortogonální  $P_{oe}$*  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na pracovní rovinu základní  $P_{re}$  a pracovní rovinu ostří  $P_{se}$ .

*Pracovní rovina normálová  $P_{ne}$*  je rovina kolmá na ostří  $S$  v uvažovaném bodě ostří. Pracovní rovina normálová  $P_{ne}$  je totožná s nástrojovou rovinou normální  $P_n$ , takže  $P_{ne} = P_n$ .

*Pracovní rovina největšího spádu čela  $P_{ge}$*  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na čelo nástroje  $A_\gamma$  a pracovní rovinu základní  $P_{re}$ . Tato rovina se vyznačuje tím, že pracovní úhel čela v ní měřen je ze všech pracovních úhlů čela největší, tedy  $\gamma_{ge}$  je maximální.

*Pracovní rovina největšího spádu hřbetu  $P_{be}$*  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na hřbet nástroje  $A_\alpha$  a pracovní základní rovinu  $P_{re}$ . Tato rovina se vyznačuje tím, že pracovní úhel hřbetu v ní měřen je ze všech pracovních úhlů čela nejmenší, tedy  $\alpha_{be}$  je minimální.



Obr. 1.1.8. Roviny pracovní souřadnicové soustavy soustružnického nože (pozn. 1 - směr hlavního pohybu, 2 - směr posuvového pohybu, 3 - směr řezného pohybu, 4 - uvažovaný bod ostří)

### Nástrojové úhly

Úhly jsou důležité pro identifikaci geometrické polohy ostří, čela a hřbetu. Nástrojové úhly jsou definovány v nástrojové souřadnicové soustavě a mají index totožný s indexem nástrojové roviny ve které jsou měřeny. Nástrojové úhly obecně ovlivňují:

- velikost síly řezání a její složky,
- teplotu řezání,
- tvorbu a odvod třísky,

- hospodárnost obrábění,
- strukturu povrchu,
- vlastnosti povrchové vrstvy.

#### *Nástrojové úhly polohy ostří*

*Nástrojový úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$*  leží mezi nástrojovou rovinou ostří Ps a nástrojovou rovinou boční Pf a je měřený v nástrojové rovině základní Pr.

*Nástrojový úhel nastavení vedlejšího ostří  $\kappa_r'$*  leží mezi nástrojovou rovinou vedlejší ostří Ps' a rovinou boční Pf, a je měřený v nástrojové rovině základní Pr.

*Nástrojový doplňkový úhel nastavení hlavního ostří  $\psi_r$*  je úhlem mezi nástrojovou rovinou ostří Ps a nástrojovou rovinou zadní Pp. Nástrojový úhel  $\psi_r$  je vždy ostrý a jeho znaménko je odvozené ze vztahu  $\kappa_r + \psi_r = 90^\circ$ .

*Nástrojový úhel špičky  $\varepsilon_r$*  leží mezi nástrojovou rovinou ostří Ps a nástrojovou rovinou vedlejšího ostří Ps' a je měřený v nástrojové rovině základní Pr.

*Nástrojový úhel sklonu hlavního ostří  $\lambda_s$*  leží mezi ostřím S a nástrojovou rovinou základní Pr a je měřený v nástrojové rovině ostří Ps. Úhel  $\lambda_s$  může nabývat kladných, nulových nebo záporných hodnot. Kladných hodnot nabývá tehdy, je-li špička nástroje nejvyšším bodem ostří, záporných hodnot naopak je-li bodem nejnižším.

#### *Nástrojové úhly čela*

*Nástrojový ortogonální úhel čela  $\gamma_o$*  je úhel mezi čelem nástroje A $\gamma$  a nástrojovou základní rovinou Pr a je měřený v nástrojové ortogonální rovině Po.

*Nástrojový boční úhel čela  $\gamma_f$*  je úhel mezi čelem nástroje A $\gamma$  a nástrojovou základní rovinou Pr a je měřený v nástrojové boční rovině Pf.

*Nástrojový zadní úhel čela  $\gamma_p$*  je úhel mezi čelem nástroje A $\gamma$  a nástrojovou základní rovinou Pr a je měřený v nástrojové zadní rovině Pp.

*Nástrojový normální úhel čela  $\gamma_n$*  je úhel mezi čelem nástroje A $\gamma$  a nástrojovou základní rovinou Pr a je měřený v nástrojové normální rovině Pn.

*Nástrojový úhel největšího spádu čela  $\gamma_g$*  je úhel mezi čelem nástroje A $\gamma$  a nástrojovou základní rovinou Pr a je měřený v nástrojové rovině největšího spádu čela Pg. Je ze všech nástrojových úhlů čela největší.

#### *Nástrojové úhly hřbetu*

*Nástrojový ortogonální úhel hřbetu  $\alpha_o$*  je úhel mezi hřbetem nástroje A $\alpha$  a nástrojovou rovinou ostří Ps a je měřený v nástrojové ortogonální rovině Po.

*Nástrojový boční úhel hřbetu  $\alpha_f$*  je úhel mezi hřbetem nástroje A $\alpha$  a nástrojovou rovinou ostří Ps a je měřený v nástrojové boční rovině Pf.

*Nástrojový zadní úhel hřbetu  $\alpha_p$*  je úhel mezi hřbetem nástroje A $\alpha$  a nástrojovou rovinou ostří Ps a je měřený v nástrojové zadní rovině Pp.

*Nástrojový normální úhel hřbetu  $\alpha_n$*  je úhel mezi hřbetem nástroje A $\alpha$  a nástrojovou rovinou ostří Ps a je měřený v nástrojové normální rovině Pn.

*Nástrojový úhel největšího spádu hřbetu  $\alpha_b$*  je úhel mezi hřbetem nástroje A $\alpha$  a nástrojovou rovinou ostří Ps a je měřený v nástrojové rovině největšího spádu hřbetu Pb. Je ze všech nástrojových úhlů hřbetu nejmenší.



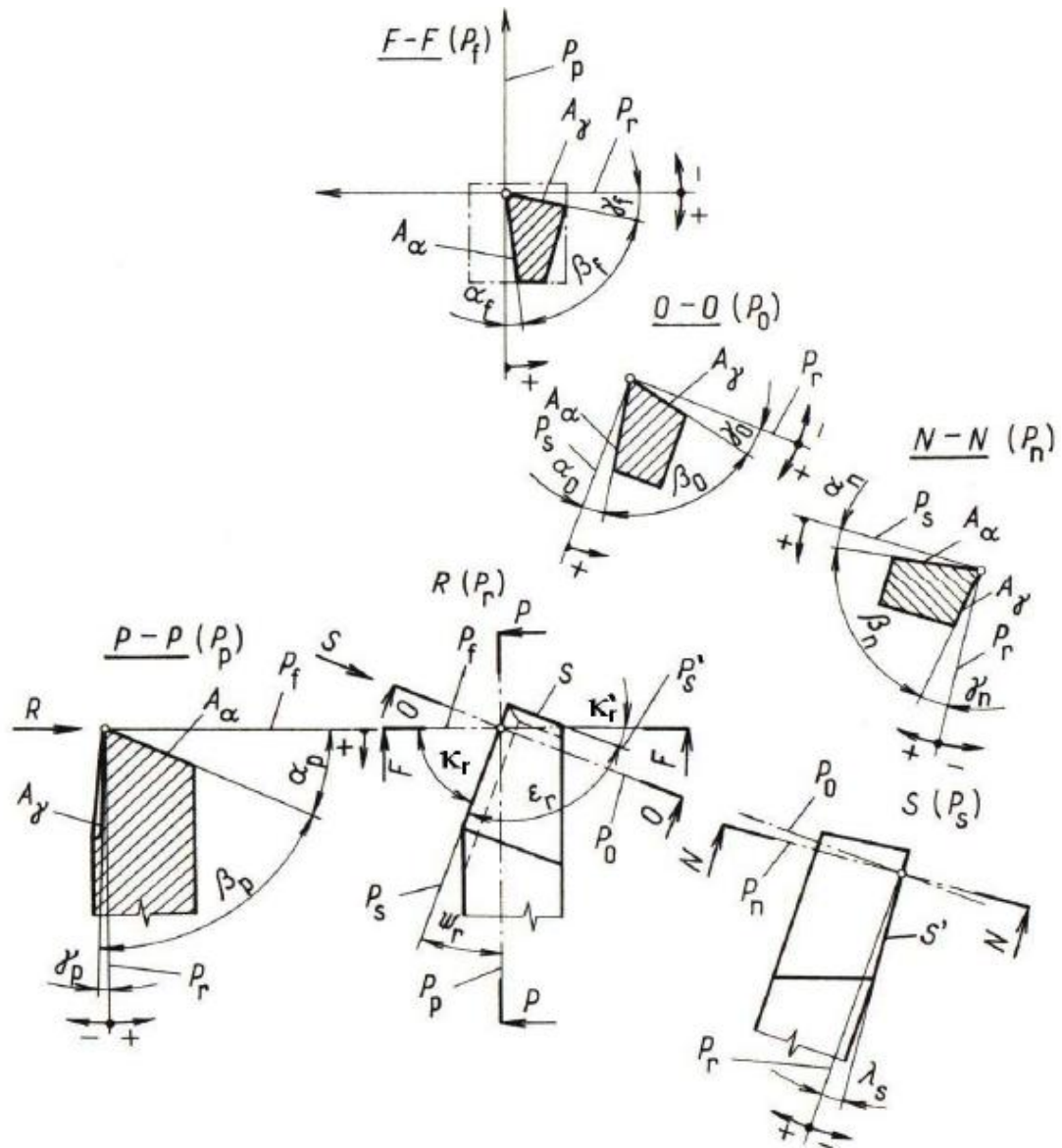
Nástrojové úhly břitu

Nástrojový ortogonální úhel břitu  $\beta_o$  je úhel mezi čelem  $A_\gamma$  a hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a je měřený v nástrojové ortogonální rovině  $P_o$ .

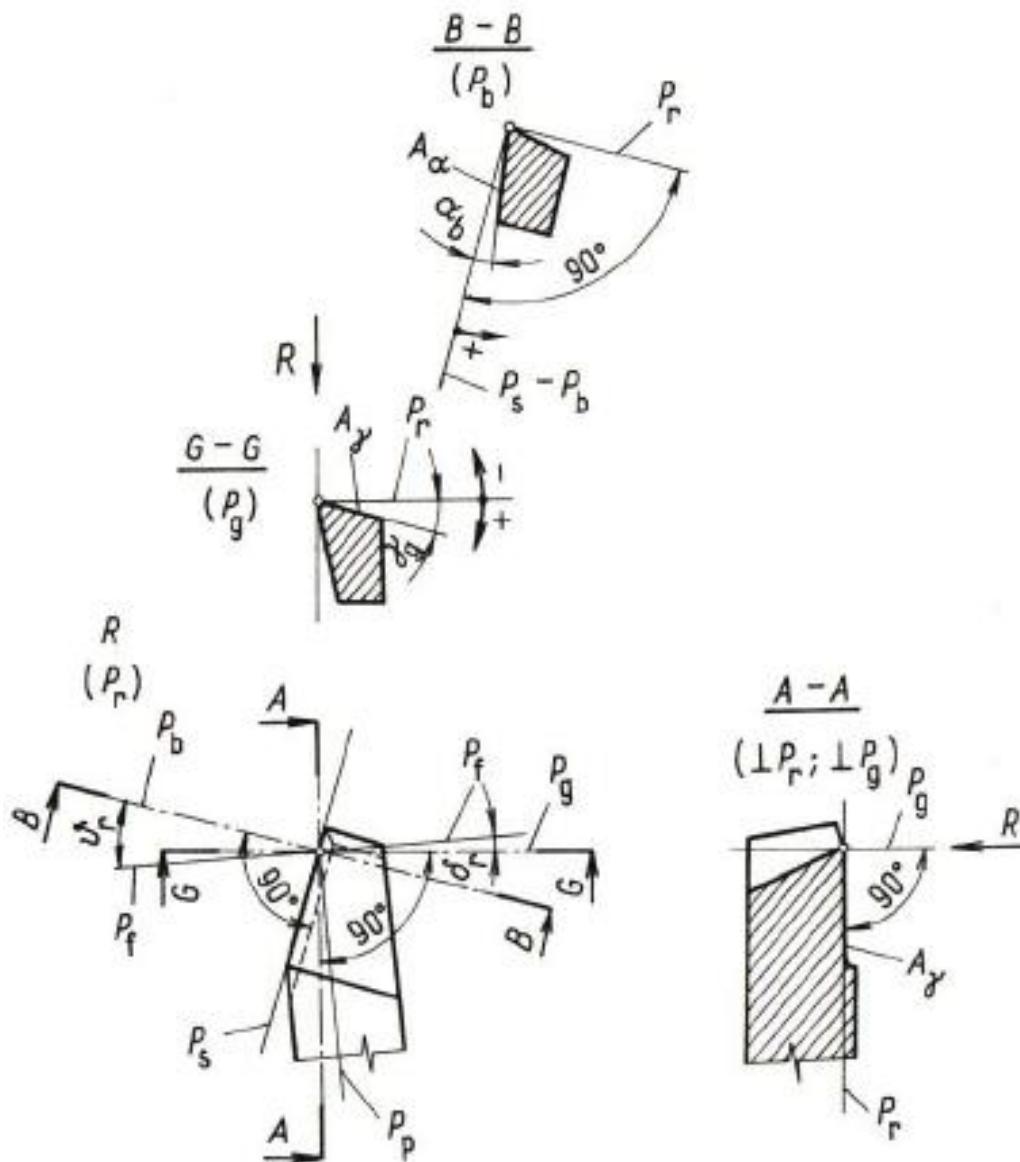
Nástrojový boční úhel břitu  $\beta_f$  je úhel mezi čelem  $A_\gamma$  a hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a je měřený v nástrojové boční rovině  $P_f$ .

Nástrojový zadní úhel břitu  $\beta_p$  je úhel mezi čelem  $A_\gamma$  a hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a je měřený v nástrojové zadní rovině  $P_p$ .

Nástrojový normálový úhel břitu  $\beta_n$  je úhel mezi čelem  $A_\gamma$  a hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a je měřený v nástrojové normálové rovině  $P_n$ .



Obr. 1.1.9. Nástrojové úhly v rovinách  $P_r$ ,  $P_f$ ,  $P_p$ ,  $P_s$ ,  $P_o$ ,  $P_n$  zakresleny na pravém ubíracím soustružnickém noži



Obr. 1.1.10. Nástrojové úhly v rovinách  $P_b$ ,  $P_g$  zakresleny na pravém ubíracím soustružnickém noži

#### Matematické závislosti mezi nástrojovými úhly

Ve všech rovinách platí  $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$ , tedy součet úhlů čela, hřbetu a břitu v nástrojové souřadnicové soustavě v rovině normálové  $P_n$ , ortogonální  $P_o$ , boční  $P_f$  a zadní  $P_p$  je roven  $90^\circ$ . Můžeme podrobněji rozepsat konstatování do rovnic pro jednotlivé nástrojové roviny:

$$\alpha_o + \beta_o + \gamma_o = 90^\circ$$

$$\alpha_p + \beta_p + \gamma_p = 90^\circ$$

$$\alpha_f + \beta_f + \gamma_f = 90^\circ$$

$$\alpha_n + \beta_n + \gamma_n = 90^\circ$$

Pro nástrojové úhly v nástrojové rovině základní  $P_r$  platí:

$$\kappa_r + \kappa'_r + \varepsilon_r = 180^\circ \text{ a } \kappa_r + \psi_r = 90^\circ.$$

Teoretickým rozbohem uvedených definic a grafickým rozbohem lze učinit několik zajímavých závěrů:

- Je-li úhel  $\lambda_s = 0$ , pak se nástrojová rovina ortogonální  $P_o$  ztotožní s nástrojovou rovinou normálovou  $P_n$ .
- Je-li úhel  $\lambda_s = 0$  a kterýkoliv z úhlů čela roven nule, pak i všechny ostatní úhly čela budou rovny nule.
- Je-li úhel  $\lambda_s = 0$  a kterýkoliv z úhlů čela kladný resp. záporný, pak i všechny ostatní úhly čela budou kladné resp. záporné.
- Je-li úhel  $\kappa_r = 90^\circ$ , pak se nástrojová rovina ortogonální  $P_o$  ztotožní s nástrojovou rovinou boční  $P_f$  a nástrojová rovina ostří  $P_s$  s nástrojovou rovinou zadní  $P_p$ . Z toho vyplývá, že  $\lambda_s = \gamma_p$ ,  $\gamma_o = \gamma_f$  a  $\alpha_o = \alpha_f$ .
- Je-li úhel  $\kappa_r = 0^\circ$ , pak se nástrojová rovina ortogonální  $P_o$  ztotožní s nástrojovou rovinou zadní  $P_p$  a nástrojová rovina ostří  $P_s$  s nástrojovou rovinou boční  $P_f$ . Z toho vyplývá, že  $\lambda_s = \gamma_f$ ,  $\gamma_o = \gamma_p$  a  $\alpha_o = \alpha_p$ .

#### □ Volba geometrických parametrů bříty

Při správné volbě geometrie nástroje lze výrazně ovlivnit pevnost bříty, trvanlivost nástroje, stabilitu procesu řezání, tepelné i silové zatížení, spotřebu vynaložené energie a splnit požadavky kladené na přesnost rozměrů i jakost obrobenej plochy. Jednotlivé geometrické parametry ovlivňují řezný proces především následujícím způsobem.

*Nástrojový úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$* , jehož hodnoty se běžně pohybují v rozsahu  $45^\circ \div 90^\circ$ , ovlivňuje zejména tvar třísky (tloušťku odřezávané vrstvy) a délku ostří v záběru, závisí na něm poměr složek síly řezání v nástrojové rovině základní  $P_r$  (poměr posunové a pasivní složky síly řezání). Vliv hodnoty úhlu se projevuje i v tuhosti špičky nástroje a jejím opotřebením, což má v neposlední řadě vliv na drsnost obrobenej povrchu součásti.

*Nástrojový úhel nastavení vedlejšího ostří  $\kappa_r'$*  ovlivňuje především tuhost a opotřebením špičky s následným vlivem na drsnost povrchu obrobku.

*Nástrojový úhel sklonu ostří  $\lambda_s$* , zpravidla nabývá hodnoty  $-6^\circ$  do  $+6^\circ$ , včetně nulové hodnoty a ovlivňuje především směr odchodu třísky z místa řezu (kladný úhel napomáhá odchodu třísky od obrobku a naopak) a tuhost špičky nástroje.

*Nástrojový úhel čela  $\gamma$  ( $\gamma_o$ )* se běžně volí od  $-8^\circ$  do  $+8^\circ$ . Hodnota úhlu se projevuje na utváření třísek, poměry velikosti složek síly řezání i opotřebením nástroje. Současně s úhlem hřbetu působí i na tuhost a pevnost bříty nástroje.

*Nástrojový úhel hřbetu  $\alpha$  ( $\alpha_o$ )* je obvykle konstrukčně navrhován v rozmezí od  $+8^\circ$  do  $+12^\circ$ . Hodnota úhlu ovlivňuje podmínky tření nástroje o obrobek, poměry velikosti složek síly řezání, vznik tepla zejména třením, tuhost bříty a trvanlivost nástroje.

*Nástrojový úhel špičky  $\epsilon_r$*  je zpravidla zvolen v rozsahu od 0,2 mm do 5 mm. Platí zásada, že čím je vyšší poloměr špičky, tím je možno využít vyšší posunové rychlosti nástroje při zvýšené trvanlivosti nástroje. Poloměr špičky výrazně ovlivňuje strukturu povrchu.

Hodnoty navržených úhlů bříty odpovídají:

- fyzikální podstatě řezného procesu vzhledem k dané operaci a metodě obrábění,
- druhu a materiálu obrobku, zejména z pohledu obrobiteľnosti,

- požadovaným mechanickým vlastnostem obrobku,
- požadované struktúře povrchu,
- požadovaným vlastnostem obrobené vrstvy,
- řezným parametřům,
- silovému i tepelnému namáhání a zatížení,
- fyzikálnímu stavu a materiálu břítu (řezivosti) aj.

Navrhnout ideální geometrii nástroje nelze. Volba je vždy jistým kompromisem mezi požadavky na snadné a energeticky výhodné obrábění a požadavky na dostatečnou tuhost, trvanlivost a výkon nástroje. Lze se jí však významně přiblížit.



## Shrnutí kapitoly

V této kapitole jste se dozvěděli základní **obecné pojmy z oblasti obrábění a terminologii** užívanou při této technologii výroby součástí. Dále pak jak dělíme **jednotlivé metody** obrábění. **Popis obrobku**, včetně jeho ploch, které vznikají při řezání.

Samostatná část byla věnována **řeznému nástroji**, který byl detailněji rozebrán a popsán. Byly definovány **nástrojové a pracovní roviny, úhly a celá geometrie** potřebná pro jeho správnou funkci při vnikání do materiálu.

Na závěr jsme se zaměřili na **volbu a vliv jednotlivých geometrických parametrů** nástroje.



## Kontrolní otázka

1. Co je to obrábění?
2. Vyjmenujte části, ze kterých se skládá soustava obrábění?
3. Charakterizuje rozdíl mezi ručním a strojním obrábění
4. Jaké znáš metody obrábění podle charakteru záběru řezání?
5. Jaký je základní rozdíl mezi volným a vázaným obrábění?
6. Jak nazýváme klínovou část nástroje, která při obrábění vniká do obráběného materiálu?
7. Co je podstatou toho, aby mohl vniknout řezný proces?
8. Jaký je rozdíl mezi  $A\alpha$  a  $A\alpha'$
9. Jak je definováno čelo nástroje?
10. Jak nazýváme průsečnici hřebu a čela?
11. Jaký tvar může mít špička nástroje?
12. Jaké pohyby může vykonávat nástroj?

13. Co znamená označení  $v_f$ ?
14. Jak definujeme rychlost výsledného řezného pohybu?
15. Jaký je rozdíl mezi nástrojovou a pracovní souřadnicovou soustavou?
16. Která rovina je kolmá na nástrojovou rovinu základní?
17. Která pracovní rovina je tečná k ostří?
18. Jakým řeckým písmenem se značí nástrojové úhly hřbetu?
19. Definujte nástrojový boční úhel čela  $\gamma_f$ .
20. Jakým způsobem ovlivňuje řezný proces nástrojový úhel sklonu ostří  $\lambda_s$ .



### Úkol k řešení

1. Schematicky zakreslete obrobek, který je obráběn frézováním a na něm označte plochy obráběnou, přechodovou a obrobenou.
2. zakreslete zapichovací soustružnický nůž a označte na něm jednotlivé plochy a nástrojové úhly.
3. zakreslete základní operace obrábění a vyznačte na něm vektory řezných a posuvových rychlostí.
4. Nakreslete příklady volného a vázaného řezání.
5. Nakreslete nástrojové roviny, včetně řezů v jednotlivých rovinách u pravého ubíracího nože.

## 1.2. Produktivní operace třískového obrábění



**Čas ke studiu:** 25 hodin



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Rozlišit jednotlivé metody produktivního obrábění.
- U každé z metod se dozvíte princip, popis jednotlivých způsobů, stroje, nástroje, upínání obrobků a nástrojů.
- Použít nejvhodnější technologii pro výrobu zadané součásti.



### Výklad

Obrábění je takový pracovní proces, při kterém polotovár dostává požadovaný tvar a rozměr finální strojní součástky obráběním materiálu z povrchové vrstvy. Metody obrábění můžeme rozdělit podle různých hledisek. Podle charakteru práce máme ruční a strojní metody obrábění. Mezi ruční metody obrábění patří pilování, řezání, zaškrabávání, atd. a strojní metody obrábění se podle charakteristických znaků a metody obrábění dělí na:

- obrábění nástroji s definovanou geometrií (soustružení, frézování, vrtání, vystružování, zahlubování, vyvrtávání, obrážení, hoblování, protahování, atd.),

- obrábění nástroji s nedefinovanou geometrií (dokončovací metody - broušení, honování, lapování, superfinišování, atd.),
- nekonvenční metody obrábění (elektroerozivní obrábění, elektrochemické obrábění, obrábění elektronovým paprskem, obrábění laserovým paprskem, obrábění vodním paprskem, obrábění ultrazvukem, atd.),
- úpravy obrobených ploch (leštění, válečkování, hlazení, brokování, balotínování, atd.).

## q Soustružení

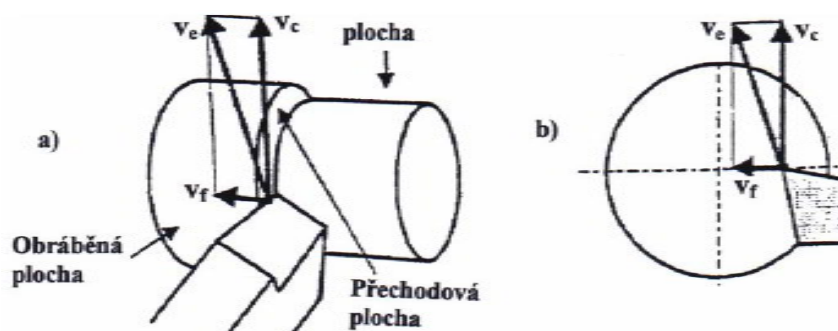
Soustružení je metoda obrábění pro výrobu součástí převážně rotačních tvarů, zejména pomocí jednobřítých nástrojů různého provedení – soustružnických nožů. Je to nejjednodušší způsob obrábění, ale zároveň v současnosti (na klasických strojích) nejpoužívanější (proto se provádí 30 – 40 % operací obrábění na soustruzích). Obrábění na soustruzích s ručním nebo automatickým ovládním nám umožňuje soustružit polotovary od hmotnosti několika mg až do několika tun.

Při soustružení dochází k odřezávání přebytečné vrstvy (přidavku na obrábění) řeznou částí nástroje s definovanou geometrií. Odřezávaná vrstva odchází od obrobku v podobě třísky. Aby došlo k oddělení třísky od polotovaru, musí mít činná část nástroje klínový břit, který je tvrdší než obráběný materiál. Obrobený povrch získává postupně požadovaný tvar, rozměr, drsnost i některé mechanické vlastnosti. Je nezbytné dodržovat určité podmínky (např. řezná část nástroje musí mít vhodnou řeznou geometrii,...).

*Hlavní řezný pohyb ( $v_c$ )* je rotační a koná ho obrobek. Tento pohyb je potřebný k tomu, aby prostřednictvím nože došlo k odříznutí třísky z povrchu obrobku.

*Posuvový pohyb ( $v_f$ )* je vedlejší, přímočarý a vykonává ho nástroj. Tento pohyb je nutný k tomu, aby nůž postupně odřezával třísky v požadované délce obrobku.

Posouvá-li se nůž ve směru osy rotace obrobku, pak jde o podélné soustružení a výsledný řezný pohyb ( $v_e$ ) má tvar šroubovice, posouvá-li se ve směru kolmém k ose rotace, je to přímé (čelní) soustružení (upichování, zapichování) a výsledný řezný pohyb má tvar Archimedovy spirály. Přísviv je vždy kolmý k posuvu – tedy při podélném soustružení je radiální a při čelním soustružení axiální.



Obr. 1.2.1 Druhy soustružení a) podélné soustružení, b) čelní soustružení

### Řezné podmínky

Pod pojmem řezné podmínky je třeba rozumět zejména stanovení řezné rychlosti  $v_c$ , posuvu  $f$  a tloušťky obráběné vrstvy (hloubky řezu)  $a_p$ .

*Řezná rychlost* je v podstatě rychlost hlavního řezného pohybu a definujeme ji jako obvodovou rychlost měřenou na obráběné ploše. Pro různé druhy materiálů nástrojů a obrobků se používá

i různých řezných rychlostí. Pro různé materiály obrobků jsou v rozsahu od  $5 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  do  $1000 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ . Obvodovou řeznou rychlost obrobku v místě soustružení lze určit ze vztahu:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ [m}\cdot\text{min}^{-1}\text{]}, \text{ kde} \quad (1.2.1)$$

$D$  – průměr obráběné plochy [mm],

$n$  – počet otáček vřetene [ $\text{min}^{-1}$ ].

*Posuv* je dráha, kterou vykoná nástroj za jednu otáčku obrobku. Při hrubování je jeho hodnota 0,4 až 5 mm, při dokončovacích operacích 0,06 až 0,3 mm a při jemném soustružení 0,005 až 0,05 mm. Protože se při soustružení nástroj posune při jedné otáčce o hodnotu posuvu, je možné stanovit rychlost posuvu v závislosti na otáčkách vřetene:

$$v_f = f \cdot n \text{ [mm}\cdot\text{min}^{-1}\text{]}, \text{ kde} \quad (1.2.2)$$

$f$  – posuv na otáčku [mm],

$n$  – počet otáček vřetene [ $\text{min}^{-1}$ ].

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \text{ [m}\cdot\text{min}^{-1}\text{]} \quad (1.2.3)$$

*Hloubka řezu* se při soustružení pohybuje od hodnoty několika desetin mm až po několik mm. Velikost posuvu, hloubka řezu, úhel nastavení a tvar řezné hrany v záběru mají vliv na velikost a tvar průřezu třísky. Rozměr průřezu třísky pro základní druhy soustružení lze podle obr 1.1.2 vypočítat ze vztahu:

$$\text{pro podélné soustružení} \quad a_p = 0,5 \cdot (D - d) \text{ [mm]}, \text{ kde} \quad (1.2.4)$$

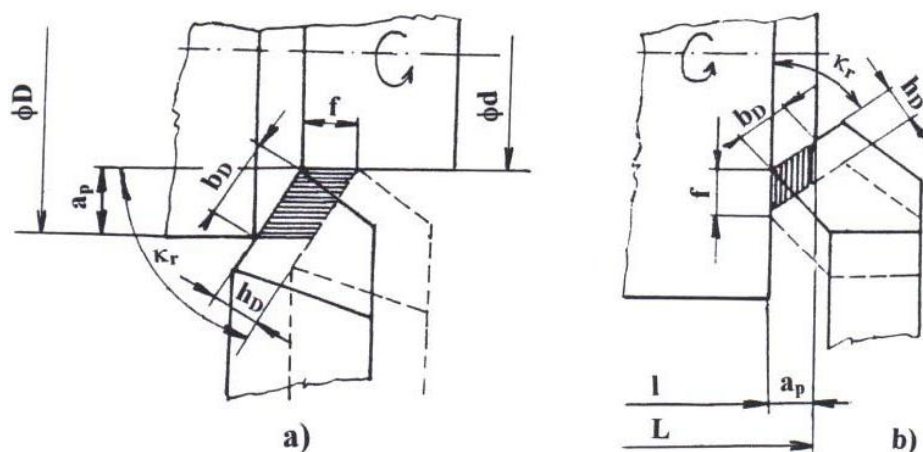
$D$  – průměr obráběné plochy [mm],

$d$  – průměr obrobené plochy [mm].

$$\text{pro čelní soustružení} \quad a_p = L - l \text{ [mm]}, \text{ kde} \quad (1.2.5)$$

$L$  – délka obráběné plochy [mm],

$l$  – délka obrobené plochy [mm].



Obr. 1.1.2 Průřez třísky při soustružení

### Základní práce na soustruhu

Soustružením lze obrábět vnější i vnitřní válcové plochy, kulové a všeobecné rotační plochy, rovinné (čelní) plochy a závity. Na soustruzích lze dále vrtat, vyvrtávat, vystružovat, řezat závity, vroubkovat, válečkovat, hladit, leštit, vyrábět hřbetní plochy tvarových fréz podsoustružováním, atd. Jednotlivé operace jsou zobrazeny na obrázku 1.2.4.

### Nástroje – soustružnické nože

Nejpoužívanějšími nástroji pro obrábění jsou soustružnické nože. Jsou to jednobřité nástroje jednoduchých tvarů, nemají příliš vysokou cenu a jsou jednoduché z hlediska údržby. Základními prvky soustružnických nástrojů jsou:

- tvar řezného klínu,
- materiál řezné části,
- průřez tělesa nástroje.

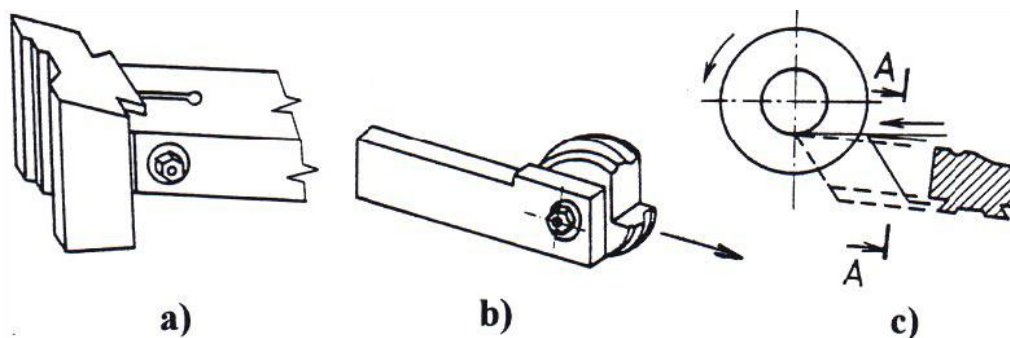
Z technologického hlediska se soustružnické nože dají dělit na:

- radiální (nejfrekventovanější skupina nástrojů),
- prizmatické,
- kotoučové,
- tangenciální.

#### Radiální soustružnické nože

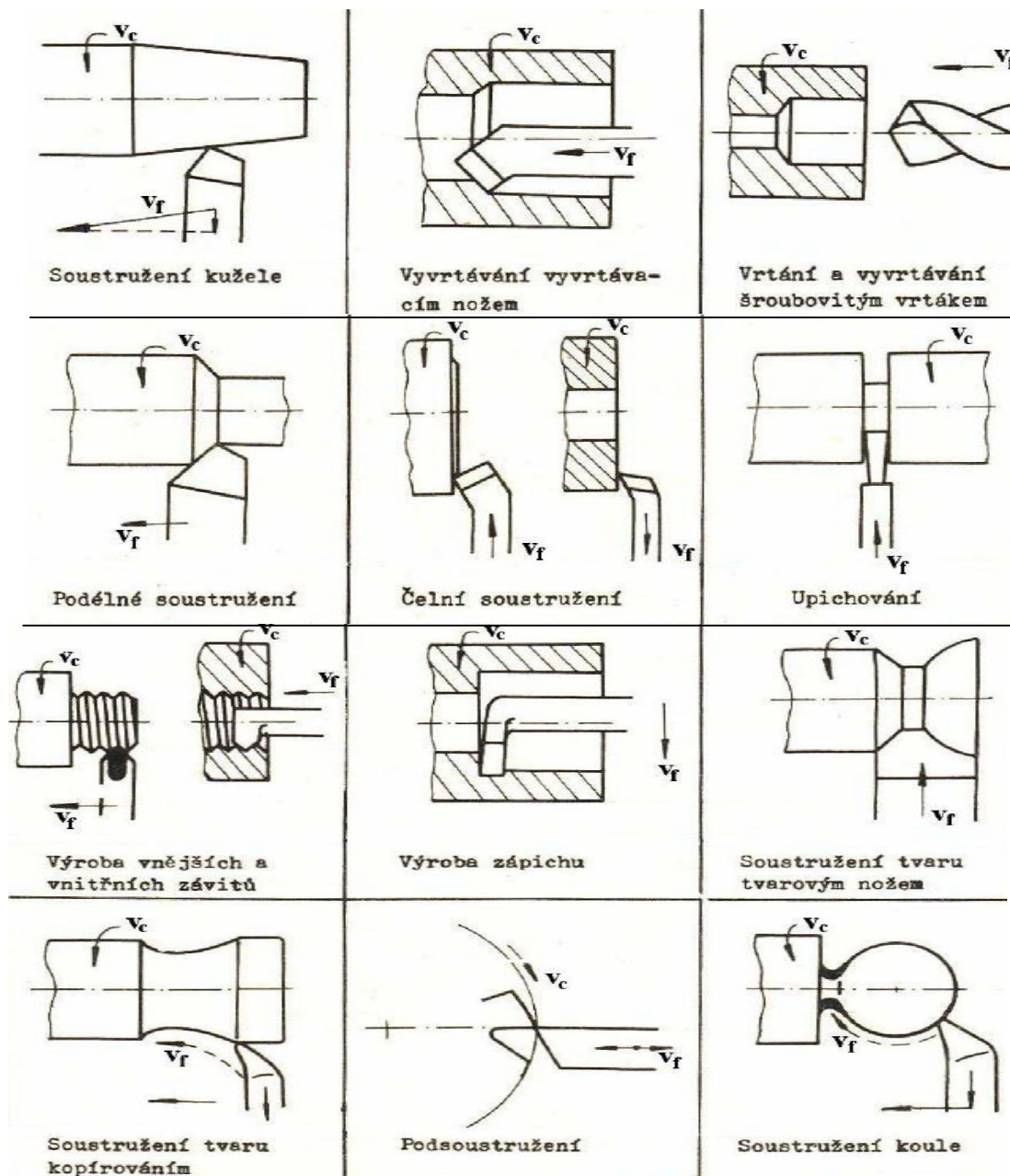
Tyto nástroje lze dále dělit podle konstrukce:

- celistvé - těleso i řezná část jsou vyrobeny z nástrojové nebo rychlořezné ocele a tvoří jeden celek,
- s pájenými břitovými destičkami - destička z řezného materiálu je připájena tvrdou pájkou na (do lůžka) těleso nože z konstrukční oceli,
- s vyměnitelnými břitovými destičkami - břitová destička je mechanicky upnuta v nožovém držáku z konstrukční oceli pomocí systémů upínání ISO (obr.1.2.5).



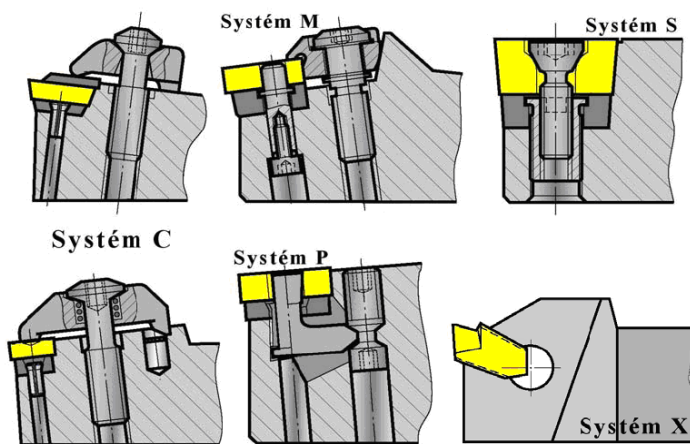
Obr. 1.2.3 Tvarové soustružnické nože a)prizmatické, b)kotoučové, c)tangenciální





Obr. 1.2.4 Základní práce na soustruhu

Mechanické upínání do nožového držáku je podstatou soustružnických nožů s vyměnitelnými břitovými destičkami. Existuje množství upínacích systémů, jejichž cílem je, aby se pevnost upínacího spojení přiblížila pevnosti, která je dosažena u pájených břitových destiček (viz. obr 1.2.5).



Obr. 1.2.5 Systém upínání vyměnitelných břitových destiček

Další dělení radiální soustružnických nožů:

Podle směru posuvu při obrábění:

- pravé – nástroj pracuje od koníku k vřetenu,
- levé – nástroje se pohybují naopak od vřetene ke koníku.

Podle způsobu obrábění:

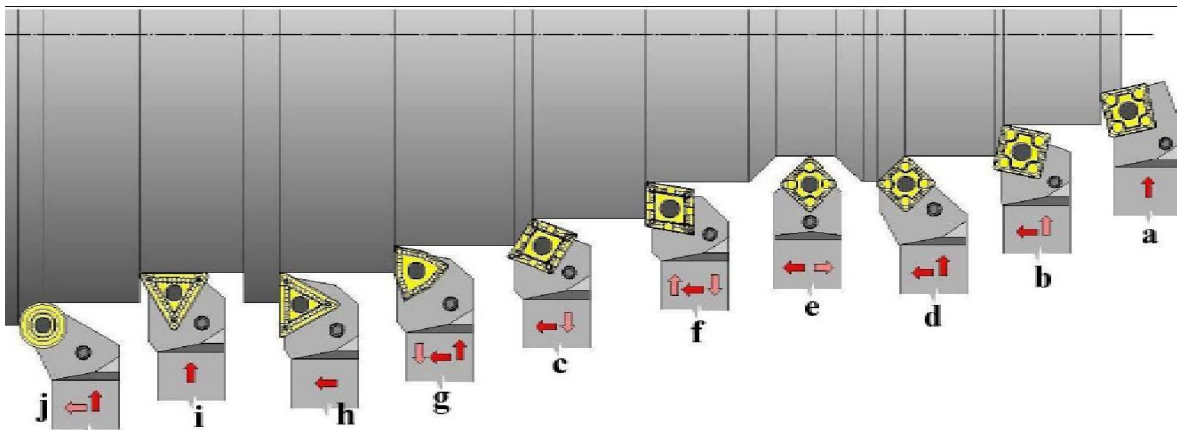
- pro obrábění vnější ploch (obr. 1.2.6),
- pro obrábění vnitřních ploch (obr 1.2.7).

Každá z těchto skupin se dále může členit na nože:

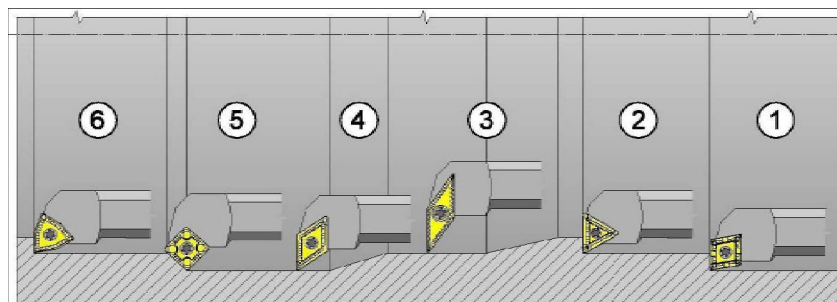
- ubírací,
- zapichovací,
- upichovací,
- kopírovací,
- závitové,
- tvarové.

Podle tvaru tělesa nože:

- přímé,
- ohnuté.



Obr. 1.2.6 Vnější soustružnické nože,  
 a – ubírací nůž čelní, b – ubírací nůž přímý, c – ubírací nůž přímý, d – ubírací nůž ohnutý,  
 e – ubírací nůž oboustranný, f – rohový nůž, g – rohový nůž, h – ubírací nůž stranový,  
 i – hladicí nůž, j – radiusový nůž



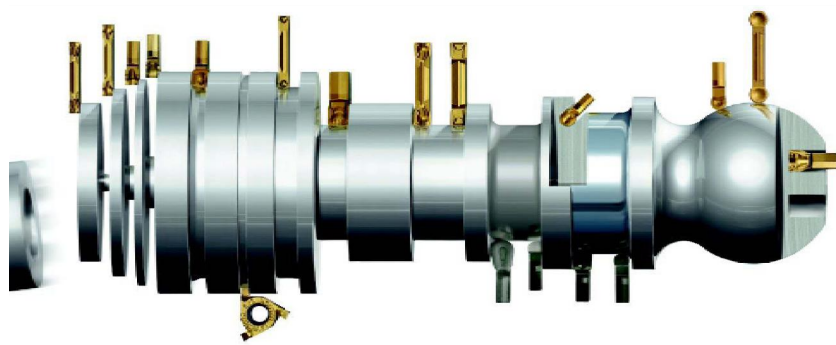
Obr. 1.2.7 Vnitřní soustružnické nože,  
 1 – vnitřní ubírací, 2 – vnitřní rohový, 3 – vnitřní kopírovací, 4 – vnitřní ubírací,  
 5 – vnitřní ubírací, 6 – vnitřní rohový

Materiály vhodné pro výrobu vyměnitelných břitových destiček radiálních nožů jsou: slinutý karbid – SK, řezná keramika, cermety, polykrystalický kubický nitrid boru – PKNB a polykrystalický diamant PD (obr. 1.2.8). Každá destička může být vyrobena jako jednostranná destička – má jednu čelní plochu nebo oboustranná destička – má 2 čelní plochy. Čela destiček jsou buď hladká, nebo jsou u nich předlisované (u super tvrdých nástrojových materiálů vybroušené) utvařeče třísky. V současnosti se téměř všechny destičky vyrábějí jako vícebřité. Výhodou u vícebřitých destiček je to, že po otupení jednoho břitu se mohou potočit do nové polohy pro využití dalšího břitu (např. trojúhelníková oboustranná destička má 6 využitelných břitů). Uložení břitových destiček v držáku musí zajistit, aby řezné odpory byly směřovány do stěn, aby nezatěžovaly upínací mechanismus. Výměna destiček je rychlá a snadná a polohu břitu obvykle není třeba seřizovat.



Obr. 1.2.8 Vyměnitelné břitové destičky

- 1 - SK, tvar S, oboustranné, předlisovaný utvařec; 2 - SK, tvar W, oboustranná, předlisovaný utvařec;  
 3 - SK, zapichovací, předlisovaný utvařec; 4 - SK, závitové; 5 - SK, upichovací, předlisovaný utvařec;  
 6 - monolitní PKNB, tvar R; 7 - roubík PD, tvar C, jednostranná;  
 8 - roubík PD, tvar T, jednostranná, utvařec; 9 - roubíky PD, tvar S, oboustranná;  
 10 - monolitní PKNB, tvar S, jednostranná, vybroušený utvařec



Obr. 1.2.9 Další tvary vyměnitelných břitových destiček

U radiálních soustružnických nožů s vyměnitelnými břitovými destičkami se můžeme setkat s tím, že jsou konstruovány jako stavitelné. Rozdíl upnutí tohoto typu nože od standardních je v tom, že je břitová destička upnuta do speciální vložky. Je tak připevněna k základnímu držáku, ve kterém jsou šrouby, které umožňují posouvat vložku v podélné i v příčné ose. Takto lze v určitém rozsahu nastavit polohu špičky destičky.

Výhody nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami:

- těleso nástroje má podstatně delší životnost ve srovnání s nástroji s pájenou břitovou destičkou z důvodu možnosti pootočení řezné hrany nebo výměny celé destičky,
- u pájených břitových destiček se vyskytují zbytková pnutí, která vznikají při pájení nebo ostření, pnutí se nevyskytují u mechanicky upnutých destiček, což zajišťuje větší trvanlivost řezné hrany,
- místo výměny celého nože stačí přestavit či vyměnit destičku, což má velký význam z časového hlediska,

- u nástrojů vyměnitelnými destičkami se snižují nároky na skladovací prostory.

Nevýhodou použití nástrojů s vyměnitelnými destičkami je potřebný větší prostor pro mechanické upnutí než u pájených destiček. To je příčina toho, že nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami jsou rozměrově větší než pájené. Tato nevýhoda se projevuje především při výrobě malých součástek na automatech a revolverech, kde se používají malé nástroje.

Pro obrábění menších tvarových součástek vyráběných sériově se používají nože tvarové, prizmatické a kotoučové. Použití tvarových nožů je výhodné z hlediska vysoké výrobnosti, přesnosti a velkého počtu ostření. Soustružnické nože i vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů jsou normalizovány v jednotném systému ISO.

Použitím vyšších řezných rychlostí a posuvů, ale také pomocí nových a kvalitních řezných nástrojů lze dosáhnout zvýšení produktivity obrábění až o 20 %. Zároveň se také zvýšením produktivity předpokládá zvýšení jakosti obrobeného povrchu i funkční spolehlivost nástrojů, a to za současného snižování doby obrábění, tedy i celkové ceny výrobku.

S přihlédnutím k ceně a kvalitě výrobků a při očekávaném vývoji lze předpokládat, že se modernizace řezných nástrojů projeví na snížení celkové ceny výrobku, a to takto:

- při zvýšení trvanlivosti nástroje o 50 % se sníží celková cena výrobku o 1 %,
- při snížení ceny nástrojů o 30 % se sníží celková cena výrobku o 1 %,
- při zvýšení řezné a posuvové rychlosti o 20 % by mohla celková cena výrobku klesnout až o 15 %.

Z výše uvedených čísel je patrné, že předpokladem úspěšné realizace procesu obrábění je nejen výkonný a spolehlivý řezný nástroj, ale také výkonný a spolehlivý obráběcí stroj.

### **Stroje – soustruhy**

Soustružnické stroje tvoří nejpočetnější skupinu obráběcích strojů. Existuje velký počet různých druhů, typů a velikostí soustruhů.

Z konstrukčního hlediska se dělí na:

- hrotové,
- svislé,
- čelní,
- revolverové,
- speciální.

Rozdělení podle stupně automatizace:

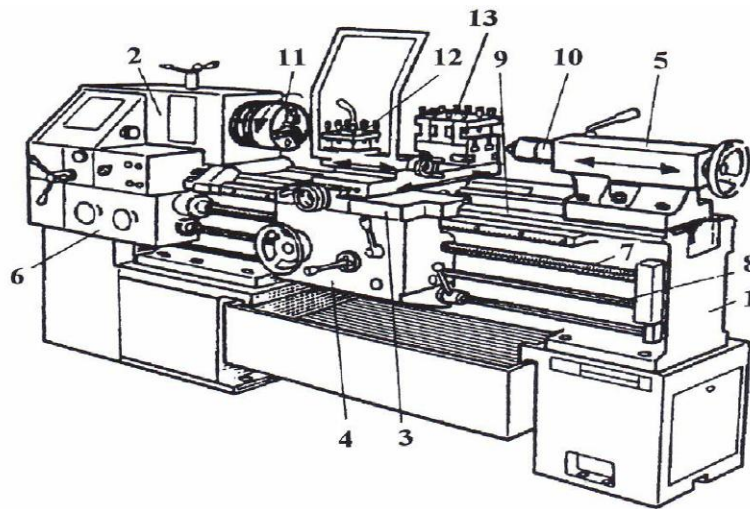
- ručně ovládané,
- poloautomatické – pracují v automatickém cyklu (zásah obsluhy je nutný na opakování cyklu, upnutí a odepnutí obrobku),
- automatické – umožňují samočinné opakování pracovního cyklu po obrobení jedné součástky.

*Hrotové soustruhy*

Používají se v kusové a malosériové výrobě pro soustružení hřídelových a přírubových součástí rozličných rozměrů a tvarů. Vyrábí se dva druhy, a to univerzální a jednoduché (produkční).

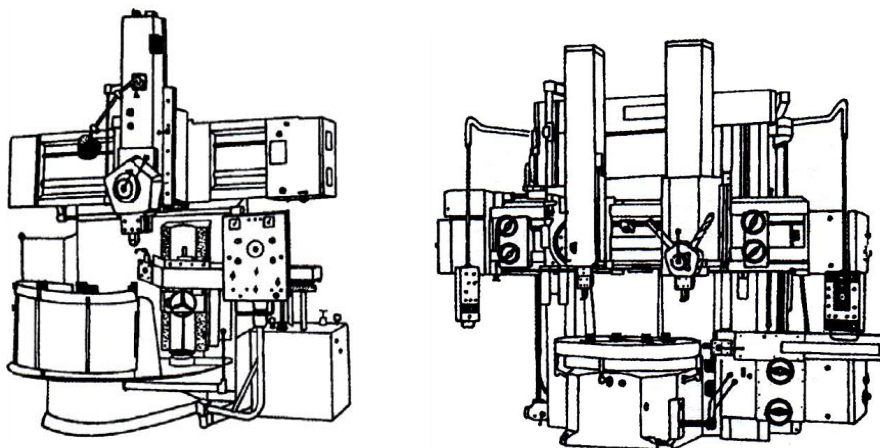
Univerzální mají vodící šroub a lze na nich obrábět v podstatě cokoliv. Jsou vhodné pro obrábění vnějších i vnitřních rotačních ploch. Lze obrábět rovinné i čelní plochy, zapichovat při podélném i čelním soustružení, řezat závitovým nožem závity, soustružit kuželové plochy, případně plochy tvarové. Jednoduché soustruhy nemají vodící šroub, jsou vybaveny silnějším elektromotorem a používají se především pro hrubovací práce.

Velikost soustruhů je dána především tzv. točným průměrem (max. průměr obrobku, který lze obrobit) a délkou soustružení (vzdáleností mezi hroty). Bývají vybaveny plynulou změnou otáček.



*Obr. 1.2.10 Univerzální hrotový soustruh*

1 – lože, 2 – vřeteník, 3 – suport, 4 - suportová skříň, 5 – koník, 6 - posuvová převodovka,  
7 - vodící šroub, 8 - vodící tyč, 9 - vodící plochy, 10 - hrotová objímka,  
11 – sklícidlo, 12 - otočná nožová hlava, 13 - zadní nožová hlava

*Svislé soustruhy (karusely)*

*Obr. 1.2.11 Svislý soustruh jednojtanový Obr. 1.2.12 Svislý soustruh dvoustojanový*

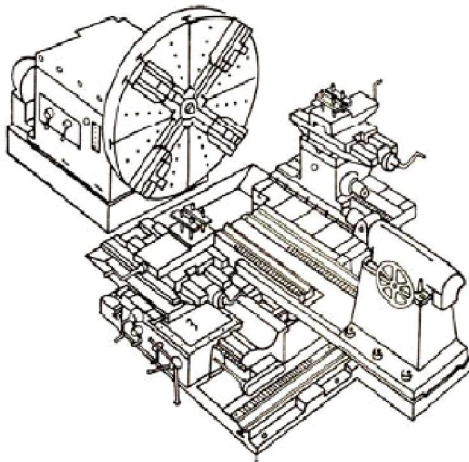
Používají se v kusové a malosériové výrobě středních a velkých rotačních součástí. Vyrábějí se jako jednojtanové (obr. 1.2.11) nebo dvoustojanové (obr. 1.2.12). Mezi hlavní části patří otočný stůl, stojany a příčníky se suportem. Někdy bývají vybaveny přídatným naklápěcím brousicím vřeteníkem (pro broušení vnějších a vnitřních povrchů), indikací polohy obrobku a číslicovým řízením.

Princip karuselu spočívá v tom, že je na vřeteníku upevněno sklíčidlo s obrobkem. Na stojanu se svislým vedením je jeden nebo dva příčnický s nožovou hlavou. Pohyb nástrojů je možný ve směru svislém i vodorovném.

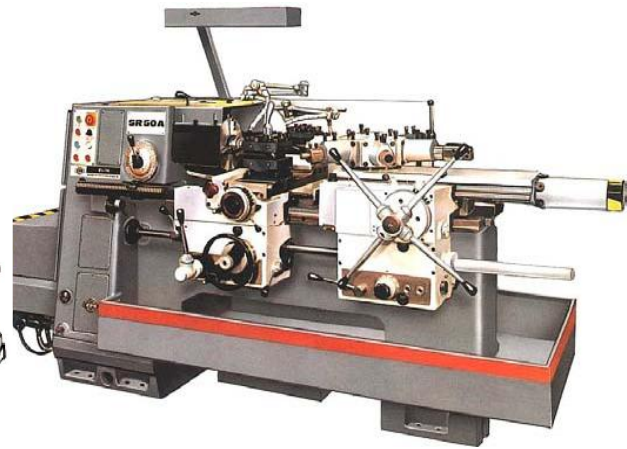
Na svislých soustruzích se dají obrábět vnější i vnitřní válcové plochy, kuželové plochy (s pomocí natočení suportu), řezat závity a umožňuje i soustružit tvarové plochy. K tomu však musí být soustruh vybaven kopírovacím zařízením.

#### Čelní soustruhy

Čelní soustruhy (obr. 1.2.13) jsou vhodné pro obrábění deskovitých součástí velkých průměrů a malých délek. Bývají vybaveny jedním nebo dvěma suporty a jsou bez koníku. Nemívají koník na podepření obrobku. K upnutí obrobku slouží svislé upínací desky upevněné na konci vřetena. V provozu se tyto soustruhy nevyskytují příliš často a bývají často nahrazovány svislými soustruhy.



Obr. 1.2.13 Čelní soustruh



Obr. 1.2.14 Revolverový soustruh

#### Revolverové soustruhy

Jsou určeny pro malé a střední série výroby součástí, které vyžadují na obrobení větší počet nástrojů. Umožní to, že na jedno upnutí více nástrojů postupně obrobí větší množství ploch. Tyto stroje soustruží podélně i příčně, vrtají v ose obrobku, vyvrtávají, vystružují, řezou závity, apod. Revolverová hlavice, ve které jsou upevněny nástroje, je otočná kolem horizontální nebo vertikální osy. Převážně se používají nástroje pro obrobení povrchů a nástroje pro obrábění děr. Nastavení nástrojů se provádí pro první obrobek a poté lze obrobek celou sérii obrobků za sebou. Celý cyklus bývá automatizován a často řízen číslicově. Celá revolverová hlava je vyměnitelná.

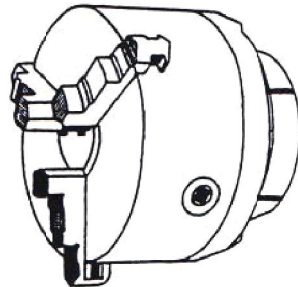
Výchozím polotovarem je tyčovina (upnutá do kleštin), odlitky, výkovky apod. Revolverové soustruhy se podle polohy osy otáčení dělí na soustruhy s vodorovnou, svislou (obr. 1.2.14) nebo šikmou osou revolverové hlavy.

#### Upínání obrobků

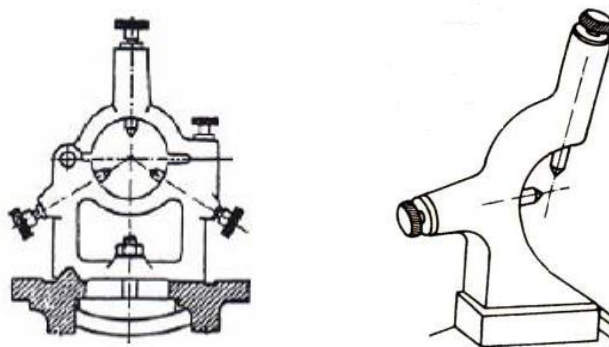
Správné upnutí obrobků by musí splňovat několik podmínek. Musí být spolehlivé, jednoduché, rychlé, vykazovat dostatečnou tuhost a zajistit jednoznačnou polohu obrobku vzhledem k nástroji. Používá se celá řada upínacích elementů nebo jejich kombinací. Způsob upnutí závisí především na tvaru a hmotnosti obrobku.

Nejpoužívanějším upínacím zařízením je univerzální sklíčidlo (obr. 1.2.15). Bývá většinou 3 čelistové, ale vyskytují se i sklíčidla čtyřčelistová. Pohyb jednotlivých čelistí může být vzájemně vázaný (samostředící sklíčidlo) nebo se mohou pohybovat nezávisle. Obvykle se upíná ručně (pomocí nástřného klíče), méně často pneumaticky, hydraulicky nebo elektricky. Poslední 3 jmenované zkracují čas na upínání.

U soustružnických poloautomatů a automatů se používají samosvorná sklíčidla. Jakmile se tato sklíčidla začínají otáčet, automaticky obrobek sevřou. Na těchto strojích se též používají čelní unašeče s odpruženým hrotem. U nich je kroučící moment přenášen řezným odporem nožků namáčknutých do čela obrobku. Tato alternativa umožňuje soustružit obrobek v celé jeho délce.



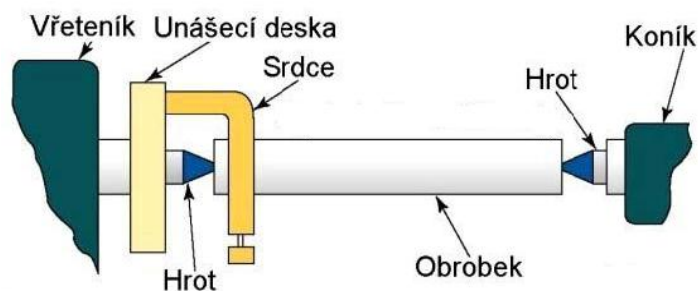
Obr. 1.2.15 Univerzální sklíčidlo



Obr. 1.2.16 Luneta pevná (vlevo), posuvná (vpravo) sklíčidlo

Obrobky s poměrem délky a průměru větším než  $2/3$  se upínají mezi hroty (obr. 1.2.17). Hroty se nasouvají do středních důlků navrtaných v čelech obrobku. Ve vřetenu je upnut pevný hrot a v koníku hrot otočný. Tento způsob upnutí se používá při vyšších požadavcích na přesnost (kde jsou předepsány minimální odchylky souososti mezi obrobenou plochou a osou otáčení). Kroučící moment přenáší unašecí deska se srdcem.

Velmi štíhlé obrobky, u kterých v průběhu obrábění hrozí nebezpečí prohnutí, se musí podpírat tzv. lunetami (obr. 1.2.16). Tyto se upevňují ve středu obrobku. Mohou být buď pevné (upnuty k loži stroje) nebo posuvné (posouvají se po loži).



Obr. 1.2.17 Upínání mezi hroty



Tyčovina (kruhového nebo šestihranného průřezu) menších průměrů se upíná do přesných upínacích pouzder – kleštín (obr 1.2.18). Jsou rozříznuty několika podélnými drážkami a materiál se upíná vtahováním do kuželové dutiny. Nevýhodou je, že jsou odstupňovány po 0,5 mm nebo 1 mm a proto jich musí být celá sada. Patří mezi velmi přesné metody upínání (dokáží zajistit souosost 0,01 až 0,05 mm).

Těžší a kratší obrobky nepravidelných tvarů (odlitky apod.) se upínají do upínací desky (obr. 1.2.19) se samostatně stavitelnými lištami.

V sériové výrobě se pro upínání používají upínky. Navrhují se jednotlivě pro složité tvary součástek. Zabezpečují nejen přesné upnutí, ale i jednoduchou a rychlou obsluhu.



Obr. 1.2.18 Kleština



Obr. 1.2.19 Upínací deska

### Upínání nástrojů

Upínání soustružnických nožů do univerzálních soustruhů by mělo být jednoznačné a spolehlivé s minimálním vyložením. Mělo by být lehce výškově přestavitelné. Nože se upínají do různých otočných nožových hlav (až 4 nože současně) nebo upínek.

U revolverových a speciálních soustruhů se nože upínají do speciálních držáků umístěných v zásobníku. Ty jsou řešeny tak, že se seřizování provádí mimo pracovní prostor. Odsud se pak automaticky přesouvají do obráběcího procesu.

### q Frézování

Mezi velmi rozšířené metody obrábění patří také frézování. Jeho velkou předností je poměrně velká výkonnost při velmi dobré kvalitě obrábění. Tato metoda se využívá pro obrábění rovinných, tvarových i rotačních ploch, pro obrábění drážek různých profilů i pro obrábění závitů a ozubení.

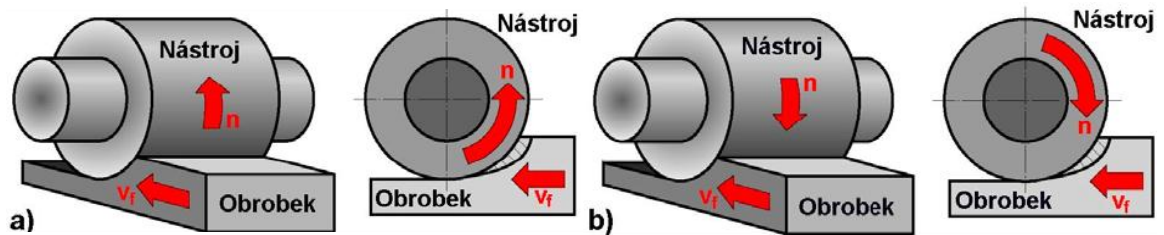
Při frézování je tříska odebírána břity rotujícího nástroje - frézou. Hlavní pohyb při frézování je rotační a vykonává ho nástroj. Vedlejší pohyb je posuv, který je přímočarý a vykonává ho obrobek. U moderních strojů jsou posuvy plynule měnitelné a mohou se realizovat ve více směrech zároveň (víceosá obráběcí centra). Řezný proces je přerušovaný, protože každý zub odřezává krátké třísky proměnlivé tloušťky.

Z technologického hlediska se podle polohy osy nástroje k obráběné ploše rozlišuje frézování:

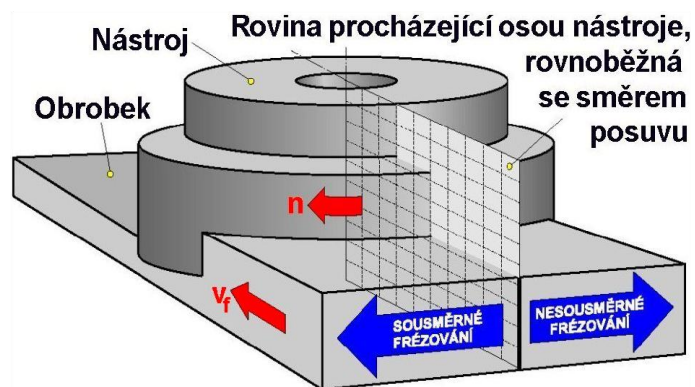
- válcové (obr. 1.2.20) – obvodem nástroje – osa nástroje je rovnoběžná s obráběnou plochou,
- čelní (obr 1.2.21) – čelem nástroje – osa nástroje je kolmá na obráběnou plochu, hloubka řezu se nastavuje ve směru osy nástroje.

Existují některé další způsoby frézování, které se odvozují od těchto základních způsobů:

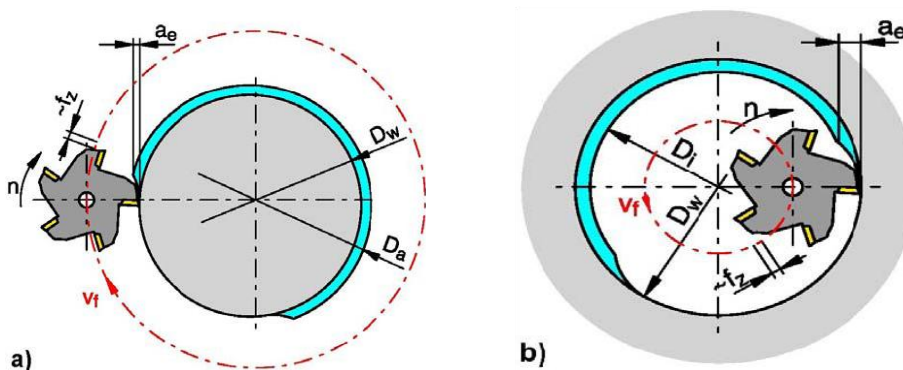
- okružní (obr – obvodem rotačního nástroje obrobku, který je rovněž rotačního tvaru – osy nástroje i obrobku jsou obvykle vzájemně skloněné a hloubka řezu se nastavuje ve směru kolmém na osu obrobku. Okružním frézováním lze obrábět vnější i vnitřní válcové plochy,
- planetové (obr 1.2.22) – pro obrábění vnějších i vnitřních válcových ploch.



Obr. 1.2.20 Válcové frézování, a) nesousledné, b) sousledné



Obr. 1.2.21 Čelní frézování



Obr. 1.2.22 Planetové soustružení, a) vnější, b) vnitřní

Při válcovém frézování se využívají válcové a tvarové frézy. Zuby jsou pouze po obvodu nástroje, hloubka řezu se nastavuje v rovině kolmé na osu frézy a na směr posuvu. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení nástroje. V závislosti na smyslu otáčení nástroje rozlišujeme dva druhy válcového frézování:

- nesousledné (obr. 1.2.20a),
- sousledné (obr. 1.2.20b).

Při *nesousledném (nesousměrném)* frézování se nástroj pohybuje proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Charakteristickým znakem je proměnlivá tloušťka třísky (mění se od nulové hodnoty na hodnotu maximální). Při vnikání nástroje do materiálu z počátku břit materiál stlačuje. K oddělování třísky dochází v okamžiku, kdy tloušťka odřezávané vrstvy dosáhne určité velikosti. Důvodem je skutečnost, že ostří frézy není vlastně ostrá hrana, ale ploška o poloměru  $R = 8$  až  $30 \mu\text{m}$ . Silové účinky a deformace, vznikající při nesousledném frézování, způsobují zvýšené opotřebení břitu.

Výhody nesousledného frézování:

- menší opotřebení stroje (šroubu a matice),
- záběr zubů nezávisí na hloubce řezu,
- na trvanlivost nástroje nemá vliv povrchu obrobku.

Nevýhody nesousledného frézování:

- zhoršená jakost obrobené plochy,
- směr síly frézování s ohledem na upnutí.

Smysl rotace nástroje je při *sousledném (sousměrném)* frézování ve směru posuvu obrobku. Tloušťka třísky se mění z maximální hodnoty do nuly. K tomu, abychom mohli na stroji provádět sousledné frézování, musí být frézka přizpůsobena tak, že se vymezí vůle a předpětí mezi posunovým šroubem a maticí stolu. Pokud není tato podmínka splněna, může dojít k poškození nástroje a dokonce i stroje.

Výhody *sousledného frézování*:

- vyšší trvanlivost nástrojů,
- použití vyšších řezných rychlostí a posuvů,
- nižší řezný výkon,
- jednodušší upínání (síla řezání přitlačuje obrobek ke stolu),
- menší sklon ke kmitání,
- obrobená plocha dosahuje vyšší jakost.

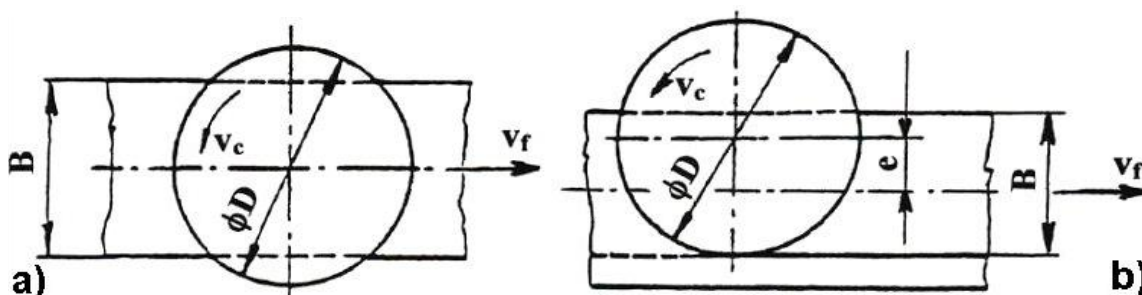
Nevýhody *sousledného frézování*:

- nevhodné při obrábění polotovarů s tvrdým a znečištěným povrchem,
- silová zátěž každého zubu při záběru.

Při čelním frézování má nástroj umístěn břity na obvodu frézy, ale i na čele (na ploše kolmé k ose frézy). Podle polohy osy otáčení frézy vzhledem k obráběné ploše existují 2 základní metody:

- symetrické frézování (obr. 1.2.23a) – osa nástroje prochází středem frézované plochy,
- nesymetrické frézování (obr. 1.2.23b) – osa nástroje je mimo střed frézované plochy.

Na obr. 1.2.21 je jasně znázorněno, že při čelním frézování probíhá sousledné i nesousledné frézování současně.



Obr. 1.2.23 Čelní frézování, a) symetrické, b) nesymetrické

### Řezné podmínky

Pro zjednodušení se za řeznou rychlost  $v_c$  pokládá obvodová rychlost nástroje:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}], \text{ kde} \quad (1.2.6)$$

$D$  – průměr nástroje [mm],

$n$  – otáčky nástroje [ $\text{min}^{-1}$ ].

Posuv na zub  $f_z$  [mm] je základní jednotkou posuvového pohybu. Je to délka dráhy obrobku za dobu záběru zubu. Posuv na otáčku  $f_n$  je délka dráhy obrobku za dobu jedné otáčky nástroje.

$$f_n = f_z \cdot z \quad [\text{mm}], \text{ kde} \quad (1.2.7)$$

$z$  – počet zubů (břitů) nástroje [-].

Vzorec pro výpočet posuvové rychlosti  $v_f$ :

$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}], \text{ kde} \quad (1.2.8)$$

$n$  – otáčky nástroje [ $\text{min}^{-1}$ ].

Při válcovém nesousledném frézování se tloušťka třísky  $h_i$  mění od nulové do maximální hodnoty a při sousledném frézování od maxima do nuly (obr. 1.2.20). Jmenovitá tloušťka třísky  $h_i$  je v libovolné fázi odřezávání vyjádřena vztahem:

$$h_i = f(\varphi_i) = f_z \cdot \sin \varphi_i \quad [\text{mm}], \text{ kde} \quad (1.2.9)$$

$f_z$  - posuv na zub [mm],

$\varphi_i$  – úhel posuvového pohybu [ $^\circ$ ].

Úhel posuvového pohybu  $\varphi_i$  se mění nejen v závislosti na poloze řešeného zubu, ale u fréz se šikmými zuby nebo zuby ve šroubovici, dále pak podél příslušného ostří.

Označení jmenovitého průřezu třísky pro polohu frézy  $i$  je  $AD_i$ . Pro poměry naznačené v obrázku 1.2.24 se vypočítá ze vztahu:

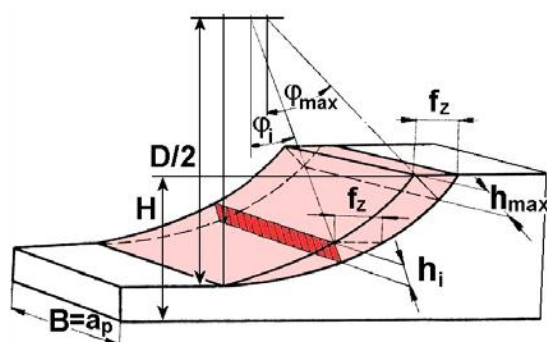
$$A_{D_i} = a_p \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \quad [\text{mm}^2], \text{ kde} \quad (1.2.10)$$

$a_p$  – hloubka řezu [mm].

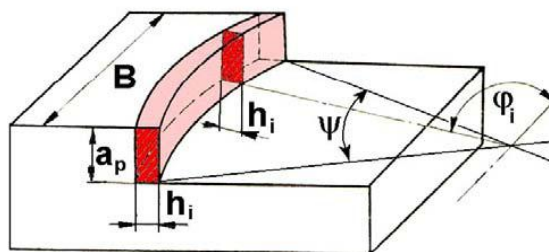
Pokud  $\varphi_i = \varphi_{\max}$ , potom maximální velikost jmenovitého průřezu třísky bude:

$$A_{D_{\max}} = a_p \cdot h_{\max} = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_{\max} \quad [\text{mm}^2] \quad (1.2.11)$$

$$\sin j_{\max} = \frac{2}{D} \sqrt{D \cdot H - H^2}$$



Obr. 1.2.24 Průřez třísky při válcovém fréz.



Obr. 1.2.25 Průřez třísky při čelním fréz.

U čelního frézování platí také, že se *tloušťka třísky* mění v závislosti na úhlu posuvového pohybu  $\varphi_i$ . Má na něj také vliv úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$  (na obr. 11.32 je hodnota  $\kappa_r = 90^\circ$ ). Okamžitou hodnotu lze vypočítat ze vztahu:

$$h_i = f_z \cdot \sin \varphi_i \cdot \sin \kappa_r \quad [\text{mm}] \quad (1.2.12)$$

Jmenovitá šířka třísky  $b_i$  je pro libovolné  $\varphi_i$  konstantní a vypočítá se ze vztahu:

$$b = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \quad [\text{mm}] \quad (1.2.13)$$

Jmenovitý průřez třísky  $AD_i$  pro  $\kappa_r = 90^\circ$ :

$$A_{D_i} = b \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \quad [\text{mm}^2] \quad (1.2.14)$$

Maximální velikost jmenovitého průřezu třísky je při  $\varphi_i = 90^\circ$ :

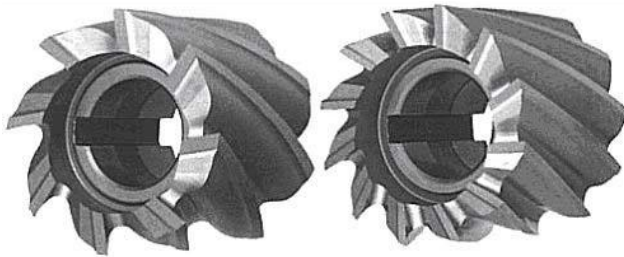
$$A_{D_{\max}} = a_p \cdot f_z \quad [\text{mm}^2] \quad (1.2.15)$$

### Nástroje – frézy

Frézy jsou několikabřité nástroje, na nichž jsou břity uspořádány na válcové, kuželové nebo jiné tvarové ploše frézy. U čelních fréz jsou i na čelní ploše. Vzhledem k velkému rozsahu technologie se používá velmi mnoho druhů fréz, z nichž většina je normalizovaná.

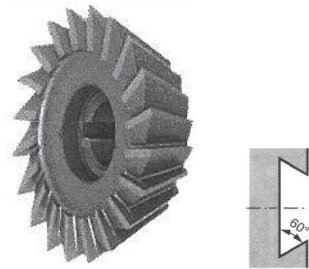
Vyráběné frézy lze rozřadit do jednotlivých skupin podle různých hledisek:

- podle ploch, na nichž leží **ostří**, se rozeznávají nástroje **válcové** (ostří se nachází na válcové ploše – a1), **čelní** (zuby se nachází na čelní ploše – a2), **válcové čelní** (ostří se nachází na čelní i válcové ploše – a3).



Obr. 1.2.26

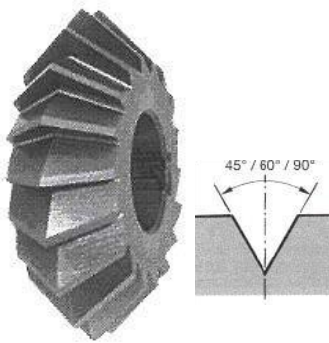
a3, b1, c1, d2, e2, f1, g1, h1, i1



Obr.1.2.27

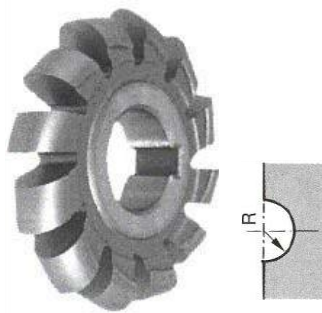
a3, b1, c1, d1, e3, f1, g3, h1, i1

- Podle druhu materiálu nástroje se rozlišují frézy z rychlořezné oceli (b1), slinutých karbidů (b2), cermetů (b3), řezné keramiky (b4), KNB (b5) a PKD (b6).



Obr.1.2.28

a1, b1, c1, d1, e2, f1, g3, h1, i2



Obr.1.2.29



Obr.1.2.30

a1, b1, c2, d1, e2, f1, g6, h1, i2

Podle způsobu výroby zubů se rozlišují frézy se zuby frézovanými (c1) nebo podsoustruženými (c2). U frézovaných zubů tvoří čelo i hřbet rovinná plocha. Úzká fazetka na hřbetu o šířce 0,5 – 2 mm zpevňuje břit. Ostření se provádí na hřbetu. Podsoustružené zuby mají vytvořenou hřbetní plochu jako část Archimédovy spirály. Čelo zubu je plochou rovinnou, ostření se provádí na čele. Při ostření podsoustružených zubů se profil mění jen nepatrně, takže se využívají hlavně pro tvarové frézy.



Obr. 1.2.31

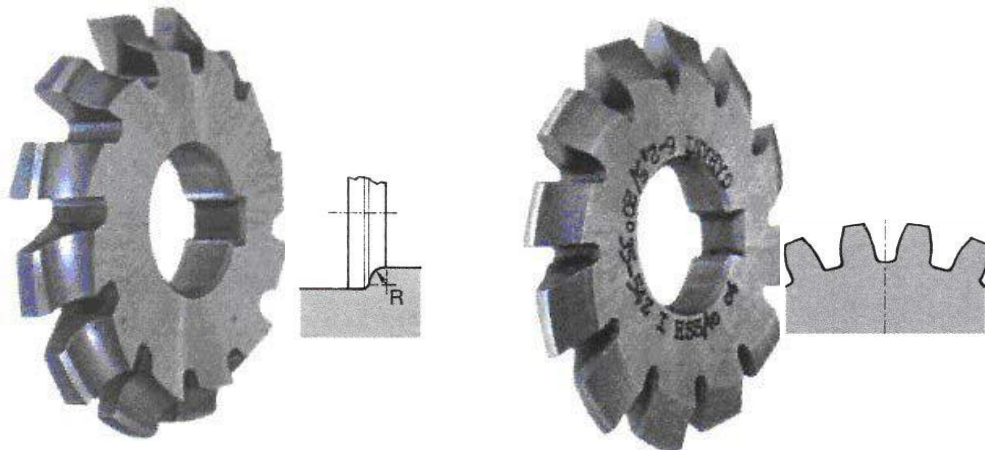
a3, b2, c1, d2, e3, f1, g4, h2, i1



Obr. 1.2.32

a3, b2, c1, d2, e3, f1, g5, h2, i1

Podle směru zubů vzhledem k ose rotace lze frézy rozdělit na frézy se zuby přímými (d1) a se zuby ve šroubovici (d2), pravé nebo levé. Výhodou šroubovité drážky je postupné vnikání zubů do záběru a tudíž je řezný proces plynulý a klidnější. Stoupání šroubovice je 10° až 45°, někdy více.



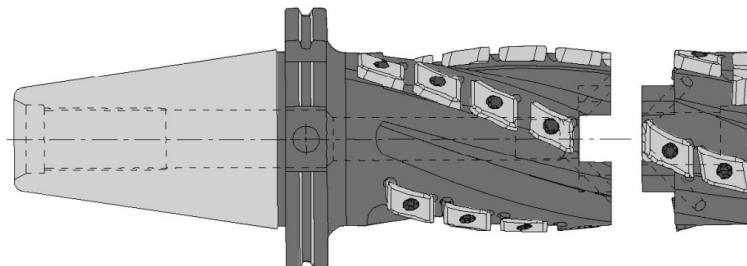
Obr.1.2.33

Obr.1.2.34

*a1, b1, c2, d1, e2, f1, g6, h1, i2*

*a1, b1, c2, d1, e2, f1, g7, h1, i2*

Podle počtu zubů vzhledem k ose rotace lze frézy rozdělit na frézy jemnozubé (e1), polohrubozubé (e2) a hrubozubé (e3). Pro zajištění klidného chodu frézy má být počet zubů takový, aby byly v záběru nejméně 2 zuby.



Obr. 1.2.35 - *a3, b2, c-, d2, e3, f3, g1, h3, i1*

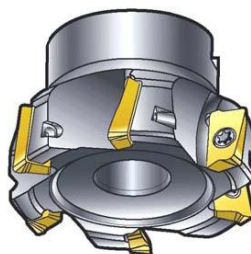
Podle konstrukčního uspořádání existují frézy celistvé (jeden materiál pro zuby i těleso – f1), s vyloženými zuby (f2) a s vyměnitelnými břitovými destičkami mechanicky upevněnými v tělese frézy (f3).

Podle geometrického tvaru funkční části se dělí na válcové (g1), kotoučové (g2), úhlové (g3), drážkovací (g4), kopírovací (g5), radiusové (g6), na výrobu ozubení (g7), atd.



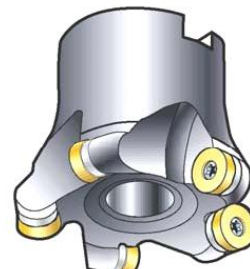
Obr. 1.2.36

*a2, b2, c-, d2, e2, f3, g-, h1, i1*



Obr. 1.2.37

*a2, b2, c-, d2, e3, f3, g-, h1, i1*

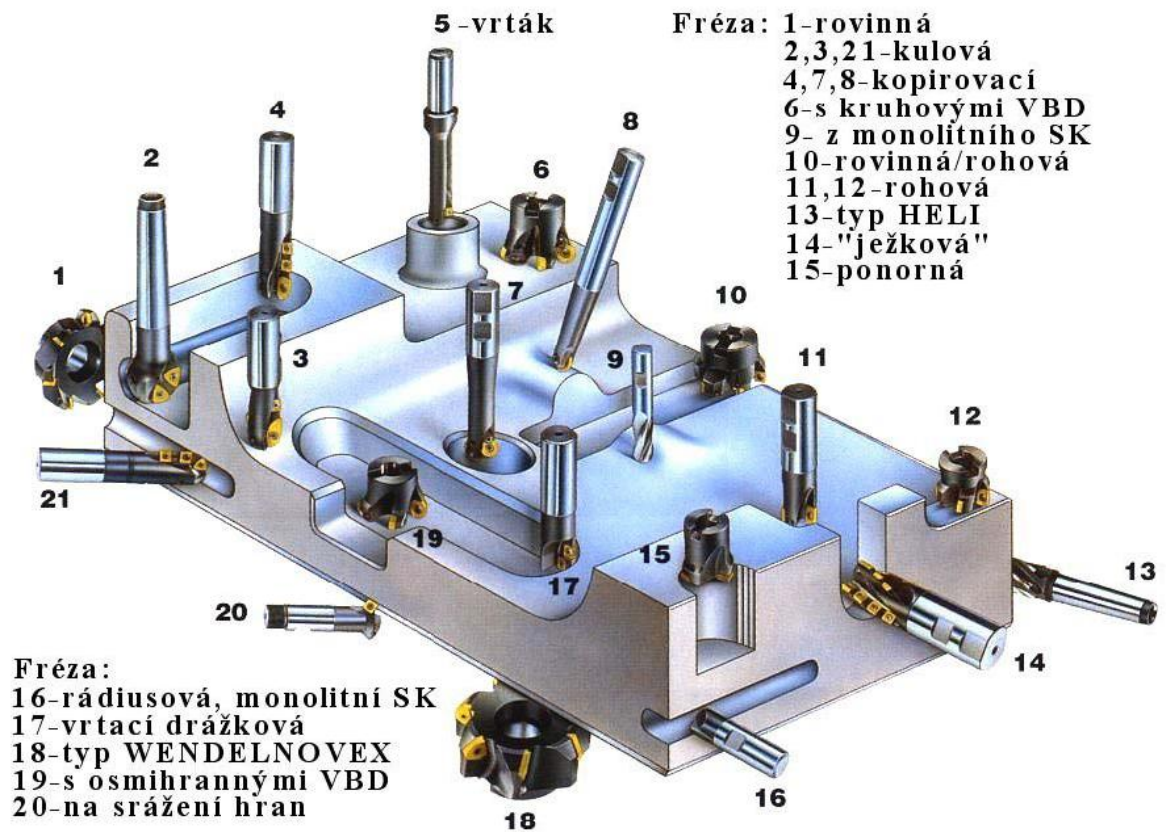


Obr. 1.2.38

*a2, b2, c-, d1, e3, f3, g-, h1, i1*

Podle způsobu upnutí fréz na stroji se rozeznávají frézy nástrčné (upínají se na centrální otvor – h1) a stopkové (upínají se za válcovou – h2 nebo kuželovou stopku – h3).

Podle smyslu otáčení při pohledu od vřetena stroje se frézy dělí na pravořezné (i1) a levořezné (i2).



Obr. 1.2.39 Frézy firmy Walter

### Frézovací stroje - frézky

Frézky jsou vyráběny ve velkém počtu modelů, velikostí i výkonů s rozsáhlým příslušenstvím. Lze je rozdělit do 4 skupin:

- konzolové,
- stolové,
- rovinné,
- speciální.

Velikost frézky určují různé technické parametry:

- šířka upínací plochy stolu,
- velikost kužele ve vřetenu pro upnutí nástroje,
- délka pohybu pracovního stolu nebo vřeteníku,
- rozsah posuvů a otáček vřetene,
- výkon elektromotorů pro otáčení vřetena,
- kvalitní parametry obrobenej plochy.



Z hlediska řízení existují:

- ručně ovládané,
- programově řízené (s tvrdou nebo pružnou automatizací).

#### Konzolové frézky

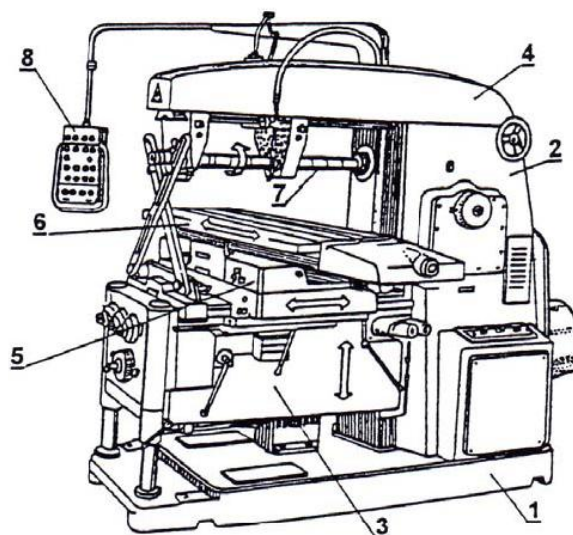
Mezi nejrozšířenější frézky patří konzolové. Jsou charakterizovány výškově přestavitelnou konzolou, která se pohybuje ve svislém směru po vedení stojanu stroje. Na konzole je pohyblivý příčný stůl s podélným pracovním stolem. Proto lze přestavování obrobku upnutého na pracovním stole provádět ve třech pravouhlych souřadnicích vzhledem k nástroji. Používají se pro obrábění rovinných a tvarových ploch menších a středně velkých obrobků v kusové a malosériové výrobě.

Vyrábějí se ve třech různých variantách:

- vodorovné (horizontální),
- svislé (vertikální),
- univerzální.

Konzolové frézky *vodorovné* (obr. 1.2.40) mají vodorovnou osu pracovního vřetene, která je rovnoběžná s plochou podélného stolu a současně kolmá na směr pohybu podélného stolu. Pro obrábění se používají především válcové, kotoučové a tvarové frézy. Podepření frézovacího trnu může být v jednom nebo ve dvou opěrných ložiskách. Zřídka jsou používány frézy s kuželovou stopkou a frézovací hlavy. Na vodorovných frézkách se obrábí převážně plochy rovnoběžné s upínací plochou stolu, drážky a tvarové plochy. Konzolové frézky univerzální se od vodorovných liší tím, že jejich podélný stůl je ve vodorovné rovině otočný kolem svislé osy o  $\pm 45^\circ$ .

- 1 – základna
- 2 – stojan
- 3 – konzola
- 4 – rameno
- 5 – příčný stůl,
- 6 – podélný pracovní stůl,
- 7 – vřeteno
- 8 – ovládací panel



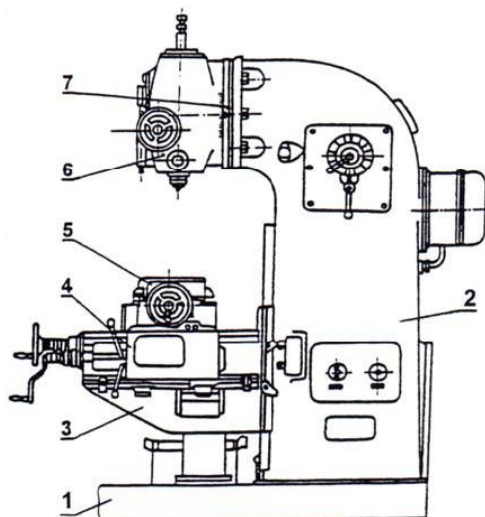
Obr. 1.2.40 Vodorovná konzolová frézka

Konzolové frézky *svislé* (obr. 1.2.41) mají osu pracovního vřetene kolmou k upínací ploše stolu. Pracovní vřeteno je uloženo ve svislé hlavě připevněné na stojanu frézky nebo je uloženo přímo ve stojanu. Natáčení svislé hlavy je možné o  $\pm 45^\circ$  na obě strany, vřeteno je svisle přestavitelé. Pro obrábění se používají čelní frézy upnuté na krátkém trnu nebo frézy s kuželovou stopkou, upínané přímo do kužele vřetene. Frézy s válcovou stopkou se upínají přímo do sklíčidla. Větší frézy používají

rovněž frézovací hlavy. Na svislých konzolových frézkách se frézují zejména rovinné plochy rovnoběžné s upínací plochou stolu, drážky v těchto plochách a tvarové plochy.

*Univerzální* konzolové frézky spojují výhody obou uvedených typů. Jsou vybaveny výsuvným ramenem pro upínání trnu s válcovou frézou a také svislou hlavou pro upínání čelních fréz a frézovacích hlav. S výhodou se dají použít pro frézování šroubových drážek na vrtácích, zubových mezer na frézách a výhrubnicích se zuby ve šroubovici atd.

- 1 – základna
- 2 – stojan
- 3 – konzola
- 4 – příčný stůl
- 5 – podélný pracovní stůl
- 6 – naklápěcí vřeteník
- 7 – kruhová základna vřeteníku



Obr. 1.2.41 Svislá konzolová frézka

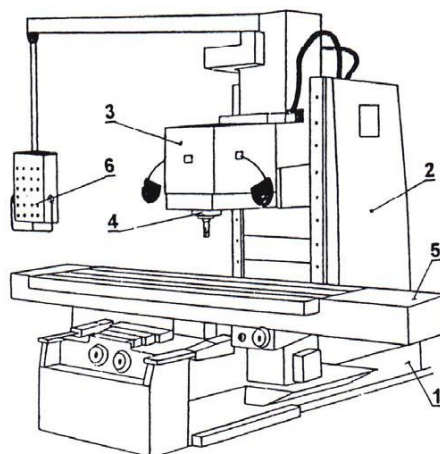
Univerzální použitelnost konzolových frézek je významně rozšířena zvláštním příslušenstvím. Patří sem:

- Univerzální frézovací hlava – připevňuje se na čelní plochu stojanu univerzální vodorovné frézky. Může se natáčet kolem dvou os, takže lze frézu nastavit do libovolné polohy a obrábět nepřístupné plochy.
- Svislá frézovací hlava – je otočná kolem osy pracovního vřetene a doplňuje vodorovnou frézku pro práce, které by jinak vyžadovaly svislou frézku. Krouticí moment se z vřetene přenáší v podstatě stejným způsobem jako u univerzální hlavy.
- Otočný stůl – se připevňuje na pracovní stůl frézky a umožňuje frézování rotačních tvarů stopkovými frézami. Otáčí se buď ručně, nebo je otáčení odvozeno od podélného pohybu pracovního stolu šroubovým teleskopickým hřídelem.
- Obrážecí hlava – velmi často je nedílnou součástí vybavení nástrojařských frézek nebo doplňkovým vybavením univerzálních a vodorovných frézek. Upíná se obdobně jako svislá frézovací hlava. Díky možnosti pootáčení umožňuje obrážet ve svislém vodorovném i šikmém směru.
- Dělicí přístroj – umožňuje pootáčení obrobku (dělení) o určitý úhel nebo rozteč. Využívá se při frézování čtyřhranů a šestihranů, vícedrážkových hřídelů, ozubených kol, vícebřitých nástrojů, zářezů na čelních plochách atd. (obr 1.2.45)

*Stolové frézky*

Na rozdíl od frézek konzolových nemají konzolu, ale podélný příčný stůl. Svislý pohyb je prováděn přemisťováním vřeteníku po vedení stojanu stroje. Na stolových frézkách (obr. 11.56) lze produktivně a zároveň velmi kvalitně obrábět velké a těžší součásti. Existují jak vodorovné a svislé.

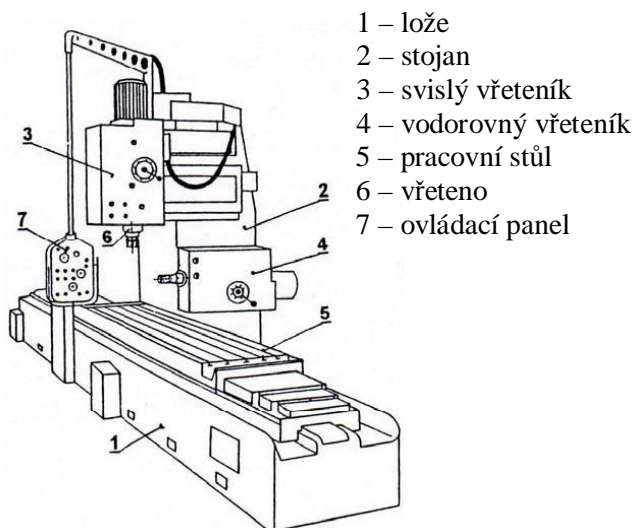
- 1 – základní deska
- 2 – stojan
- 3 – vřeteník
- 4 – vřeteno
- 5 – pracovní stůl
- 6 – ovládací panel



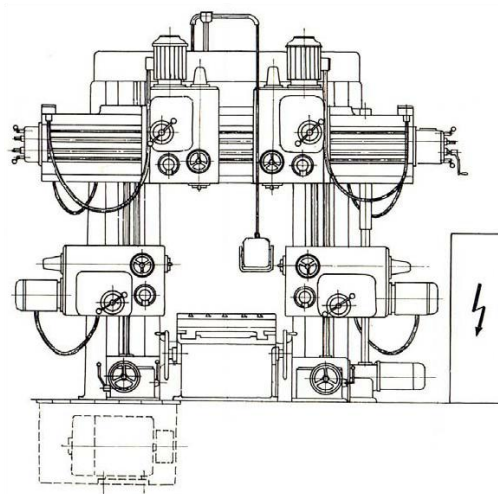
Obr. 1.2.42 Stolová frézka

*Rovinné frézky*

Jsou to robustní stroje, které patří mezi nejvýkonnější ze všech druhů frézek. Je na nich tedy možné obrábět obrobky velkých rozměrů a hmotností. Na rovinných frézkách (obr. 1.2.43) se obrábí se na nich nejčastěji frézovacími hlavami při obrábění vodorovných, šikmých i svislých ploch a stopkovými frézami při frézování úzkých ploch a drážek. Pracovní stůl má jeden stupeň volnosti (umožňuje pohyb jen v jednom směru). Vyrábí se i s více vřeteníky, tedy jako portálové (obr. 1.2.44).



Obr. 1.2.43 Rovinná frézka



Obr. 1.2.44. Rovinná portálová frézka

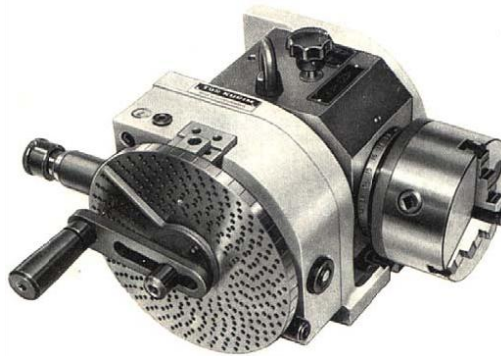
*Dělicí přístroje*

Dělicí přístroje slouží k pootáčení obrobku (dělení) o určitý úhel nebo rozteč, při obrábění vícehranů, ozubených kol apod. Rozdělují se na:

- jednoduché – dělicí kotouč, který má na svém obvodu zářezy nebo díry slouží pro dělení obvodu obrobku. Používá se pro metodu přímého dělení. Tato metoda je založena na pootáčení vřetena dělicího přístroje o požadovaný díl obvodu a zajištění polohy. Podle

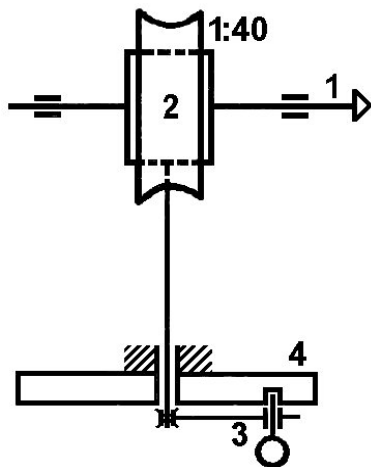
počtu zářezů na kotouče je možné tímto způsobem dělit obvod obrobku na násobky  $1/24$ ,  $1/36$  nebo  $1/48$  obvodu. Upínání obrobků je možná dvěma způsoby, a to buď na desku s upínacími drážkami, nebo do univerzálního sklíčidla.

- univerzální – (obr. 11.59) umožňuje dělení přímou, nepřímou i diferenční metodou. Pro přímé dělení slouží dělicí kotouč nasazený a upevněný na předním konci dělicího vřetena. Kotouč má 24, 36 nebo 48 otvorů, do nichž zapadá kolík uložený v přístroji. Dělení probíhá stejně jako u jednoduchého dělicího přístroje. Nepřímé a diferenční dělení provádí kotouč, který má na čelní ploše v soustředných kruzích různé počty děr. Je to např. 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24... Klikou se pootáčí vřeteno přístroje přes ozubené soukolí  $z_1, z_2$  s převodem 1:1 a šnekovým převodem obvykle 1:40.

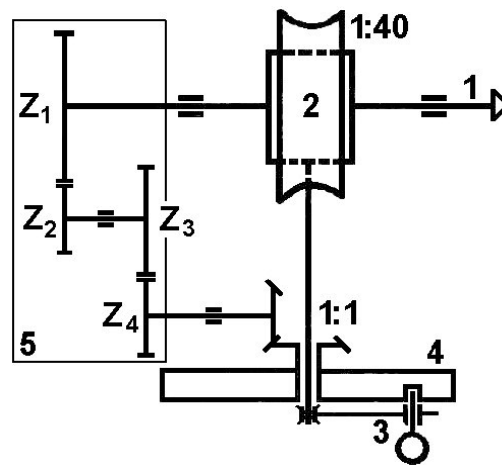


Obr. 1.2.45 Univerzální dělicí přístroj

**Příklad 1.2.1 Nepřímé dělení** (Obr. 11.60) – má-li se např. pootočit dělicí vřeteno o  $\frac{1}{26}$  obvodu, je třeba pootočit klikou o  $\frac{40}{26} = 1 + \frac{14}{26}$ . Protože 26 děr na dělicím kotouči není, upraví se zlomek  $\frac{14}{26}$  na  $\frac{21}{39}$  a kolíkem v rukojeti kliky se zajistí její poloha v některé z děr na kruhu s 39 děrami. Pak se otočí klikou jednou dokola ještě o 21 roztečí. Nepřímé dělení je možno provádět také jako složené z roztečí na dvou kruzích s různým počtem děr.



Obr. 1.2.46 Nepřímé dělení



Obr. 1.2.47 Diferenciální dělení

Zjednodušené kinematické schéma univerzálního dělicího přístroje. 1 – vřeteno, 2 – šnekový převod, 3 – dělicí klika, 4 – dělicí kotouč, 5 – výměnná ozubená kola

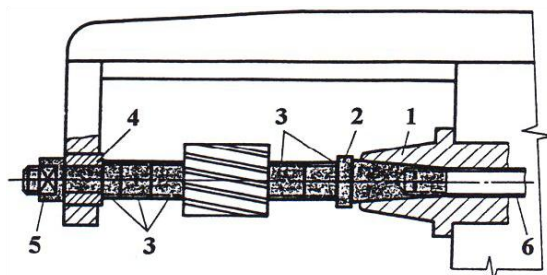
Příklad diferenciálního dělení (obr. 1.2.47) – diferenciální dělení se používá tam, kde nestačí nepřímé dělení nebo když je třeba dělit obvod na počty dané některými prvočíslly. Příklad je opatřen doplňkovými převody z1 až z2. Otáčením dělicí kliky se potáčí vřeteno dělicího přístroje přes šnek a šnekové kolo jako při nepřímém dělení. Současně se však zpětným převodem z1 až z4 otáčí dělicí kotouč. Je-li převod mezi dělicí klikou a pracovním vřetenem tvořen koly z1 až z4, otáčí se dělicí kotouč ve stejném smyslu s dělicí klikou. Pokud je ještě vloženo další mezikolo, bude se dělicí kotouč otáčet opačně než dělicí klika.

K dělicím přístrojům jsou vypracovány tabulky, s jejichž pomocí lze snadno řešit rozličné případy dělení. Univerzální dělicí přístroje se používají také při frézování šroubových drážek. Vřeteno přístroje má v tomto případě pohon odvozený od pohybového šroubu podélného stolu univerzální frézky. Stůl je natočen o úhel stoupání šroubovice.

### Upínání nástrojů

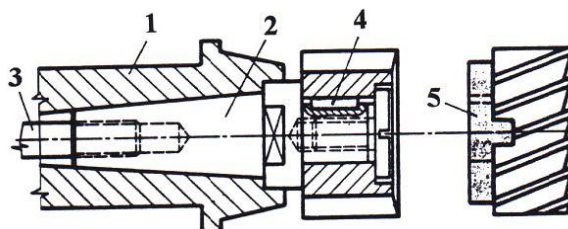
Válcové nástrčné frézy se upínají na frézovací trny. Upínací kužel frézovacích trnů a pracovního vřetene se vyrábí buď metrický s kuželovitostí 1:20, Morse 1:19 až 1:20, nebo strmý 1:3,5. Tím, že jsou metrický a Morse kužel samosvorné, přenášejí krouticí moment z vřetena na trn. Pro dokonalý přenos krouticího momentu má konec vřetene obdélníkové vybrání. Do něho zapadá zploštělý nákržek na konci frézovacího trnu. U strmého kužele se krouticí moment přenáší dvěma kameny upevněnými na čele vřetene. Ten přímo zapadá do vybrání do nákržku frézovacího trnu. Strmý kužel pouze středí trn v pracovním vřetenu. Volně navlečený rozpěrný kroužek zajišťuje polohu frézy na dlouhém trnu (obr. 1.2.48). Na trnu je také vodící pouzdro. To je součástí posuvného podpěrného ložiska, které je umístěno na výsuvném rameni vodorovné frézky. Je důležité, aby pouzdro bylo ustaveno v poloze, kde bude trn ložiska podepřen. Abychom zajistili tuhé upnutí nástrojů je důležité, aby frézy byly upnuty co nejbližší k vřetenu a výsuvné rameno se musí přisunout k fríze co nejbližší. Pro upnutí čelních nástrčných fréz a frézovacích hlav se používají krátké upínací trny letmo upnuté do vřetena stroje (obr. 1.2.49).

- 1 – vřeteno
- 2 – trn
- 3 – rozpěrné kroužky
- 4 – podpěrné ložisko
- 5 – upínací matice
- 6 – upínací šroub



Obr. 1.2.48 Dlouhý frézovací trn

- 1 – vřeteno
- 2 – trn
- 3 – upínací šroub
- 4 – podélné pero
- 5 – příčné pero



Obr. 1.2.49 Krátký frézovací trn

Pro upnutí fréz s kuželovou stopkou se používají redukční pouzdra, která jsou umístěna přímo ve vřeteni frézky. Redukční pouzdra se používají i v případě, že se neshoduje kužel frézovacího trnu

a kužel vřetene. Pro upnutí fréz s válcovou stopkou do vřetene frézky se použije sklíčidlo s upínacím pouzdrem.

Pro upínání fréz s válcovou stopkou (průměr 3-50 mm) se velmi často používají speciální tepelné nebo hydraulické upínače (obr. 11.64). Princip tepelného upínače spočívá v ohřívání nástroje, který je vložen do tělesa upínače, magnetickým polem cívky vysokofrekvenčního generátoru. Proces ohřevu je tak rychlý, že zvýšení teploty nástroje v důsledku vedení tepla je minimální. Následně je upnutý nástroj ochlazen obvykle proudem vzduchu. Proces smrštění materiálu zajistí spolehlivé upnutí. Uvolnění nástroje se provádí opět ohřevem ve stejném zařízení.

### Upínání obrobků

Při frézování dochází k záběru několika zubů v jednom okamžiku, což způsobuje velké řezné síly. Z tohoto důvodu je důležité, aby byl obrobek řádně upnut. Při upínání je nezbytné, abychom splnili několik podmínek:

- obrobek nesmí být při upnutí deformován,
- upnutí musí být pevné a spolehlivé,
- upínací plocha musí být co nejbližší k vřetenu.

Menší obrobky se obvykle upínají do běžných strojních svěráků, otočných a sklopných svěráků (obr. 1.2.50), speciálních svěráků pro upínání válcových součástí (obr. 1.2.51) atd. Všechny tyto svěráky mohou mít ovládání ruční, pneumatické nebo hydraulické.



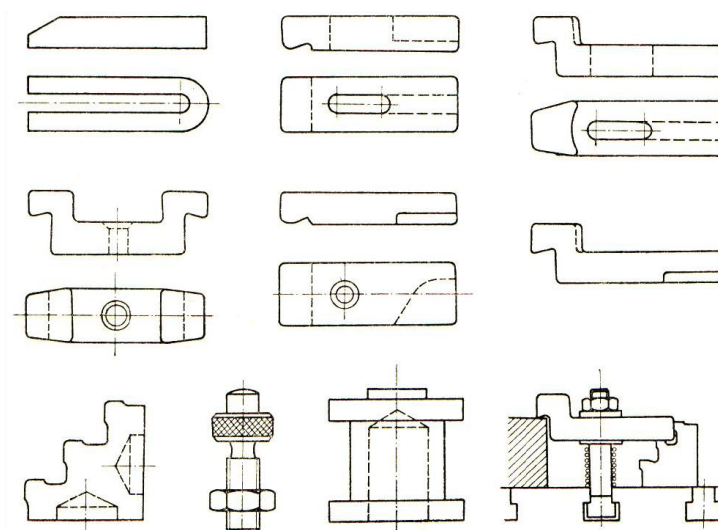
*Obr. 1.2.50 Otočný sklopný svěrák*



*Obr. 1.2.51 Samostředící svěrák pro upínání válcových součástí*

Rozměrnější obrobky se upínají různými upínacími pomůckami, jako jsou upínky, opěrky, podpěrky, atd. (obr. 1.2.52). Upínací pomůcky se upevňují do T-drážek stolu frézky pomocí speciálních šroubů s čtvercovou hlavou.

Na číslicově řízených frézách při přesném obrábění slouží k upínání technologické palety, se kterými se obrobek může pohybovat mezi jednotlivými obráběcími stroji.



Obr. 1.2.52 Základní upínky a podpěry obrobků

### q Vrtání, vyhrubování, vystružování, vyvrtávání

Jedná se o technologie sloužící k obrábění děr. Tato operace je ve strojírenské výrobě poměrně velmi častá. Obrábění děr patří mezi způsoby obrábění vnitřních ploch strojních součástí. Jejich tvary mohou být různé a odvíjí se od jejich funkce. Nejméně náročná je výroba rotačních děr, které se zároveň objevují ve strojírenství nejčastěji.

#### Vrtání

Je to výrobní metoda, kterou se zhotovují otvory do plného materiálu nebo se zvětšují již předpracované díry (předvrtané, předlité, předlisované, atd.). Jako nástroj se používá vrták, který koná hlavní pohyb - rotační. Ve výjimečných případech vykonává hlavní pohyb obrobek. Vedlejší pohyb je přímočarý posuvný (ve směru osy nástroje), který vykonává také nástroj. Při samotném obrábění je osa vrtáku nejčastěji kolmá k obráběné ploše.

Při vrtání záleží na tom, zda jde o díry průchozí nebo neprůchozí (slepé). Průchozí díry se z technologického hlediska obrábí poměrně snadno. U neprůchozích děr se musí brát zřetel na její zakončení, na zabezpečení přesné hloubky vrtání, na nutnost odřezávání zbytku třísky za dně díry atd. Třísky se ze dna díry odřezávají tak, že vrták po zastavení posuvu udělá ještě několik otáček.

Charakteristickým rysem nástrojů na díry je, že se řezná rychlost zmenšuje od obvodu směrem ke středu nástroje, přičemž v ose nástroje má hodnotu nulovou. Za řeznou rychlost se proto považuje obvodová rychlost na maximálním průměru ostří nástroje a určujeme ji podobně jako u soustružení.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.2.16)$$

$$v_f = f \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.2.17)$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}], \text{ kde} \quad (1.2.18)$$

$v_c$  – řezná rychlost [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ],

$v_f$  – posuvová rychlost [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ],

$v_e$  – rychlost řezného pohybu [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ],

$D$  – průměr obráběné díry [mm],

$n$  – otáčky vrtáku (případně obrobku) [ $\text{min}^{-1}$ ],

$f$  – posuv nástroje na jednu otáčku [mm].

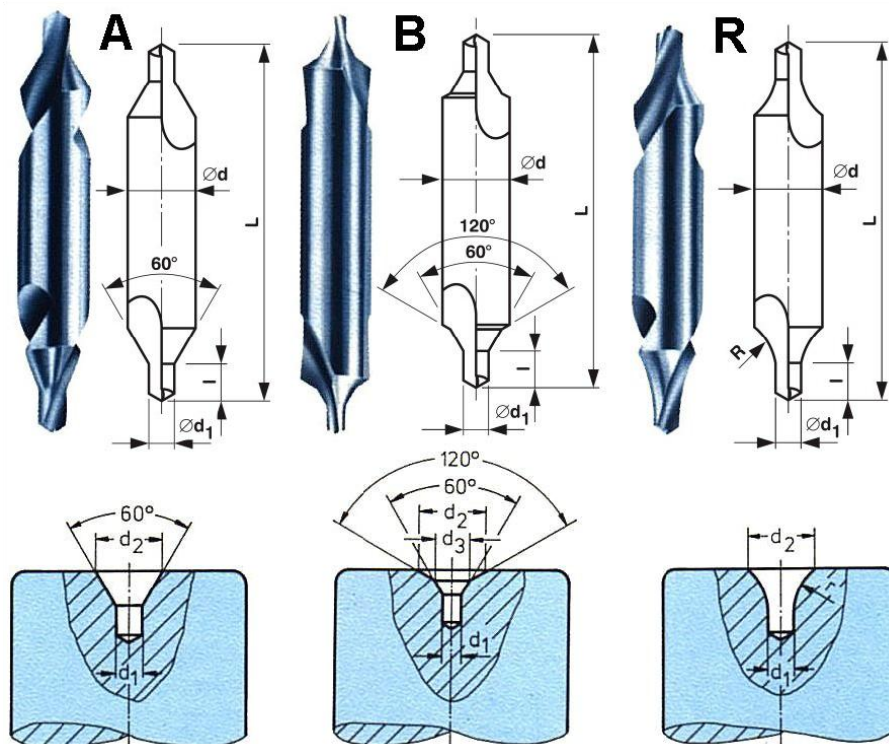
Hodnotu posuvu na zub lze určit ze vztahu.

$$f_z = \frac{f}{z} \quad [\text{mm}], \text{ kde} \quad (1.2.19)$$

$z$  – počet zubů (břitů) nástroje [-].

Technologie vrtání, druh konstrukce a geometrie použitého vrtáku jsou důležité aspekty pro rozdělení vrtání na:

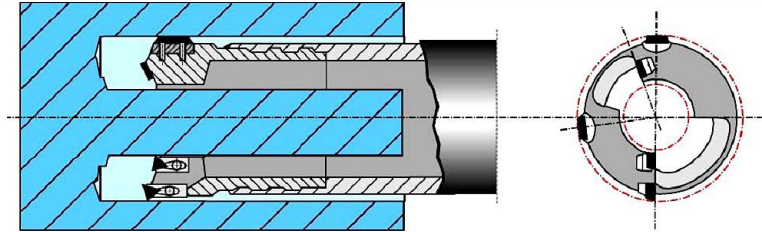
- Navrtávání začátku díry středícím vrtákem do plného materiálu obr. 11.68.



Obr. 1.2.53 Středící vrtáky

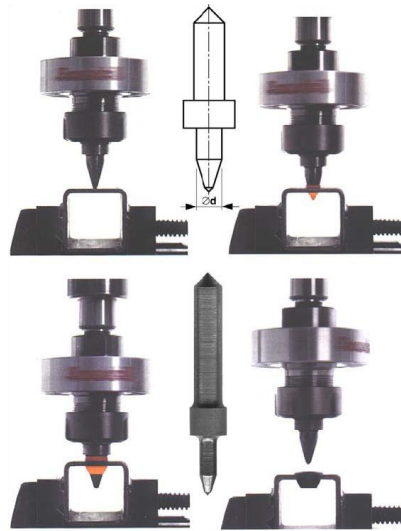
- Vrtání krátkých děr, kde poměr  $D/L = 1/5 \div 1/10$  ( $D$  – průměr díry,  $L$  – délka díry) do plného materiálu. K těmto operacím se využívají vrtáky šroubovité, kopinaté, s vyměnitelnými špičkami a s vyměnitelnými břitovými destičkami.
- K vrtání děr do předpracovaných otvorů se používají stejné nástroje jako při vrtání krátkých děr do plného materiálu. Výjimečně se využívají dělové (hlavnové) vrtáky.
- K vrtání hlubokých děr, kde je poměr  $L/D > 1/10$ , se do plného nebo předpracovaného materiálu používají vrtáky dělové (hlavnové), ejektorové, BTA, STS. Při vrtání malých průměrů se mohou použít vrtáky šroubovité.
- Vrtání „na jádro“ – jedná se o odřezávání obráběného materiálu ve tvaru mezikruží jednobřitým nebo vícebřitým korunkovým (trepanačním) vrátkem (obr. 1.2.54). Používá se pro vrtání průchozích děr převážně větších průměrů.



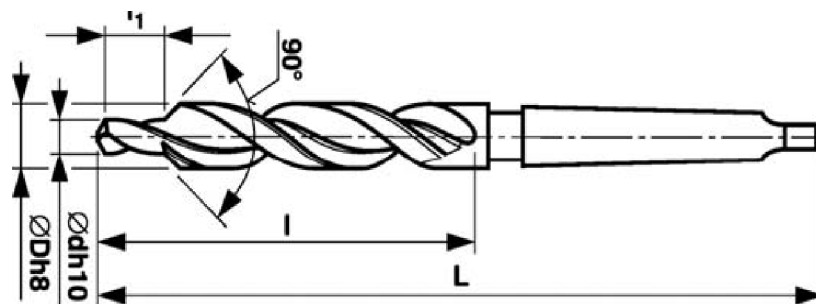


1.2.54 Korunkový vrták

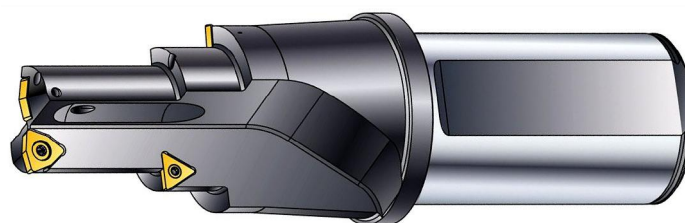
- Speciální druhy vrtání, např. vrtání děr do plechu termálním tvářecím vrtákem (obr. 1.2.55), vrtání odstupňovaných děr odstupňovaným vrtákem (obr. 1.2.56), vrtání díry se současným vystružováním, závitováním, zahlubováním (obr. 1.2.57) nebo hlazením sdruženými nástroji.



Obr. 1.2.55 Termální vrtání díry v tenkostěnném ocelovém profilu



Obr. 1.2.56 Odstupňovaný vrták



1.2.57 Sdružený nástroj pro vrtání a dvojité zahlubování

- Vrtání do těžkoobrobitelných, kompozitních a nekovových materiálů jako jsou např. pasty, pryž, beton, kámen, cihly, pomocí vrtáků se provádí nástroji se speciální konstrukcí nebo geometrií.

#### *Stroje – vrtačky*

K vrtání, vystružování, vyhrubování, ale i zahlubování se nejčastěji používají vrtačky. Díry lze vytvářet i na soustruzích, vodorovných vyvrtávačkách a obráběcích centrech. Velikost vrtacích strojů se rozděluje podle maximálního průměru, který lze na dané stroji do plného materiálu z oceli o střední pevnosti vyrobit. Podle konstrukce dělíme vrtačky na:

- ruční,
- stolní,
- sloupové, stojanové, otočné,
- vodorovné na hluboké díry,
- speciální.

*Stolní vrtačky* (obr. 1.2.58) jsou svou konstrukcí nejjednodušší. Posuv vřetena po krátkém sloupu je ruční a velmi snadno s ním lze nastavit výšku vzhledem k pracovnímu stolu. Pro změnu otáček se používá stupňovitá řemenice na níž se ručně přemísťuje klínový řemen. Stolní vrtačky vrtají otvory maximálně do průměru 20 mm.

*Sloupové vrtačky* (obr. 1.2.59) mají obvykle vřeteník vertikálně posuvný po pracovním stole i po sloupu, který je jejich základním konstrukčním prvkem. Vrtačka má převodovku, kterou je možné regulovat otáčky vřetena. Jeho posuv je mechanický. Menší obrobky se upínají na stůl, větší přímo na základovou desku vrtačky. Narozdíl od sloupové mají stojanové vrtačky výškově posuvný stůl i vřeteník, a to po vedení stojanu.



*Obr. 1.2.58 Stolní vrtačka*

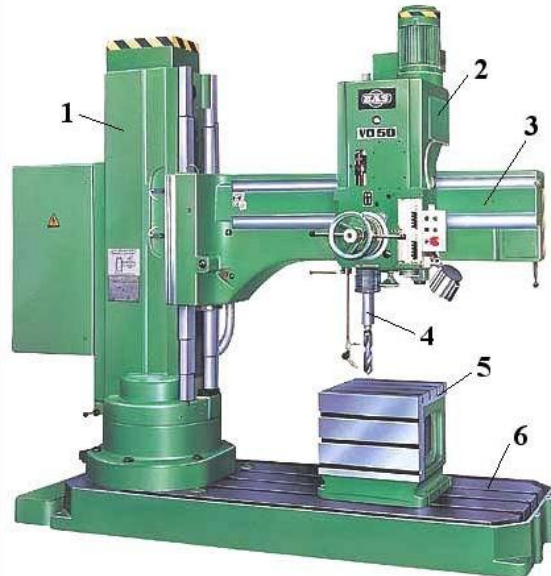


*Obr. 1.2.59 Sloupová vrtačka*

*Otočné vrtačky* (radiální) (obr 1.2.60) provádějí téměř všechny vrtací operace. Používají se pro vrtání děr do větších a rozměrnějších obrobků. Jejich charakteristickým rysem je rameno, na němž se po vedení pohybuje ve vodorovném směru pracovní vřeteník.

*Montážní vrtačky* jsou přenosné a jejich velkou výhodou je, že mohou obrábět díry i v těžkých součástech. V podstatě jde o zvláštní provedení vrtaček otočných. Je možné libovolné vyložení vřeteníku na rameni, a tím i možnost natáčení ramene o 360°. To umožňuje provádět vrtací operace ve velkém prostoru kolem vrtačky.

- 1 – stojan
- 2 – vřeteník
- 3 – rameno
- 4 – vřetení
- 5 – upínací kostka
- 6 – základová deska



Obr. 1.2.60 Otočná

vrtačka

*Speciální vrtačky* jsou určeny pro speciální vrtací operace. Patří zde: vrtačky na vrtání hlubokých děr, vícevřetenové vrtačky, stavebnicové vrtačky, souřadnicové vrtačky, atd.

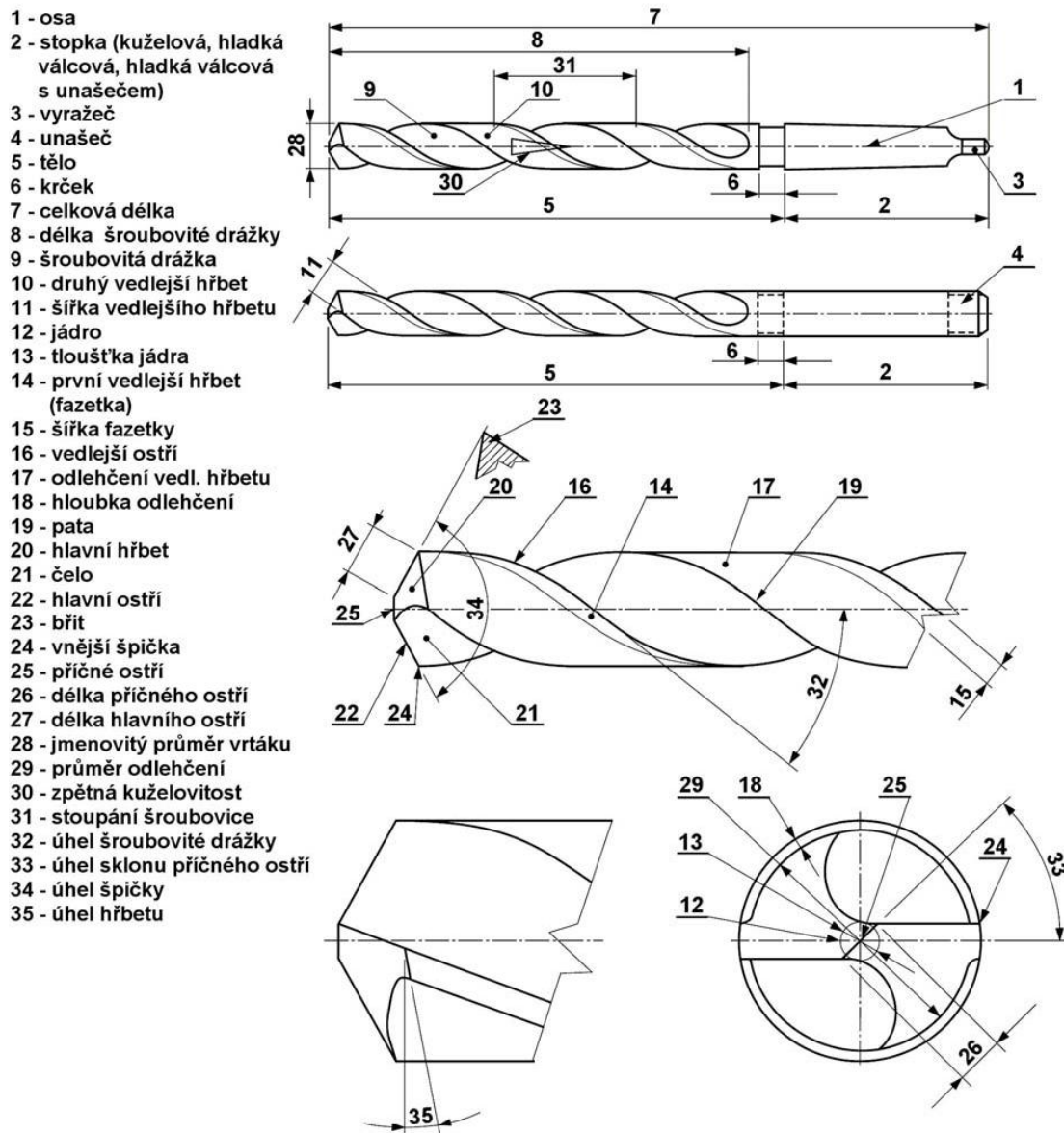
#### *Nástroje - vrtáky*

Technologie a druh vrtání, konstrukce a geometrie použitého vrtáku jsou důležité aspekty pro rozdělení vrtáků do několika skupin.

Středicí vrtáky nebo jinak nazývané vrtáky na středící dülky, slouží k navrtávání začátku díry do plného materiálu. Velmi často jsou používány k navrtávání středícího otvoru pro uchycení materiálu do soustruhu (koníku).

Šroubovitě vrtáky viz obr. 1.2.61 jsou nejčastějším nástrojem pro vrtání krátkých děr. Mají na válcovém těle vytvořeny dvě protilehlé šroubové drážky, které nám slouží k odvodu třísky, ale např. i k přívodu procesní kapaliny do místa řezu. Úhel stoupání šroubovice je pro vrtáky určené k vrtání ocelí a litin běžných pevností a tvrdostí  $27^\circ \pm 5^\circ$ . Pro vyvrtávání materiálů s vysokou houževnatostí (měkké oceli, slitiny hliníku, termoplasty) mají vrtáky větší úhel ( $42^\circ \pm 5^\circ$ ). Úhel  $12^\circ \pm 5^\circ$  mají vrtáky pro vrtání tvrdších materiálů (bronz, mosaz, tvrdá pryž, plexisklo).

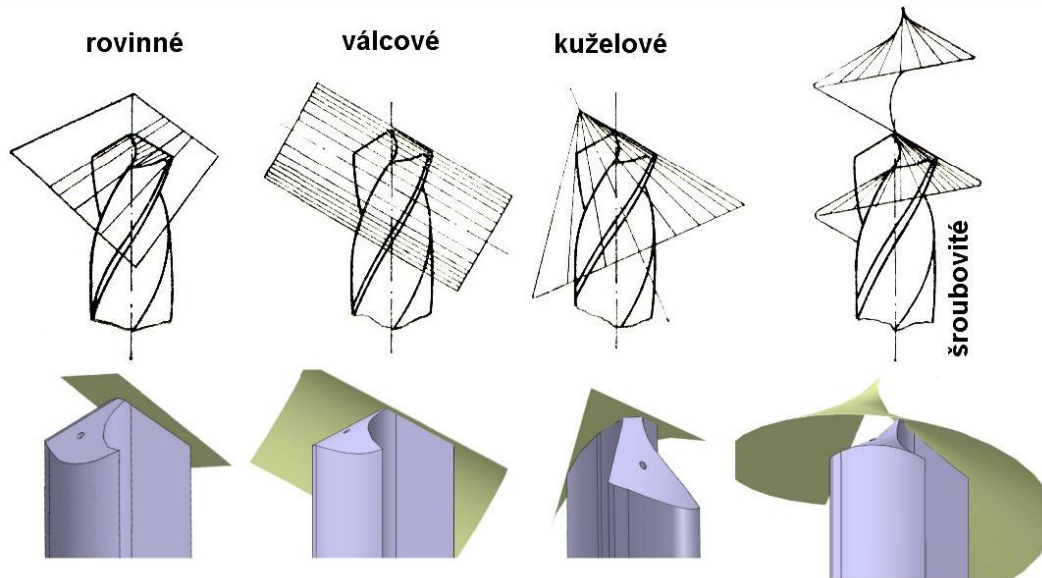
Hlavní ostří vrtáků jsou spojena příčným ostřím, které nám nepříznivě ovlivňuje pracovní podmínky (zvětšuje krouticí moment a posuvovou sílu). Proto se snažíme příčné ostří různými úpravami odstranit (např. podbroušením) nebo se nástroj konstruuje tak, aby bylo příčné ostří odstraněno.



Obr. 1.2.61 Základní parametry šroubového vrtáku

Jádro šroubovitěho vrtáku ( $0,25 \div 0,5 D$ ) zajišťuje pevnost v krutu, popř. ve vzpěru. Aby bylo zajištěno menší tření vrtáku ve vrtané díře, jsou vedlejší hřbety odlehčeny na menší průměr a tělo vrtáku se směrem ke stopce mírně kuželovitě zužuje. Původní rozměr se ponechává pouze na úzké ploše (fasetce) u hrany každé drážky. Pro běžné nelegované oceli střední pevnosti a litin střední pevnosti se používají šroubovitě vrtáky s úhlem špičky  $\epsilon_r = 2\kappa_r = 118^\circ$ , pro vrtání těžkoobrobitelných materiálů  $140^\circ$ , pro vrtání plastů a tvrdých pryží  $90^\circ$ . Je možné také vybrousit vrták pod dvojitým úhlem např.  $90^\circ$  a  $120^\circ$ . Tím dosáhneme snížení opotřebení nástroje v důsledku snížení jeho tepelného namáhání a zmenšuje se i posuvová složka síly řezání. Toto se používá hlavně pro vrtání materiálů s horší obrobitelností.

Proměnné nástrojové úhly hřbetu i čela podél hlavního ostří napovídají, že šroubový vrták má poměrně složitou geometrii břitů. Průběh úhlů hřbetu i čela podél hlavního ostří je ovlivněn způsobem podbroušení hlavního hřbetu, které může být realizováno podle kuželové, válcové, šroubovitě nebo rovinné plochy (obr. 1.2.62).

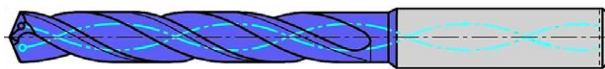


Obr. 1.2.62 Způsoby podbroušení hřbetních a šroubovitých ploch

Materiál pro šroubovitě vrtáky se obvykle volí: rychlořezná ocel, pro těžší podmínky obrábění s pájenými destičkami z SK, slinuté karbidy na vrtáky z monolitních materiálů bez povlaků nebo s povlaky proti otěruvzdornosti, většinou na bázi TiN (obr. 11.78). Šroubovitě vrtáky mohou mít díry pro centrální přívod řezné kapaliny (obr. 11.79) a vyrábějí se i v provedení se třemi břity (obr. 11.80).



Obr. 1.2.63 Monolitní vrták s povlakem TiN



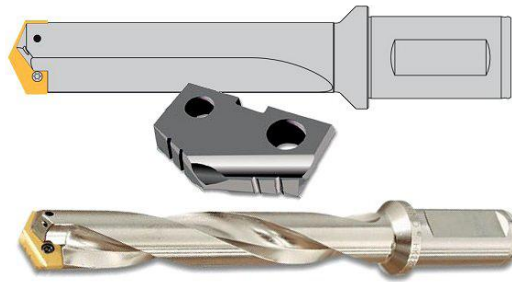
Obr. 1.2.64 Vrták s centrálním přívodem řezné kapaliny



Obr. 1.2.65 Tříbřitý šroubový vrták

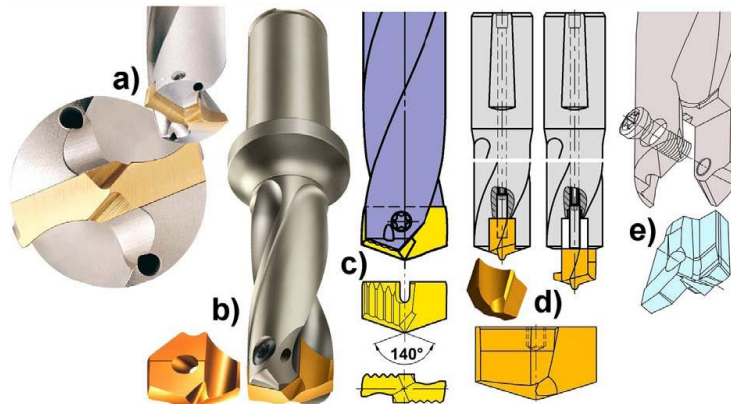
Kopinaté vrtáky (obr. 1.2.66) jsou také dvoubřité nástroje s příčným ostřím a s vnějším odvodem třísek. Mají velkou tuhost a umožňují vrtat do plného materiálů díry o průměru  $10 \div 128$  mm. Důležité je dodržet poměr délky k průměru maximálně  $L/D = 3/1$ . Nyní se většina těchto vrtáků vyrábí s vnitřním přívodem řezné kapaliny.

Současné typy těchto vrtáků tvoří těleso, do něhož se upínají vyměnitelné břitové destičky speciálních tvarů vyrobené z rychlořezných ocelí nebo slinutých karbidů. Nástrojový úhel nastavení hlavního ostří je obvykle  $\kappa_r = 66^\circ$ . Spolehlivé oddělení třísky je zajištěno vybroušením dělicích drážek na obou hlavních hřbetech. Na hlavních hřbetech destiček jsou vytvořeny fazetky, které snižují tření. Drsnost povrchu obrobenej plochy je horší než po šroubovitěm vrtáku.

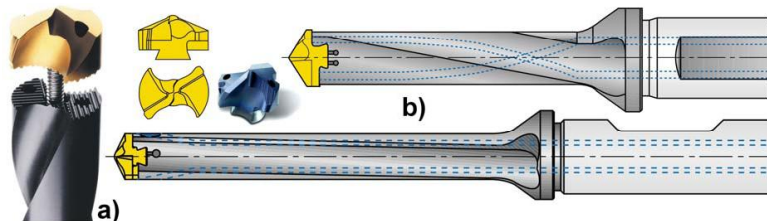


Obr. 1.2.66 Kopinaté vrtáky

Vrtáky s vyměnitelnou špičkou vyrábíme se špičkou ve formě břitové destičky (obr. 1.2.67) nebo hlavice (obr. 1.2.68). Materiál pro výrobu destiček a hlavic se volí většinou slinutý karbid (obvykle povlakovaný). Hlavice existují s různou geometrií podle obráběného materiálu a dalších technologických požadavků.



Obr. 1.2.67 Vrtáky s vyměnitelnými destičkami



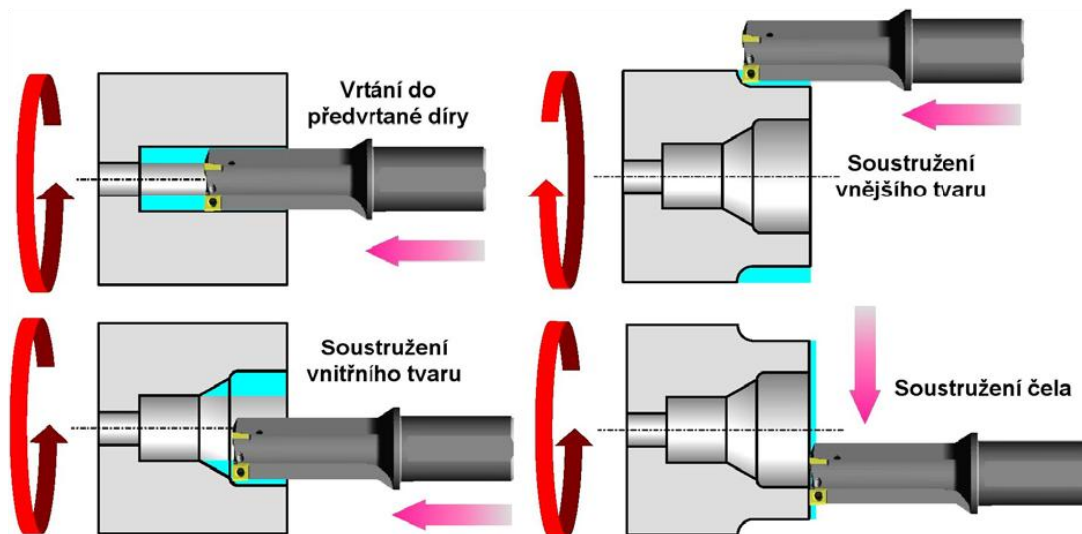
Obr. 1.2.68 Vrtáky s vyměnitelnou hlavicí

Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami (obr. 11.84) – destičky ze slinutých karbidů jsou upnuty v tělese držáku pomoci šroubů přímo nebo u větších vrtáků pomocí kazet, které usnadňují výměnu a chrání lůžko před opotřebením. Z důvodu rozdílné řezné rychlosti se u některých vrtáků používají na obvodu destičky s povlakovaného SK a středové destičky se volí z nepovlakovaného SK. Trvanlivost takto zvolených destiček je přibližně stejná a použité se vyměňují současně.

Nepříznivé pracovní podmínky vznikající při vrtání se zlepšují použitím různých destiček, které jsou opatřeny utvařecí třísek (řeší problémy s dělením třísky a jejím odvodem z místa řezu, tepelné a mechanické zatížení vrtáku,...). Téměř všechny vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami mají centrální přívod řezné kapaliny a většina může být použita i pro soustružení vnitřních nebo vnějších válcových ploch.

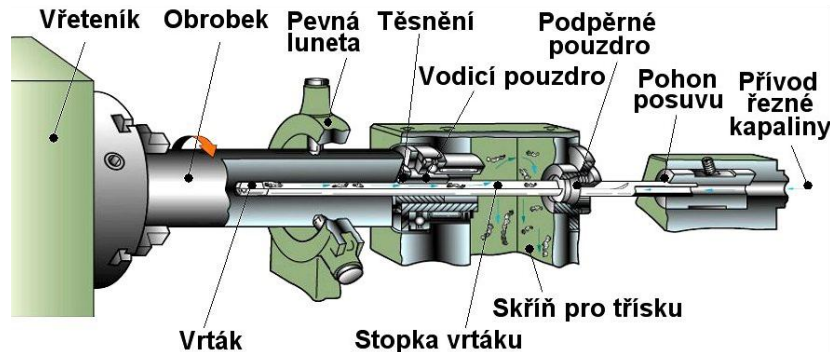


Obr. 1.2.69 Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami



Obr. 1.2.70 Pracovní možnosti vrtáku s vyměnitelnými břitovými destičkami

Dělové a hlavňové vrtáky jsou vhodné pro obrábění méně hlubokých děr, protože se nástroj musí po odřezání určité hloubky vytáhnout, aby se z díry odstranila tříška. Hlavňové vrtáky umožňují vrtání přesnějších děr. Konstrukce nástroje je taková, že na trubku nebo tyč potřebné délky je připájena řezná část, která je z rychlořezné oceli nebo slinutého karbidu. Někdy se vyskytují s připájenými břitovými destičkami. Spolehlivé středění u těchto vrtáků zajišťují vodítka rovněž připájená k tělesu vrtáku. Procesní kapalina je do místa řezu přiváděná otvory v tělese vrtáku a zajišťuje vyplavování vznikajících třísek. Pro obrábění dělovými a hlavňovými vrtáky jsou využívány speciálně upravené soustruhy (obr. 1.2.71). Těmito vrtáky se dají obrábět díry o průměru  $4 \div 250$  mm, délky  $10 \div 25$  metrů.



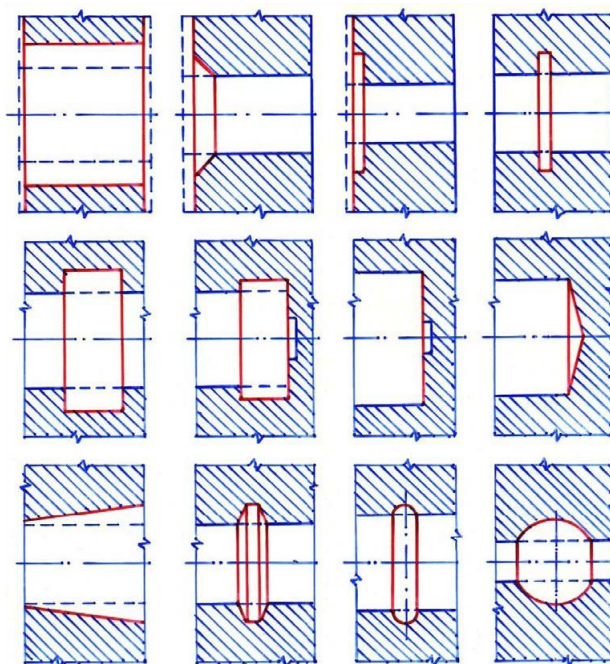
Obr. 1.2.71 Zařízení pro vrtání hlavnovým vrtákem

### Vyvtávání

Vyvtávání je výrobní způsob při kterém se převážně rozšiřují předpracované otvory na požadovaný rozměr a tvar vyvtávacím nožem. Jedná se o metodu používanou pro práci načisto i pro hrubování. Obrábí se tak otvory ve tvaru válce, kužele, čelního mezikruží, rotační tvarové plochy nebo vnitřní zápichy a dají se řezat vnitřní závity. V případě potřeby je možné všechny uvedené tvary obrábět i na vnějším povrchu.

Existují 3 základní způsoby plynoucí z kinematiky vyvtávání:

- pro výrobu válcových ploch – nástroj vykonává řezný pohyb, vyvtávací nůž je pevně uložen v nástroji a nástroj koná podélný posuv.
- pro výrobu zápichů – nástroj vykonává řezný pohyb, vyvtávací nůž se vysouvá z nástroje v radiálním směru,
- pro výrobu tvarových rotačních ploch – nástroj nebo obrobek vykonává hlavní pohyb i podélný posuv.



Obr. 1.2.72 Příklady ploch obráběných vyvtáváním



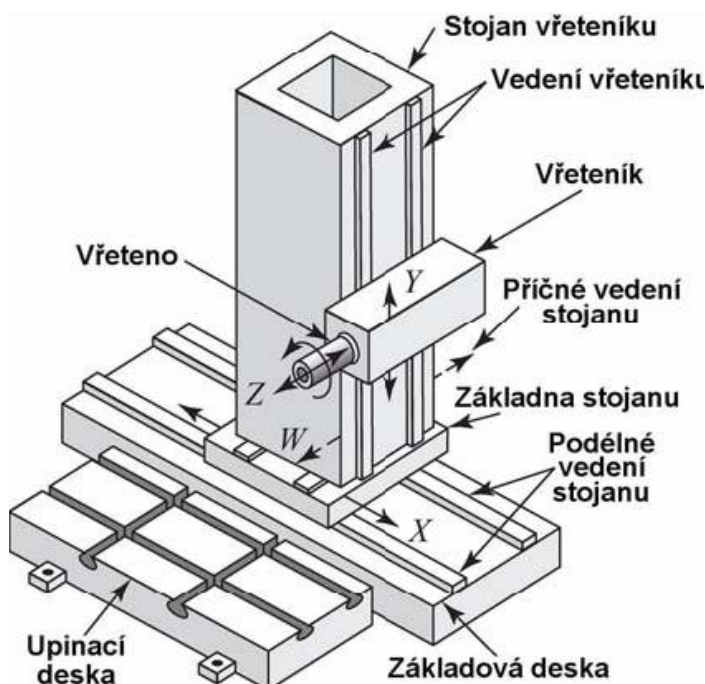
### Nástroje

Téměř u všech vyvrtávacích nástrojů se používají vyvrtávací nože, které jsou konstruovány jako soustružnické nože. Požaduje se u nich možnost seřízení nástroje na předepsaný rozměr před upnutím. Na seřízení řezné části se využívají základní dílenská měřidla nebo se provádí na souřadnicových seřizovacích přístrojích. Rozdělení se provádí na základě několika hledisek. Podle upnutí známe letmý vyvrtávací nástroj a podepřený vyvrtávací nástroj. Podle konstrukce – vyvrtávací tyče, vyvrtávací hlavy a podle charakteru operace – hrubovací, dokončovací, pro jemné vyvrtávání,....

### Obráběcí stroje

Vyvrtávačky se konstruují jako horizontální nebo vertikální. Mimo vyvrtávaček lze vyvrtávání provádět na soustruzích, vrtačkách, souřadnicových vrtačkách, jednoúčelových strojích, soustružnických a frézovacích obráběcích centrech. Známé několik druhů vyvrtávaček:

- stolové vyvrtávačky – charakteristický je pracovní stůl, který se otáčí až o 360°,
- deskové vyvrtávačky – obrobek se upíná na desku,
- jemné vyvrtávačky – jsou vybaveny jedním nebo více vřeteníky, obrobek se upíná na pracovní stůl,
- souřadnicové vyvrtávačky – pro vrtání přesných děr a přesných roztečí. Vyrábějí se buď s pevným ložem nebo jsou souřadnice nastavitelné v obou směrech.

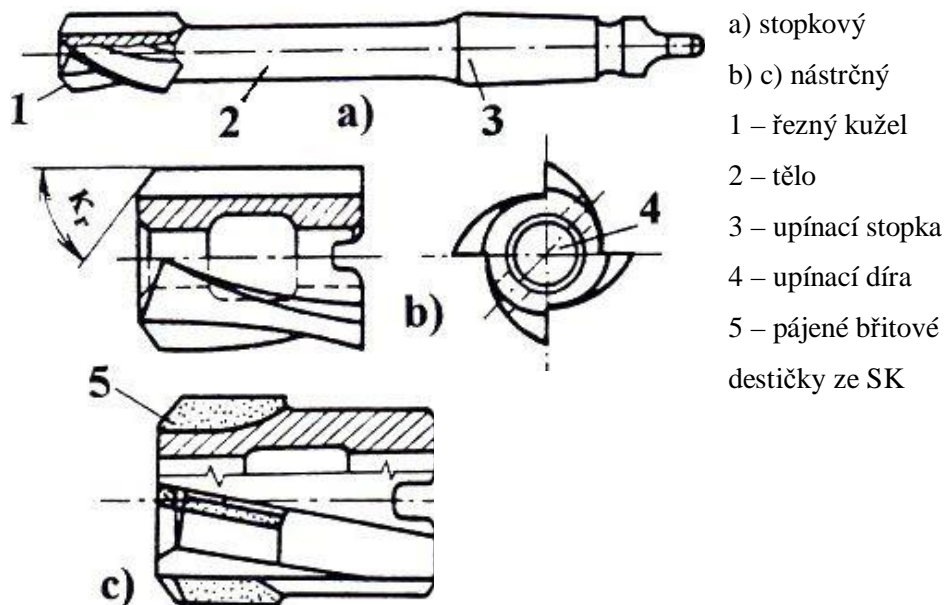


Obr. 1.2.73 Vodorovná desková vyvrtávačka

### Vyhrubování a vystružování

Po obrobení vrtáním mají díry obvykle vysokou drsnost obrobeného povrchu a zpravidla nepoužitelné geometrické parametry: např. nepřesná kruhovitost a válcovitost, nedodržení jmenovitého průměru... Proto se po vrtání otvory zdokonalují dokončovacími operacemi jakými jsou vyhrubování a vystružování. Těmito operacemi se zpřesňuje tvar díry, snižuje drsnost povrchu a také upřesňují otvory.

U menších děr (do průměru 10 mm) se používá pouze vystružování. Větší rozměry se předběžně vyhrubují a pak vystružují – z toho vyplývá, že vyhrubování není nikdy poslední obráběčskou operací, protože ještě následuje vystružování. Vyhrubování tedy slouží ke zpřesnění geometrických požadavků a vystružování k dokončení přesné díry se všemi požadovanými geometrickými parametry i drsností povrchu otvoru. Při výrobě musíme dodržet přídatky na vyhrubování a vystružování. Jejich velikost závisí na druhu obráběného materiálu, na požadované kvalitě obrobek díry i na konstrukci nástroje...



Obr. 1.2.74 Výhrubníky

Výhrubníky jsou tříbřité až čtyřbřité (výjimečně pětibřité) nástroje s břity ve šroubovici (obr. 1.2.74). Pro vyhrubování průměrů do 30 mm se používají stopkové výhrubníky (obr. 1.2.74a) a pro větší průměry nástrčné (obr. 1.2.74b). Tělo nástroje je obvykle z konstrukční oceli a řezná část, vyrobená z rychlořezné oceli je k tělu přivařena. Existují i výhrubníky s připájenými břitovými destičkami z SK.

Při vyhrubování i vystružování na vrtačkách a vyvrtávačkách vykonává hlavní pohyb nástroj a posuv obrobek (u vyvrtávaček nástroj). Na soustruzích vykonává hlavní pohyb obrobek a posuv nástroj.

#### Vystružování

Patří mezi dokončovací operace výroby přesných děr a zajišťuje předepsanou drsnost povrchu a geometrické parametry díry. Pro kvalitní vystružování musí být přídatek na vystružování dostatečně velký, aby nedocházelo k vytlačování materiálu, ale k jeho odřezávání. V takovém případě by díra nedosahoval požadovaný kruhový průřez a životnost nástroje by se podstatně zkracovala. Vztah pro výpočet průměru s přídatkem na vystružování má tvar:

$$p = 0,1 + 0,005 \cdot D \quad [\text{mm}], \text{ kde} \quad (1.2.20)$$

D – jmenovitý průměr vystružované díry.

Pro zajištění schopnosti výstružníků obrábět velmi přesně musí být jejich břity co nejostřejší s poloměrem zaoblení ostří menším než  $r = 10 \mu\text{m}$ . Toho lze dosáhnout pečlivým broušením a lapováním břitů.

Výstružníky jsou (na rozdíl od výhrubníků) strojní i ruční. Zuby mají přímé nebo ve šroubovici a skládají se z řezné části ve tvaru kužele a válcové části. U ručních výstružníků, jejichž stopka je zakončena čtyřhranem pro vratidlo, řeže kužel se sklonem  $1 \div 3^\circ$ . Strojní výstružníky mají kuželovou nebo válcovou stopkou většího průměru. Bývají stopkové i nástrčné a materiál je odřezáván kuželem s úhlem  $\kappa_r$ . Pro zabezpečení náročných požadavků na kruhovitost a kvalitu povrchu se výstružníky

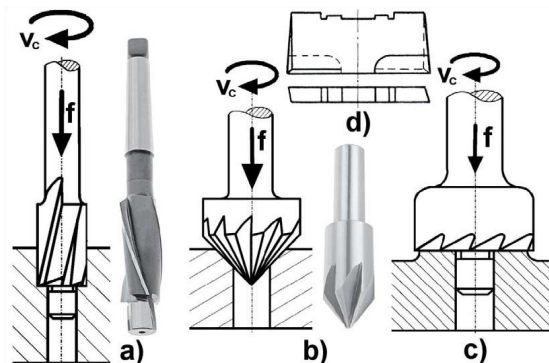
vyrábění s nerovnoměrnou roztečí zubů. Počet zubů u výstružníku bývá zpravidla 4 až 18 (odvíjí se od průměru).

Pro opravu a renovaci strojních dílů existují rozpínací výstružníky. Jsou konstruované tak, že mají duté těleso a v podélném směru jsou mezi jednotlivými zuby rozříznuté. Při vtačování kužele do kuželové díry v tělese dochází k rozpínání a zvětšování průměru kružnice zubů. Dále existují stavitelné výstružníky se zuby posuvnými v drážkách na kuželové ploše tělesa. Zvětšování a zmenšování kružnice zubů se provádí právě posouváním zubů v jednom nebo ve druhém směru. Jednobřité výstružníky mají v tělese mechanicky upevněnou břitovou destičku ze slinutého karbidu a 2 až 3 vodítka, rovněž ze slinutého karbidu. Díry o průměru 15 ÷ 80 mm se vyrábějí loupacími výstružníky, které umožňují řeznou rychlost  $v_c = 15 \div 20 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  a posuv na otáčku  $f = 0,4 \div 1 \text{ mm}$ .

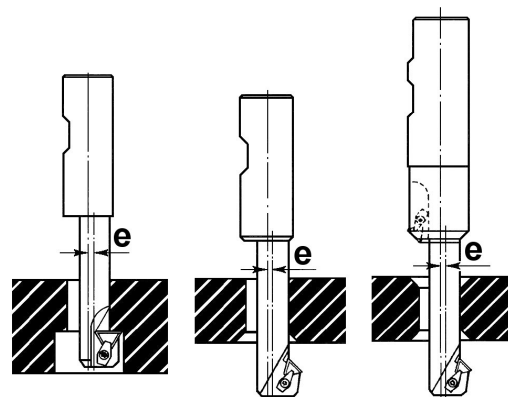
### Zahlubování

Slouží k obrábění děr pro hlavy zapuštěných šroubů a k obrobení sousého válcového nebo kuželového zahloubení. Patří sem také zarovnání čela, kde lze použít i ploché dvoubřité záhlubníky. Podle tvaru ploch, které vyrábí rozlišujeme záhlubníky válcové, kuželové a ploché. Válcové záhlubníky existují se stopkou nebo jako nástrčné. Oproti kuželovým záhlubníkům, které mají samostředicí efekt, jsou válcové a ploché záhlubníky vedeny v předvrtané díře vodícím čepem. Vyrábí se s přímými zuby nebo zuby ve šroubovici jejichž počet je obvykle 4 (kuželové záhlubníky na zkosení hran 6 - 10). Záhlubníky mají řeznou část vyrobenou z RO nebo SK bez povlaku i s povlakem nebo jsou vyráběny s vyměnitelnými břitovými destičkami z SK.

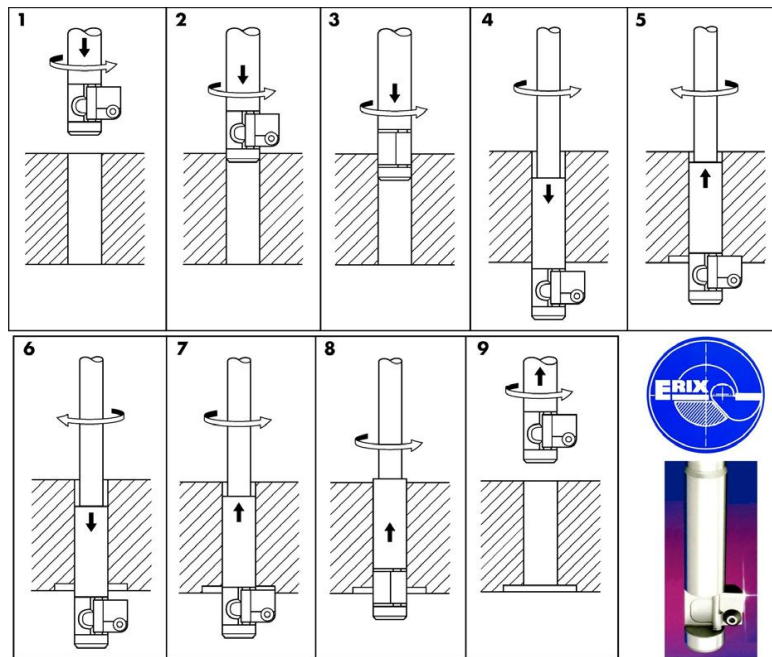
Na obr 1.2.76 jsou zobrazeny zpětné záhlubníky, které slouží pro obrábění v nepřístupných místech. Jejich řezná část je umístěna excentricky vůči upínací stopce. Nástroj je zasunut do předvrtané díry. Poté se obrobek přesune ve směru kolmém k ose vřetena obráběcího stroje o příslušnou hodnotu  $e$  a po spuštění rotace je pomocí zpětného osového posuvu vytvořeno požadované obrobení.



Obr. 1.2.75 Způsoby zahlubování a základní druhy záhlubníků



Obr. 1.2.76 Zpětné zahlubování



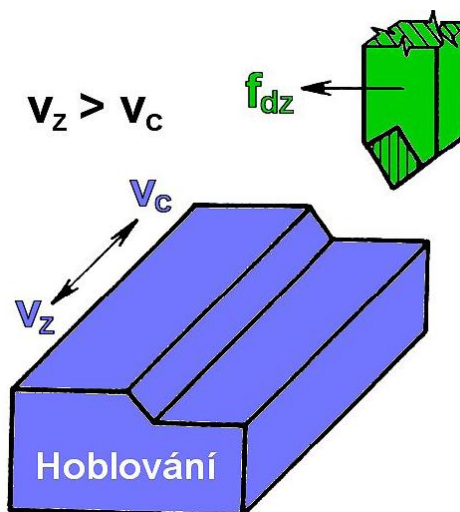
Obr. 1.2.77 Princip funkce zpětného záhlubníku

Na obr. 1.2.77 je znázorněn zpětný záhlubník, který využívá principu sklopeného ramena s mechanicky upnutou vyměnitelnou břitovou destičkou.

## q Hoblování a obrážení

### Hoblování

Jde o metodu obrábění dlouhých rovinných a tvarových ploch jednobřitým nástrojem, při kterém je hlavní pohyb přímočarý vratný a koná ho obrobek. Vedlejší pohyb je přerušovaný posuv a koná ho nástroj (obr. 1.2.78). Při vratném, zpětném pohybu nástroj obvykle nepracuje. V krajní poloze se nástroj posune o hodnotu  $f$  na zdvih. Obráběné plochy mohou být vodorovné, svislé nebo skloněné pod určitým úhlem. Nízké hodnoty úběru odsouvají (např. frézování) tuto technologii do pozadí. Kvůli částečnému potlačení této nevýhody se hoblovky i obrážedky konstruují tak, aby zpětný pohyb  $v_z$  byl vyšší než rychlost řezného pohybu  $v_c$ .

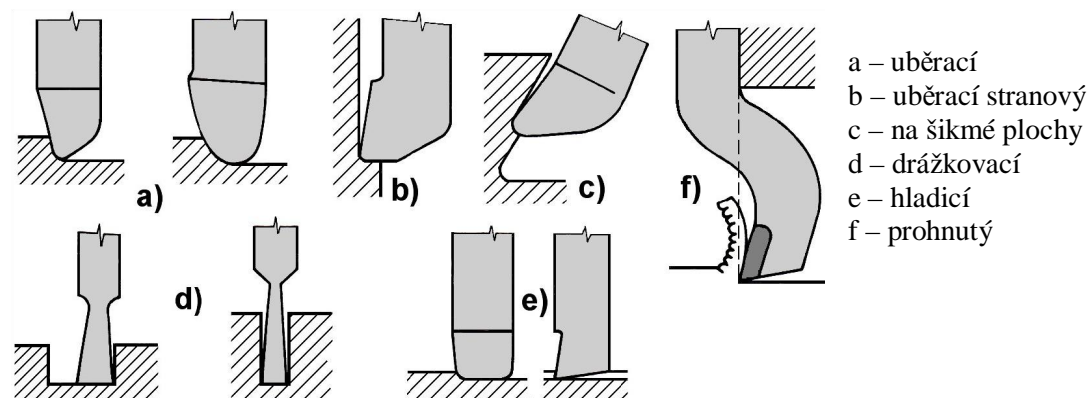


Obr. 1.2.78 Kinematika řezného procesu při hoblování a obrážení

Hodnota jednotkového strojního času při hoblování je vždy velmi vysoká. Je to způsobeno hlavně zpětným pohybem obrobku naprázdno, ale také nízkou hodnotou posuvu na jeden dvojdvih (tato hodnota je ovlivněna výkonem stroje, tuhostí stroje i nástroje, nástrojovým materiálem,...)

*Hoblovací nože* (obr. 1.2.79) jsou podobné soustružnickým nástrojům s tím, že mají větší průřez, protože jsou navíc namáhány mechanickými rázy. Proto i jejich geometrie je stejná jako u soustružnických nožů až na úhle sklonu hlavní řezné hrany, který je záporný vzhledem k prvnímu záběru při přerušovaném řezu.

Hoblovací nože se obvykle vyrábí z rychlořezné oceli a jsou celistvé nebo mají tělo z konstrukční oceli s připájenými nebo mechanicky připevněnými břitovými destičkami ze slinitých karbidů.



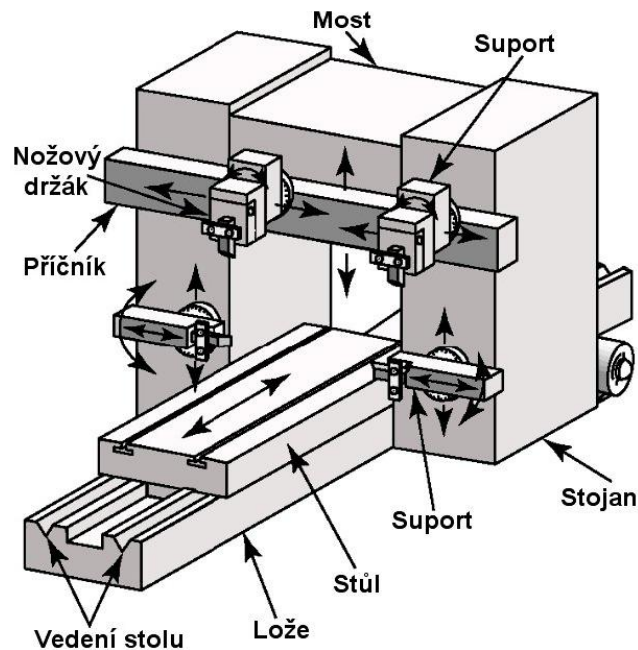
Obr. 1.2.79 Základní typy hoblovacích nožů

*Stroje pro hoblování* (hoblovky obr. 1.2.80) mají, stejně jako ostatní obráběcí stroje, tyto základní části: lože, pracovní stůl, stojany, příčník a suporty. Obrobek se upíná na stůl pomocí různých typů upínek, podložek a podpěr. Pohon stolu je buď ozubeným hřebenem nebo hydraulický. Tímto způsobem se mohou obrábět drážky různých profilů a při využití kopírovacího zařízení i různé tvarové plochy. Pro obrábění šikmých ploch se využívají nožové saně suportů, které je možné naklápět na obě strany až o 60°. Nožové držáky se při zpětném pochybu stolu mechanicky nebo hydraulicky odklápějí od základní desky suportu, čímž je zaručeno, že nedojde ke styku hřbetu nástroje s obrobenou plochou.

Charakteristickým rozměrem, který určuje velikost hoblovek je šířka pracovního stolu, popř. hoblovací šířka (maximální šířka obrobku, který projde mezi stojany hoblovky). Dalšími charakteristickými hodnotami jsou délka pracovního stolu a maximální průtažná síla. Podle konstrukce se dělí na:

- **Jednostojanové hoblovky** – mají jeden stojan, na kterém je vedení po kterém se posouvá příčník s jedním nebo dvěma suporty. Na těchto hoblovkách lze obrábět i rozměrnější obrobky, které přesahují na jedné straně stůl. Jejich nevýhodou je menší tuhost příčníku.
- **Dvoustojanové hoblovky** – mají příčník posouvatelný po vedení dvou stojanů spojených nahoře mostem. Jsou vybaveny obvykle jedním až dvěma suporty. Mají mnohem tužší konstrukci než jednostojanové hoblovky a někdy bývají vybaveny frézovacím nebo brousicím vřeteníkem.
- **Deskové hoblovky** – mají pevnou desku, na kterou se upíná obrobek. Upínací deska může být o polovinu kratší než je délka stolu. Podélný posuvový pohyb vykonávají stojany s příčníkem. Suporty mají tu nevýhodu, že stroj dosahuje nižší tuhosti. Můžeme se setkat

i s jámovým provedením tohoto stroje, a to v případě, že se obrábí příliš vysoké obrobky, jejichž upínání se provádí do země.

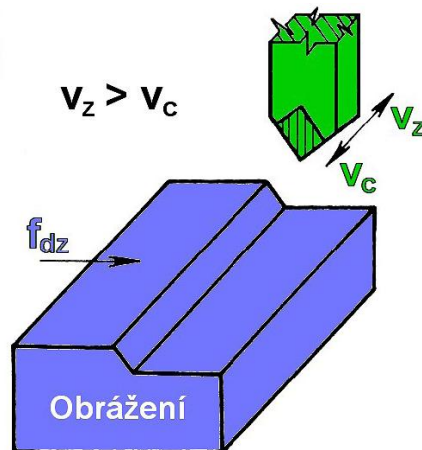


Obr. 1.2.80 Dvoustožanová hoblovka

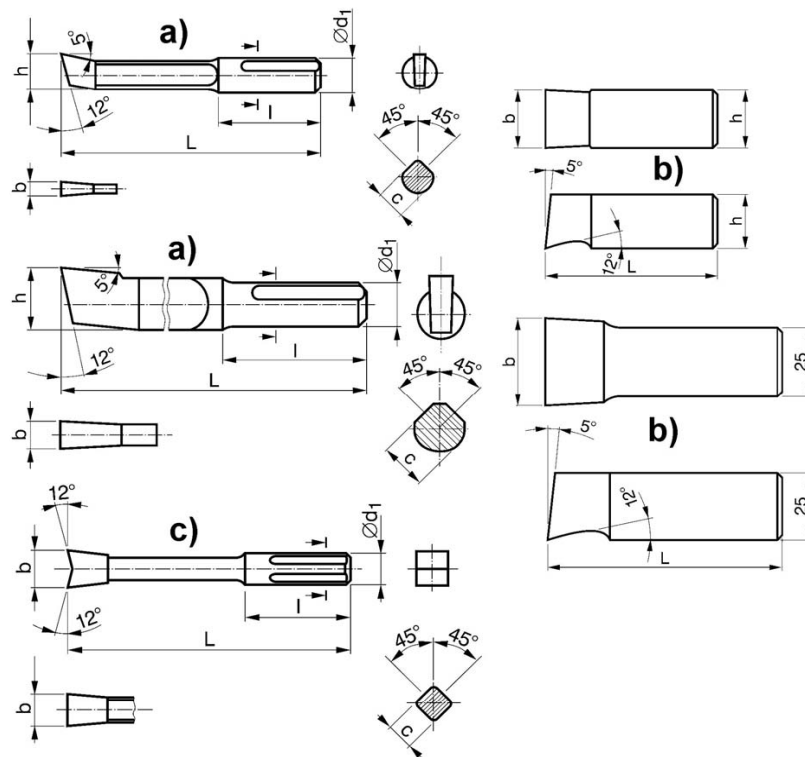
### Obrázení

Obrázením se obrábí rovinné, vodorovné, svislé, šikmé a tvarové plochy jednobřitým nástrojem. Oproti hoblování jsou obráběcí plochy mnohem menší. Lze jimi obrábět i vnitřní plochy (drážky, nerotační tvary), které se jinak vyrábí protahováním. Hlavní pohyb je přímočarý vratný a koná ho nástroj. Vedlejší pohyb je přerušovaný posuv a koná ho obrobek. Posuvový pohyb probíhá vždy na konci pracovního dvojdvíhu a je vždy kolmý na směr hlavního pohybu. Vzhledem k nízké produktivitě se obrázení používá jen v kusové a malosériové výrobě. Existují však plochy, které se dají obrobit jen tímto způsobem (drážky v slepých otvorech). V dnešní době je obrázení velmi často nahrazováno frézováním.

Protože při obrázení vznikají velké rázy, je důležité zaobírat se otázkou upínání obrobků. Obrobky se upínají přímo na stůl stroje opěrnými a přítlačnými upínkami. Hlavní řezná síla musí směřovat do opěrných upínek nebo proti pevné čelisti při upínání pomocí strojových svěráků.



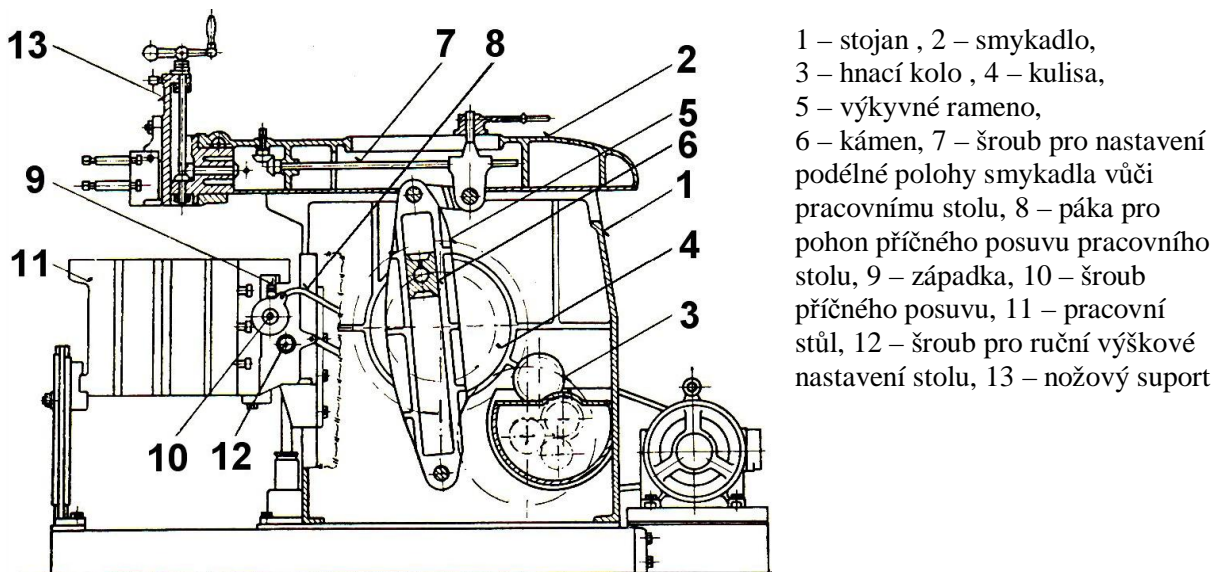
Obr. 12.81 Kinematika řezného pohybu při obrázení



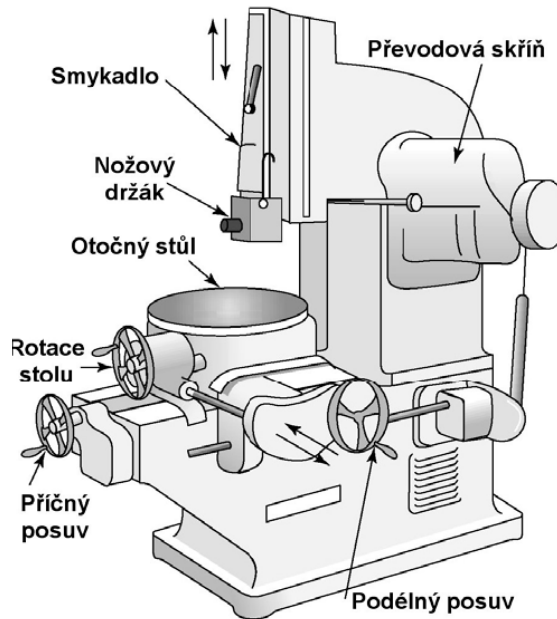
Obr. 1.2.82 Obrážecí nože, a) drážkovací, b) drážkovací příčný, c) dvoubřitý

Výhodou obrážení je, že pro obrábění nejsou nutné speciální nástroje a upínače ani při výrobě složitých tvarů. Obrážecí nože (obr. 1.2.82) jsou vyrobeny jako celistvé z rychlořezné oceli nebo mají řeznou část ze slinutých karbidů. Pro vodorovné obrážedky se nože volí s krátkou upínací částí (geometrie břitu je stejná jakou u soustružnických nožů) a pro svislé obrážedky mají stopku delší.

Obrážecí stroje se podle směru pohybu rozdělují na vodorovné a svislé.



Obr. 1.2.83 Schéma vodorovné obrážedky

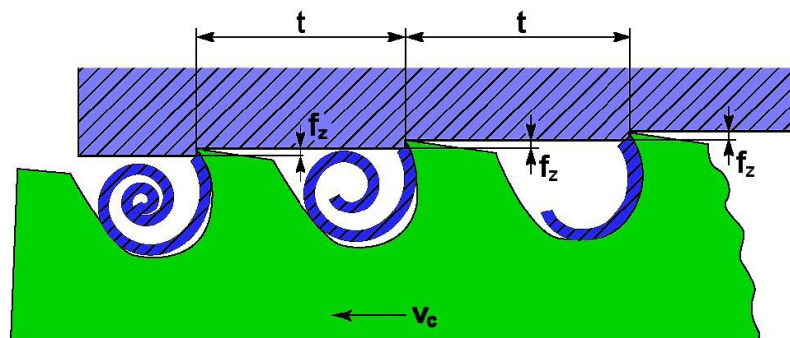


Obr. 1.2.84 Schéma svíslé obrážky

- Vodorovná obrážka (obr. 1.2.83) je konstrukčně velmi jednoduchý stroj. Jejím charakteristickým pohybem je vodorovný pohyb smykadla s nástrojem. Obrábění velkých obrobků se provádí na obrážkách s příčným posuvem smykadla, což znamená, že smykadlo koná hlavní řezný pohyb i příčný posuvový pohyb a obrobek je nehybný.
- Svislá obrážka (obr. 1.2.84) je vhodná pro obrábění svislých rovinných vnějších i vnitřních (hlavně tvarových) ploch což zajišťuje svislý pohyb smykadla s nástrojem. Smykadlo obrážky nejčastěji pohání klikový mechanismus a u některých strojů se může pootáčet kolem osy. Obrobky jsou upnuty na pracovním stole svislé obrážky a všechny jeho pohyby jsou buď strojní, nebo ruční. Největší délka zdvihu smykadla určuje velikost strojů.

#### q Protahování a protlačování

Je to velmi produktivní výroba převážně tvarových děr nebo vnějších, převážně tvarových ploch. Tyto metody obrábění jsou vhodné především pro hromadné a velkosériové výroby a to především z důvodu vysoké ceny protahovacího nástroje. U těchto operací bývá obrobek nehybný a nástroj koná přímočarý pohyb (u protahování je tažen a u protlačování tlačén). Protože u protlačování je nástroj velmi namáhán na vzpěr, vyrábí se protlačovací nástroje mnohem kratší než protahovací.



Obr. 1.2.85 Princip protahování a protlačování

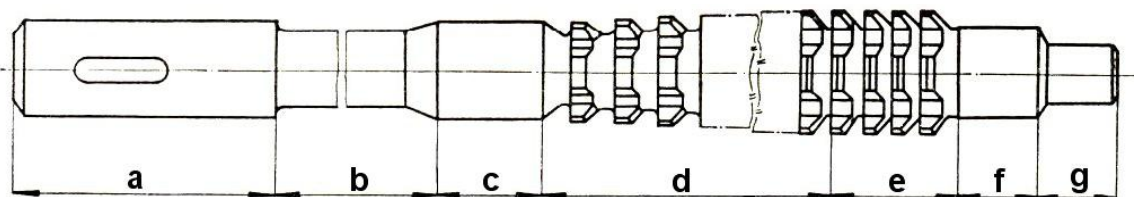


Podstatou protahování je současný záběr zubů protahovacího několikaklínového nástroje (protahovacího trnu) po celé obrážené ploše, při relativní řezné rychlosti proti pohybu obrobku. V záběru je vždy tolik zubů protahovacího nástroje, kolikrát je jejich rozteč obsažena v délce obráběné plochy. Tloušťku odebírané vrstvy materiálu jedním zubem určuje posuv při protahování a udává se jako posuv na zub. Odpovídá rozdílu výšek řezných hran dvou po sobě následujících zubů. Velikost posuvu závisí na druhu obráběného materiálu, tvaru a délky obrobku. Je důležité, aby se tříska vtěsnila do zubové mezery.

Při protahování vnitřních ploch je otvor obvykle předpracovaný a protahovací nebo protlačovací trn mu dávají konečný požadovaný tvar a drsnost povrchu. Do předpracované díry se vloží upínací část protahovacího trnu, upne se do tažného zařízení protahovačky a následuje vlastní operace protahování. Tvar obráběné díry se postupně mění z původního tvaru na tvar požadovaný. Pro některé obrobky, kde je velký přídavek na protahování se vyrábějí protahovací trny sadové (2 až 3 trny v jedné sadě), protože jediný protahovák by byl velmi dlouhý. Potřebný počet zubů se pak rozdělí na dva až tři nástroje.

#### *Protahovací a protlačovací nástroje*

Jsou to nástroje několikabřité u nichž se počet zubů řídí velikostí posuvu na zub, šířkou odebírané vrstvy a celkovou délkou protahované plochy. Protahovací nástroje (protahovací trny) mají zuby řezací, kalibrovací a při vyšších nárocích na drsnost obrobku ještě hladicí. Kalibrovací zuby určené pro dokončovací protahování mají fazetku 0,2 – 1 mm širokou. Při vnějším protahování nebo u trnů s delším záběrem břitů mají většinou řezací zuby vybroušené drážky. Díky tomu se tříška lépe dělí i utváří, nástroj pracuje klidněji, což zlepšuje jakost obrobku...Nástroj dlouhý až 2000 mm a je téměř výhradně namáhán tahovým napětím. Nejužší místo trnu je krček a to proto, aby se nástroj při přetížení přerušil v tomto místě a ne mezi zuby.



**a - upínací část, b - krček, c - přední vedení, d - řezná část, e - kalibrovací část  
f - zadní vedení, g - čep pro lunetu**

*Obr. 1.2.86 Protahovací nástroj*

Protlačovací trny se z důvodu namáhání na vzpěr vyrábí kratší (asi 250 až 500 mm), a proto pro výrobu plochy požadovaného tvaru a drsnosti potřebujeme větší množství nástrojů. Výroba, údržba i ostření protlačovacích nožů je však levnější. Skládají se rovněž z části upínací, vodící a řezací. Protahování je méně produktivní než protlačování, ale jeho výhodou je, že obrábění může být prováděno na různých typech pomaluběžných listů.

Nejdůležitější roli při konstrukci protahovacích i protlačovacích nástrojů je tvorba třísky. Pokud vzniká drobná tříška, tak je zubová mezera zaplněna celá, pokud vzniká plynulá tříška, tak se svinuje do spirály a zaplňuje jen částečně zubovou mezery. Nástroj pak pracuje dál a další vznikající tříška stlačuje třísku předešlou, až se zaplní celá mezera. Pěchování třísky a tření obrobkem způsobuje nárůst teploty a řezného odporu. To může vést až k poškození nástroje. Proto je důležité stanovit dostatečnou rozteč zubů i velikost zubové mezery.

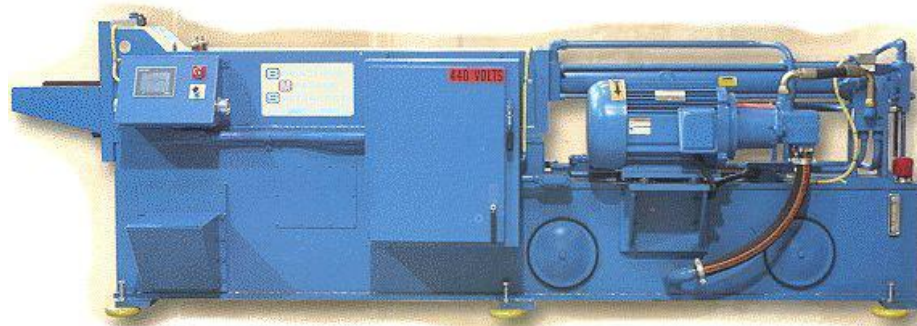
Materiál pro protahovací a protlačovací trny je obvykle rychlořezná ocel (19 816) nebo „slnutá ocel“. Zvýšení trvanlivosti se dá dosáhnout pomocí povlaků (např. TiN), ale i použitím procesní kapaliny při obrábění.

*Stroje na protahování*

Protahovačky se vyrábějí ve dvou základních provedeních jako svislé nebo vodorovné. Oba tyto typy jsou vhodné pro obrábění vnějších i vnitřních ploch. Obrobek se upíná na pracovní stůl i s upínacím zařízením. Vodorovná protahovačka je levnější, ale mimo jiných nevýhod klade větší nároky na prostor ve výrobní hale.



*Obr. 1.2.87 Svislá protahovačka*



*Obr. 1.2.88 Vodorovná protahovačka*

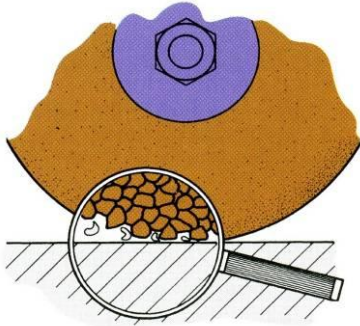
## q Broušení

V současné době jsou nároky na výrobky s vysokou jakostí povrchu čím dál častější, a to z důvodu vyšších požadavků na jejich životnost, ale hlavně z důvodu vyšší odolnosti proti opotřebení.

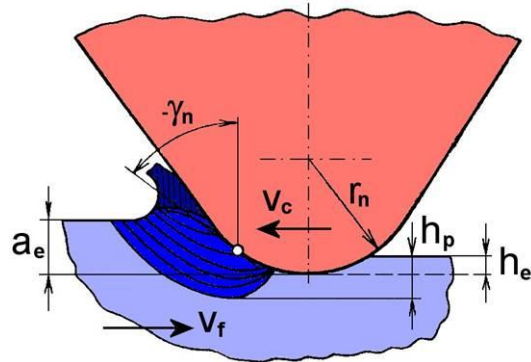
Broušení je hlavní dokončovací metoda, která umožňuje získat vysokou kvalitu a přesnost obrobené plochy. Je to tedy metoda obrábění mnohobřitým nástrojem s geometricky nedefinovatelnými reznými hranami (zrna brusiva), které jsou spojeny pojivem. Patří mezi nejstarší metody obrábění vůbec. V současnosti se díky možnostem rozšiřuje z původního pouze dokončovacího obrábění i do oblastí hrubování a se svou produktivitou je srovnatelné s ostatními metodami obrábění. Velká význam má převážně při výrobě valivých ložisek.

Charakteristické znaky procesu broušení:

- z důvodu různé geometrické formy zrn a jejich nepravidelnému rozmístění v brousicím nástroji se odebrává nepravidelná tříška,



Obr. 1.2.89 Nepravidelný úběr třísky



Obr. 1.2.90 Úhly jednotlivých zrn brusiva

- záporné úhly čela jednotlivých zrn jsou různé a obvykle velké (ovlivňují oblast primární plastické deformace),
- zrna jsou schopna přenášet pouze malé řezné síly (slabé upevnění zrn pojivem), při obrábění dochází k samovolnému uvolňování jednotlivých zrn nebo jejich částí („samoostření“ brousicího kotouče),
- třísky mají malý průřez (asi 10-3 mm), řez je přerušovaný a třísky mají proměnlivý průřez (obdoba s frézováním), při broušení dochází v důsledku velkých plastických deformací a tření třísky k takovým vysokým teplotám (až 1500 °C), že se některé třísky roztaví a shoří (jiskření),
- působení velkých měrných řezných sil (odporů) až do výše několika desítek tisíc MPa, vysoká řezná rychlost (30÷100 m.s-1) a z toho vyplývající krátká doba záběru jednotlivých zrn,
- z důvodu vzniku velkého tepla při broušení je nutné chladit obrobek i řezný kotouč; teplo vznikající při broušení oduhlíčuje povrch obrobku, tak dochází ke vzniku trhlin a ke změnám struktury a také má za následek vznik nepříznivých tahových zbytkových napětí v povrchové vrstvě obrobenej plochy,
- otupování ostří jednotlivých zrn brusiva a zanášení pórů třískami způsobuje ztrátu řezivosti; řezivost se obnovuje pomocí orovnávačů (jednokamenové, vícekamenové, ploché, tvarové).

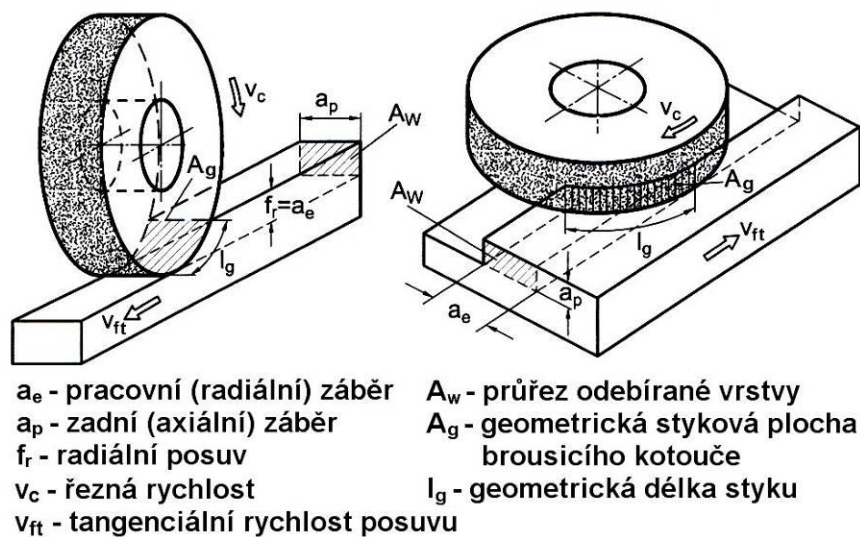
Brousit se dají různé povrchy v různých polohách, proto existuje velké množství druhů broušení. Podle tvaru obrobenej plochy se rozlišuje:

- rovinné broušení (pro rovinné plochy),
- broušení dokulata (pro rotační plochy),

- broušení na otáčivém stole (broušení s rotačním posuvem),
- tvarové broušení (výroba ozubených ploch, závitů,...),
- kopírovací broušení (na NC a CNC strojích),
- broušení tvarovými brousicími kotouči (pro tvarové plochy).

Rozdělení podle aktivní části brousícího kotouče:

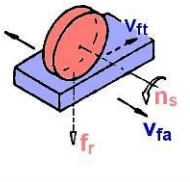
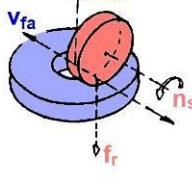
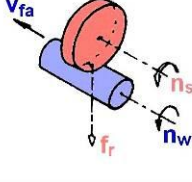
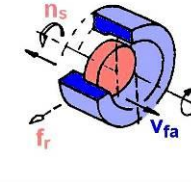
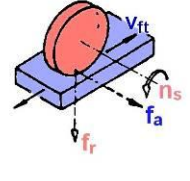
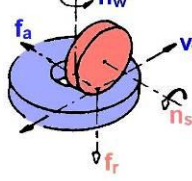
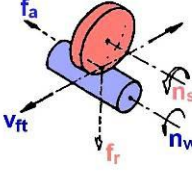
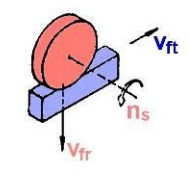
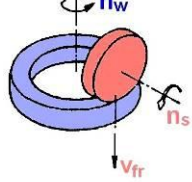
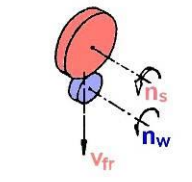
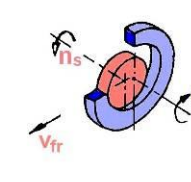
- obvodové broušení (broušení obvodem kotouče),
- čelní broušení (broušení čelem kotouče).



Obr. 1.2.91 Obvodové (vlevo) a čelní (vpravo) broušení

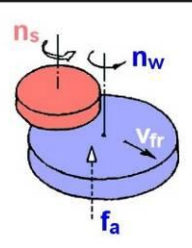
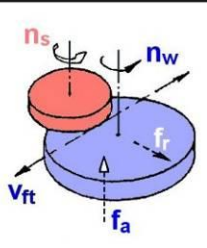
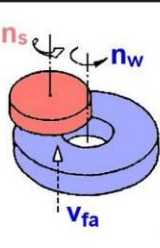
Rozdělení podle hlavního pohybu posuvu stolu vzhledem k brousicímu kotouči:

- axiální broušení (osa kotouče je rovnoběžná s posuvem stolu),
- radiální broušení (brousící kotouč je radiální k hlavnímu posuvu stolu ve zvoleném bodě D),
- tangenciální broušení (hlavní posuv stolu je rovnoběžný s vektorem obvodové rychlosti kotouče ve zvoleném bodě D),
- obvodové zapichovací broušení (posuv stolu je plynulý radiální),
- čelní zapichovací broušení (posuv stolu je plynulý axiální).

		Rovinné broušení - pohyb stolu		Broušení do kulata	
		přímočarý	otáčivý	Vnější plochy	Vnitřní plochy
Pohyb stolu	Axiální				
	Tangenciální				
	Radiální				

$n_s$  - frekvence otáčení brousícího kotouče,  $n_w$  - frekvence otáčení obrobku,  
 $v_{fa}$  - axiální rychlost posuvu stolu,  $v_{ft}$  - tangenciální rychlost posuvu stolu,  
 $v_{fr}$  - radiální rychlost posuvu kotouče,  
 $f_a$  - axiální posuv stolu,  $f_r$  - radiální posuv kotouče

Obr. 1.2.92 Obvodové broušení

		Radiální	Tangenciální	Axiální
		Pohyb stolu	přímočarý	
otáčivý				

$n_s$  - frekvence otáčení brousícího kotouče,  $n_w$  - frekvence otáčení obrobku,  
 $v_{fa}$  - axiální rychlost posuvu stolu,  $v_{ft}$  - tangenciální rychlost posuvu stolu,  
 $v_{fr}$  - radiální rychlost posuvu stolu,  
 $f_a$  - axiální posuv stolu,  $f_r$  - radiální posuv stolu

Obr. 1.2.93 Čelní broušení

Broušení jako dokončovací operace má tyto hlavní přednosti:

- velkou přesnost (1 až 3  $\mu\text{m}$ ), správnost geometrických tvarů (kruhovitost i pod 0,2  $\mu\text{m}$ ) a malou drsnost obrobenej plochy ( $R_a = 0,8$  až 0,2  $\mu\text{m}$ ),
- broušením lze obrábět i velmi tvrdý materiál (kalenou ocel, slinuté karbidy, tvrzenou litinu atd.),
- broušením se dají na součásti obrábět velké plochy najednou, zejména při rovinném broušení čelním,
- broušení je velmi produktivní, jak ukazuje velikost plochy součásti, obrobenej za jednotku času.

#### *Přehled základních metod broušení*

Vnější broušení „dokulata“:

- s podélným posuvem,
- s příčným posuvem (zapichovací),
- kotoučem nastaveným na rozměr,
- krokové (s příčným i podélným posuvem),
- bezhroté (průběžné, zapichovací, broušení na doraz),
- bezhroté v tuhých opěrách.

Vnitřní broušení dokulata:

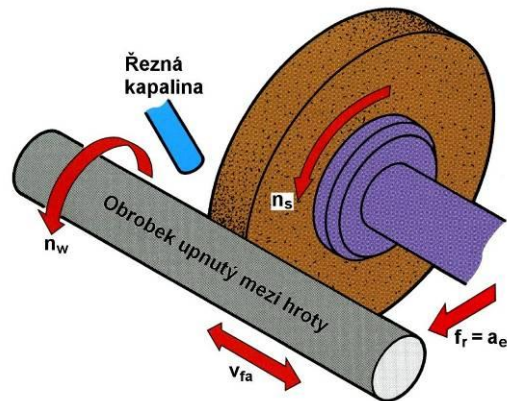
- bezhroté,
- bezhroté v tuhých opěrách.

Broušení na plocho (broušení rovinné):

- obvodem brusného kotouče,
- čelem brusného kotouče.

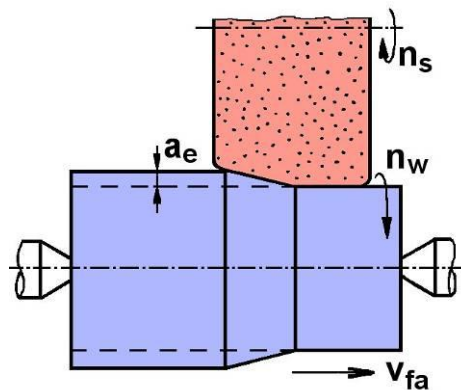
#### *Axiální obvodové broušení vnějších ploch dokulata*

Toto broušení je často využíváno především při obrábění dlouhých rotačních součástek válcového nebo kuželového tvaru (dlouhé a štíhlé součástky jsou podepřeny lunetou). Popis samotného procesu obrábění: obrobek se otáčí mezi hroty (nw) a současně koná posuvový pohyb rovnoběžný s osou obrobku (vfa) nebo obrobek koná jen otáčivý pohyb a nástroj koná posuvový pohyb podél osy obrobku. Kotouč nebo obrobek se radiálně posouvá (fr) o hodnotu pracovního záběru ( $a_e = f_r$ ) na každý zdvih nebo dvojjdvh stolu, a to zajišťuje úběr obráběného materiálu.



Obr. 1.2.94 Broušení s podélným posuvem

#### Hlubkové obvodové broušení vnějších ploch „dokulata“



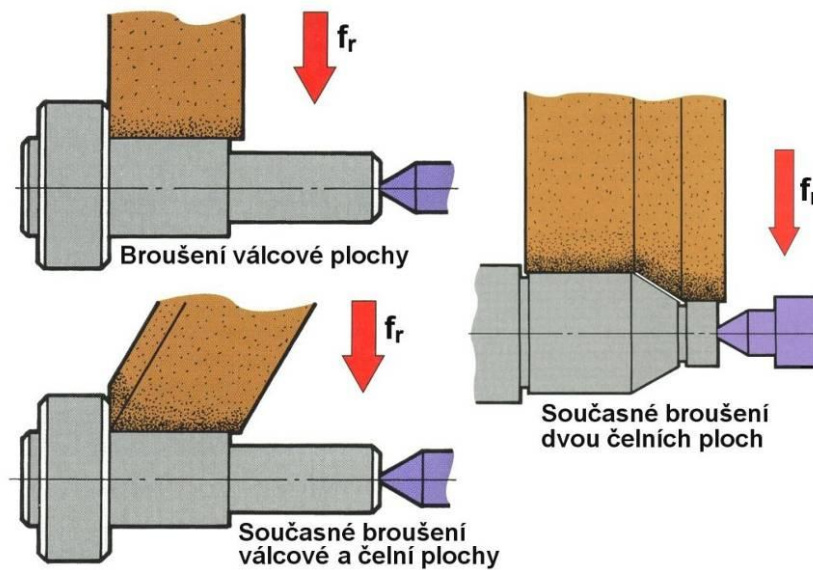
Obr. 1.2.95 Hlubkové broušení

Při tomto způsobu broušení se při jednom záběru odebírá vrstva 0,1 ÷ 0,5 mm a volí se velmi malý posuv. Patří mezi nejproduktivnější metody broušení. Výkon broušení se oproti jiným metodám zvýší o 25 % až 75 %. Nevýhodou této metody obrábění je zvýšená spotřeba brusných kotoučů.

Následkem rychlého opotřebování kotouče vzniká přechodová kuželová plocha, která v průběhu obrábění postupuje k druhé straně kotouče. Kotouč je potřeba srovnat a opakovat postup obrábění s odstraněním korekce.

#### Radiální (zapichovací) obvodové broušení vnějších ploch „do kulata“

U tohoto způsobu broušení je velmi důležitý mít tuhý obrobek. Je možné využít i šikmý posuv a to v případě, že se současně brousí několik ploch. Řezná i obvodová rychlost je srovnatelná s axiálním broušením, ale výkon broušení je až o 80 % vyšší než u axiálního broušení.



Obr. 1.2.96 Radiální obvodové broušení vnějších ploch

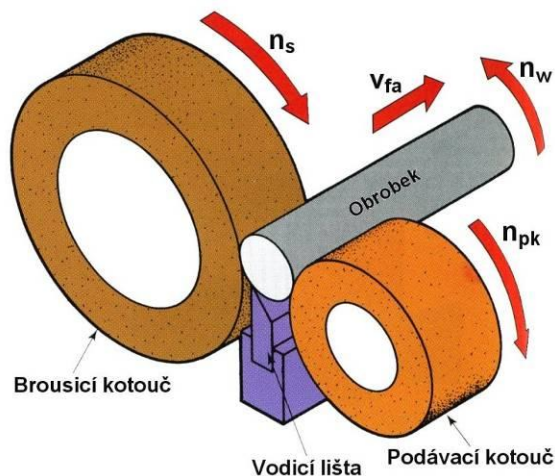
Při broušení válcových, kuželových nebo tvarových ploch se obvykle upíná obrobek (stejně jako při soustružení) mezi hroty. Hlavní rezný pohyb ale vykonává brusný kotouč.

#### Bezhraté broušení

Mezi další způsoby broušení patří bezhraté broušení, které charakterizuje to, že obrobek není upnutý, ale vložen mezi 2 kotouče, z kterých jeden je brusný a druhý podávající (obr. 1.2.97). Střed obrobku podpírá vodící lišta. Osa obrobku je nad osami obou kotoučů.

Jedná se o velmi produktivní způsob broušení a využívá se v hromadné i velkosériové výrobě. Často je využíván při broušení součástí valivých ložisek (základní průměry o běžné dráhy vnějších a vnitřních kroužků radiálních složek,...).

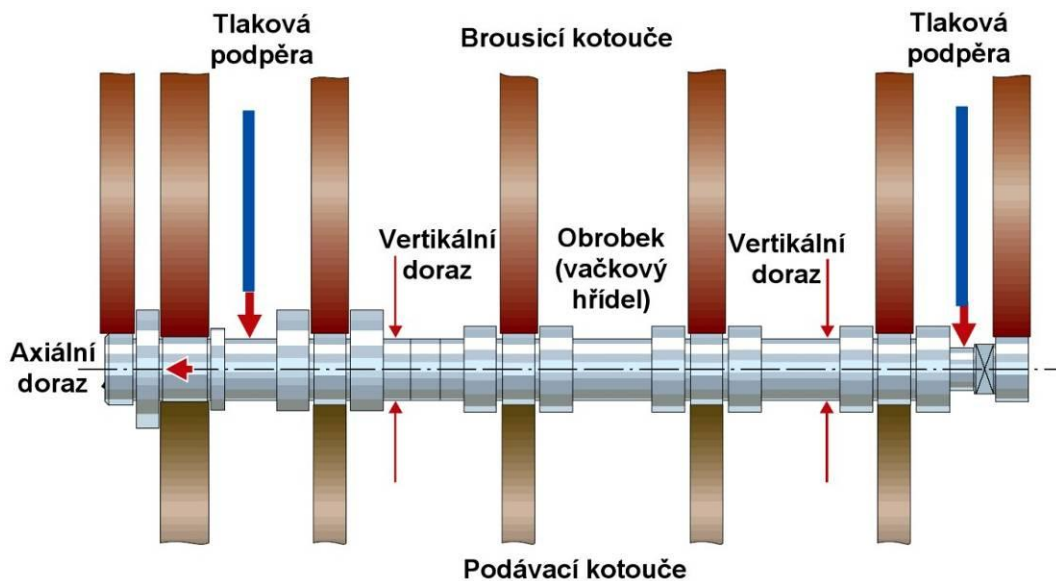
Při natočení podávacího kotouče se rozloží jeho obvodová rychlost  $v_{pk}$  na dvě složky: - vodorovnou  $v_{fa}$  (zajišťuje axiální posuvový pohyb) - svislou  $v_w$  (otáčí obrobek příslušnou obvodovou rychlostí). Při zvětšování nebo zmenšování úhlu  $\alpha$  se řídí rychlost posuvu.



Obr. 1.2.97 Bezhraté průběžné broušení



Další způsob bezhrotého broušení je bezhroté zapichovací broušení, které se používá u součástí, které mají nákržek, u kuželových nebo tvarových ploch, popřípadě i u sousých válcových ploch bez středících důlků.

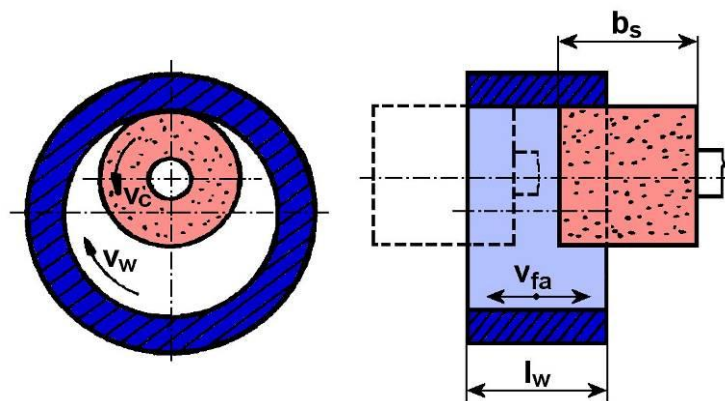


Obr. 1.2.98 Bezhroté zapichovací broušení válcových ploch

#### Obvodové axiální broušení vnitřních ploch a „dokulata“

Využití této metody je především při obrábění obrobku, kdy jeho délka je větší než šířka broušícího kotouče. Kotouč se otáčí uvnitř obráběné díry a posouvá ve směru osy. Obrobek se otáčí kolem své osy proti směru pohybu broušícího kotouče.

Pomocí vnitřního broušení se obrábí především díry. Maximální velikost broušícího kotouče je  $0,7 \div 0,9$  násobek průměru broušené díry. Z toho vyplývá, že u malých děr je nutné použít velmi malé průměry brusných kotoučů. Dochází k velkému namáhání broušících zrn, které vstupují do procesu oddělování třísky. Kotouč se také velmi rychle opotřebovává, zanáší se, a tím ztrácí řeznou schopnost i geometrický tvar. Podmínky vnitřního broušení jsou z tohoto důvodu nepříznivé, a proto se používají jen v případě, kdy nelze použít jiný způsob výroby přesné díry. Existují mnohem efektivnější způsoby výroby otvorů, např: vystružování, vyvrtávání, honování atd.



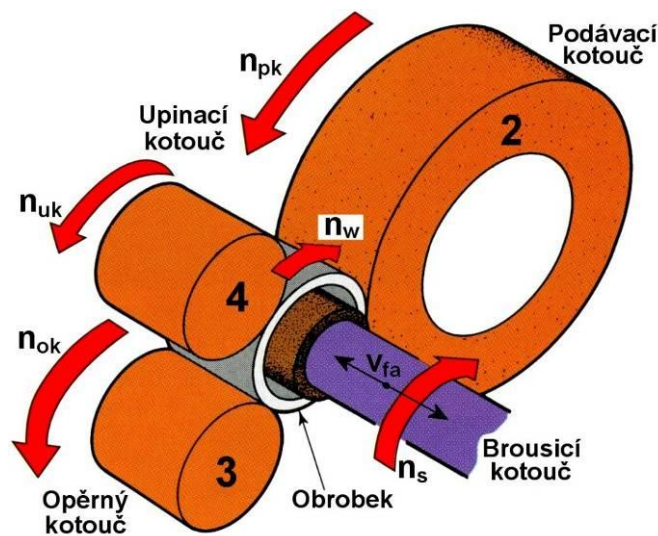
Obr. 1.2.99 Axiální broušení vnitřních válcových ploch

U malých brousicích kotoučů je nutné zajistit velmi vysoké otáčky, které se realizují obtížně. Proto se malé díry brousí nízkými řeznými rychlostmi, což má za následek zhoršení jakost povrchu a snížení výrobnosti.

Zvýšení obvodové rychlosti obrobku zlepšuje odvod tepla a také klesá možnost tvorby opalů na broušeném povrchu. Z toho však vyplývá kratší doba doteku součásti s kotouče, což má špatný vliv na drsnost obrobené plochy. Zhoršují se také některé technologické podmínky stroje (zvětšení rozstříku řezné kapaliny).

#### Bezhraté broušení

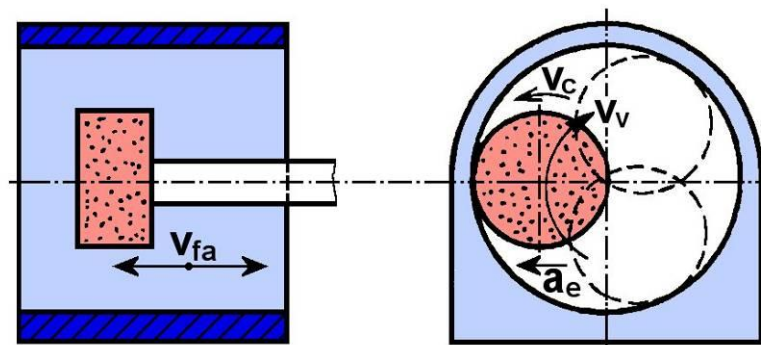
Bezhraté broušení je srovnatelné s axiálním broušením (jsou zachovány veškeré základní pohyby obrobku i brousicího kotouče). Rozdílné je upínání obrobku, kdy je součást vložena mezi 3 kotouče (obr. 1.2.100) (podávací (2) – zajišťuje otáčení součásti, opěrný (3) – určuje polohu součásti, upínací (4) – přitlačuje součást ke kotoučům 2 a 3 a zajišťuje tak upínání během broušení). Při bezhratém vnitřním broušení je možné dosáhnout větší přesnosti ve srovnání s axiálním vnitřním broušením.



Obr. 1.2.100 Bezhraté obvodové broušení vnitřních ploch „dokulata“

#### Planetové broušení

Otvory velkých a těžkých obrobků, které jsou upnuté do sklíčidla a případné obrábění je obtížné, se obrábí planetovým broušením. V tomto případě obrobek stojí a brusný nástroj koná všechny pracovní pohyby – otáčí se okolo vlastní osy, posouvá se ve směru osy broušeného otvoru a současně obíhá okolo osy obrobku. Přesnost planetového broušení je z důvodu malé tuhosti vřetena malá.



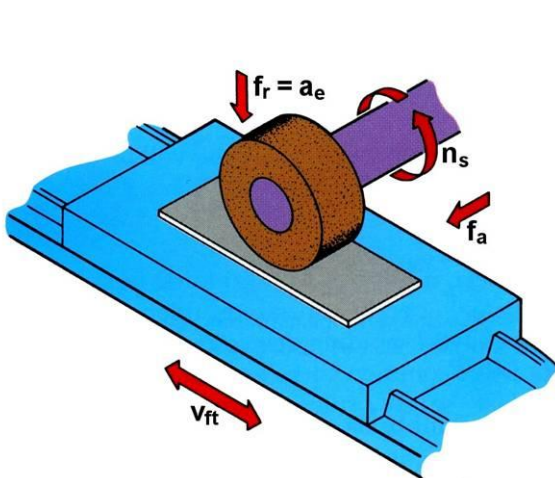
Obr 1.2.101 Planetové broušení vnitřních válcových ploch

*Obvodové rovinné broušení*

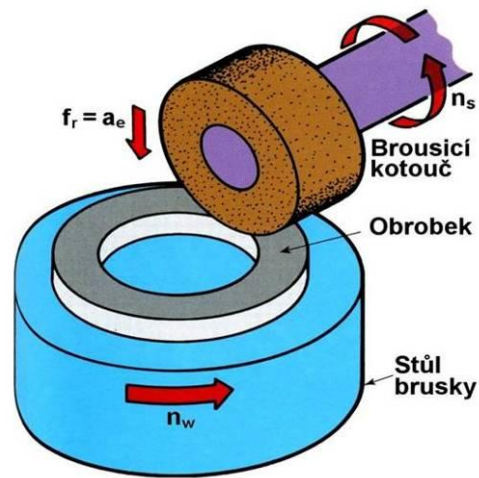
Rovinné broušení se používá obvykle pro obrábění „načisto“ po předcházejícím frézování nebo hoblování. Někdy se používá i místo frézování, především u velmi tvrdých materiálů. Broušení se realizuje obvodem nebo čelem brousicího kotouče.

Při broušení obvodem kotouče vykonává obrobek přímočarý vratný nebo kruhový pohyb. Pracovní stůl brousicího stroje s upnutým obrobkem se posouvá v přímočarém směru o hodnotu příčného posuvu, který závisí na šířce kotouče (obr. 1.2.102). Výjimečně vykonává obrobek otáčivý pohyb (obr. 1.2.103).

Obvodové broušení patří mezi nejpřesnější způsob broušení rovinných ploch. Používá se hlavně při broušení přesných rovinných ploch, při výrobě nástrojů, měřidel, přípravků,... Je možné brousit i tvarové plochy.



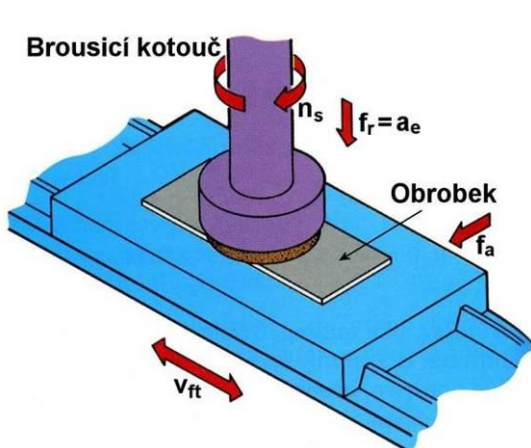
Obr. 1.2.102 Posuvný pohyb obrobku



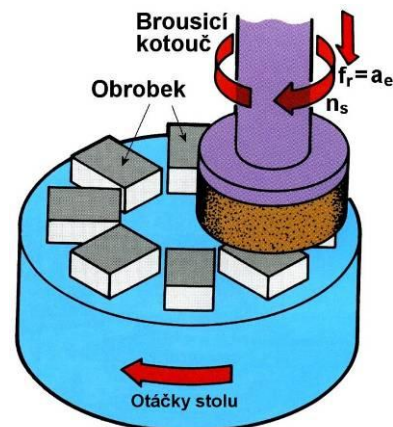
Obr. 1.2.103 Rotační pohyb obrobku

*Čelní broušení*

Pro broušení širších ploch se používá broušení čelem kotouče. Není tak přesné jako broušení obvodové, ale je mnohem výkonnější. Při tomto způsobu broušení je obvykle průměr kotouče větší než je šířka broušené plochy. Stejně jako u obvodového broušení, tak i u čelního broušení může obrobek vykonávat pohyb otáčivý nebo přímočarý.



1.2.104 Otáčivý pohyb obrobku



Obr.

Obr. 1.2.105 Přímočarý pohyb obrobku

Přímočarý pohyb stolu se využívá především pro sériovou a hromadnou výrobu především malých součástí jako např. čelní plochy ozubených kol, pístní kroužky,... Pro výkonné čelní broušení se používají speciální brusky se dvěma protilehlými broušícími kotouči.

Při broušení kotouči větších rozměrů se obvykle používají segmentové hlavice. Výhodou těchto hlavice je, že lépe dokáží využít brusný materiál, lépe se odstraňuje tříska, řezná kapalina má lepší přístup k místu broušení a broušená součást se méně zahřívá.

#### Tvarové broušení

Ve strojírenství se kromě rovinných, válcových a kuželových ploch často vyskytují i tvarové plochy (někdy značně složité). Tyto tvary se brousí tvarovými kotouči nebo kotouči běžných tvarů kopírováním. Broušení kopírováním se provádí pomocí šablon a pantografů. Při tomto způsobu broušení vykonává pracovní pohyb brusný kotouč nebo obrobek na speciálně upravených (kopírovacích) hrotových, bezhrotých i rovinných bruskách.

#### *Broušící nástroje*

Broušící nástroj se skládá z brusných zrn, pojiva a pórů. Brusná zrna tvoří řezné klíny, póry mají funkci zubových mezer, ve kterých se hromadí třísky a pojivo spojuje brusná zrna dohromady, čímž tvoří pevné těleso různých tvarů a velikostí. Podle geometrického tvaru rozdělujeme broušící nástroje na:

- kotouče (nejčastěji používané),
- segmenty,
- kameny.

Brusné nástroje posuzujeme podle:

- druhu brusného materiálu,
- zrnitosti brusiva,
- tvrdosti nástroje,
- struktury nástroje,
- druhu pojiva.

#### *Materiál brusných zrn*

Brusné materiály se podle způsobu výroby rozdělují na přírodní a syntetické. Pro výrobu broušících kotoučů se nejčastěji používá oxid hlinitý –  $Al_2O_3$  – umělý korund, elektrolyt – může být bílý, růžový, hnědý, barevný, manganový, zirkoniový, mikrokrytalický, polokřehký. Karbid křemíku – SiC – karborundum – černý nebo zelený. Druh materiálu se volí v závislosti na vlastnostech obráběného materiálu. Pro broušení oceli, oceli na odlitky, temperované litiny a tvrdé bronzy je vhodný umělý korund. Karbid křemíku se používá pro šedé litiny, mosazi, měď, lehké kovy a jejich slitiny, slinuté karbidy, sklo a keramiku.

#### Zrnitost brusiva

Jakost brusného nástroje také závisí na velikosti brusných zrn, což má vliv na drsnost obrobeného povrchu. Při volbě zrnitosti všeobecně platí:

- tvrdý a křehký materiál vyžaduje jemnější zrno než materiál měkký a houževnatý,

- velikost dotykové plochy nástroje s obrobkem má vliv na vývin tepla a zanášení kotoučů. Proto se při rovinném broušení volí větší zrno než při broušení „do kulata“,
- čím vyšší jakost povrchu, tím jemnější zrno,
- na úběr většího množství materiálu se volí větší zrno a naopak.

#### Tvrdost kotouče

Jedná se o vlastnost, která charakterizuje odpor brusných zrn proti vylomení z nástroje, vyjadřuje tedy míru houževnatosti a pružnosti pojivových můstků mezi jednotlivými zrny brusiva. S tím souvisí uvolňování otupených brusných zrn, a to především u měkkých kotoučů, u kterých se uvolňují snadněji než u tvrdých.

Měkký kotouč	PODMÍNKY	Tvrdý kotouč
Tvrdý, křehký ←	Obráběný materiál →	Měkký, houževnatý
Velká ←	Kontaktní plocha →	Malá
Vysoká ←	Řezná rychlost →	Nízká
Nízká ←	Posuvová rychlost ( $v_{ft}$ , $v_w$ ) →	Vysoká
Dobrá ←	Přesnost brusky →	Špatná
Zkušený ←	Pracovník →	Nezkušený

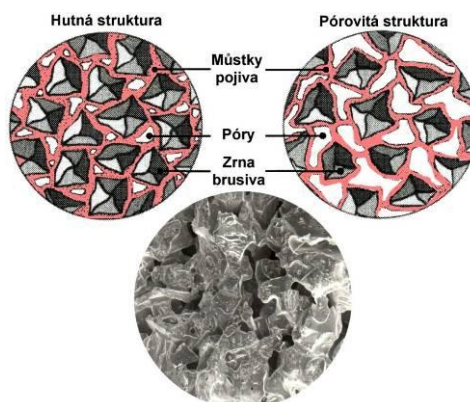
Obr 1.2.106 Podmínky volby kotouče

#### Struktura kotouče

Struktura určuje poměr brusných zrn, pojiva a pórů v 1cm<sup>3</sup>. Čím vyšší je číslo, tím je vzdálenost mezi zrny větší.

Pro volbu struktury všeobecně platí:

- čím tvrdší a křehčí je materiál, tím hutnější je kotouč,
- čím větší je dotyková plochy, tím pórovitější musí být kotouč,
- čím větší je množství odebraného materiálu, tím pórovitější musí být nástroj, aby se nezanášel.



Obr. 1.2.107 Struktura kotouče

### Pojivo kotouče

Pojivo stmeluje brusné zrna, aby měl brusný nástroj požadovaný tvar, rozměr a vhodnou mechanickou pevnost. Má také velký vliv na samoostření nástroje. Pojivo musí splňovat velké množství podmínek, např. odolávat vlivům teploty, chladicích kapalin... Základní druhy pojiv:

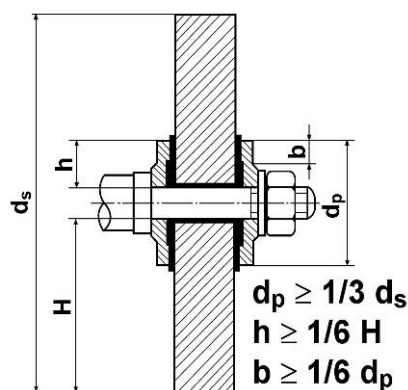
Keramické pojivo (V) – je nejčastěji používané pro jeho univerzálnost. Maximální obvodová rychlost se volí 35 až 50 m.s-1.

Silikátové pojivo (S) – je méně pevné než keramické pojivo, ale je pružnější.

Magnezitové pojivo (O) – nesnáší vlhko, proto se používá jen pro broušení za sucha. Je vhodné na jemný výbrus.

Pojiva z umělé pryskyřice jsou méně citlivá vůči nárazům a bočním tlakům. Jsou vhodná k hrubování, broušení vnějších i vnitřních válcových ploch...

### Upínání nástrojů



Obr. 1.2.108 Upínání brusného kotouče pomocí přírub

Brusné kotouče se upínají na vřeteno broušicího stroje pomocí přírub. Ty jsou nejčastěji upevněny mechanickým sevřením. Mezi brusný kotouč a příruby se vkládá pružná vložka z gumy nebo měkké lepenky. Malé brusné kotouče se upínají „za díru“.

Před upnutím do stroje je potřeba kotouče vyvažovat, a to staticky i dynamicky, aby byl zaručen klidný chod vřetene bez vynucených kmitů, které způsobují zhoršení jakosti broušené plochy. Statické vyvažování se provádí na vyvažovacím stojánku přestavováním vyvažovacích tělísek. Existují i brusky s vyvažovacím zařízením, kterým se kotouč vyvažuje při chodu stroje.

### Broušicí stroje – brusky

Podle účelu a způsobu práce existují různé brusky:

Hrotové brusky – používají se především pro broušení válcových rotačních obrobků upnutých mezi hroty. Umožňují brousit kužele, čelní rovinné plochy a s použitím přídavného zařízení i otvory. Nejrozšířenější jsou univerzální hrotové brusky, které se skládají z lože, na kterém je umístěn pohyblivý stůl s pracovním vřeteníkem na obrobek. Stůl má 2 části, z kterých horní je možné natáčet, což se využívá při broušení táhlých kuželů.

Bezhraté brusky – mají 2 vřeteníky, a to vřeteník, na kterém je brusný kotouč a podávací vřeteník. Každý vřeteník má svůj vlastní elektromotor. Brusný vřeteník je pevně spojený se stojanem a má konstantní otáčky. Podávací vřeteník je uložený posuvně, má měnitelné otáčky a je sklopný, aby byla možná mimoběžnost os proti ose brusného kotouče. Bezhraté brusky umožňují běžně brousit i zapichovacím způsobem nejčastěji vnější plochy, ale dají se brousit také rotační plochy.

Brusky na díry – jsou sklíčidlové, planetové a bezhroté. Sklíčidlová bruska na díry je velmi významným představitelem těchto brusek. Používá se pro broušení válcových nebo kuželových otvorů obrobků menších rozměrů, které se mohou při broušení otáčet. Upínání obrobků umožňuje sklíčidlo pracovního vřeteníku uloženého na příčných saních. Otáčky vřetena je možné plynule měnit.

Vodorovné rovinné brusky – patří mezi nejrozšířenější druhy broušení. Slouží k broušení rovinných ploch a jejich charakteristikou je vodorovná osa broušícího vřetene. Upínání obrobků nejčastěji umožňuje elektromagnetická deska umístěná na pracovním stole. Na vedení stojanu se pohybují příčné saně a na nich vedení podélného stolu. Nejrozšířenějším představitelem rovinných brusek jsou brusky s přímočarým vratným pohybem. Šířka pracovního stolu je základním ukazatelem velikosti stroje.

Svislé rovinné brusky – jsou vhodné pro úběr většího množství materiálu. Jsou charakterizovány svislou osou broušícího vřetena a vysokými výkony broušení na úkor přesnosti a drsnosti obrobkové plochy. U těchto brusek je brusné vřeno zároveň hřídelí elektromotru a brusný kotouč může být prstencovitý, hrncovitý nebo segmentový. Pracovní stůl se pohybuje přímočarým vratným pohybem, takže průměr brusného kotouče musí být větší než je šířka broušené plochy.

Speciální brusky – slouží pro broušení obrobků se speciálním technologickým zaměřením. Jsou to brusky na ostření, brusky pro broušení závitů, brusky na broušení ozubení, pro broušení klikových a válečkových hřídelí, atd.

## q Dělení materiálu

Tyčový válcovaný i tažený materiál se musí před vlastním obráběním rozřezávat na potřebné délky, podle požadovaných rozměrů konečného obrobku. Dělit obráběné materiály nebo součásti je však třeba i v případě litých nebo tvářených polotovarů, a to např. při odstraňování ořepů, švů, výronků, někdy i při oddělování několika součástí z desek, pásů nebo jiných rozměrnějších polotovarů. K nejpoužívanějším metodám dělení materiálu patří:

- dělení rozřezáváním (pilový list, pilový kotouč, pilový pás),
- dělení rozbrušovacím kotoučem,
- dělení třecím (frikčním) kotoučem,
- dělení rotačních součástí upichovacím nožem na soustruhu,
- dělení stříháním a lámáním,
- tepelné dělení (plamen, elektrický oblouk, plazma, laser, elektronový paprsek),
- dělení nekonvenčními metodami obrábění (elektrojiskrové řezání, vodní paprsek, atd.).

### *Dělení rozřezáváním*

Rozřezávání na rámových, kotoučových nebo pásových pilách patří k nejužívanějším metodám dělení materiálů, vybrané charakteristiky jednotlivých typů strojních pil jsou uvedeny v tabulce 1.2.1.

#### *Dělení na rámových pilách*

Dělení materiálu na rámových pilách prokáže své přednosti zejména v kusové a malosériové výrobě. Nízká cena nástroje a stroje, spolu s poměrně nízkou spotřebou energie zaručují vysokou hospodárnost této metody pro dané typy výroby. Za výhodu lze považovat i jednoduchost obsluhy, snadnou výměnu pilového listu, nízkou poruchovost a nízké náklady na opravu stroje (jednoduchá konstrukce). Mezi nevýhody lze zařadit zejména nízkou produktivitu řezání, špatnou přesnost řezu a relativně vysoké ztráty děleného materiálu.

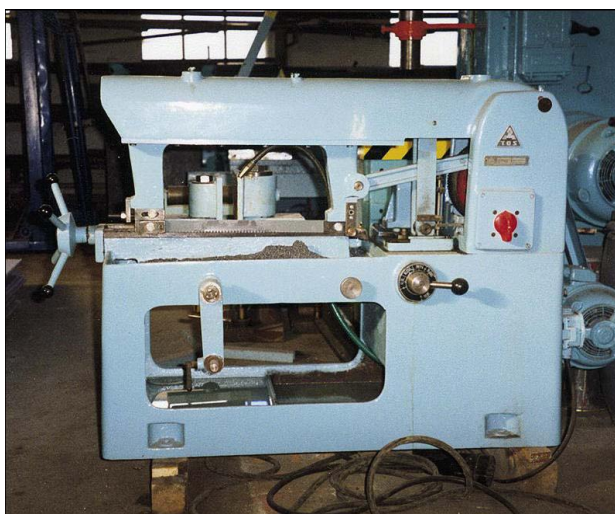
Nástroj - pilový list (je vyroben z rychlořezné oceli a může mít zuby na jedné nebo obou stranách) - se upíná do rámu, který je veden v ramenu pily a pomocí klikového mechanismu vykonává přímočarý vratný pohyb. Při zpětném (nepracovním) pohybu se rameno stroje nadzvedne pomocí vačky nebo jednoduchého hydraulického mechanismu, aby hřbety zubů nedřely po odřezávaném materiálu. Posuv pilového listu do řezu je určován hmotností ramene nebo je nastaven hydraulicky (v tomto případě jej lze plynule měnit). Kvůli snížení mechanického a tepelného namáhání musí být zuby listu vhodným způsobem rozvedeny do stran.

Tab. 1.2.1 Parametry strojních pil

Charakteristika	RP	KP	PP
Pořizovací cena stroje	N	V	S
Instalovaný příkon	S	V	N
Produktivita dělení	N	S	V
Univerzálnost použití	N	S	V
Cena nástroje	N	S	V
Životnost nástroje	N	V	S
Přesnost přířezu	N	V	S
Ztráta materiálu řezáním	V	S	N

RP - rámové pily, PP - pásové pily, KP - kotoučové pily

Hodnota parametru: N-nízká, S-střední, V-vysoká

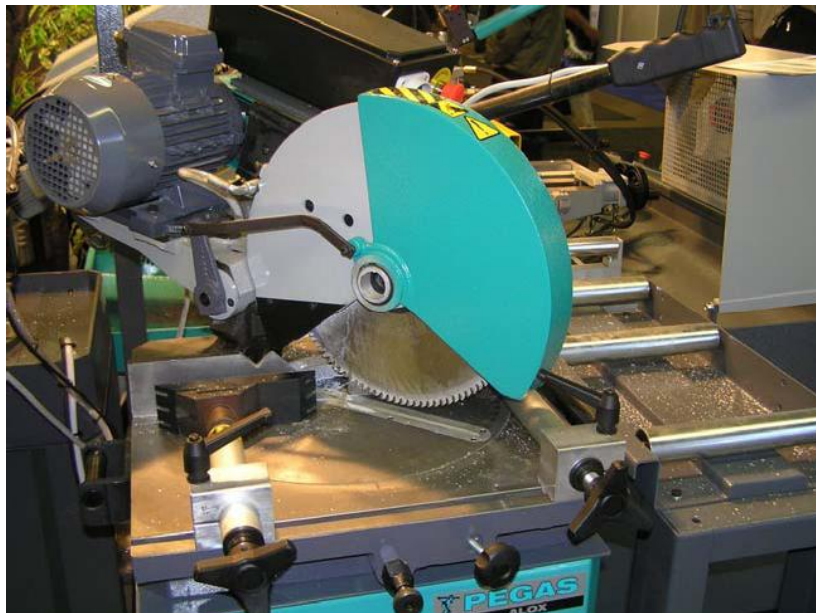


Obr. 1.2.109 Rámová pila



### Dělení na kotoučových pilách

Hlavními přednostmi dělení na kotoučových pilách jsou poměrně vysoká univerzálnost použití, produktivita, vysoká kvalita řezné plochy (vysoká přesnost řezné spáry a nízká drsnost povrchu obrobene plochy) a vysoká životnost pilového kotouče.



*Obr. 1.2.110 Kotoučová pila*

Vzhledem k charakteru práce a kinematice pohybů (řezný, posuvný a výsledný) lze tuto metodu dělení materiálu považovat prakticky za frézovací operaci (válcové frézování), která využívá jemnozubý nástroj malé tloušťky a velkého průměru. Řezný pohyb vykonává nástroj (pilový kotouč) a lze jej vyjádřit hodnotou jeho obvodové rychlosti  $v_c$  [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]. Posuvný pohyb může vykonávat nástroj nebo obrobek a jeho elementární, na ostatních podmínkách nezávislou hodnotu lze vyjádřit parametrem  $f_z$  [mm] (posuv na zub - dráha, o kterou se relativně vůči sobě posunou nástroj a obrobek po dobu, po kterou je zub nástroje v záběru).

### Dělení na pásových pilách

Patří k nejproduktivnějším metodám dělení materiálu a dochází zde k nejmenším ztrátám materiálu „prořezem“ (řezná spára je o jednu až dvě třetiny menší než u kotoučových nebo rámových pil), což se výrazně projeví zejména při dělení drahých materiálů. K dalším výhodám patří vysoká kvalita řezné plochy. Mezi nevýhody lze zařadit zejména poměrně vysokou cenu nástroje. Touto metodou lze provádět i tvarové řezy. Dělení na pásových pilách se v současné době velmi intenzivně rozvíjí.

Nástrojem je pilový list, svařený na obou koncích tak, že vytváří nekonečný pás, který je přes hnací a napínací kotouč veden v místě řezu rovnoměrným přímočarým pohybem (rychlost pohybu pásu tedy odpovídá zvolené řezné rychlosti). Z materiálového hlediska jsou nejčastěji používány tyto druhy pilových pásů:

- pásy z pružné nebo tvrdé uhlíkové oceli ,
- bimetalové pásy,
- pásy z pružné oceli s pájenými zuby ze slinutého karbidu (druh K podle ISO).



Obr. 1.2.111 Pásová pila

Podobně, jako u jiných metod obrábění, je i při dělení na pásových pilách jedním z nejdůležitějších pracovních parametrů hodnota řezné rychlosti  $v_c$ , která závisí zejména na fyzikálních a mechanických vlastnostech děleného materiálu, tvaru a rozměrech řezaného profilu a počtu řezaných součástí (jedna součást, nebo několik součástí ve svazku). Nastavená hodnota posuvu na zub  $f_z$  je u pásové pily konstantní. U převážné většiny pásových pil je pilový pás posouván do řezu hydraulicky (případně pomocí závaží a pákového mechanismu).

#### *Dělení rozbrušovacím kotoučem*

Patří mezi velmi produktivní metody, jeho použití je však omezeno pouze pro specifické případy dělení těžkoobrobitelných materiálů, slabostěnných profilů nebo trubek, těžkoobrobitelných plastů, pro odstraňování otřepů tvářených nebo litých polotovarů, odřezávání vtoků, nálitků nebo ztracených hlav odlitků. Obecně je tato metoda vhodná pouze pro menší průměry nebo průřezy děleného materiálu, protože rozbrušovací kotouč se velmi rychle opotřebovává a tím zmenšuje svůj průměr. Rozbrušování by nemělo být používáno u takových materiálů, které mají sklon k zakalení, či naopak popuštění povrchové vrstvy (některé legované samokalitelné oceli, kalené rychlořezné oceli), nebo které mají nízkou kritickou teplotu, při níž dochází k porušení struktury (titanové slitiny, většina plastů).

Rozbrušovací kotouč má velmi malou tloušťku, pro běžné případy 1 až 3 mm, pro speciální případy však jen několik desetin mm. Brusivem může být  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , SiC, polykrystalický diamant nebo kubický nitrid boru (KNB). Pojivem je pro klasické brusivo nejčastěji pryž (dělení ocelí nebo litin „za mokra“,  $v_c = 60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) nebo pryskyřice (pro dělení těžkoobrobitelných materiálů nebo vyšší řezné rychlosti, až do  $120 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Pryskyřičné kotouče mohou být nevyztužené (do průměru 500 mm), nebo vyztužené sklotextilem (nad  $\text{Ø} 500 \text{ mm}$ ).

Diamantové kotouče a kotouče z KNB mají obvykle kovové pojivo (bronz, slitiny hliníku). Na rozdíl od kotoučů z klasického brusiva, které mají plný profil, je činná vrstva těchto kotoučů vytvořena pouze v malé tloušťce na obvodu kotouče a může být nepřerušovaná nebo přerušovaná (tato varianta je výhodnější, protože kotouč se mnohem méně zanášá odřezávanou třískou).

Výhodou tohoto způsobu dělení je úzký řez a z něj vyplývající malý odpad materiálu a dobrá kvalita plochy řezu (rovinnost, drsnost povrchu). Nevýhodou je velká spotřeba nástrojů a relativně vysoká energetická náročnost procesu.

#### *Dělení třecím kotoučem*

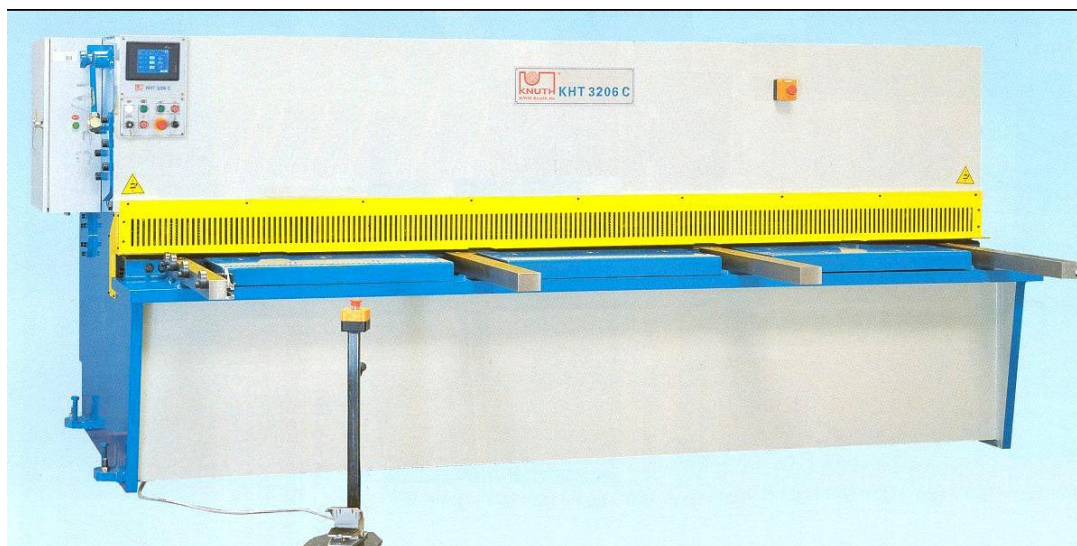
Metoda je podobná dělení rozbrušovacím kotoučem, kde však nástroj nemusí mít tvar kotouče. Lze zde použít i pilové pásy nebo dráty.

Kotouče nebo pásy pro frikční řezání mají nízké zuby, obvykle s úhlem čela  $\gamma_0 = +30^\circ$  a úhlem hřbetu  $\alpha_0 = 10^\circ$  až  $20^\circ$ , v některých případech jsou však i bez ozubení na obvodě (jen hladké nebo zdrsněné). Princip řezání spočívá v tom, že při vysokých hodnotách řezné rychlosti ( $v_c = 60 \div 150 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) se povrchová vrstva děleného materiálu v místě styku s nástrojem velmi rychle ohřívá na vysokou teplotu, a tím dochází k podstatnému snížení tvrdosti i pevnosti obráběného materiálu, který se pak snadno odděluje.

Oblast užití této metody je obdobná, jako v případě dělení rozbrušovacím kotoučem, její výhody se projeví zejména při řezání tenkostěnných obrobků. K dalším přednostem patří úzký a přesný řez a levný nástroj (nástroj je v řezu poměrně krátkou dobu, není proto příliš tepelně namáhán a může být vyroben z běžné konstrukční oceli).

#### *Dělení stříháním a lámáním*

Stříhání a lámání patří k nejproduktivnějším metodám dělení polotovarů v kovárnách a válcovnách. Stříhání se používá pro dělení plechů, pásů tyčí a profilů. Provádí se za studena, u málo plastických ocelí za tepla (nelegované oceli až  $300^\circ\text{C}$ , slitinové oceli až  $650^\circ\text{C}$ ).



*Obr. 1.2.112 Tabulové nůžky*

Tenké plechy (do tloušťky 1 mm) a menší kusy se stříhají ručními nůžkami, plechy a pásy do tloušťky 40 mm, s maximální délkou až 6000 mm, tabulovými nůžkami (obr. 1.2.112). Nůžkami se rovněž dělí tyče do průměru 50 mm a profily s maximálním průřezem až  $2500 \text{ mm}^2$ . Na lisech se stříhacími přípravky nebo na speciálních stříhacích strojích se dělí tyče do průměru 150 mm za studena, tyče s průměrem až 250 mm za tepla.

Dělení lámáním se provádí pouze za studena na lamačích (lisech), viz obr. 1.2.113, u materiálů s pevností v tahu  $R_m > 600 \text{ MPa}$ , do průměru polotovaru  $d = 300 \text{ mm}$ . Před lámáním je vhodné v místě lomu vytvořit vrub (o šířce 5 až 7 mm a hloubce  $0,1d$ ) naseknutím, naříznutím nebo plamenem. Lámání je vysoce produktivní, umožňuje dělení na krátké kusy ( $l_{\text{min}} = 0,8d$ ), podle vzhledu lomové plochy lze navíc provádět kontrolu jakosti děleného materiálu.

#### *Tepelné dělení*

Všechny metody tepelného dělení materiálu využívají soustředěné tepelné energie působící v místě řezu. K nejčastěji využívaným patří metoda dělení kyslíko-acetylenovým plamenem (acetylen -  $\text{C}_2\text{H}_2$ ), která je založena na spalování ohřátého materiálu v místě řezu. Řezání se provádí ručně nebo na speciálních strojích. Podmínkou řezitelnosti je, aby zápalná teplota materiálu byla menší než je jeho teplota tavení. Tato metoda je vhodná pro dělení nelegovaných ocelí do tlouštěk až 500 mm, je velmi

produktivní a umožňuje i tvarové řezy. Slitinnové oceli lze řezat s předehřevem, nebo se do proudu kyslíku přidává kovový prášek, který se spaluje a zvyšuje tak teplotu řezání. K nevýhodám dělení materiálu plamenem patří velký prořez a špatná kvalita řezu (vysoká drsnost povrchu a silné tepelné ovlivnění povrchové vrstvy).



*Obr. 1.2.113 Hydraulický lis pro děrování a stříhání*



*Obr. 1.2.114 CNC stroj MAXI 4500 pro řezání plamenem a plazmou*

Dělení elektrickým obloukem je založeno na protavování materiálu v místě řezu pomocí obalených hlubokozávarových elektrod a vysokých hodnot protékajícího elektrického proudu. Produktivita dělení je nízká, kvalita řezu velmi špatná. Při řezání dutou elektrodou dochází k protavování a spalování

materiálu v kyslíku, přiváděném dutinou elektrody do místa řezu. Tento způsob se používá pro dělení litin a slitinových ocelí, dosahovaná produktivita a kvalita řezu jsou vyšší než v předchozím případě.



## Shrnutí kapitoly

V této kapitole jste se dozvěděli, jaké jsou **základní metody produktivního obrábění**. Patří sem **soustružení, frézování, broušení, vrtání a vyvrtávání, hoblování a obrážení, vyhrubování a vystružování a metody dělení polotovárů**.

U jednotlivých metod jste se dozvěděli, jaké jsou způsoby obrábění, na jakých **strojích**, jakými **nástroji** se obrábí a jak se tyto **nástroje upínají**, aby měli co nejlepší funkci. Dále pak jaké metody **upínání obrobků** jsou používány pro co největší tuhost celé soustavy.



## Kontrolní otázka

1. Jaké znáte druhy soustružení?
2. Uveďte rozdíl mezi hlavním a vedlejším pohybem při obrábění.
3. Jaký je rozdíl mezi sousledným a nesousledným frézováním?
4. Vyjmenujte, které metody obrábění považujeme za produktivní?
5. Jaký je rozdíl mezi nástroji s definovanou a nedefinovanou geometrií?
6. Definujte hlavní a vedlejší řezný pohyb u soustružení a frézování.
7. Uveďte dělení radiálních soustružnických nožů.
8. Jaké znáte druhy soustruhů?
9. Jaké stroje byste použili k obrábění rovinných ploch?
10. Z jakých materiálů se vyrábí vyměnitelné břitové destičky?
11. Jaké znáte způsoby upínání obrobků při soustružení?
12. Jaké jsou způsoby upnutí nástrojů při frézování, broušení a soustružení?
13. Jaké jsou výhody a nevýhody sousledného a nesousledného frézování?
14. Jak nazýváme a dělíme frézovací nástroje?
15. Jaký je rozdíl mezi přímým, nepřímým a diferenciální dělením?
16. Jak rozdělujeme technologii vrtání podle druhu, konstrukce a geometrie nástroje?
17. Jaké znáte stroje pro vrtání otvorů?
18. Vysvětlete rozdíl mezi vrtáním a vyvrtáváním.
19. Jaký je princip hoblování a obrážení a jaké jsou hlavní rozdíly mezi těmito metodami?
20. Jaký je rozdíl mezi svislou a vodorovnou obrážečkou a k čemu by se dali použít?
21. Vysvětlete rozdíl mezi protahováním a protlačováním.
22. Popište charakteristické znaky broušení.
23. Vyjmenujte způsoby broušení.
24. Definujte pojivo, ostřívo a zrnitost u brusného kotouče.

25. Uved'te základní rozdělení strojů na broušení.
26. Jakými způsoby lze dělit materiál?
27. Jaký je princip dělení na pásových, rámových a kotoučových pilách?
28. Uved'te podstatu a výhody fikčního dělení.
29. Co je podmínka řezatelnosti u dělení tepelného?
30. Lze na soustruhu vyrobit krychle? Pokud ano, vysvětlete.



### Úkol k řešení

1. Nakreslete podélné a čelní soustružení i s kinematikou pohybu
2. Nakreslete čelní frézování s rozlišením sousledného a nesousledného frézování a kinematikou pohybu.
3. Nakreslete schéma konzolové frézky a popište její základní části.
4. Nakreslete schéma univerzálního hrotového soustruhu a popište jeho základní části
5. Nakreslete sousledné a nesousledné frézování s vyznačením odlišností.
6. Napište výpočet pro výrobu 56 zubů, máme-li kotouč s děrami po obvodu 25, 28, 30, 34, 37, 38, 41, 42 a 43 pomocí nepřímého dělení.
7. Napište výpočet pro výrobu 127 zubů pomocí diferenciálního dělení s kotoučem dle předchozího úkolu.
8. Nakreslete schéma vrtáku a popište jeho základní části.
9. Nakreslete princip vyvrtávání a zahlubování.
10. Nakreslete protahovací nebo protlačovací trn s popisem jednotlivých částí.
11. Nakreslete schéma planetového broušení a bezhrotého broušení.
12. Nakreslete a vysvětlete upínání mezi hroty při soustružení.
13. Nakreslete schéma univerzálního dělicího přístroje.
14. Uved'te výpočet řezné rychlosti při frézování a při soustružení.
15. Nakreslete princip vrtání „na jádro“.

### 1.3. Určování síly řezání a jejich složek



**Čas ke studiu:** 10 hodin



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat sílu řezání a její jednotlivé složky.
- Přímé metody měření složek síly řezání
- Metody cejchování dynamometrů



## Výklad

Mechanismus tvorby třísky prokazuje, že při vnikání řezného klínu do materiálu obrobku vzniká v obráběném materiálu stav napjatosti, který způsobuje v mezní situaci jeho dělení. Proces tohoto dělení doprovází menší anebo větší plastické, ale i elastické deformace. Kromě jevů deformačních se při tomto procesu prosazují i poměry silové.

Poznání těchto silových poměrů procesu řezání nám umožní získat přehled o mechanickém namáhání soustavy obrábění, a tím i podklady pro řešení celé technologické soustavy jak z hlediska pevnosti, tak i její tuhosti včetně dynamické stability řezného procesu.

Dále je možné získat podklady pro určení příkonu obráběcího stroje, zajištění energetické účinnosti řezného procesu i posuzování jeho tepelných jevů, pro hodnocení a posuzování těchto tepelných jevů při procesu řezání, pro hodnocení trvanlivosti řezného nástroje, respektive jeho životnosti, ale také pro posouzení podmínek přesnosti, jakož i celkové ekonomické bilance třískového obrábění.

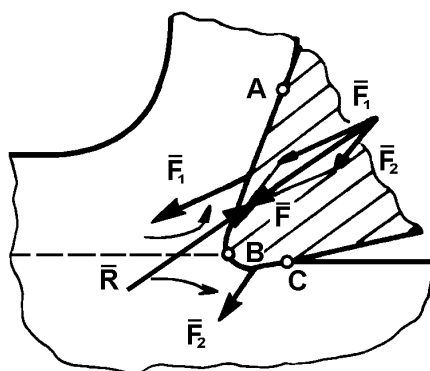
Zvlášť významnou veličinou tohoto procesu je síla obrábění (řezání), kterou je nutno chápat jako veličinu časově proměnnou. Stav napjatosti v obráběném materiálu způsobuje řezný odpor  $R$ , který síla řezání (obrábění) musí při řezném procesu neustále překonávat (obr. 1.3.1). Pro podmínku rovnováhy pak platí:

$$F = - R \quad [\text{N}], \text{ kde} \quad (1.3.1)$$

$F$  – síla obrábění [N],

$R$  – řezný odpor [N].

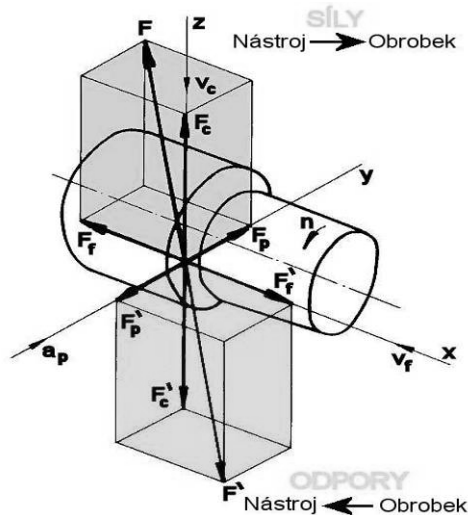
Síla řezání (vznikající při obrábění) je jevem dynamickým. Při obrábění v závislosti na čase její okamžitá velikost  $F_{ok}$  kolísá ( $\pm$  až 20 %), a to i při řezání (obrábění) za konstantních řezných podmínek. Je to způsobeno zejména rozptylem mechanických vlastností obráběného (testovaného) materiálu a mechanikou tvorby třísky. Zejména z tohoto důvodu je pro věrohodnost naměřených výsledků prováděný experiment vždy několikrát opakovat.



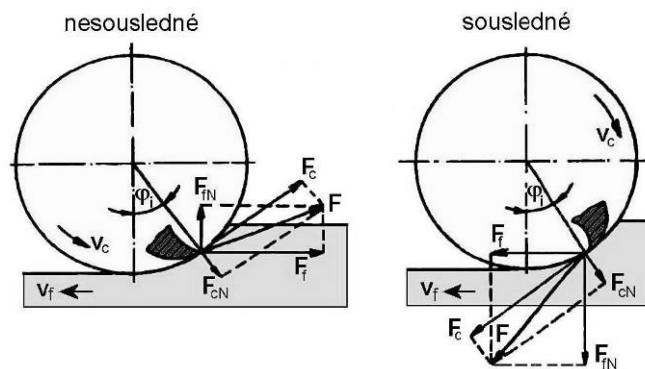
Obr. 1.3.1. Síla řezání (obrábění) a její rozklad při soustružení

Síla obrábění (vznikající při řezání)  $F$  je výslednicí dvou složek, a to aktivní složky řezání  $F_1$  a složky pasivní  $F_2$ . Aktivní složku řezání pak lze dále rozkládat na řeznou složku síly obrábění  $F_c$  a složku posuvu  $F_f$ . Typický rozklad řezné síly na složky je pro soustružení na obr. 1.3.2, pro frézování na obr. 1.3.3 a pro vrtání na obr. 1.3.4.

Poměr velikostí jednotlivých složek je dán především určitou technologií obrábění a geometrií nástroje (např.  $F_c : F_p : F_f = 1 : 0,4 : 0,25$ ). Ze všech složek síly řezání má zpravidla největší význam řezná (tangenciální) složka  $F_c$ . Je základem pro formulaci omezujících podmínek zejména při optimalizaci řezných parametrů.



Obr. 1.3.2. Schéma rozložení složek síly řezání při soustružení



Obr. 1.3.3. Schéma rozložení složek síly řezání při frézování,  $F$  - celková řezná síla,  $F_c$  - řezná síla,  $F_{cN}$  - kolmá řezná síla,  $F_f$  - posuvová síla,  $F_{fN}$  - kolmá posuvová síla

Závislost řezné složky síly soustružení  $F_c$  na posuvu (neuvažujeme-li aspekty a parametry HSC – vysokorychlostního a HFC – vysokoposuvového obrábění) má stoupající tendenci. Stejný průběh má závislost řezné složky síly obrábění  $F_c$  na tloušťce obráběné vrstvy  $a_p$ .

Je to zřejmé z rovnice (1.3.2):

$$F_c = c_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \quad [\text{N}], \text{ kde} \quad (1.3.2)$$

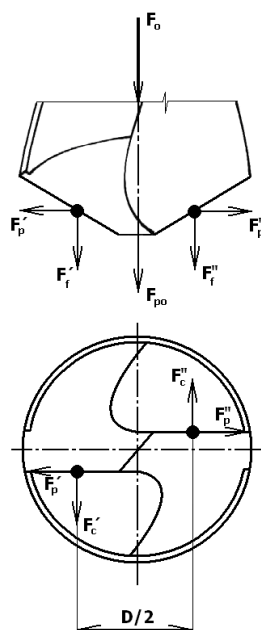
$c_{F_c}$  – konstanta,

$x_{F_c}$  – exponent pro hloubku třísky,

$y_{F_c}$  – exponent pro posuv.

Analogicky to platí pro složku  $F_p$  i  $F_f$ .





Obr. 1.3.4. Schéma rozložení složek síly řezání při vrtání

Mimo posuvu a tloušťky obráběné vrstvy (hloubky řezu) ovlivňují absolutní velikost i vzájemný poměr velikosti složek také:

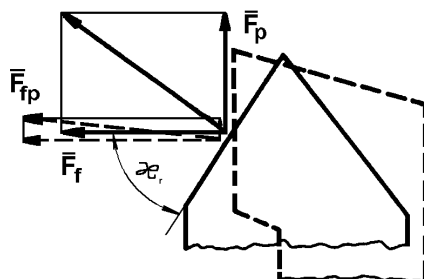
- řezná rychlost,
- geometrie břitu,
- stav otupení břitu,
- pevnost a tvrdost obráběného materiálu,
- řezné prostředí.

Vliv popisovaných pracovních podmínek na absolutní velikost složek síly soustružení také souvisí s jejich vlivem na velikost práce řezání, popřípadě na velikost měrného řezného odporu. Řezná rychlost ovlivňuje v podstatě stejně všechny tři složky. Její vliv na velikost řezné složky  $F_c$  je analogický s jejím vlivem na měrný řezný odpor.

Geometrické parametry břitu mají na sílu řezání rovněž veliký vliv. Na jednotlivé složky síly soustružení má marginální vliv zejména úhel čela. Jeho vliv na řeznou složku  $F_c$  je také v souladu s jeho vlivem na měrný řezný odpor. Není však v celém rozsahu řezných podmínek stejný. Podstatně větší vliv má na pasivní složku  $F_p$  a na složku posunovou  $F_f$ . Se snižujícím se úhlem čela se posunová složka síly soustružení složka pasivní budou zvětšovat.

Také vliv úhlu nastavení na rozložení síly soustružení má značný vliv. Platí to rovněž o poloměru zaoblení ostří a podobně. Úhel sklonu ostří  $\lambda_s$  působí na směr odcházející třísky, čímž také ovlivňuje velikost deformační práce i práci vzniklou třením. Jelikož ovlivňuje jako úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$  směr vektoru síly soustružení  $F$ , není jeho vliv na velikost jednotlivých složek stejný. Úhel hřbetu taktéž ovlivňuje velikost řezné složky síly soustružení (obr. 1.3.5). Vliv na složku  $F_c$  lze posoudit z jeho vlivu na měrný řezný odpor. Konečně poloměr špičky břitu  $\varepsilon_r$  řezného nástroje má na velikost síly obrábění a její složky vliv, který je zpravidla protichůdný vlivu  $\kappa_r$ . Silně na složky  $F_c$  a  $F_f$  působí zejména řezné prostředí.

Výpočty síly obrábění jsou u různých technologií obrábění odlišné. Většina jich však vychází z geometrie průřezu odřezávané vrstvy. Níže uvedené vztahy pro soustružení nutno chápat jako základ pro výpočet sil při obrábění. Vztahy je pak možné vzájemně vhodně kombinovat, resp. doplňovat dalšími výpočty.



Obr. 1.3.5. Vliv úhlu nastavení  $\kappa_r$  na pasivní  $F_{fp}$  a posuvovou složku  $F_f$

Pokles pasivní složky  $\bar{F}_p$  a růst posuvové složky  $\bar{F}_f$  se zvětšujícím se úhlem nastavení  $\kappa_r$  je dán natáčením jejich výslednice  $\bar{F}_{fp}$ , která zůstává přibližně ve stejné pozici k ostří. Úhel sklonu ostří  $\lambda_s$  ovlivňuje stáčení třísky, a tím i deformaci třísky spojenou s jejím třením po ploše čela břitů.

Proces řezání v celé své složitosti probíhá za působení síly řezání  $F$ , vyvolané ostřím řezného nástroje. Působením síly řezání je přezkoumán řezný odpor obráběného materiálu. Při studiu silových poměrů je nutno vycházet z podmínek energetické rovnováhy, respektive z podmínek rovnováhy sil.

Lze konstatovat, že z hlediska experimentálního studia silových poměrů při třískové obrábění jde v podstatě o přímé nebo nepřímé stanovení síly řezání, o přímé nebo nepřímé stanovení složek síly řezání a momentů působících v řezném procesu při různých pracovních podmínkách.

#### q 4.1 Přímé měření sil a momentů

Přímé měření složek síly řezání a jejich točivých momentů se zakládá na měření na měření deformací v soustavě stroj – nástroj – obrobek během obrábění prostřednictvím dynamometrů. Dynamometr jakožto měřicí přístroj musí zaručit nezávislost měřicí veličiny na provozních vlastnostech přístroje. Dále se od něj požaduje schopnost měřit sledovanou veličinu ve zvoleném rozsahu s maximální přesností, musí zaručit stálost naměřených hodnot s časem včetně její reprodukovatelnosti. Z těchto uvedených charakteristik plynou základní požadavky kladené na dynamometry:

- Tuhost dynamometrů je dána velikostí zatěžující síly  $F$ , která způsobí deformaci  $y$ . Velikost této deformace závisí na tvaru a provedení deformačního elementu – čidla, na celkovém konstrukčním provedení dynamometru i na použité měřicí metodě. Dostatečná tuhost dynamometru je zásadní při měření dynamickém.
- Citlivost dynamometrů souvisí s citlivostí použité měřicí metody i s tuhostí konstrukčního provedení dynamometru. Dynamometr musí mít takovou citlivost, že nejmenší odečítaná jednotka při dodržení dostatečné přesnosti odečítaná odpovídala celkové hodnotě měřené veličiny.
- Stálost údajů dynamometrů je závislá na tuhosti, citlivosti a přesnosti od stanovení nulové polohy až po zachycení údajů o sledované veličině, a to po celou dobu měření.
- Reprodukovatelnost údajů dynamometrů úzce souvisí s výše uvedenými charakteristikami.

- Setrvačnost dynamometrů závisí přímo úměrně na hmotnosti soustavy. Zejména při dynamických měřeních, kdy je nesmírně nutné sledovat jak skutečné hodnoty maximálních a minimálních hodnot měřené síly řezání, tak i její časový průběh, by měla být setrvačnost co možná nejmenší.
- Konstrukce dynamometrů musí zajistit, aby se složky řezné síly vzájemně neovlivňovaly.

Aparatura na měření složek řezné síly se zpravidla skládá s tři částí:

- Pružný člen – přebírá vnější zatížení a překonává jisté změny (deformace, změna polohy a pod.),
- Snímač – mění mechanickou veličinu změny pružného členu na hodnotu analogického parametru měřící aparatury,
- Přijímač – zesiluje a zpracovává signál snímače, případně zapisuje velikost zatížení.

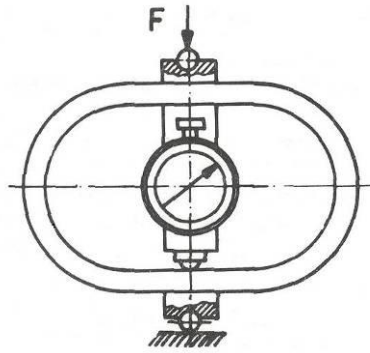
#### **Základní rozdělení dynamometrů:**

Rozdělení dynamometrů lze provést dle následujících hledisek:

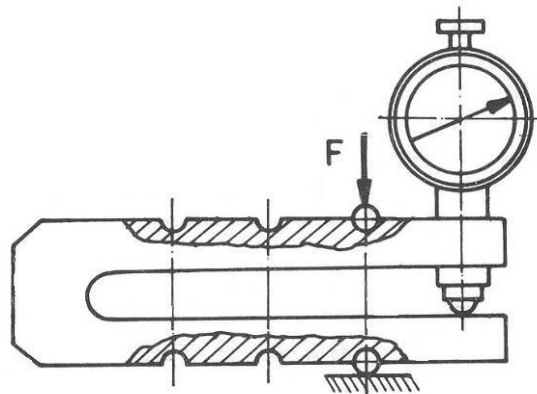
- Podle počtu měřených složek síly řezání jde o dynamometry jednosložkové, dvousložkové, tříložkové a pro měření točivých (krouticích) momentů.
- Podle aplikované měřící metody, respektive dle způsobu přenosu působení síly z deformačního členu na indikační. V tomto případě se jedná o dynamometry mechanické, hydraulické, pneumatické, elektrické (indukční, kapacitní, odporové, využívající piezoelektrického jevu), optické a podobně.
- Podle metody obrábění to jsou dynamometry pro soustružení, frézování, vrtání, broušení atd., případně dynamometry univerzální.

Zpravidla se používají mechanické dynamometry pro cejchování jiných druhů dynamometrů, protože u nich lze většinou vyloučit nežádoucí rušivé vlivy a jsou dále charakteristické naprosto lineárním vztahem mezi sledovanou silou a vlastními naměřenými údaji.

U *mechanických* dynamometrů se působení síly přenáší přímo nebo znásobeně mechanickým převodem na měřící prvek, jako je například číselníkový úchylkoměr. O velikosti síly se usuzuje z deformace silových pružin, kroužků, třmenů, nosníků, membrán, případně podle hloubky vtažení kuličky do materiálu o známé tvrdosti. Hlavním představitelem této skupiny dynamometrů jsou dynamometry třmenové. Pro zatížení až do 10 000 N a dynamometry kruhové nebo také prstencové (obr. 1.3.7) pro zatížení ještě vyšší (obr. 1.3.6). Mechanické dynamometry jsou jednoduché, spolehlivé, vyznačují se stálostí údajů a stálou přesností v rozmezí 0,5 – 2 %. K nevýhodám mechanických dynamometrů patří závislost jejich údajů na teplotě, obtížná změna rozsahu měření, nutnost vymezování vůlí v mechanismech, únava materiálu a velká setrvačnost systémů, která nedovoluje jejich použití pro měření dynamická.



Obr. 1.3.6. Mechanický dynamometr prstencový



Obr. 1.3.7. Mechanický dynamometr třmenový

Podstatou *hydraulických dynamometrů* je přenos účinku měření síly nebo momentu na píst nebo membránu hydraulického obvodu, jejichž pohyb způsobuje změnu tlaku v kapalině. Tato změna je potom snímána pomocí manometru, nebo jiným přístrojem. Výhodou těchto dynamometrů je jednoduchá konstrukce a možnost snadného měření více složek současně. Nevýhodou naopak nízká citlivost, požadavky na dokonalé utěsnění systému a velká setrvačnost. Proto se nedají použít pro dynamická měření. V současné době se používají spíše výjimečně.

Podstatou *pneumatických dynamometrů* je snímač deformace pneumatickým systémem klapka – tryska, který využívá dynamických vlastností vzduchu procházejícího štěrbinou. Jsou principiálně založeny na měření změny tlaku nebo průtoku v závislosti na změně výtokového průřezu mezi klapkou a tryskou v deformačním elementu. Předností je snadná obsluha a údržba, vysoká spolehlivost a citlivost v porovnání s elektrickými způsoby a relativně nízké náklady na pořízení a provoz.

*Elektrické dynamometry* patří mezi nejrozšířenější a nejvíce používané dynamometry v technické praxi. Mezi základní přednosti elektrických dynamometrů patří:

- snadný přenos dálkového signálu s celou řadou možných úprav,
- možnost snímání signálu při rotujících a pohybujících se součástech,
- využití miniaturních měřicích elementů,
- možnost vhodné registrace zachycených signálů různých průběhů a frekvencí,
- snadná dostupnost napájecích zdrojů a čistota provozu.

Dle způsobu mechanicko-elektrické transformace je možné rozlišovat dva základní systémy elektrických dynamometrů:

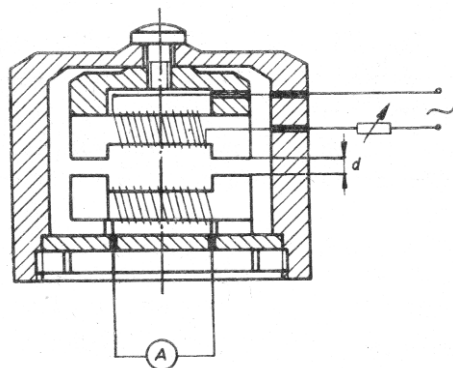
- Systémy parametrické, které jsou založeny na změně jednoho z parametrů elektrického obvodu – indukčnosti  $L$ , kapacity  $C$  a odporu  $R$ .
- Systémy generátorové, které jsou založeny na vzniku napětí nebo proudu při deformaci elementů. Podstatou může být i mimo jiné piezoelektrický jev.

U elektrických dynamometrů indukčních v důsledku působení měřené síly ke změně indukčnosti v obvodu použitého snímače. Probíhající mechanicko-elektrická transformace se dá vyjádřit např. blokovým schématem.

Snímače pro indukční dynamometry s ohledem na uspořádání magnetického obvodu je možné rozdělit následovně:

- snímače s malou vzduchovou mezerou, tedy snímače s uzavřeným magnetickým obvodem,
- snímače s otevřeným magnetickým obvodem,
- snímače se stálým magnetickým obvodem.

V elektrických indukčních dynamometrech se převážně používají snímače pracující s malou vzduchovou mezerou. Působením zátěžné síly se mění šířka vzduchové mezery. Tím se mění impedance magnetického obvodu a v důsledku toho i indukčnosti cívky. Změna indukčního odporu vyvolá změnu impedance cívky (obr. 1.3.8). Odpor magnetického obvodu indukčního snímače se skládá z odporu feromagnetické části a z odporu vzduchové mezery. Funkční závislost impedance na délce vzduchové mezery  $Z = f(a)$  má hyperbolický průběh.



Obr 1.3.8. Indukční snímač sil

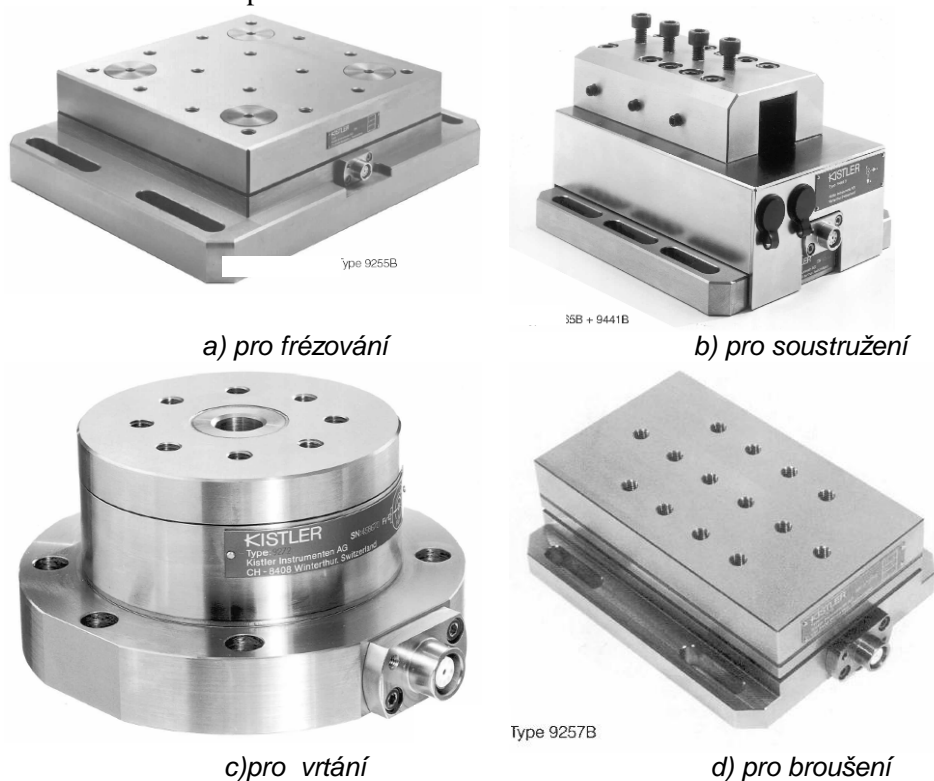
U elektrických dynamometrů kapacitních se využívá pro měření velikosti deformace změny kapacity snímačů. Nejjednodušším kapacitním snímačem je deskový kondenzátor. Pro experimentální studium dynamiky rezného procesu se však používá výhradně kapacitních snímačů pracujících s proměnnou vzdáleností mezi deskami či elektrodami.

Kapacitní snímače mají dostatečně velkou citlivost a malou hmotnost. Jsou velmi citlivé na okolní vlivy a velmi náročné na měřicí techniku. Z těchto důvodů se používá kapacitních snímačů velmi zřídka.

*Piezoelektrické dynamometry* využívají pro snímání deformace piezoelektrického jevu, který je charakterizován vznikem elektrického náboje na povrchu některých krystalů při mechanickém zatížení. Mezi nejužívanější piezoelektrické materiály patří především křemen, dále potom materiály na bázi titaničitanu barnatého, Seignettovy soli a podobně. Základem piezoelektrického snímače pro tyto druhy dynamometrů je měřicí destička vhodně vyříznutá z příslušného krystalu. Při zatěžování je velikost náboje přímo úměrná velikosti působící síly a s poklesem zatížení se lineárně snižuje, až zcela

vymizí při zatížení nulovým. V současnosti jsou k dispozici moderní piezoelektrické dynamometry KISTLER, speciálně konstruované pro potřeby obrábění (obr. 1.3.9).

U elektrických odporových dynamometrů se využívá pro měření velikosti deformace změny odporu snímačů. Nejužívanějším odporovým snímačem jsou odporové tenzometry, kde je změna odporu způsobená deformací vodiče nebo polovodiče. Odporový tenzometr se deformuje spolu s deformačním elementem, neboť je s tímto elementem pevně spojen. Změna odporu vodiče je přímo úměrná deformaci, která vzniká na deformačním elementu v důsledku působení síly řezání (obrábění) nebo točivého (krouticího) momentu. Při deformaci vodiče dochází ke změně délky a průřezu vodiče, taktéž dochází ke změně měrného odporu materiálu vodiče.



Obr. 1.3.9. Dynamometry KISTLER pro měření složek řezné síly

Nejpoužívanějším odporovým materiálem u kovových tenzometrů je konstantan (slitina Cu-Ni) s velkým měrným odporem a hodnotou součinitele deformační citlivosti  $k = 2$ . Podle technologie výroby se dělí kovové tenzometry na drátkové, fóliové a napařované.

Drátkové tenzometry mají měřicí mřížku z odporového drátu o průměru 0,01 až 0,05 mm nalepenou na tenkou izolační podložku z papíru nebo pryskyřice. K měřicí mřížce jsou připájeny měděné a postříbřené přívodní drátky. Drátkový tenzometr je potom přilepen na místo snímání deformace speciálním acetátovým nebo pryskyřicovým lepidlem. Měřicí mřížka může mít i tvar spirály, která je vetkaná do základového materiálu z umělého hedvábí nebo skleněné tkaniny. Odporový drátkový tenzometr má měřicí mřížku z konstantanu uloženou na tenkou papírovou podložku.

Drátkové odporové tenzometry mají malý rozptyl hodnoty odporu, součinitele deformační citlivosti i teplotních součinitelů. Tyto skutečnosti mají velký význam pro vyloučení rušivých vlivů při současném měření větším počtem tenzometrů. Z těchto důvodů je použití drátkových tenzometrů při dynamometrickém měření sil nejrozsáhlejší.

Fóliové tenzometry se liší od drátkových tenzometrů technologií výroby. Měřicí mřížka je vytvořena z tenké fólie o tloušťce přibližně 0,012 až 0,015 mm. Požadovaný tvar měřicí mřížky je vyroben fotochemickou cestou, která je analogická metodě výroby tištěných spojů. Výhodou fóliových tenzometrů je jejich necitlivost vůči stranovým namáháním, poměrně velké přípustné zatížení

proudové s ohledem na velké ochlazovací plochy a možnost vytvoření libovolného tvaru tenzometru. Fóliové odporové tenzometry se dále vyznačují dokonalejším spojením měřicí mřížky se základní fólií i lepšími podmínkami pro převod deformace na mřížku. Jsou proto v porovnání s odporovými tenzometry drátkovými přesnější a stabilnější.

Napařovací tenzometry představují v odporové tenzometrii další vyšší vývojový stupeň. Podstatou napařovacích odporových tenzometrů je postupné napařování jednotlivých vrstev přímo na měřené místo deformačního elementu. Napařování umožňuje vyrobit snímač velmi malých rozměrů a tloušťky. Na vyleštěné měřené místo se nanáší postupně nejdříve vrstva izolační, potom vrstva pro spojovací a napájecí sekci a nakonec v požadovaném uspořádání vrstva odporová. Po dokončení se snímač pokryje ochrannou vrstvou.

Vedle kovových tenzometrů se také používají tenzometry polovodičové. Podstatou polovodičových tenzometrů je využití piezorezistentních vlastností některých polovodičových materiálů (např. křemík, germánium), dotovaných dalšími příměsemi. Odporovým elementem je orientovaný výřez ve tvaru tenkého pásku z monokrystalu polovodiče, který svůj odpor při deformaci velmi silně mění. Odporové polovodičové tenzometry se vyznačují vysokou hodnotou součinitele deformační citlivosti, která je při porovnání s odporovými snímači až o dva řády vyšší. Polovodičové tenzometry rozlišují oblast použití odporové tenzometrie. Jejich výroba je ale velmi pracná a tedy i nákladná. S tímto bezprostředně souvisí i vysoké ceny těchto polovodičových tenzometrů.

Měření odporových změn lze provádět buďto potenciometricky nebo s využitím zapojení můstkového. Pro měření malých odporových změn se používá prakticky metoda můstková. Při měření s tenzometry v zapojení můstkovém se postupuje zpravidla tak, že buď odpory  $R_1$ ,  $R_2$  jakož i  $R_3$ ,  $R_4$ , nebo všechny čtyři odpory mají stejné jmenovité hodnoty odporů. V takovém případě je můstkové zapojení symetrické. Při toleranci jmenovité hodnoty zařazených odporů a při předpětí na deformačním členu dynamometru vzniká po zapojení tenzometrů do měřícího obvodu vždy určité napětí. Toto napětí je obvykle větší než napětí vzniklé při vlastním měření. Proto se musí můstek před měřením vyvážit. Vyvážení se provádí vyvažovacími obvody, kterými jsou vybaveny tenzometrické aparatury. Jestliže se při vyváženém můstku změní jeden ze zařazených odporů o hodnotu  $\Delta R$ , vyvolanou deformací tenzometru, můstek se rozevře. Velikost změny odporu lze stanovit metodou nulování nebo metodou výchylkovou.

*Metoda nulovací* spočívá ve vyvážení můstku přidáním odporu do ostatních větví tak, aby opět nastal rovnovážný stav. Tento způsob lze použít pouze pro měření statická, kdy je na vyvážení dostatek času. Zde se používají vyvážené můstky, které jsou vybaveny automatickým vyvažováním pomocí servomechanismu. Nulovací metoda se při měření řezných sil prakticky nepoužívá.

*Výchylková metoda* spočívá ve stanovení výchylky galvanometru, která je přímo úměrná změně odporu a tedy i měřené deformaci. Za předpokladu, že odpory  $R_1$  až  $R_4$  mají stejnou jmenovitou hodnotu, je možné změnu jednoho z odporů o hodnotu  $\Delta R$  matematicky vyjádřit. Tyto nevyvážené můstky se používají jak pro statická, tak i pro dynamická měření.

*Dvousložkový elektrický dynamometr* pro soustružení je konstruován jako držák soustružnického nástroje, ustavený na dva stejné nosníky souměrně umístěné k zatěžující síle. Tenzometry jsou nalepeny pouze na jednom z těchto měrných nosníků. Dynamometr lze použít pro měření složek síly řezání  $F_c$  a  $F_p$ . Na dynamometru nejsou pohyblivé části, tuhost měrných článků je v místech kde jsou nalepeny tenzometry snižena do té míry, aby byla zajištěna co největší tuhost při maximální citlivosti. Měrné nosníky jsou od držáku soustružnického nože odizolovány. Pro zamezení vzájemného ovlivňování jednotlivých naměřených složek jsou tenzometry nalepeny tak, aby napětí v místě tenzometru pro snímání  $F_c$  bylo od složky  $F_c$  maximální a od složky  $F_p$  nulové.

Dvousložkový elektrický dynamometr pro vrtání je jeden kompaktní nosník, na koncích upevněný v základové desce. Uprostřed je měrný nosník upraven tak, aby bylo možné upnout vrtaný materiál. Tenzometry jsou nalepeny pro snímání osové síly a pro snímání točivého (krouticího) momentu.

Pokud je nosník dokonale upnut na obou koncích tak, aby veškeré deformace probíhaly pouze v oblasti pružných deformací a ne v důsledku posuvu celého nosníku, lze hovořit o dynamometru, zabezpečujícího bezvadnou funkci v průběhu předpokládané životnosti.

*Třísložkový dynamometr* se skládá z pláště o vysoké tuhosti, z tělesa držáku nože a měřicích článků, jejichž nedílnými součástmi jsou tenzometrické snímače. Samostatnou část podobně jako u předchozích dynamometrů představuje část elektrická. Proti vniknutí třísek k snímacím článkům je tento dynamometr opatřen pevným krytem. Tento dynamometr používá zpravidla 8 snímacích článků. Těleso nožového držáku je uloženo na snímacích člancích obsahujících deformační tělíska s nalepenými tenzory. Uložení držáku v tělese dynamometru je provedeno přes kuličky, které spočívají v kulových lůžkách nebo působí přes plochou opěru. Při této konstrukci dynamometru je nutné v porovnání s dynamometrem dvousložkovým dbát na přesné vyložení nástroje v souladu s délkou vyložení cejchovacího hranolu.

*Univerzální dynamometr* je stejně jako dynamometry předchozí řešen bez pohyblivých částí, a to monolitickým celkem základové desky s bočními stěnami opatřenými odnímatelnými kryty. V přední desce je otvor pro řezný nástroj, v horní otvor pro vyvedení částí měrného hranolu, který svým tvarem a rozměry umožňuje upnutí jak soustružnického nože, tak přípravku pro univerzální použití na dalších obráběcích strojích. Dynamometr je určen pro snímání složek síly řezání  $F_c$ ,  $F_f$  a  $F_p$ , ale i kroutícího (točivého) momentu.

Pro uložení měrného hranolu, přenos síly řezání a točivého momentu je použito 16 snímacích článků, přitlačovaných přes kuličku stavěcími šrouby jak v krytech, tak v základové desce. Stavěcími šrouby lze vymezovat axiální vůli snímacích článků. Zatímco pro snímání složky  $F_c$  slouží články 1 až 8, pro  $F_f$  článek 11, 12, 15 a 16, a pro  $F_p$  články 9, 10, 13 a 14, pro snímání točivého momentu  $M_k$  jsou k dispozici články 9 až 16.

Předkládaný univerzální elektrický odporový dynamometr lze použít pro měření složek síly obrábění při soustružení, frézování, vrtání, broušení apod. s možností snímání tří složek a točivého momentu a to do níže uvedených hodnot:

složka $F_c$	do	5900 N,
složka $F_p$	do	9500 N,
složka $F_f$	do	2000 N.

Točivý (kroutící) moment lze tímto dynamometrem měřit do hodnoty

$$M_k = 620 \text{ Nm.}$$

Tab. 1.3.1. Porovnání vlastností jednotlivých dynamometrů

metoda měření	zkreslení	rozměry	rozsah	přesnost	poruchovost	setrvačnost	cejchování	spolehlivost	náklady	obsluha
piezoelektrická	+	+	+	+	0	++	-	--	--	--
kapacitní	+	-	+	+	0	++	+	0	--	--
uhlíkového odporu	+	+	+	+	0	++	0	-0	+	++
kapalinového odporu	+	+	+	0	0	0	0	0-	+	+
indukční	+	++	+	+	+	++	+	+	+	+
magnetická	+	++	+	+	+	++	+	+	+	+
tenzometrická	+	++	+	+	+	++	+	+	+	++

+ výhodná charakteristika, 0 středně výhodná charakteristika, - nevýhodná charakteristika



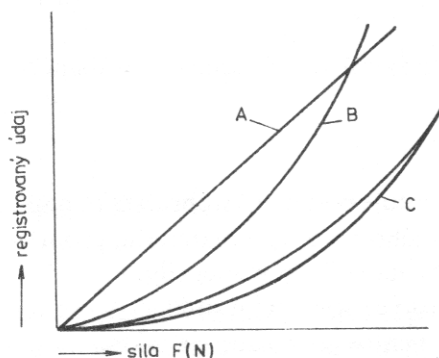
Rozměry a tvar základové desky univerzálního dynamometru připouštějí jeho upnutí na různých typech obráběcích strojů. Například při soustružení lze současně s měřením velikosti i průběhu složek síly řezání měřit velikosti i průběhy teploty řezání. Porovnání vlastností jednotlivých dynamometrů je uveden v tab. 1.3.1.

### q Cejchování dynamometrů

Přesnost měření jednotlivých složek síly řezání a točivých momentů je podmíněna celou řadou faktorů, ale i správností cejchování. Cejchováním se rozumí porovnání údajů dynamometru se skutečnou hodnotou sledované veličiny.

Dynamometr se postupně zatěžují měnicí se silou známé předem velikosti a na měřidle (číselníkovém úchylkoměru) se odečítá odpovídající výchylka. Výsledky se zaznamenávají tak, že se přímo vyjadřuje vztah mezi skutečným zatížením dynamometru v místě působení složky síly řezání a údajem na měřicím zařízení. Výsledkem cejchování je sestavení cejchovní křivky, která je grafickým vyjádřením závislosti mezi danou složkou síly řezání a odpovídající veličinou (např. mA, mV, apod.). Cejchování je vhodné provádět v celém měřicím rozsahu a to jak při zatěžování, tak i při odlehčování, aby bylo možné případnou hysterezi, nebo nelinearitu dynamometru eliminovat (obr. 1.3.10). Při cejchování vícesložkových dynamometrů je nutné uvedený způsob cejchování aplikovat kromě každou složku síly řezání i točivý moment. Přesnost měření se odvíjí od vzájemného ovlivňování jednotlivých složek síly řezání, které je možné stanovit při jejich odděleném cejchování.

Cejchování se obvykle provádí přímo na obráběcích strojích nebo na upravených pracovištích. Zatěžující síla se zpravidla nastavuje pomocí pákového mechanismu a závaží. Pro vyvození větších sil se používají mechanické nebo hydraulické ruční lisy. Rozhodující je zatěžování dynamometru v místě předpokládaného působení složky síly obrábění. Protože je dovoleno použití různých soustružnických nožů (v rámci rozsahu dynamometru), je délka vyložení těchto nožů různá. Z toho důvodu je nutné pro složky síly obrábění (řezání)  $F_c$  a  $F_f$  přepočítávat cejchovací hodnoty v poměru vyložení cejchovacího hranolu a soustružnického nože. Při cejchování se mezi zatěžovací šroub a cejchovací hranol vkládá třmenový mechanický dynamometr, jehož deformaci lze vyvodit zatěžovacím šroubem.



Obr. 1.3.10. Příklady cejchovacích křivek,  
A – ideální lineární závislost, B – nelineární závislost, C – křivka s hysterezí

### q Nepřímé měření sil a momentů

Metody pro nepřímé měření sil vycházejí převážně z výkonu elektromotoru obráběcího stroje. Ze známého vztahu pro užitečný výkon při obrábění

$$P_{už} = F_c \cdot v_c \quad [\text{W}], \text{ kde} \quad (1.3.3)$$

$P_{už}$  – užitečný výkon [W],

$F_c$  – tangenciální (řezná) složka síly obrábění (řezání) [N],

$v_c$  – řezná složka rychlosti obrábění [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ].

plyne, že nepřímým měřením lze z výkonu hnací jednotky stanovit pouze tangenciální složku síly řezání. Tuto složku lze rovněž stanovit nepřímým měřením z točivého (krouticího) momentu.

Jednou z metod je stanovení tangenciální složky z výkonu. Při měření výkonu elektromotoru obráběcího stroje se převážně používá wattmetrů, které v porovnání s jinými metodami měření výkonu střídavého proudu dávají přímý údaj. Většina klasických obráběcích strojů je poháněna elektromotory asynchronními na třífázový proud. Dle požadavků na přesnost se pro měření výkonů používá i různých zapojení wattmetrů (např. WATTREG 10 a WATTREG 20), které jsou určeny pro měření časových závislostí činného nebo jalového výkonu ve střídavé trojfázové soustavě.

Při stanovení tangenciální složky síly obrábění se vychází z užitečného výkonu, potřebného k vlastnímu řezání (obrábění). Nejprve se proto změří výkon nezátíženého obráběcího stroje, tj. výkon chodu naprázdno  $P_o$ , potom se proměří celkový výkon obráběcího stroje při obrábění  $P_c$ . Pro užitečný výkon  $P_{už}$  pak platí:

$$P_{už} = P_c - P_o \quad [\text{W}], \text{ kde} \quad (1.3.4)$$

$P_c$  – celkový výkon obráběcího stroje [W],

$P_o$  – výkon při chodu naprázdno [W].

Pro tangenciální složku síly řezání se vychází ze vztahu 1.3.3 a z toho plyne

$$F_c = \frac{P_{už}}{v_c} \quad [\text{N}] \quad (1.3.5)$$

Uvedená metoda nepřímého stanovení tangenciální složky síly obrábění je poměrně jednoduchá, nevyžaduje nákladnou speciální měřicí techniku a je možné ji použít u všech způsobů obrábění. Nevýhodou této metody je omezená přesnost měření, způsobená rozdílnou účinností stroje při zatížení a při chodu naprázdno a zanedbání vlivu ostatních složek síly řezání na výkon elektromotoru obráběcího stroje.

*Stanovení tangenciální složky síly obrábění z  $M_k$*  se využívá při vrtání. Také tato nepřímá metoda stanovení tangenciální složky síly obrábění vychází z měření celkového výkonu pomocí přenosného univerzálního zapisovacího přístroje. Po změření výkonu se vysune nástroj ze záběru a při stejných otáčkách se vřetenem obráběcího stroje zatěžuje vhodnou mechanickou brzdou tak, až se dosáhne stejného údaje na registračním přístroji jako při předchozím obrábění. Z podmínky rovnováhy točivého momentu od tangenciální složky síly řezání a točivého momentu vyvolaného mechanickou brzdou plyne:

$$M_k = \frac{F_c \cdot D}{2} = M_{kb} \quad [\text{N}\cdot\text{m}] \quad (1.3.6)$$

$M_{kb}$  – točivý moment vyvolaný mechanickou brzdou [N.m],

$D$  – průměr nástroje nebo obrobku [mm],

$M_k$  – točivý moment od tangenciální složky síly obrábění [N.m].

Výsledky měření při aplikaci nepřímé metod stanovení tangenciální složky síly obrábění z točivého momentu nejsou ovlivňovány rozdílnou účinností obráběcího stroje při zatížení a chodu naprázdno, jsou však ovlivňovány proměnlivostí součinitele tření na brzdě. Tato metoda se při experimentálním studiu dynamiky řezného procesu se používá méně často.



## Shrnutí kapitoly

V této kapitole byl popsán **princip vzniku síly řezání** a její **rozklad na jednotlivé složky** u vybraných metod obrábění (**soustružení, frézování, vrtání**). Dále jste se mohli dozvědět, jak se měří tyto složky **přímými a nepřímými metodami** a v neposlední řadě i jak se **cejchují dynamometry**.



## Kontrolní otázka

1. Jaké je rozdělení dynamometrů?
2. Jaké síly vznikají při obrábění?
3. Jakým způsobem lze cejchovat dynamometry?
4. Jaké znáte způsoby nepřímého měření sil?
5. Jaké jsou požadavky na dynamometry?
6. Popište vznik síly řezání.
7. Jaký má vliv geometrie řezného klínu na síly řezání?
8. Z jakých částí se skládá aparatura na měření sil?
9. Jak je obecně definována síla?
10. Jaký je princip mechanických dynamometrů?



## Úkol k řešení

1. Nakreslete schéma rozložení řezných sil při soustružení.
2. Nakreslete schéma rozložení řezných sil při broušení.
3. Nakreslete schéma rozložení řezných sil při frézování.
4. Nakreslete princip měření prstencovým a třmenovým dynamometrem.
5. Nakreslete vznik síly řezání.

## 1.4. TPV a zásady tvorby technologických postupů



**Čas ke studiu:** 10 hodin



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat jednotlivé části výrobního postupu.
- Znat zásady pro vypracování technologického postupu.
- Umět správně zvolit vhodné technologické základny.
- Přizpůsobit se technologičnosti konstrukce.



## Výklad

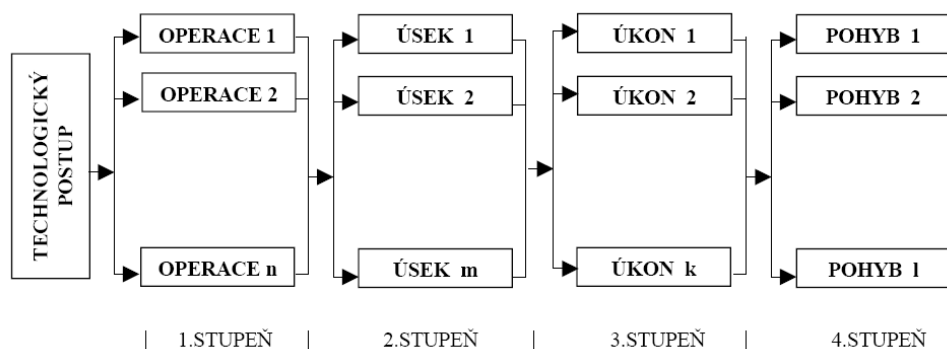
Výrobní proces je soubor na sobě nezávislých činností, při kterých se přetváří výchozí materiál v hotový výrobek. Účelné pořadí a počet jednotlivých fází, které jsou nezbytně nutné pro realizaci výroby nebo montáže určitého výrobku (např. součásti, montážního celku), nazýváme výrobní nebo montážní postup.

Obsahuje-li výrobní postup pouze sled technologických činností, nazývá se technologický postup, a obsahuje-li pouze činnost pracovníka, nazývá se pracovní postup. V praxi se nejčastěji vyskytuje souhrn těchto činností s názvem výrobní postup.

### □ Technologický postup a jeho členění

Technologický postup je organizovaný sled kvalitativních a kvantitativních změn, jimiž prochází obrobek při své přeměně v hotový výrobek. Určuje potřebné výrobní zařízení, nástroje, přípravky, řezné, upínací, pracovní a měřicí podmínky potřebné pro danou operaci tak, aby součást byla podle daného postupu vyrobitelná s minimálními náklady a splňovala požadavky dané technickou dokumentací.

Podle účelu a typu výroby se technologické postupy dělí až do čtyř stupňů na jednotlivé operace, úseky, úkony a pohyby.



Obr. 1.4.1. Členění technologického postupu

- operace - ukončená a souvisle prováděná část výrobního procesu vykonaná na jednom nebo několika pracovních předmětech na jednom pracovišti, zpravidla jedním nebo skupinou pracovníků (např. soustružení, frézování, broušení, lapování, tepelné zpracování, kontrola rozměrů),
- úsek - část operace, při které se vykonává práce za přibližně stejných technologických podmínek (např. soustružení se rozděluje na úsek hrubování a úsek soustružení na čisto, tedy dva úseky jedné operace),
- úkon - ucelená jednoduchá pracovní činnost (např. upnutí obrobku, nastavení řezných podmínek, zapnutí stroje),
- pohyb - nejjednodušší část pracovní činnosti ve výrobním postupu, popisované zejména v hromadné výrobě a u montážních prací (např. uchopit klíč, vložit obrobek do sklíčidla, utažení šroubu, stlačení vypínače stroje).

Zásadní vliv na podrobnost rozčlenění postupů má především sériovost a složitost procesu, stupeň mechanizace a automatizace výroby. Postupy určené pro hromadnou výrobu se člení do všech čtyř stupňů až na jednotlivé pohyby, přičemž se provádí analýza operací tak, aby bylo možné zjistit složky neproduktivní činnosti a automatizovat výrobní proces. TP sestavený pro výrobu kusovou i malosériovou se člení jen na operace a úseky.

Tab. 1.4.1. Vliv druhu výroby na výrobní postupy

Kritérium	Druh výroby		
	hromadná	sériová	malosériová, kusová
Podrobnost rozpracování výrobního postupu	detailní návody na jednotlivé operace, uveden nákres, operace detailně rozvedena	podrobný popis, operace, členění na úseky až úkony, nákres, uvedeny technologické podmínky, stroj atd.	rámcový, obsahuje přehled operací s hlavními údaji, pouze důležité operace rozvedeny na úseky
Přibližný sortiment	max. do 5 druhů	5 ÷ 50 druhů	rozsáhlý, i několik set druhů
Počet kusů jednoho druhu	řádově 104 a více	řádově 102 ÷ 104	řádově 1 ÷ 102
Obráběcí stroje	speciální jednoúčelové stroje sestavené do automatických linek	poloautomatické a automatické obráběcí stroje, univerzální vybavení, speciální přípravky	univerzální, výjimečně speciální NC stroje na velké dílce apod.
Nástroje	speciální, normální	normální, převážně speciální	normální, výjimečně speciální
Materiál polotovaru	nenormalizované polotovary, odlitky z vytavitelných modelů a stříkané, výkovky, speciální profilový materiál aj.	nenormalizované i normalizované polotovary, zápuskové a rotační výkovky, přesné odlitky	normalizované polotovary, výkovky zhotovené volným kovááním, odlitky s velkými přídávky na obrábění (ruční formování)
Kvalifikace pracovníků	vysoce kvalifikovaní údržbáři a seřizovači automatických linek, pracovníci s nízkou kvalifikací pro obsluhu	kvalifikovaní seřizovači, zaučení se znalostí obsluhy stroje	vysoce kvalifikovaní a zruční pracovníci ovládající více profesí

Výrobní postup je vedle výrobního výkresu a konstrukčního kusovníku jedním ze základních výrobních dokumentů. Kromě identifikačních údajů (číslo zakázky, číslo výkresu součásti apod.) obsahuje výrobní postup technické, organizační a ekonomické informace nezbytné pro realizaci výrobního procesu.

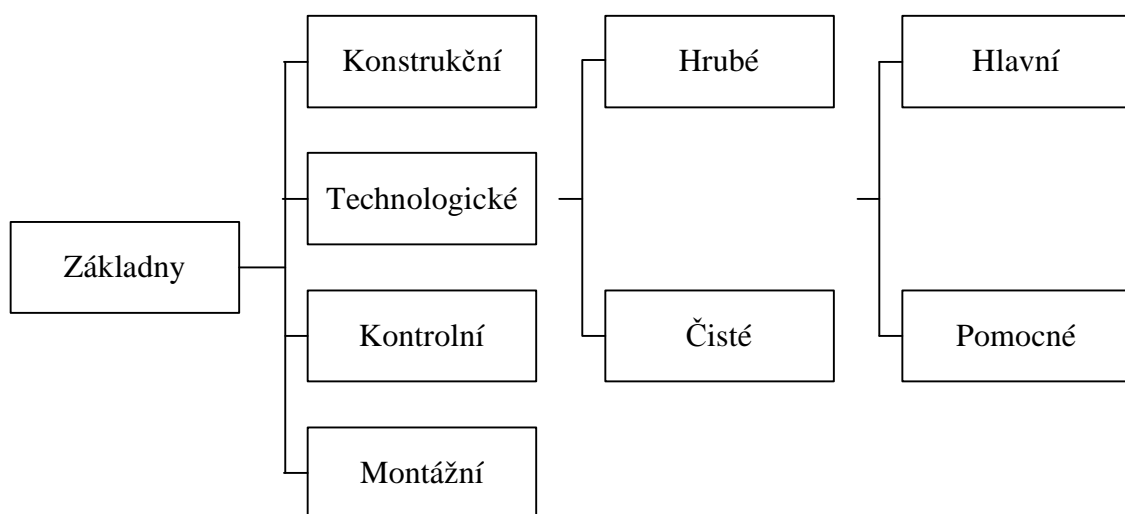
Ve výrobní postup se uvádí následující informace:

- identifikační údaje postupu,
- počet vyráběných kusů,
- typ a rozměry polotovaru před obrábění,
- výrobní zařízení, nástroje, přípravky a měřidla,
- řezné (technologické) podmínky,
- popis prací a výrobních metod ve vhodném pořadí,
- režimy práce obráběcích strojů,
- čas nutný k provedení jednotlivých operací,
- místo, kde má být výroba uskutečněna (dílna, pracoviště),
- odměny za vykonanou práci aj.

#### q Volba základů

Výrobní postup je ovlivňován mnoha činiteli, které mají různý vliv a často vedou k protichůdným požadavkům. Všechny polotovary i součásti je nutné v procesu obrábění ustavit a upnout. Právě jedním z faktorů, který významně ovlivňuje výslednou přesnost součásti je správná volba základů.

Základnami mohou být plochy (rovinné, válcové, kuželové, tvarové), čáry (osy souměrnosti) nebo body (středky koulí), které umožňují stanovit rozměrové a funkční vztahy ostatních rozměrů, ploch nebo jejich os u jednotlivých součástí, tak u skupin součástí seskupených v montážní celek. Na obr. 1.4.2 je schématicky znázorněno rozdělení základů z hlediska jejich funkce na konstrukční, technologické, kontrolní (měřicí) a montážní základny.



Obr. 1.4.2. Rozdělení základů z hlediska jejich funkce

*Konstrukční základny* jsou plochy, osy nebo body umožňující určit polohu součásti vzhledem k ostatním součástem při její funkci. *Technologické základny* určují polohu obrobku při jeho ustavení na stroji nebo v přípravku vůči řezným nástrojům a současně zajišťují podmínky pro dodržení všech požadavků na jakost výrobku.

Technologické základny se rozdělují na hrubé (neobrobené plochy na něž se ustavuje a upíná obrobek při první operaci) a čisté (obrobené plochy určují funkční polohu součásti pro další operace). Další jejich rozdělení je na hlavní (měla by být zároveň konstrukční a kontrolní základnou k níž jsou vztaheny hlavní tolerované rozměry a vzájemné polohy) a pomocné základny (slouží jen jako usnadnění ustavení a upnutí, ale nejsou to funkční plochy).

*Kontrolní základny* slouží pro kontrolu dosažených parametrů rozměrové a tvarové přesnosti vyráběné součásti. *Montážní základny* určují polohu součásti k ostatním dílům či jejich plochám, osám nebo bodům ve smontovaném stavu.

Hlavní zásadou je, aby konstrukční základny byly zároveň základnami technologickými, kontrolními a popřípadě i montážními. Při obrábění se vychází zpravidla z jedné základny, aby byla zaručena přesnost obrobených ploch.

### □ Sled operací

Operace by měly být řazeny v takovém sledu (pořadí), aby výrobní postup zajišťoval technické podmínky požadované konstruktérem ve výrobním výkresu. Při návrhu sledu operací je nutné přihlížet k tomu, aby předcházející operace upravovaly povrch součásti pro operace následující, a to tak, aby se součásti daly ve stroji rychle, bezpečně, přesně ustavit a upnout.

Obecně první operací je příprava materiálu, která zajišťuje přípravu polotovaru a hutního materiálu. Ve výrobních postupech tato příprava nebývá uvedena. Pro další sled operací platí pravidlo, že hrubovací operace se zařazují na počátek a operace, které dávají součásti konečný tvar, ovlivňují přesnost a jakost se zařazují až na konec výrobního postupu.

Je vhodné do postupu zařadit také kontrolní operace, které mají zajistit dodržení požadovaných rozměrových a kvalitativních parametrů v jednotlivých operacích technologického postupu. V technologickém postupu je nutné závěrem uvést, kam bude dílec po zhotovení předán (sklad, mezisklad, montáž, expedice atd.).

### □ Zásady pro vypracování technologického postupu

Vypracování technologických postupů je velmi různorodé a ani výrobní postupy na stejnou součást nejsou v různých dílnách téhož závodu shodné. Práce technologa se může usnadnit organizačními pomůckami a prostředky i využitím dřívějších zkušeností a zvyklostí v provozu. Obvykle napomáhá sestavení definovaných pravidel a pokynů, které budou následně v daném závodě využívány.

Při tvorbě technologického postupu se zpracovává velké množství informací. Neexistuje přesný návod pro jeho tvorbu, ovšem lze všeobecně postupovat podle níže uvedené metodiky:

- studium výrobních výkresů (zohlednit tvary, rozměry, tolerance, jakost povrchu, údaje v popisném poli, poznámky o tepelném zpracování, povrchové úpravě aj.),
- kontrola údajů o materiálu zadaných konstruktérem z hlediska navržené technologie (určení přídavků, velikosti polotovaru, neopomenout přípravu materiálu ve skladu a v případě nutnosti předepsat materiálové zkoušky),
- určení výchozí základny, což je plocha, od které bude součást obráběna, nebo ke které jsou ostatní plochy a osy vztaheny,
- stanovení operací a optimálního sledu těchto operací,

- popis rozsahu operací (měl by být stručný, srozumitelný, jednoznačný a úplný, pokud je to požadováno, tak rozpis až na úseky, úkony a pohyby),
- stanovení pracoviště a stroje (podle číselníku se stanoví, na které dílně a stroji bude operace prováděna),
- kooperace (pokud se jedná o součást celku, kterou nejsme schopni vyrobit, tak je nutno zajistit její výrobu v jiném podniku),
- určení výrobních pomůcek (běžné i speciální),
- rozbor a zhodnocení jednotlivých variant výrobních postupů,
- konečný návrh výrobního postupu,
- hodnocení hospodárnosti zvoleného postupu.

Variety různého technologického zpracování mohou způsobit změny vlastních nákladů působením na přípravné práce, na speciální nástroje, náradí, na výrobní proces použitím různých strojů, včetně změny pracovníků a jejich kvalifikace.

Uvedená metodika se využívá při tvoření výrobního postupu na dosud nevyroběnou součást. V případě, že jsou v závodu již vyráběny podobné součásti, tak využijeme již vytvořený typový nebo skupinový postup.

#### □ **Technologičnost konstrukce výrobku**

Technologičností konstrukce se nazývá stupeň shody konstrukce s optimálními výrobními podmínkami při jejím zhotovování v daném způsobu výroby. Pod tímto pojmem tedy rozumíme v rámci možností snadnou vyrobiteľnosť a smontovateľnosť danej súčiastky a montážneho celku.

Konstruktor vychází při návrhu z funkčnosti a často volí nevhodné materiály, vysoké tolerance a jakost povrchu a složitý tvar součástí. S těmito požadavky se potom dostávají do sporu s technologem, jehož snahou je vyrobit součástku s minimálními náklady. Prakticky by měl konstruktor dodržovat tyto zásady:

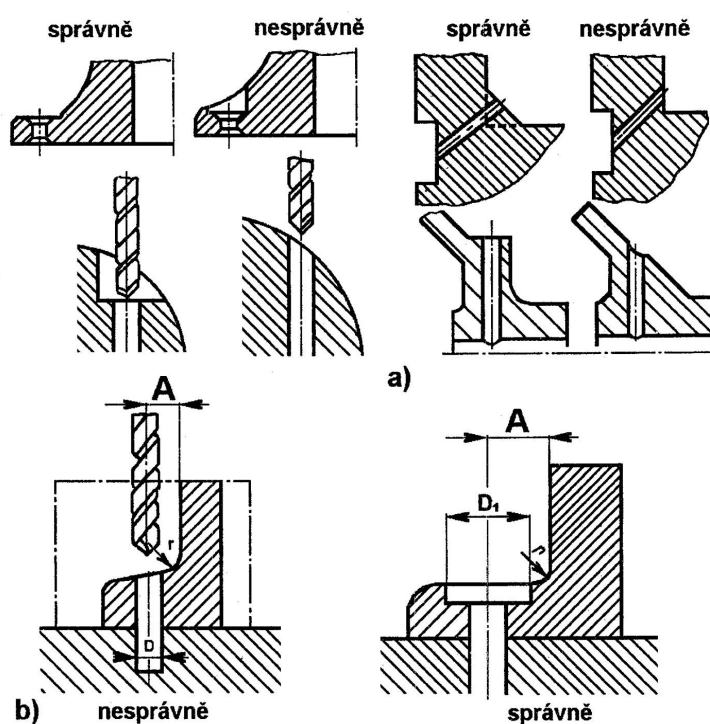
- používat co nejvíce normalizovaných částí,
- zmenšovat počet a zjednodušovat tvar součástí,
- tvořit součásti s multifunkčními plochami,
- zvolit co nejméně obráběných ploch na součástce,
- upřednostňovat lépe obrobiteľné materiály,
- zvyšovat využití materiálu,
- volit vhodné konstrukční základny, aby se daly použít i jako technologické,
- předepisovat vhodnou přesnost a drsnost povrchu,
- přizpůsobit tvar obráběných ploch tvaru nástrojů, kterými se bude obrábět,



- zohlednit požadavky jednoduché montáže apod.

Důležitá je taktéž komunikace mezi technologem a konstruktérem. Každý technolog musí být také konstruktérem a opačně. Hlavní požadavky na konstrukci součásti z hlediska technologičnosti jsou následující:

- jednou z hlavních zásad pro zjednodušení obrábění je vytvoření pomocných ploch při obrábění tak, aby se začínalo i končilo na rovné ploše viz obr. 1.4.3 a),
- díry by měly být průchozí, bez zbytečných zápichů, drážek, osazení,
- díry pro spojovací materiál musí být v určité minimální vzdálenosti od stěny součásti viz obr. 1.4.3 b),
- délka závitové části díry nemá být větší než dvojnásobek průměru závitu,
- šroubové spoje by měly být snadno dostupné pro utahování a seřizování,
- přihlížet k unifikaci jednotlivých částí.



Obr. 1.4.3. Příklady technologičnosti konstrukce



## Shrnutí kapitoly

Tato kapitola byla zaměřena na **tvorbu výrobních postupů** z oblasti obrábění a technologii přípravy výroby. Dozvěděli jste se, co všechno by měl **obsahovat technologický postup**, jaké je jeho **členění a rozdíly** při tvorbě u různých sérií výrobku a jaký by měl vhodný **sled operací**.

Dále pak jaké jsou **zásady při tvorbě výrobních postupů** a zejména jaké zásady by měli ctít jednotliví pracovníci (technologové i konstruktéři) při vývoji součástí – **technologičnost konstrukce**.



### Kontrolní otázka

1. Jaký je rozdíl mezi kusovou, hromadnou a sériovou výrobou?
2. Vysvětlíte pojem operace.
3. Vysvětlíte pojmy úsek, úkon a pohyb.
4. Co všechno musí obsahovat technologický postup?
5. Bez čeho se bezpodmínečně neobejdeme při tvorbě technologických postupů a proč?
6. Co je technologičnost konstrukce?
7. Jaké znáte technologické základny?
8. Jaké jsou základní podmínky při tvorbě technologických postupů?
9. Jak se budou lišit TP při kusové s sériové výrobě?
10. Jaké je hlavní kritérium při tvorbě TP a výrobě?



### Úkol k řešení

1. Nakreslete příklad správného a špatného řešení technologičnosti konstrukce.
2. Nakreslete libovolnou součást a definujte na ní operaci, úsek a úkon.
3. Jaké jsou způsoby výroby odstupňovaných hřídelí, zakreslete na příkladech?
4. Nakreslete rozdělení základen z hlediska jejich funkce.
5. Nakreslete schéma členění technologického postupu.

## 1.5. Základy metrologie a kontrola součástí



**Čas ke studiu:** 12 hodin



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Základní pojmy z oblasti metrologie.
- Jednotky SI a odvozené jednotky, včetně předpon.
- Znat chyby měření a jejich určení a výpočet.
- Znat parametry drsnosti a struktury povrchu a jejich určování a definice.
- Znat základní měřidla pro měření základních rozměrů.
- Měření odchylek polohy a tvaru.



## Výklad

Metrologie v obecném významu je vědní a technická disciplína, která se zabývá všemi poznatky a činnostmi týkajícími se měření. Cílem metrologie je zabezpečení jednotnosti a správnosti měření v celosvětovém měřítku. Metrologie zahrnuje veškeré aspekty jak teoretické, tak i praktické ve vztahu k měřením; bez ohledu na to, jaká je nejistota těchto měření a v jaké oblasti vědy nebo techniky se tato měření vyskytují.

Význam metrologie roste v souladu se zvyšujícími se požadavky na kvalitu, rozvoj vědy a techniky, zavádění nových technologií výroby, které vyžadují větší přesnost měření ve všech oblastech metrologie.

Strojírenská metrologie se zabývá stanovováním hodnot veličin důležitých pro sledování a zajištění kontroly kvality výrobků ve všech fázích výrobního procesu. Vzhledem k charakteru strojírenské výroby zde výrazně převažuje měření délek a rovinných úhlů.

### q Základní pojmy

V této části se zaměříme na některé vybrané termíny a jejich definice ve znění terminologické normy, která odpovídá mezinárodnímu metrologickému slovníku.

*Metrologie* je věda zabývající se měřením.

*Měření* je soubor činností, jejichž cílem je stanovit hodnotu veličiny.

*Měřicí přístroj, měřidlo* - zařízení určené k měření; samotné nebo ve spojení s přídatným zařízením. Pozn.: Podle české verze jsou termíny "měřicí přístroj" a "měřidlo" považovány za synonyma.

*Metoda měření* je logický sled po sobě následujících genericky poslopně popsaných činností, které jsou používány při měřeních. Metody měření lze blíže určit různými způsoby, např. substituční metoda, diferenciální metoda, nulová metoda.

*Postup měření* je soubor specificky popsaných činností, které jsou používány při blíže určených měřeních podle dané metody měření.

*Měřená veličina* je blíže určená veličina, která je předmětem měření, např. tlak páry daného vzorku vody při 20 °C. Specifikování měřené veličiny může vyžadovat údaje o dalších veličinách jako je čas, teplota a tlak.

*Hodnota* je velikost blíže určené veličiny obecně vyjádřená jako (měřicí) jednotka násobená číselnou hodnotou, např. délka tyče je 5,34 m; hmotnost tělesa je 0,152 kg. Pozn.: Hodnota veličiny může být kladná, záporná nebo nulová.

*Pravá hodnota* je hodnota, která je ve shodě s definicí dané blíže určené veličiny. Pozn.: Jedná se o hodnotu, která by byla získána naprosto přesným (perfektním) měřením. V podstatě nelze pravé hodnoty určit.

*Konvenčně pravá hodnota* je hodnota, která je přisuzována blíže určené veličině a přijatá, jako hodnota jejíž nejistota je vyhovující pro daný účel.

*Přesnost měření* je těsnost shody mezi výsledkem měření a pravou hodnotou měřené veličiny.

*Přesnost měřicího přístroje* je schopnost měřicího přístroje poskytovat výstupní signály blízké pravé hodnotě. Pozn.: Termín "přesnost" je kvalitativní pojem.

*Nejistota měření* je parametr přidružený k výsledku měření, který charakterizuje rozptýlení hodnot, které by mohly být důvodně přisuzovány k měřené veličině. Pozn.: Tímto parametrem může být např. směrodatná odchylka (nebo její daný násobek) nebo polovina šířky intervalu, jehož konfidenční úroveň je stanovena.

*Chyba (měření)* je výsledek měření mínus pravá hodnota měřené veličiny. Pozn.: Protože pravou hodnotu nelze určit, v praxi se používá konvenčně pravá hodnota.

*Výsledek měření* je hodnota získaná měřením přisouzená měřené veličině. Pozn. Pokud se jedná o výsledek, mělo by být zřejmé zda se jedná o: indikaci; nekorigovaný výsledek; korigovaný výsledek a zda se jedná o průměr získaný z několika hodnot. Úplný údaj výsledku měření obsahuje informaci o nejistotě měření.

## q Měřicí soustava SI

Tab. 1.5.1. Základní jednotky a jejich definice

jednotka	veličina	značka	definice
metr	délka	m	Metr je délka dráhy proběhnuté světlem ve vakuu za 1/299 792 458 sekundy.
kilogram	hmotnost	kg	Kilogram je hmotnost prototypu tzv. mezinárodního kilogramu uloženého v Mezinárodním úřadu pro váhy a míry v Sevres u Paříže.
sekunda	čas	s	Sekunda je doba trvání 9 192 631 770 period záření, které přísluší přechodu mezi dvěma velmi jemnými hladinami základního stavu atomu cézia (133Cs).
ampér	elektrický proud	A	Ampér je stálý elektrický proud, který při průchodu dvěma rovnoběžnými, přímými a nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného kruhového průřezu umístěnými ve vakuu ve vzájemné vzdálenosti 1 metr vyvolá mezi těmito vodiči sílu $2 \cdot 10^{-7}$ N na jeden metr délky.
kelvin	teplota	K	Kelvin je 1/273,16 termodynamické teploty trojného bodu vody.
mol	látkové množství	mol	Mol je množství látky, která obsahuje právě tolik množství elementárních jedinců (molekul, atomů atd.), kolik je atomů v 0,012 kg izotopu uhlíku C12.
kandela	svítivost	cd	Kandela je svítivost zdroje, který v daném směru vysílá monochromatické záření s kmitočtem $540 \times 10^{12}$ hertzů a má v tomto směru zářivost 1/683 wattu na steradián.

Měření hodnoty fyzikální veličiny je číselné stanovení její velikosti ve zvolených jednotkách. V roce 1960 byla přijata XI. generální konferencí pro míry a váhy dosud platná Mezinárodní soustava jednotek, známá pod zkratkou SI. Povinné používání jednotek SI bylo na našem území zavedeno od 1. ledna 1980.

V rámci platných norem jsou pro jednotlivé fyzikální veličiny definovány základní jednotky metr, kilogram, sekunda, ampér, kelvin, mol a kandela. Přehled základních jednotek včetně jejich definic jsou uvedeny v tab. 1.5.1.

Vedle již uvedených základních jednotek se v praxi používají také jednotky:

- doplňkové – pro rovinný úhel radián a prostorový úhel steradián (viz tab. 1.5.2),
- odvozené – jsou odvozeny od jednotek základních (viz tab. 1.5.3),
- vedlejší – jejichž použití si vynutila praxe (viz tab. 1.5.4).

Doplňkové jednotky byly Generální konferencí pro míry a váhy schváleny pro interpretaci jako bezrozměrné odvozené jednotky.

Tab. 1.5.2. Doplňkové jednotky a jejich definice

jednotka	veličina	značka	definice
radián	rovinný úhel	rad	Radián je rovinný úhel sevřený dvěma polopřímkami, které na kružnici opsané z jejich společného počátečního bodu vytínají oblouk o délce rovné jejímu poloměru. Rozměr je $1 \text{ m/m} = 1$ .
steradián	prostorový úhel	sr	Steradián je prostorový úhel s vrcholem ve středu kulové plochy, který na této ploše vytíná část s obsahem rovným druhé mocnině poloměru této kulové plochy. Rozměr je $1 \text{ m}^2/\text{m}^2 = 1$ .

Odvozené jednotky jsou koherentní vzhledem k jednotkám základním případně doplňkovým. Jsou definovány v technických normách pro jednotlivé obory, které dále upravují i pravidla pro jejich používání tak, aby byla v souladu s praxí v jiných zemích. Výběr nejpoužívanějších odvozených jednotek je uveden v tab. 1.5.3.

Vedlejší jednotky nepatří do soustavy SI a nejsou koherentní ani vůči základním, ani doplňkovým veličinám. Přesto jejich používání technická norma připouští, protože jsou jednak v praxi vžitě a jednak pro vyjádření konkrétního fyzikálního jevu vhodnější než jednotky soustavy SI. V tabulce č. 1.5.4 jsou uvedeny vybrané vedlejší jednotky.

Pro praxi má velký význam znalost používaných předpon násobků a dílů jednotek přehledně sestavených v tab. 1.5.5. Násobky a díly se tvoří ze základních, odvozených a doplňkových jednotek násobením, příp. dělením mocninou deseti.

Tab. 1.5.3. Nejpoužívanější odvozené jednotky

veličina	jednotka	značka	fyzikální rozměr
plošný obsah	m <sup>2</sup>	-	m <sup>2</sup>
objem	m <sup>3</sup>	-	m <sup>3</sup>
rychlost	m/s	-	m.s <sup>-1</sup>
úhlová rychlost	rad/s	-	rad.s <sup>-1</sup>
kmitočet	hertz	Hz	s <sup>-1</sup>
síla	newton	N	m.kg.s <sup>-2</sup>
tlak, napětí	pascal	Pa	m <sup>-1</sup> .kg.s <sup>-2</sup>
energie, práce, teplo	joule	J	m <sup>2</sup> .kg.s <sup>-2</sup>
Celsiova teplota	Celsiův stupeň	°C	K
magnetická indukce	tesla	T	kg.s <sup>-2</sup> .A <sup>-1</sup>
elektrické napětí	volt	V	m <sup>2</sup> .kg.s <sup>-3</sup> .A <sup>-1</sup>
výkon	watt	W	m <sup>2</sup> .kg.s <sup>-3</sup>

Tab. 1.5.4. Nejpoužívanější vedlejší jednotky

jednotka	veličina	značka	velikost v SI
astronomická jednotka (střední vzdálenost Země od Slunce)	délka	UA	1 UA = 1,495 9787.1011 m
světelný rok (vzdálenost, kterou světlo urazí za 1 rok)	délka	ly	1 ly = 9,460 73.1015 m
grad (gon)	rovinný úhel	g (gon)	1 g = ( $\pi/200$ )rad
litr	objem	l	1 l = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
bar	tlak	b	1 b = 10 <sup>5</sup> Pa
dioptrie	optická mohutnost	D, Dp	1 Dp = 1 m <sup>-1</sup>
voltampér	zdánlivý výkon	VA	S = UI

Tab. 1.5.5 Předpony násobků a dílů jednotek

Předpona		Znamená násobek	Předpona		Znamená násobek
Název	Značka		Název	Značka	
yotta	Y	10 <sup>24</sup>	deci	d	10 <sup>-1</sup>
zetta	Z	10 <sup>21</sup>	centi	c	10 <sup>-2</sup>
exa	E	10 <sup>18</sup>	mili	m	10 <sup>-3</sup>
peta	P	10 <sup>15</sup>	mikro	μ	10 <sup>-6</sup>
tera	T	10 <sup>12</sup>	nano	n	10 <sup>-9</sup>
giga	G	10 <sup>9</sup>	piko	p	10 <sup>-12</sup>
mega	M	10 <sup>6</sup>	femto	f	10 <sup>-15</sup>
kilo	k	10 <sup>3</sup>	atto	a	10 <sup>-18</sup>
hekto	h	10 <sup>2</sup>	zepto	z	10 <sup>-21</sup>
deka	da	10 <sup>1</sup>	yokto	y	10 <sup>-24</sup>

Předpony, seřazené po jednom či dvou dekadických řádech desti se používají jen výjimečně a tam, kde bylo jejich používání před zavedením soustavy SI obvyklé (centimetr ...). U jednotky může být použita jen jedna předpona, tedy správně 1000 hektopascalů, nikoliv kilohektopascal.

#### q Chyby měření, jejich příčiny a členění

Každé měření je zatíženo chybou. I v případě, že opakujeme měření za stejných podmínek zjistíme, že výsledky měření se od sebe více či méně liší. Nejrůznější negativní vlivy, které se v reálném měřicím

procesu vyskytují, se projeví odchylkou mezi naměřenou a skutečnou hodnotou měřené veličiny. Cílem měření je určit skutečné hodnoty, což je možné jen určením chyby měření.

Chyby se vyjadřují v absolutních nebo relativních hodnotách. Chyba měření (absolutní)  $\Delta(x)$  je rozdíl mezi naměřenou hodnotou a pravou (konvenčně pravou) hodnotou, udává se v jednotkách měřené veličiny:

$$\Delta(x) = x_m - x_s, \text{ kde} \quad (1.5.1)$$

$x_m$  - naměřená hodnota a  $x_s$  je skutečná hodnota.

Podělíme-li absolutní chybu skutečnou hodnotou, dostaneme poměrné vyjádření chyby, tj. chybu relativní  $\delta(x)$ :

$$d(x) = \frac{\Delta(x)}{x_s} = \frac{x_m - x_s}{x_s} \quad (1.5.2)$$

případně

$$d(x) = \frac{x_m - x_s}{x_s} \cdot 100 [\%] \quad (1.5.3)$$

### Hlavní příčiny vzniku chyb při měření

Celý proces měření se setkává s celou řadou nedokonalostí a problémů, které se zákonitě musí odrazit také ve výsledcích měření a chybách. Podle hlavních příčin vzniku je můžeme rozdělit do následujících skupin:

- chyby měřicího systému, přístroje, měřidla – chyby plynoucí z nedokonalosti a nespolehlivosti použitých měřicích přístrojů, které mohou vzniknout již během výroby, montáže a popř. i jejich opotřebením. Svou roli zde sehrává i změna charakteristik a parametrů přístroje v čase (stárnutí). Hodnoty některých chyb udává výrobce formou korekčních křivek, ostatní chyby udává jako maximální dovolenou chybu přístroje (se znaménkem  $\pm$ ),
- chyby instalace – vznikají z nedostatku zapojení, uložení a nastavení měřidel, ze vzájemného ovlivňování měřidel zapojených paralelně nebo sériově, chyby plynoucí z ovlivnění hodnot měřené veličiny měřidlem apod.,
- chyby měřicí metody – jsou chyby plynoucí z nedokonalosti použitých měřicích metod, z použití přibližných hodnot fyzikálních konstant a nepřesně odpovídajících závislostí,
- chyby pozorování – jsou chyby způsobené nedokonalostí smyslů pozorovatele nebo jeho nesoustředěním, a také závisí na vlastnostech osoby pozorovatele. Mezi tyto ovlivňující faktory řadíme např. zručnost, zkušenosti a kvalifikaci pozorovatele, psychický stav, chybu paralaxy, omezenou rozlišovací schopnost apod.,
- chyby vlivu prostředí – chyby, které vnáší do měření nedokonalost a nestálost parametrů prostředí, jejich kolísání a negativní vliv na jednotlivé součásti měření,
- chyby vyhodnocení – jsou chyby vznikající zpracováním naměřených hodnot (použití přibližných vztahů, zaokrouhlováním, nedostatečným vyčíslením konstant, chyby interpolace, extrapolace, linearizace apod.).

**Členění chyb:**

- podle časové závislosti:
  - statické,
  - dynamické.
- podle možnosti vyloučení:
  - odstranitelné,
  - neodstranitelné.

**Podle způsobu výskytu:**

- hrubé,
- systematické,
- náhodné.

*Hrubé chyby* jsou zapříčiněny například nesprávným provedením měření, chybným odečtením hodnot, způsobem zpracování, vadou přístroje, nesprávnou manipulací s měřidlem apod. Výsledek měření zatížen hrubou chybou je nepoužitelný. Měření zatížené hrubou chybou znehodnotí celý experiment, a proto naměřené hodnoty výrazně odlišné od ostatních měření, což bývá velmi často projevem tohoto druhu chyb, se vyloučí z dalšího zpracování dat.

Vyloučení podezřelých hodnot chybou je možno uskutečnit za předpokladu normálního rozdělení hustoty pravděpodobnosti měření. Při neznámé směrodatné odchylce střední hodnoty je postup při testování odlehle hodnoty následující:

ze souboru naměřených hodnot  $x_1 < x_2 < \dots < x_n$  se vypočte střední hodnota  $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.5.4)$$

a výběrová směrodatná odchylka  $s(x)$

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1.5.5)$$

pro posouzení odlehlosti podezřelých hodnot souboru  $(x_2, x_n)$  se vypočtou normované hodnoty  $H_2$  a  $H_n$ :

$$H_2 = \frac{\bar{x} - x_2}{s(x)} \quad (1.5.6)$$

popřípadě

$$H_n = \frac{x_n - \bar{x}}{s(x)} \quad (1.5.7)$$



z tabulek se určí mezní hodnota  $H$  pro předem stanovenou pravděpodobnost  $p$  a počet měření v souboru  $n$ .

za předpokladu, že  $H_2 < H$  a  $H_n > H$ , pak hodnota  $x_2$  není zatížena hrubou chybou a ponechá se v souboru měření, ale hodnota  $x_n$  je ovlivněna hrubou chybou a ze souboru naměřených hodnot veličiny se vyloučí.

Omezit riziko jejich výskytu lze důsledným dodržováním příslušných měřicích postupů, podmínek měření a pozorností obsluhy.

*Chyby systematické* jsou chyby, jejichž hodnota se při stejných podmínkách měření nemění, je konstantní co do velikosti a znaménka, nebo která se při změně podmínek měření mění podle určité (známé) závislosti a svým způsobem „systematicky“ ovlivňují výsledek měření. Vznikají tedy z příčin, které působí soustavně a jednoznačně. Všechny systematické chyby a jejich příčiny podobně jako pravá hodnota nemohou být zcela známy.

Podle rozpoznatelnosti dělíme systematické chyby na:

- zjistitelné (mají konkrétní znaménko a hodnotu, lze je použít ke korekci naměřené hodnoty),
- neznámé (nemají konkrétní znaménko, nedají se použít pro korekci, považují se za chyby nahodilé).

Podle příčin vzniku rozdělujeme systematické chyby na:

- chyby měřidla (vznikají při výrobě, činnosti a používání měřidla),
- chyby měřicí metody (nesprávná volba metody, vliv přítlačné síly apod.),
- chyby osobní (neopatrnost, nevědomost, nepozornost aj.),
- chyby způsobené vlivem prostředí (vlhkost, prašnost, teplota, osvětlení apod.).

Z hlediska uživatele měřicí techniky jsou systematické chyby sympatické tím, že je lze z velké části určit a jejich vliv zmenšit vhodnou kompenzací, uplatněním příslušných korekcí, odstraněním příčin chyb nebo kombinací uvedených způsobů. Zjišťování a odstraňování systematických chyb bývá náročné a nákladné, a proto se uskutečňuje jen tam, kde je to nevyhnutelné.

*Chyby náhodné* jsou způsobené příčinami náhodného charakteru, jsou těžko předvídatelné a nelze je vyloučit. Tyto chyby se vyskytují při každém jednotlivém měření určité veličiny a ovlivňují každou naměřenou hodnotu. Při opakování měření se mění jejich velikost i znaménko, jak odpovídá předpokládanému zákonu rozdělení pravděpodobnosti.

Pro určení jejich velikosti se vychází z opakovaného měření s použitím statistických metod odpovídajících patřičnému pravděpodobnostnímu modelu, reprezentovanému zákonem rozdělení příslušné náhodné chyby. V praxi velmi často jde o Gaussovo (normální), které se používá ve většině aplikací. Normální náhodná veličina nabývá hodnot v intervalu  $<-\infty, +\infty>$  s hustotou pravděpodobnosti výskytu:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2p}} \cdot e^{-\frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2}}, \text{ kde} \quad (1.5.8)$$

$x_i$  jsou dílčí naměřené hodnoty,

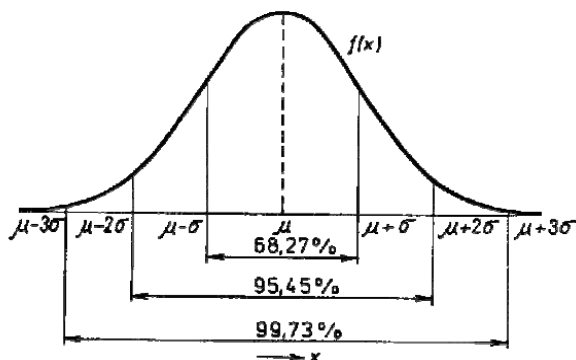
$\mu$  je střední hodnota,

$\sigma$  je směrodatná odchylka,

a distribuční funkcí  $F(x)$  definovanou podle vztahu:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_i-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (1.5.9).$$

Normální rozdělení má dva parametry, a to  $\mu$  střední hodnotu a  $\sigma$  směrodatnou odchylku. V bodě  $\mu$  nabývá funkce hustoty pravděpodobnosti  $f(x)$  maximum a je symetrická kolem přímky  $x = \mu$ . Parametr  $\sigma$  vymezuje takovou vzdálenost do  $\mu$ , že v těchto hodnotách se nacházejí inflexní body funkce  $f(x)$ . Parametry Gaussova rozdělení jsou zakresleny na obr. 1.5.1.



Obr. 1.5.1. Parametry Gaussova (normálního) rozdělení

Intervaly vymezené délkou násobku parametru  $\sigma$  vymezují určité části hodnot náhodné veličiny:

- interval  $\langle \mu - \sigma, \mu + \sigma \rangle$  obsahuje 68,27% náhodné veličiny,
- interval  $\langle \mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma \rangle$  obsahuje 95,45% náhodné veličiny,
- interval  $\langle \mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma \rangle$  obsahuje 99,73% náhodné veličiny.

Při opakovaném měření nezávislé veličiny  $X$  za stejných podmínek dostáváme v důsledku náhodných chyb různé hodnoty  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ . Výsledek měření je reprezentován výběrovým průměrem  $\bar{x}$  získaným z naměřených hodnot viz vztah 1.5.4.

Náhodnou chybu v klasické teorii chyb nejčastěji zastupuje směrodatná odchylka výběrového souboru  $s(x)$  podle vztahu (1.5.5), méně často směrodatná odchylka dílčích aritmetických průměrů  $s(\bar{x})$ , kterou určíme podle vztahu:

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} \quad (1.5.10)$$

Obě směrodatné odchylky charakterizují, jak jsou výsledky měření (náhodné chyby) rozptýlené. Hodnota směrodatné odchylky (nebo její některý násobek, dvounásobek či trojnásobek) není však hodnota chyby, jak se často interpretuje. Směrodatná odchylka nebo její násobek vyjadřují jen hranici, kterou může náhodná chyba s určitou pravděpodobností překročit, nebo nepřekročit.

Výsledná chyba měření je vyjadřována jako součet systematické  $e$  a náhodné složky  $\varepsilon$ , což lze zapsat jako

$$\Delta x = |e| + |\varepsilon| \quad (1.5.11)$$

a její maximální hodnotu je možné odhadnout:

$$\Delta_{max} = (\bar{x} - x_s) + 2s, \quad (1.5.12)$$

kde systematická složka je  $e = (\bar{x} - x_s)$  a náhodná složka  $\varepsilon = s$ , popř.  $\varepsilon = 2s$ .

Součinitel rozšíření směrodatné odchylky souvisí s pravděpodobností pokrytí intervalu a typem rozdělení, např. dvojka u Gaussova rozdělení přísluší často užívané 95% pravděpodobnosti.

#### q Struktura povrchu

Při použití jakékoliv technologické metody vzniká na povrchu technických ploch nerovnost, která má velký význam při funkci těchto ploch. Protože povrch představuje prostorový útvar problém posuzování nerovností se řeší redukcí do roviny řezu rovinou kolmou k povrchu. Tím se získá profil, který je základním zdrojem informací.

Rozteč příslušných nerovností charakterizuje strukturu povrchu a dělí ji na složky. Složka s nejmenší roztečí tvoří drsnost povrchu, dále existuje složka nazvaná vlnitost povrchu a největší rozteč nerovností určuje základní profil. Geometrické parametry definované normou ISO 4287:

- R – parametr vypočítaný z profilu drsnosti,
- W – parametr vypočítaný z profilu vlnitosti,
- P – parametr vypočítaný ze základního profilu.

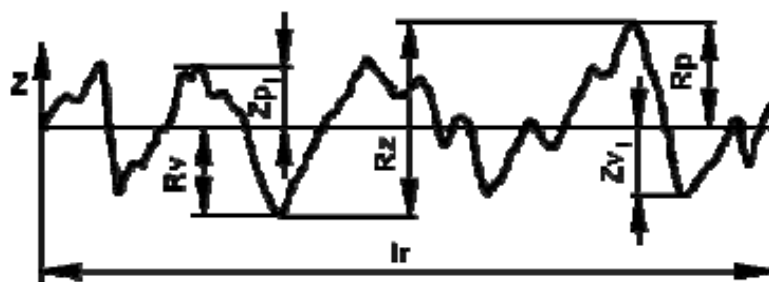
Základní délka  $l_r$  – délka ve směru osy x používaná pro rozpoznání nerovností charakterizující daný profil.

Vyhodnocovaná délka  $l_n$  – délka ve směru osy x na které se profil vyhodnocuje.

Existují 3 základní parametry, na jejichž základě se hodnotí drsnost povrchu:

- výškové parametry,
- délkové parametry,
- tvarové parametry.

#### Výškové parametry

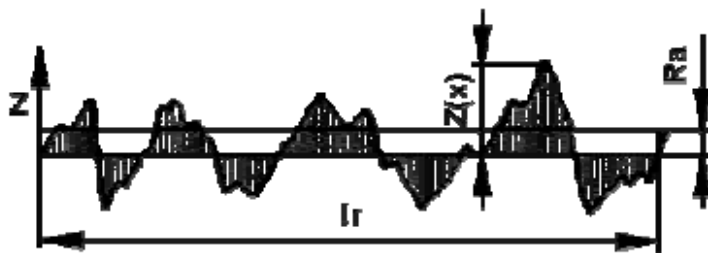


Obr. 1.5.2. Parametry  $R_v$ ,  $R_p$ ,  $R_z$

Největší výška výstupku  $R_p$  – největší výška výstupku profilu  $Z_p$  v rozsahu základní délky.

Největší hloubka prohlubně profilu  $R_v$  – největší hloubka prohlubně profilu  $Z_v$  v rozsahu základní délky.

Největší výška profilu  $R_z$  – součet největší výšky profilu  $Z_p$  a největší hloubky profilu  $Z_v$  v rozsahu základní délky.



Obr. 1.5.3. Parametr Ra

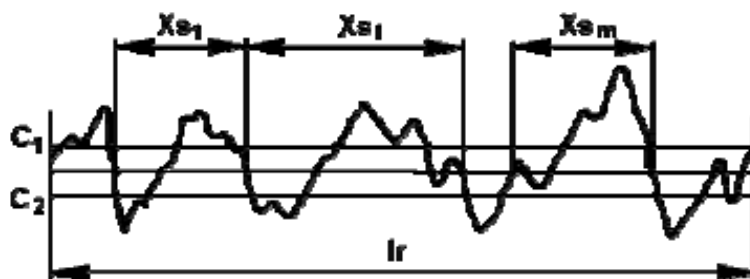
*Střední aritmetická úchylka profilu Ra* – aritmetický průměr absolutních hodnot  $Z(x)$  v rozsahu základní délky. Tato hodnota nevypovídá zcela přesně o dané drsnosti, protože Ra nereaguje citlivě na extrémní výšky a hloubky měřeného profilu.

$$Ra = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (1.5.13)$$

*Průměrná kvadratická úchylka profilu Rq* – průměrná kvadratická hodnota odchylek  $Z(x)$  profilu v rozsahu základní délky. Parametr Rq má význam při statistickém pozorování profilu povrchu, neboť zároveň odpovídá standardní odchylce z profilových souřadnic.

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z(x)^2 dx} \quad (1.5.14)$$

#### Délkové (šířkové) parametry



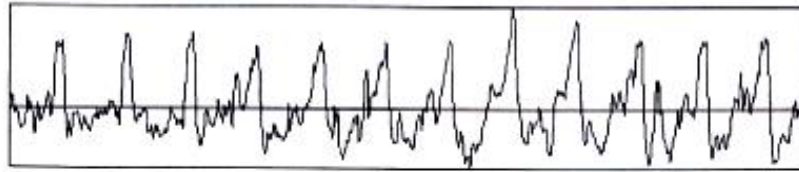
Obr. 1.5.4. Parametr RSm

*Průměrná vzdálenost prvků profilu RSm* – průměrná hodnota šířek  $X_s$  profilu v rozsahu základní délky.

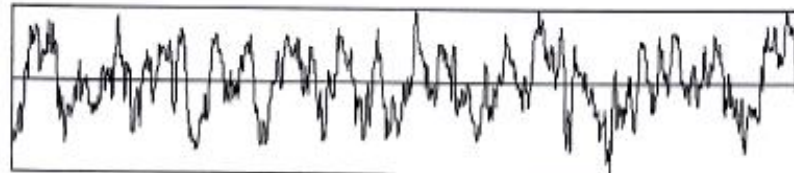
$$RSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{s_i} \quad (1.5.15)$$

#### Tvarové parametry

*Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu Rdq* – průměrná kvadratická hodnota sklonů  $dZ/dX$  v rozsahu základní délky. Tento parametr je důležitý při hodnocení tribologických vlastností, odrazu světla nebo galvanickém pokovování.



Obr. 1.5.5. Profil drsnosti soustruženého povrchu



Obr. 1.5.6. Profil drsnosti broušeného povrchu

## q Měření drsnosti povrchu

### Porovnáním s etalony drsnosti

Při této metodě se porovnává povrch buď okem nebo mikroskopem. Tato metoda je již svou podstatou nepřesná (porovnává a vyhodnocuje odlišné parametry) a hraje zde velmi důležitou roli schopnost zkušenost metrologa.

Podmínky, které je důležité dodržovat při použití této metody:

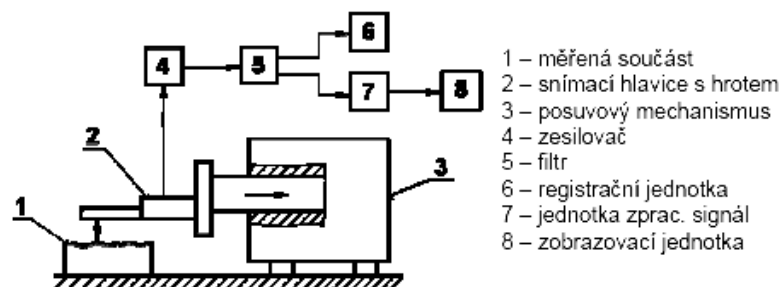
- stejný materiál etalonu a součásti (stejná by měla být alespoň barva),
- tvar povrchu součásti a etalonu by měl být stejný (plochý, vypuklý,...),
- musí být použita stejná trajektorie obrábění povrchu etalonu a součásti,
- stejné podmínky pozorování (světlo).

### Pomocí dotykových profilometrů

Při použití této metody se přímo odečítají číselné hodnoty jednotlivých parametrů drsnosti. Využívá se pro nejmodernější statistické a spektrální hodnocení nerovnosti povrchu.

Dotykový profilometr má 2 základní části:

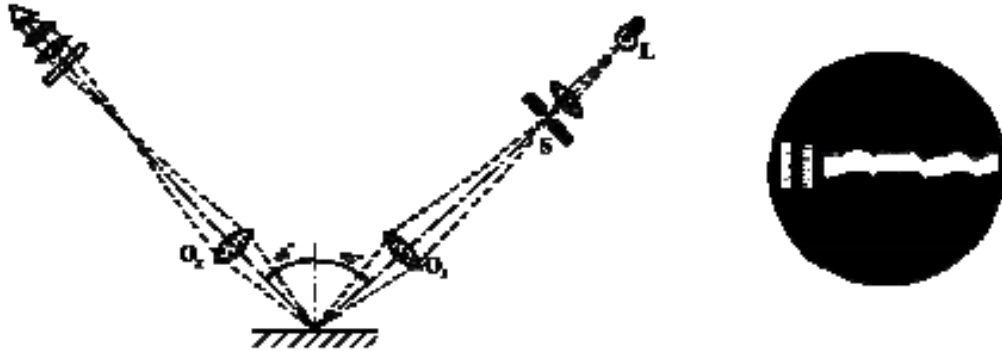
- mechanickou,
- elektronickou.



Obr. 1.5.7. Princip měření dotykovým profilometrem

### Metodou světelného řezu

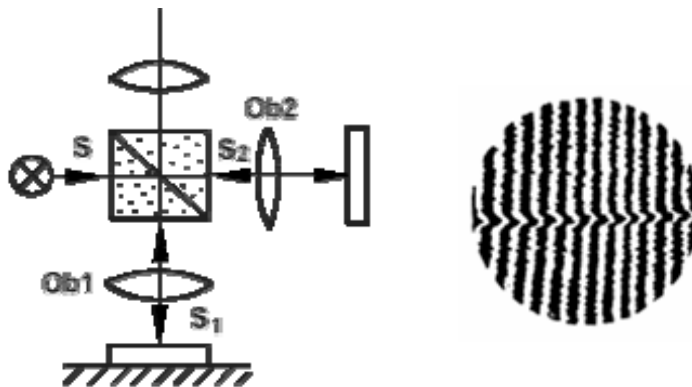
Pro určování drsnosti touto metodou se nejčastěji používá dvojitý mikroskop Schmaltz. Velmi tenký paprsek dopadá na měřený povrch pod úhlem  $45^\circ$ . Odrazem od nerovnosti vzniká obraz profilu v poli mikroskopu.



Obr. 1.5.8. Metoda světelného řezu – principi a obraz v okuláru

### S využitím interference světla

Paprsek postupuje přes polopropustné zrcadlo a to jej rozdělí na 2 části. Část  $S_1$  pokračuje dále na měřený povrch a zpátky do okuláru a druhá část  $S_2$  se odrazí od zrcadla přímo zpět do okuláru. Tam paprsky interferují (spojí se) a získáme obraz povrchu.



Obr. 1.5.9. Interferenční mikroskop (vlevo), obraz v okuláru přístroje (vpravo)

### q Základní měřidla

Měřidla slouží k určení hodnoty měřené veličiny. Spolu s nezbytnými pomocnými měřicími zařízeními se pro účely tohoto zákona člení na:

- etalony – slouží k realizaci a uchování jednotky určité veličiny nebo stupnice a přenosu na měřidla nižší přesnosti,
- pracovní měřidla stanovená – měřidla, které Ministerstvo průmyslu a obchodu stanovuje vyhláškou k povinnému ověřování s ohledem na jejich význam a pro ochranu zdraví, životního prostředí, bezpečnost při práci atd.,
- pracovní měřidla stanovená – nejsou etalonem ani stanoveným měřidlem,

- certifikované referenční materiály a ostatní referenční materiály – materiály nebo látky přesně stanoveného složení nebo vlastností, používané pro ověřování nebo kalibraci přístrojů, vyhodnocování měřicích metod a kvantitativní určování vlastností materiálů.

Podle způsobu měření se měřidla rozdělují na:

- absolutní – při této metodě měření jsou zjišťovány celkové rozměry a měřená hodnota se odečítá přímo z měřidla,
- komparační – při této metodě se určují úchytky od jmenovitého rozměru,
- toleranční – tato metoda určuje skutečnost, zda je vyhověno předpisu přesnosti (nejsou-li překročeny hodnoty mezních rozměrů).

### Koncové měrky a kalibry

*Koncové měrky* jsou všeobecně uznávány jako základ délkového měření ve strojírenské výrobě. Mají tvar hranolu pravoúhlého průřezu a 2 rovinné, navzájem rovnoběžné plochy, které jsou vyrobeny s vysokou rozměrovou přesností, drsností povrchu, rovinností a rovnoběžností. Koncové měrky lze vzájemně spojovat nasouváním a vytvořit tak libovolný rozměr. Koncové měrky se využívají ke kalibraci měřicích přístrojů a strojů. Materiál pro výrobu koncových měrek musí splňovat spoustu požadavků: vysokou tvrdost, otěruvzdornost, korozivzdornost, rozměrovou stálost, dobrou nasávací schopnost, dobrou obrobitelnost (je to např. chromová ocel, ale také keramika na bázi zirkonu).



Obr. 1.5.10. Koncové měrky

*Kalibry* jsou zvláštní forma koncových měřidel. Měřením pomocí kalibrů nelze číselně zjistit rozměr ani úchytku tvaru, ale součástka se označí jako dobrá a špatná (opravitelná, neopravitelná). Nutná je pravidelná kalibrace. Nejpoužívanější jsou mezní kalibry, které omezují příslušnou velikost tolerance.

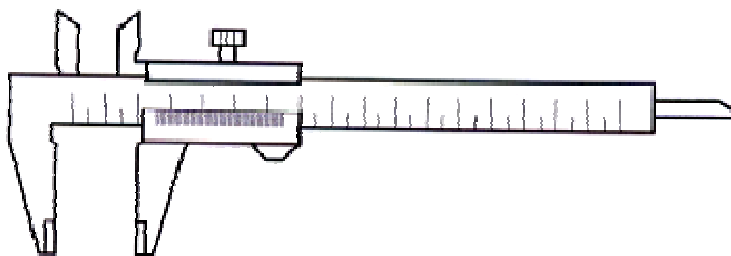


Obr. 1.5.11. Kalibry

### Komunální měřidla

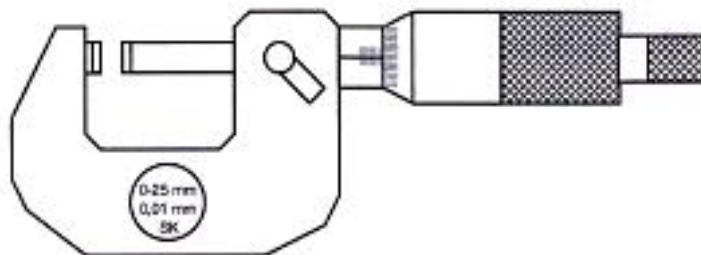
Komunální měřidla jsou jednoduchá a přenosná, určená k měření rozměrů. Patří sem:

- posuvná měřidla – klasická s noniem, digitální, běžné čelist'ové provedení, hloubkoměry, výškoměry.



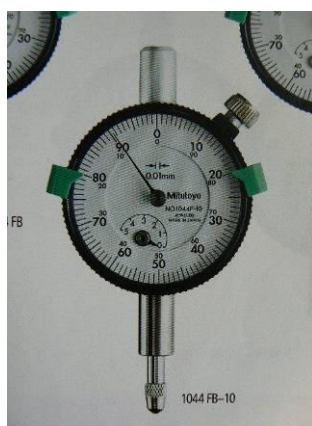
Obr. 1.5.12. Posuvné měřidlo na měření délek

- mikrometrická měřidla – třmenové mikrometry, hloubkoměry, dutinoměry, různá provedení.



Obr. 1.5.13. Třmenový mikrometr

- číselníkové úchylkoměry – většinou s převodem ozubených kol, též v digitálním provedení. Může se použít pro diferenční a přímé měření při větším rozsahu.



Obr. 1.5.14. Číselníkové úchylkoměry



## Měření úhlů

Úhly se ve strojírenství měří velmi často. Metoda měření úhlů je založena na porovnání měřeného úhlu se známým úhlem.

*Metody měření úhlů:*

- metody měření pevnými úhlovými mírami (např. úhelníky),
- trigonometrické metody (nepřímé, např. sinusové pravítko),
- goniometrické metody – porovnání s úhloměrnou stupnicí.

## □ Měření úchylek tvaru a polohy

Ve strojírenské výrobě nejde jenom o to, aby bylo dosaženo předepsané rozměrové přesnosti, ale aby byly dodrženy i další kvalitativní ukazatelé. Patří mezi ně i dodržování předepsaného tvaru součástek a vzájemné polohy jednotlivých prvků součástek, případně montovaného celku. Jsou rozděleny do tří následujících podskupin.

### Odchytky tvaru

*Odchytky geometrického tvaru* plochy je hodnota vychýlení skutečného profilu součásti od jeho jmenovitého tvaru. Odchytky tvaru skutečné plochy je vzdálenost bodů skutečné plochy od obalové plochy ve směru normály k obalové ploše.

*Odchytky přímosti* je největší vzdálenost bodů od skutečného profilu od obalové přímky. Obalová přímka – je to přímka, která se dotýká skutečného profilu a leží z vnější strany materiálu součástky tak, aby vzdálenost mezi touto přímkou a nejvzdálenějším bodem skutečného profilu byla co nejmenší. Vzhledem k této definici mohou nastat 3 případy:

- vydutý profil – obalová přímka se dotýká profilu ve dvou nejvyšších bodech,
- vypuklý profil – obalová přímka se dotýká profilu v jednom nejvyšším bodě a je rovnoběžná se spojnicí dvou nejnižších bodů,
- není možné určit, zda je profil vydutý nebo vypuklý – určí se podle obou předchozích definic a definici obalové přímky odpovídá ta, při které je odchytky menší.

*Odchytky rovinnosti* je největší vzdálenost bodů skutečného povrchu od obalové roviny. Obalová rovina je rovina, která se dotýká skutečného profilu a leží z vnější strany materiálu součástky tak, aby vzdálenost mezi touto rovinou a nejvzdálenějším bodem skutečného povrchu byla co nejmenší. Vzhledem k této definici mohou nastat 4 případy:

- vydutý tvar povrchu – obalová rovina se dotýká povrchu ve třech nejvyšších bodech (lokální maximum povrchu),
- vypuklý tvar povrchu – obalová rovina se dotýká povrchu v jednom nejvyšším bodě (lokální maximum profilu) a je rovnoběžná s rovinou procházející třemi nejnižšími body (lokální minima povrchu),
- sedlový tvar povrchu – obalová rovina se dotýká povrchu ve dvou nejvyšších bodech (lokální maximum profilu) a je rovnoběžná se spojnicí dvou nejnižších bodů (lokální minima povrchu), přičemž všechny 4 body nesmí ležet v jedné rovině,

- nedá se určit, který z těchto povrchů to je – určí se podle všech 3 předcházejících definic a definici obalové roviny odpovídá ta, u které je odchylka nejmenší.

*Odchylka kruhovitosti* je největší vzdálenost bodů skutečného profilu od obalové kružnice. Obalová kružnice je kružnice s nejmenším průměrem opsaným okolo skutečného profilu vnější rotační plochy nebo kružnice s největším průměrem vepsaným do skutečného profilu vnitřní rotační plochy.

*Odchylka válcovitosti* je největší vzdálenost bodů skutečného povrchu od obalového válce. Obalový válec je válec s nejmenším průměrem opsaným okolo skutečné vnější válcové plochy nebo válce s největším průměrem vepsaný do skutečné vnitřní válcové plochy.

*Odchylka polohy* je vzdálenost skutečné polohy posuzovaného prvku od jeho jmenovité polohy.

- Odchylka rovnoběžnosti dvou rovin je matematický rozdíl největší a nejmenší vzdálenosti mezi touto přímkou a rovinou v rozsahu.
- Odchylka rovnoběžnosti dvou přímek v rovině je matematický rozdíl největší a nejmenší vzdálenosti mezi těmito přímkami v dané rovině.
- Odchylka rovnoběžnosti dvou přímek v prostoru je geometrický součet odchylek rovnoběžností průmětů přímek na dvě vzájemně kolmé roviny, přičemž v jedné z těchto rovin leží jedna přímka a druhá jí prochází.
- Odchylka kolmosti dvou rovin je odchylka úhlu mezi rovinami od pravého úhlu vyjádřena v délkových jednotkách.
- Odchylka kolmosti přímky a roviny je odchylka úhlu mezi přímkou a rovinou od pravého úhlu vyjádřena v délkových jednotkách.
- Odchylka kolmosti dvou přímek je odchylka úhlu mezi přímkami od jmenovitého úhlu vyjádřena v délkových jednotkách.
- Odchylka sklonu dvou rovin je odchylka úhlu mezi rovinami od jmenovitého úhlu vyjádřena v délkových jednotkách.
- Odchylka sklonu přímky a roviny je odchylka úhlu mezi přímkou a rovinou od jmenovitého úhlu vyjádřena v délkových jednotkách.
- Odchylka sklonu dvou přímek je odchylka úhlu mezi přímkami od jmenovitého úhlu vyjádřena v délkových jednotkách.
- Odchylka sousosti od osy základní plochy je největší vzdálenost mezi osou posuzované rotační plochy a osou základní plochy.
- Odchylka sousosti od společné osy je největší vzdálenost mezi osou posuzované rotační plochy a společnou osou dvou nebo několika rotačních ploch.
- Odchylka souměrnosti od roviny souměrnosti základního prvku je největší vzdálenost mezi rovinou souměrnosti posuzovaného prvku a rovinou souměrnosti základního prvku.
- Odchylka souměrnosti od společné roviny souměrnosti je největší vzdálenost mezi rovinou souměrnosti posuzovaného prvku a společnou rovinou dvou nebo několika prvků.

- Odchylka polohy prvku od jmenovité polohy je největší vzdálenost mezi skutečnou polohou prvku a jeho jmenovitou polohou prvku.
- Odchylka různoběžnosti os je nejmenší vzdálenost mezi osami, které se mají ve jmenovité poloze protínat.

#### *Souhrnné odchylky tvaru a polohy*

- Souhrnná odchylka tvaru a polohy je odchylka, kterou se společně projevuje odchylka tvaru a odchylka od posuzované plochy nebo profilu vzhledem k zadané základně.
- Obvodové házení je matematický rozdíl největší a nejmenší vzdálenosti bodů skutečného profilu rotační plochy od základní osy v řezu roviny kolmé na základnu os.
- Úplné obvodové házení je matematický rozdíl největší a nejmenší vzdálenosti všech bodů skutečné plochy od základní osy.
- Čelní házení je matematický rozdíl největší a nejmenší vzdálenosti bodů skutečného profilu čelní plochy od roviny kolmé na základnu os.
- Úplné čelní házení je matematický rozdíl největší a nejmenší vzdálenosti všech bodů skutečné plochy od roviny kolmé na základnu os.
- Házení v daném směru je matematický rozdíl největší a nejmenší vzdálenosti bodů skutečného profilu plochy, přičemž směr měření vzdálenosti bodů je kolmý na tvořící přímkou plochy a zároveň protíná jeho osy.



### Shrnutí kapitoly

V této kapitole jste se mohli dozvědět **základní pojmy** z oblasti metrologické. Dále pak jaké jsou základní jednotky **SI soustavy**, **odvozené jednotky** a používané **předpony násobků**.

Zvláštní podkapitola byla věnována důležité věci a to **chybám měření**. Jejím druhům, **důvodům vzniku**, **eliminaci vzniku** a zejména výpočtu jednotlivých chyb (**hrubé, systematické a náhodné**).

Další podkapitola byla věnována **struktúře povrchu** a zejména **drsности povrchu**. Byly vyjmenovány a popsány jednotlivé **parametry drsности** ve všech směrech (**výškové, podélné i příčné**) a ukázány některé **metody měření**.

Poslední část byla věnována **odchylkám polohy a tvaru**, jakožto důležité věci při výsledné montáži a bezvadné funkčnosti konečného celku.



### Kontrolní otázka

1. Co je to přesnost měřicího přístroje?
2. Jaký je rozdíl mezi chybou měření a nejistotou měření?
3. Které jsou odvozené jednotky?
4. Jaké chyby mohou vzniknout při měření?

5. Jakým způsobem lze omezit výskyt hrubých chyb?
6. Co vyjadřují parametry drsnosti Ra a Rz?
7. Jaké existují základní parametry drsnosti povrchu?
8. Jaké jsou metody měření drsnosti?
9. V čem spočívá metoda měření drsnosti porovnáním s etalony drsnosti?
10. Které měřidlo je ve strojírenství považováno za základ délkového měřidla?
11. Uveďte členění základních měřidel
12. Která měřidla patří mezi komunální?
13. Na čem je založena metoda měření úhlů?
14. Jaké jsou základní druhy odchylky tvaru?
15. Co je to odchylka kruhovitosti?
16. Uveďte hlavní rozdíl mezi Ra a Rz.
17. Jak se početně vyjádří výběrová směrodatná odchylka?
18. Popište princip měření dotykovým profilometrem.
19. Jaký je rozdíl mezi odchylkami kruhovitosti a válcovitosti?
20. K čemu slouží koncové měřky?



### Úkol k řešení

1. Nakreslete grafické vyjádření Gaussova rozdělení.
2. Napište postup stanovení hrubé chyby měření.
3. Nakreslete si průběh drsnosti a zakótuje parametry  $R_v$ ,  $R_p$ ,  $R_z$ ,  $R_a$  a  $R_q$ .
4. Nakreslete zjednodušené schéma posuvného měřidla a mikrometru, a vysvětlení jejich funkci.
5. Nakreslete schémata měření metou světelného řezu a s využitím interference světla.

## 1.6. Technologie montáže a montážní postupy



**Čas ke studiu:** 8 hodin



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Členit montážní proces.
- Znat jednotlivé druhy montáže.
- Analýzu rozměrových řetězců, včetně jejich řešení.
- Metody montáže.
- Přesnost výroby a vliv na náklady



## Výklad

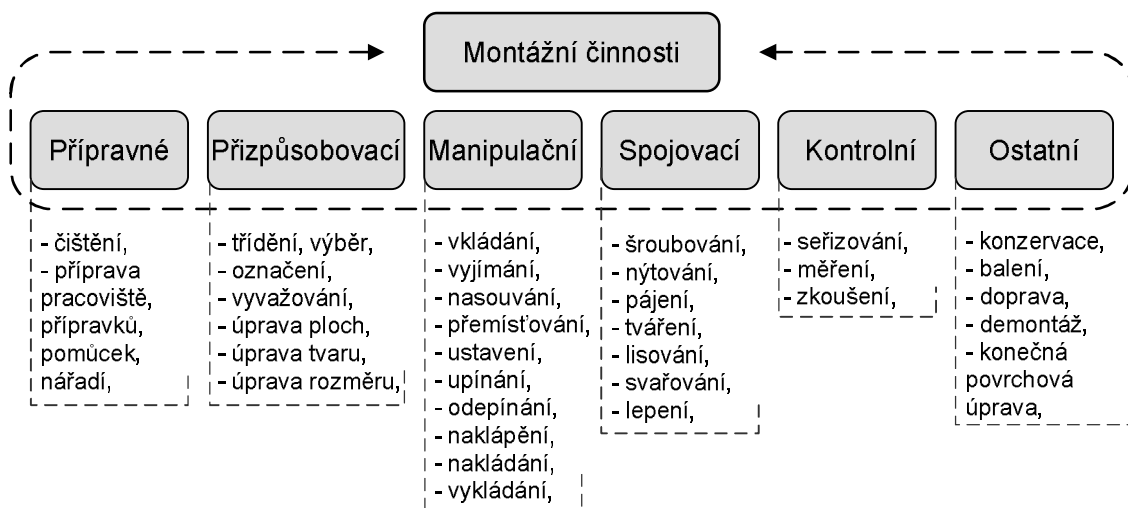
Charakteristickým znakem montážních procesů je spojování dvou či více součástí do montážních celků. Pro spojování jsou obvykle využívány takové technologie, které zabezpečují přímé spojení bez přídavných součástí nebo materiálů. Montáží se nazývá soubor činností lidí, strojů a zařízení, jejichž vykonáváním ve stanoveném pořadí a čase vznikne z jednotlivých součástí a montážních celků hotový výrobek. Montáž je obvykle závěrečnou fází výrobního procesu ve strojírenské výrobě.

Základní strukturální jednotkou montážního procesu je montážní operace. Tuto operaci lze definovat jako ukončenou část montážního procesu, která je realizovaná při montáži celku nebo výrobku jedním, nebo skupinou dělníků na jednom pracovišti, bez přestavení montážního zařízení. Je to operace bezesporu velmi pracná a nákladná. V praxi často zabírá až 50 % nákladů.

Podobně jako u technologického postupu výroby je nutno věnovat zvýšenou pozornost také požadavkům technologie montáže. Pod pojmem technologičnost konstrukce výrobku z hlediska montáže je zahrnuta taková úprava rozměrů, tvarů, materiálů a dalších parametrů, která vytváří nejnižší pracnost montáže a zhotovení výrobku při zachování, případně zlepšení stávajících jeho funkcí v rámci daných možností výroby.

Konstruktor z pohledu montáže usiluje o minimální počet součástí tvořící celek a stavebnicové uspořádání výrobků. Vhodně zvolená konstrukce součástí umožňuje zjednodušit montážní proces, eliminovat ruční pracoviště a uplatnit mechanizaci a automatizaci. S trendem zvyšujícím se stupněm automatizace montáže se zvyšují i požadavky na technologičnost konstrukce výrobků a přesnost jejich provedení. Montážní náklady mohou v důsledku nevhodné konstrukce součástí výrazně navýšit výrobní náklady.

Při montáži strojírenských výrobků se provádí řada montážních činností, které lze rozdělit do těchto šesti základních skupin podrobněji uvedených na obr. 1.6.1



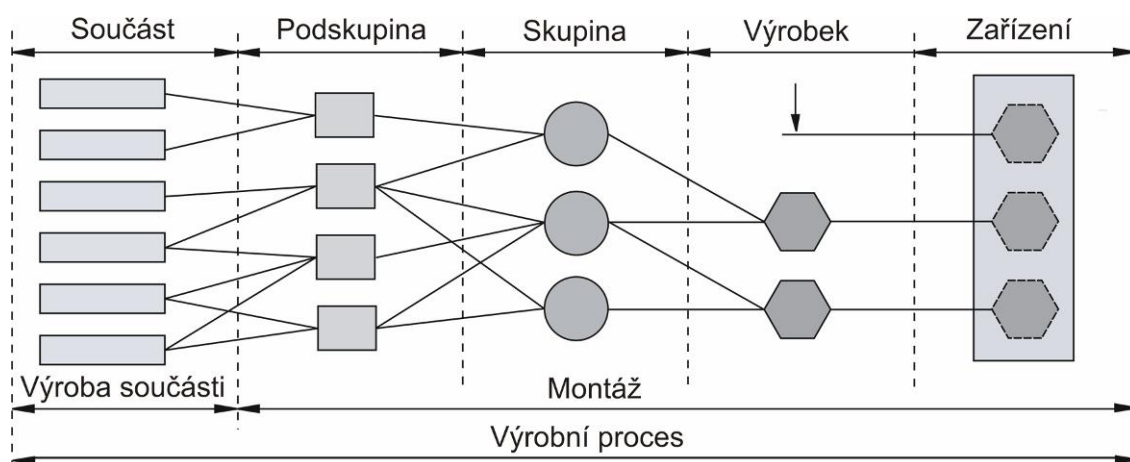
Obr. 1.6.1. Rozdělení montážních činností

Vzájemný podíl jednotlivých montážních činností se liší v závislosti na realizovaném druhu výroby. V kusové až malosériové výrobě jsou rozhodující zejména přípravné činnosti a z vlastní montáže má podstatný význam kontrola a seřizování. Tyto činnosti tvoří v souhrnu asi 80 % pracnosti montáže. V sériové a hromadné výrobě se zvyšuje podíl montážních činností spojování a manipulace.

## q Členění montážního procesu

Z hlediska montáže se každý složitější strojírenský výrobek člení do tzv. montážních prvků, to jsou skupiny a části strojů, které mohou být montovány odděleně a nezávisle na ostatních částech výrobku. Členění výrobků na menší celky je obvykle ve shodě s jeho konstrukční dokumentací.

Základní členění výrobku z hlediska jednotlivých fází výrobního procesu je znázorněno na obr. 1.6.2. Schéma vyjadřuje rozdělení montážní operace do jednotlivých montážních prvků. V případě složitějších součástí se sestavuje technologické schéma montáže, které názorně vyjadřuje posloupnost montáže jednotlivých součástí do podskupin a skupin, až v konečný výrobek či zařízení.



Obr. 1.6.2. Schéma členění výrobku z hlediska jednotlivých fází výrobního procesu

K základním prvkům montážního procesu patří:

- součást – je nerozebíratelný prvek (prvotní článek montáže), část výrobku, která je obvykle vyrobena z jednoho kusu materiálu,
- podskupina (díl) – představuje jednotku vzniklou spojením dvou či více součástí, přičemž nezáleží na způsobu spojení, podskupiny mohou být vícero řádů, například podskupiny I. řádu jsou přímo montované do skupin, podskupiny II. řádu jsou montované do podskupin I. řádu apod.,
- skupina – nejvyšší montážní prvek, vzniká spojením jedné nebo několika podskupin a dalších součástí,
- výrobek – většinou je to konečný hmotný produkt montáže určený pro trh, který je funkčně a konstrukčně uzavřený, vytvořený ze součástí, podskupin a skupin, spojených rozebíratelným či nerozebíratelným způsobem,
- zařízení – tvoří soubor strojírenských výrobků, které mají plnit dané provozní a technologické úkoly.

## q Druhy montáže

Způsob a organizace montáže závisí především na typu a rozsahu výroby, na pracnosti montáže, na způsobech dodávek apod. Rozlišujeme dvě základní formy montáže:

- interní,
- externí.

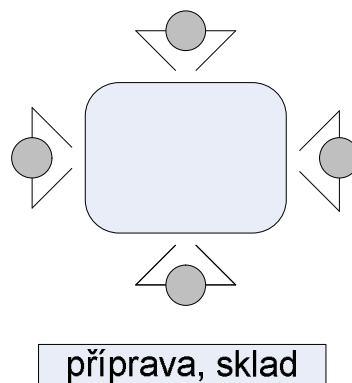
Interní montáž se provádí v rámci daného výrobního závodu a výrobek opouští výrobní proces obvykle ve stavu způsobilém k přímému použití (např. automobily, spotřební zboží). Naopak externí montáž je realizována mimo výrobní závod, při níž se v předepsaném sledu montují jednotlivé části zařízení, které byly předem interně smontovány ve výrobních závodech (např. montáž značně rozměrných a objemných strojů a zařízení, mostů a konstrukcí, vzduchotechniky, potrubí, armatur). Zpravidla se jedná o stacionární montáž.

Podle pohybu součástí při montáži, stupně členitosti a charakteristických zvláštností montovaného výrobku rozeznáváme dvě organizační formy interní montáže:

- nepohyblivou neboli stacionární montáž (předpokládá soustředění montážních prací na stálém pracovišti):
  - soustředěná,
  - rozčleněná,
  - proudová,
- pohyblivou neboli nestacionární montáž (probíhá současně v několika montážních operacích nebo ve skupinách pracujících dělníky):
  - předmětná,
  - linková.

Stacionární montáž je typická pro kusovou a malosériovou výrobu. Nestacionární montáž je vhodné zavést pro malosériovou, velkosériovou a hromadnou výrobu, kde přecházení montážních pracovníků kolem výrobku je minimální.

**Soustředěná montáž** se provádí spojováním jednotlivých součástí na jednom stacionárním pracovišti a vykonává ji obvykle jedna skupina pracovníků (viz obr. 1.6.3). Využívána je při montáži těžkých či rozměrných součástí, které jsou montovány podle rámcových montážních postupů bez podrobného časového rozboru činností.

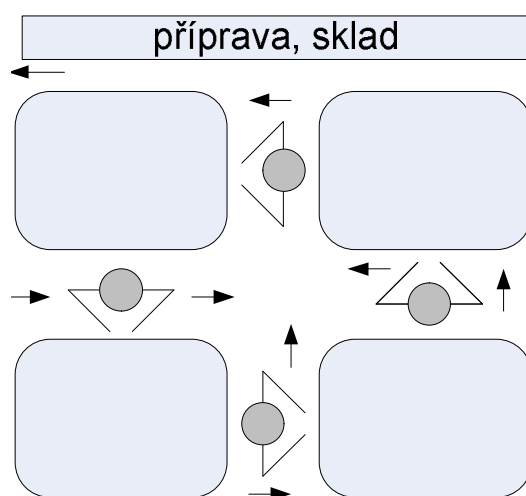


Obr. 1.6.3. Schéma soustředěné montáže

Mezi nevýhody soustředěné montáže patří vysoké nároky na kvalifikaci pracovníků, montážní plochy, dlouhá průběžná doba montáže, nepravidelný průběh montáže, přibližně stanovené normy času apod.

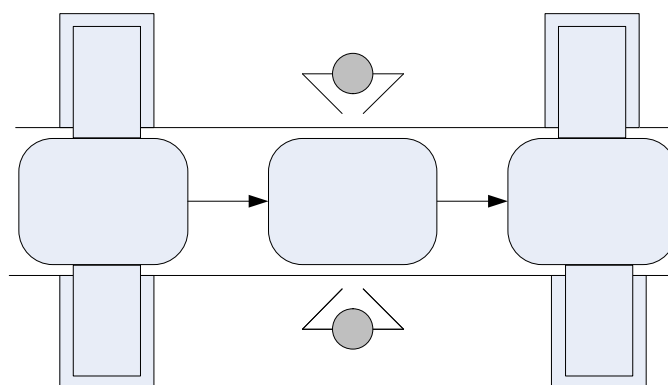
**Rozčleněná montáž** postupuje podle principu dělení operací. Výrobek se montuje na několika stacionárních montážních pracovištích současně (viz obr. 1.6.4). Předpokladem tohoto typu interní montáže je možnost rozčlenění výrobku na jednotlivé díly, podsestavy a sestavy v souladu s montážním schématem a přihlédnutím k objemu práce v dané montážní operaci. Časová norma je zpracována pro celé montážní celky.

Výhodou uplatnění rozčleněné montáže je uskutečnitelnost souběžné předmontáže jednotlivých celků, např. montuje-li se více výrobku (např. obráběcích strojů) v jedné montážní hale, skupiny montážních pracovníků postupně přecházejí od jednoho celku ke druhému a montáž probíhá v jednotlivých fázích. Celková montáž pak představuje spojení dílů, podsestav a sestav v hotový výrobek. Využívá se pro malosériovou výrobu.



Obr. 1.6.4. Schéma rozčleněné montáže

**Proudová montáž** probíhá na stacionárních montážních pracovištích, kde specializované skupiny pracovníků provádí určitou část montáže. Schéma proudové montáže je znázorněno na obr. 1.6.5. Montážní práce jsou rozčleněny až na operace nebo úkony. Tento typ montáže je právě díky pevnému synchronizovanému taktu dopravy součástí vhodný k automatizaci montážního procesu.

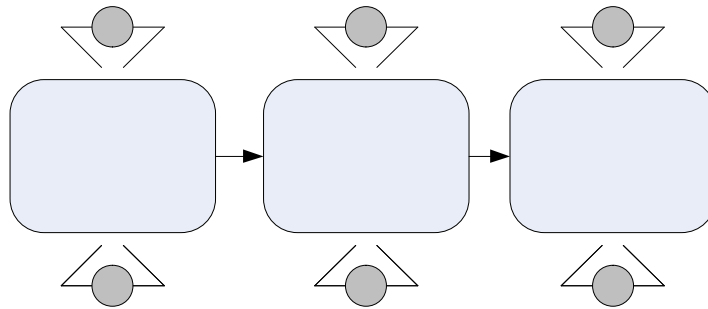


Obr. 1.6.5 Schéma proudové montáže

Výhodou této organizace montáže je synchronizace jednotlivých pracovišť z hlediska objemu montážních činností. Proudová montáž se uplatňuje při hromadném typu výroby např. při výrobě valivých ložisek, měřidel, motorů, převodovek, elektrických spínačů apod.

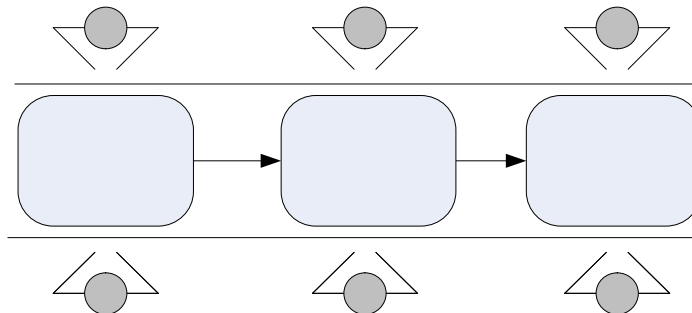


**Předmětná montáž** se vyznačuje volným pohybem montovaného předmětu, který prochází jednotlivými pracovišti (viz obr. 1.6.6). Pracovníci vykonávají jen určitou opakující se operaci s volným taktém přesouvání součástí mezi stacionárními pracovišti. Pracoviště montérů jsou pro montáž vždy příslušně vybavena. Typ montáže je určen pro malosériovou až velkosériovou výrobu (např. obráběcí stroje, stavební stroje, lokomotivy, elektrické motory).



Obr. 1.6.6. Schéma předmětné montáže

**Linková montáž** je charakteristická nuceným pohybem montovaného předmětu, který je dán taktém montážní linky, přičemž je nutno dodržet sled operací. Někdy je nazývána také jako plynulá montáž (viz obr. 1.6.7). Montáž organizovaná v lince je dle způsobu odběru výrobku uskutečňována jako synchronizovaná či nesynchronizovaná.



Obr. 1.6.7. Schéma linkové montáže

Pohyblivá montáž může být s periodickým taktém s nepřetržitým pohybem. Taktém montáže nazýváme časový interval mezi smontováním dvou hotových výrobků. Tento takt se reguluje rychlostí pohybu dopravníku a zachovává pomocí zvukové a světelné signalizace.

Montážní takt  $T_m$  v minutách lze vypočítat podle vzorce

$$T_m = \frac{60F_{sk}}{N}, \text{ kde} \quad (1.6.1)$$

$F_{sk}$  - skutečný hodinový časový fond montáže,

$N$  - roční produkce smontovaných výrobků v kusech.

#### q Analýza rozměrových řetězců

Součásti vstupující do procesu montáže jsou vyrobeny s různou přesností a tolerancích. Při montáži součástí je nutno zajistit jejich vzájemné uspořádání v mezích předepsané přesnosti. Spojení určitých ploch musí zajistit předepsanou vůli, spojení jiných potřebný přesah. Správnou velikost úchylek

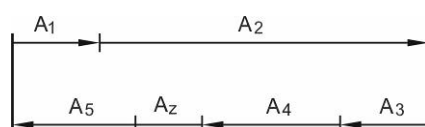
rozměrů součástí v závislosti na požadované přesnosti spojení či mechanismu lze určit podle tzv. rozměrových řetězců.

Rozměrový řetězec je uzavřený řetězec vzájemně vázaných rozměrů, které jsou v určité posloupnosti, rozhodující pro vzájemnou polohu ploch či os jedné nebo více součástí.

Rozměry jednotlivých součástí jsou členy rozměrového řetězce, tj. rozměry, kdy součet všech členů rozměrového řetězce dává buď celkový požadovaný rozměr, nebo se liší od žádaného celkového rozměru přesahem, případně vůlí.

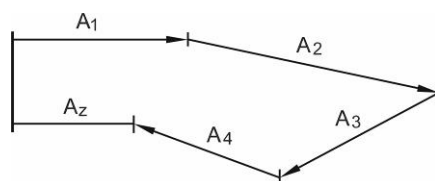
Rozměrové řetězce z hlediska vzájemné polohy, směru a velikosti členů mohou být následujících typů:

- lineární řetězec (všechny členy řetězce jsou rovnoběžné, jak je schématicky znázorněno na obr. 1.6.8),



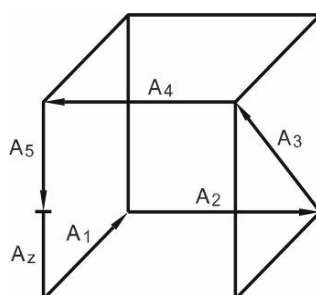
Obr. 1.6.8. Schéma lineárního řetězce rozměrů

- rovinný řetězec (má některé nebo všechny členy řetězce v rovnoběžných směrech, ale v jedné nebo více rovnoběžných rovinách viz obr. 1.6.9),



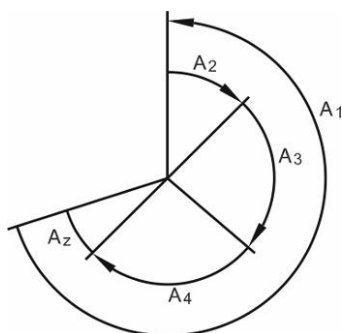
Obr. 1.6.9. Schéma rovinného řetězce rozměrů

- prostorový řetězec (má několik nebo všechny členy řetězce v různoběžných směrech a v různoběžných rovinách viz obr. 1.6.10),



Obr. 1.6.10. Schéma prostorového řetězce rozměrů

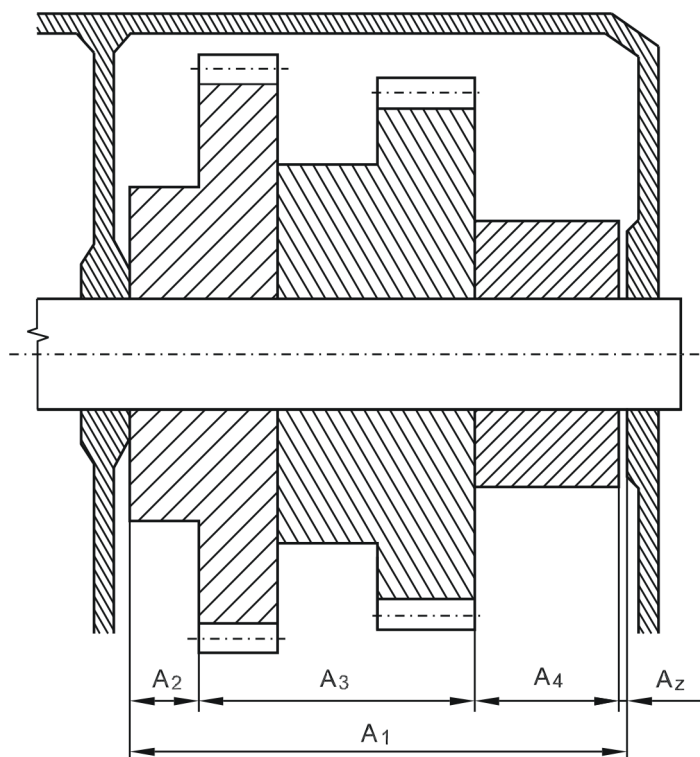
- úhlový (má všechny členy řetězce v úhlové míře a se společným vrcholem viz obr. 1.6.11). Může být rovinného nebo prostorového typu.



Obr. 1.6.11. Schéma úhlového řetězce rozměrů

Členy rozměrového řetězce můžeme rozdělit na výchozí, uzavírací a spojovací. V případě výchozích a uzavíracích členů je přesnost rozměrů určena úchytkami od přesnosti všech ostatních členů rozměrového řetězce. Jestliže tímto členem řetězec začíná, nazývá se výchozí, jestliže jím končí, pak je to člen uzavírací. Uzavírací člen je zakreslen na obr. 1.6.12 pod označení  $A_z$ .

Naopak spojovací členy jsou všechny ostatní členy řetězce kromě členu výchozího nebo uzavíracího, jejichž přesnost rozměrů má vliv na změnu přesnosti rozměrů uzavíracího členu. Spojovací členy mohou zvětšovat nebo zmenšovat celkový rozměr, přičemž zvětšující člen je člen, při jehož zvětšení se zvětší závěrný člen, zmenšující člen je člen, při jehož zvětšení se zmenší závěrný člen.



Obr. 1.6.12. Lineární rozměrový řetězec

Cílem řešení rozměrového řetězce je stanovit mezní rozměry nebo mezní úchytky od jmenovitých hodnot dílčích rozměrů podle výrobních nebo konstrukčních požadavků, příp. změnit tolerance tak, aby bylo vyhověno požadavkům technické a montážní dokumentace.

Pro výpočet jmenovité hodnoty závěrného členu  $A_z$  lineárního řetězce obecně platí:

$$A_z = \sum_{i=1}^n A_i^{\mathbf{r}} - \sum_{j=n+1}^{m-1} A_j^{\mathbf{s}}, \text{ kde} \quad (1.6.2)$$

$\sum_{i=1}^n A_i^{\mathbf{r}}$  je součet jmenovitých rozměrů všech  $n$  zvětšujících členů

$\sum_{j=n+1}^{m-1} A_j^{\mathbf{s}}$  je součtem všech  $(m-n-1)$  zmenšujících členů řetězce. Celkový počet členů řetězce včetně

závěrného je označen  $m$ .

Dosazením skutečných rozměrů do rovnice (1.6.2), tj. rozměrů zjištěných při měření za jmenovité hodnoty, mohou nastat dva mezní případy, při kterých:

- maximální hodnotu závěrného členu lze vypočítat dosazením maximálních rozměrů všech zvětšujících členů a minimálních rozměrů všech zmenšujících členů:

$$A_{z_{\max}} = \sum_{i=1}^n A_{i_{\max}}^{\mathbf{r}} - \sum_{j=n+1}^{m-1} A_{j_{\min}}^{\mathbf{s}} \quad (1.6.3)$$

- minimální hodnotu závěrného členu lze vypočítat dosazením minimálních rozměrů všech zvětšujících členů a maximálních rozměrů všech zmenšujících členů:

$$A_{z_{\min}} = \sum_{i=1}^n A_{i_{\min}}^{\mathbf{r}} - \sum_{j=n+1}^{m-1} A_{j_{\max}}^{\mathbf{s}} \quad (1.6.4)$$

Pro lineární obvody platí, že tolerance závěrného členu  $T_{AZ}$  je dána rozdílem maximální  $A_{z_{\max}}$  a minimální  $A_{z_{\min}}$  hodnoty závěrného členu a rovná se součtu tolerancí všech členů řetězce:

$$T_{AZ} = A_{z_{\max}} - A_{z_{\min}}, \quad (1.6.5)$$

a po úpravě:

$$T_{AZ} = \sum_{i=1}^n T_{A_i^{\mathbf{r}}} - \sum_{j=n+1}^{m-1} T_{A_j^{\mathbf{s}}} = \sum_{k=1}^{m-1} T_{A_k}. \quad (1.6.6)$$

Z výše uvedené rovnice je zřejmé, že pro lineární řetězce se tolerance závěrného členu rovná součtu tolerancí všech jeho členů. Z rovnice (1.6.6) dále vyplývá, že se zvětšujícím se počtem členů v rozměrovém řetězci roste počet sčítanců  $T_{A_i}$ , což má za následek buď zmenšování tolerance jednotlivých členů řetězce tak, aby tolerance závěrného členu zůstala konstantní, nebo při zachování hodnot tolerancí jednotlivých členů ke zvětšování tolerance závěrného členu.

Z popsané analýzy rozměrových obvodů plyne pravidlo nejkratší řady. Dílčí úlohy řešení přesnosti vzájemné polohy ploch a os jednotlivých součástí je nutno stejně jako při obrábění dílce řešit aplikací rozměrových řetězců s minimálním počtem členů.

## q Metody montáže

Předepsanou přesnost při montáži součástí lze zajistit níže popsanými způsoby montáže. Volba metody řešení rozměrových řetězců je určena konstrukčními zvláštnostmi součástí a druhem výroby. Způsoby řešení těchto řetězců, které ovlivňují metody montáže, jsou následující:

- úplná vyměnitelnost součástí,
- částečná vyměnitelnost součástí,
- výběr (selekce) součástí,

- kompenzační (pevný člen),
- regulační (pohyblivý člen),
- lícování (úprava).

### **Metoda úplné vyměnitelnosti součástí**

Tato metoda umožňuje montáž všech součástí, které tvoří jednotlivé členy rozměrového řetězce, zhotovených v předepsaných rozměrech a tolerancích, bez předchozího výběru či přizpůsobení a plně zabezpečuje přesnost závěrného členu. Montáž na základě úplné vyměnitelnosti součástí může být organizována v hromadné a velkosériové výrobě.

Mezi výhody této metody montáže patří jednoduchá technologická příprava montáže (členění, mechanizování montážních prací, normování práce), jednoduchá a hospodárná montáž (bez výběru a přizpůsobování, nižší kvalifikace pracovní síly, stabilní čas montáže), snadná mechanizace a automatizace montáže, možnost kooperace výroby, jednoduchá údržba a opravy výrobku na základě vyměnitelných náhradních dílů, snadné vybavení náhradními díly.

Nevýhodou metody je naopak zvyšující se nároky na přesnější výrobní metody, přípravky a měřidla, delší výrobní časy a s tím související zvyšování nákladů na výrobu součástí s požadovanou přesností.

### **Metoda částečné vyměnitelnosti součástí**

Metoda částečné vyměnitelnosti součástí vychází z úvahy, že skutečné rozměry každého členu rozměrového řetězce (i závěrného) jsou vlivem nahodilých chyb rozloženy v celé širší tolerančního pole, ale s rozdílnou četností výskytu, tj. krajní hodnoty jsou méně početné než střední.

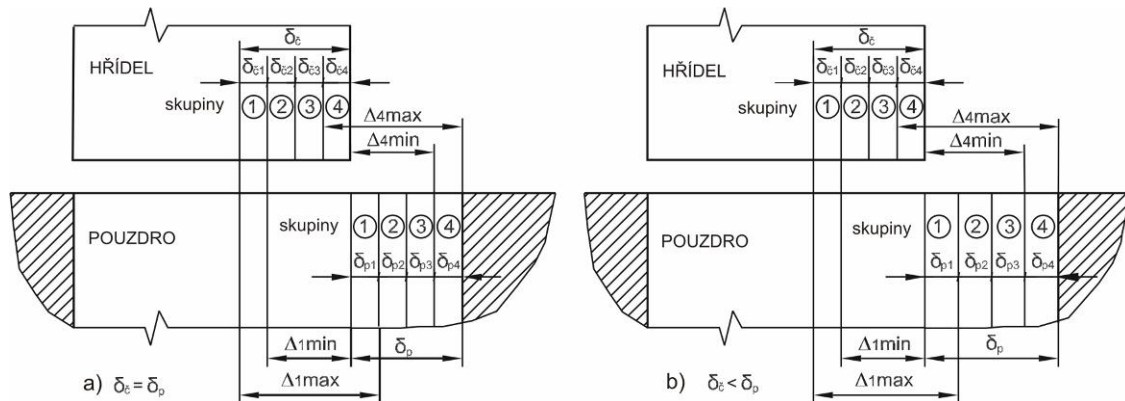
Dále je zřejmé, že pravděpodobnost vzájemného setkání extrémních rozměrů klesá se zvětšujícím se počtem členů v řetězci. Navíc, čím větší je počet jednotlivých členů, tím u nich může být stanovena širší tolerance. Součásti jsou v rámci této metody vyráběny ve větších tolerancích a vymezení vůle či přesahu se řeší výpočtem, který bere v úvahu riziko, že stanovených hodnot nebude dosaženo.

Výhodou metody částečné vyměnitelnosti je možnost volby větších tolerancí součástí (snížování výrobních nákladů), jednoduchá a hospodárná montáž. Nutnost zřízení pracovních míst pro případné dolíčování součástí, jejichž tolerance náhodně nevyhovují rozměrovému řetězci, patří ke stěžejním nevýhodám. Vhodné je vybavit automatické montážní stroje zařízením na měření úchylek a blokovacím zařízením pro vyřazení nevyhovujících součástí.

### **Metoda výběrová (selektivní)**

Tato metoda je užívána tehdy, je-li požadovaná vůle nebo přesah vzhledem k pracovním podmínkám tak malá, že je z technologického hlediska obtížné dodržet tolerance hlavních rozměrů součástí. V tomto případě se součásti zhotovují s většími tolerancemi a předepsané přesnosti celku se dosahuje přesným měřením a příslušnou volbou vnějších a vnitřních součástí.

Volba se usnadňuje rozdělením součástí do skupin podle jejich skutečných rozměrů (viz obr. 1.6.13). Dané skupiny se vytvoří rozdělením tolerančních polí spojovaných součástí na stejný počet dílů. Charakteristickými příklady užití metody mohou být valivá ložiska, vstřikovací čerpadla, montáž pístních čepů s písty, montáž kroužků a pístů s válci motorů apod. Metoda se dělí na montáž s předběžným výběrem součástí do rozměrových skupin, a to s úplným výběrem (třídění všech součástí) a částečným (třídění vybraných součástí) výběrem.



Obr. 1.6.13. Princip výběrové metody na příkladu čepu a pouzdra

Nevýhoda metody spočívá ve vyšší rozpracovanosti montáže (četnost výskytu jednotlivých rozměrů součástí vhodných k montáži není vždy stejná) a v nutnosti měření všech součástí při jejich třídění do skupin.

#### Metoda kompenzační (pevný člen)

Metoda kompenzační využívá možnosti dosažení tolerance závěrného členu, a to vložení určitého počtu kompenzačních prvků do rozměrového řetězce. Vůle se vymezí vložení pevného kompenzátoru potřebných rozměrů.

Výhoda metody je především v odstranění dodatečného přizpůsobování závěrných členů rozměrového řetězce. Nevýhodou je zvýšení počtu členů řetězce. Metoda se využívá zejména v kusové a malosériové výrobě v případech, kdy přizpůsobovací práce na montáži by byly značně nákladné.

#### Metoda regulační (pohyblivý člen)

Metoda je založena na obdobném principu jako metoda kompenzační a tudíž využívá možnosti dosažení tolerance závěrného členu, a to změnou polohy určeného členu rozměrového řetězce (tzv. pohyblivý konstrukční kompenzátor). Pohyblivou kompenzační součástí může být např. stavěcí lišta, klín ve vodicích saních soustruhu, mechanismus regulace polohy vnějšího kroužku válečkového ložiska apod. Výhody a nevýhody metody jsou obdobné jako u metody kompenzační.

#### Metoda lícování

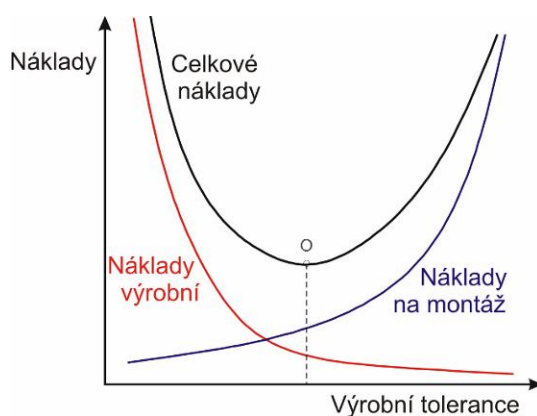
Tato metoda se používá v případech, kdy funkční požadavky na mechanismus zaručí pouze taková přesnost, kterou není možné ekonomicky dosáhnout při dané úrovni výroby. Součásti jsou vyrobeny s ekonomicky přípustnými rozšířenými tolerancemi a přesnosti mechanismu se pak dosáhne dodatečným přilícováním jednoho z předem vybraných součástí. Součást, u které se změnou jejího rozměru dosáhne konečné přesnosti spojení, se nazývá vyrovnávací neboli kompenzační. Přilícování se provádí pilováním, smirkováním, zaškrabáváním, broušením nebo leštěním.

Výhoda metody spočívá v dosažení předepsané přesnosti montáže při poměrně širokých tolerancích všech členů spojení a oproti jiným metodám nižších nákladech na strojní vybavení. Nevýhodou metody jsou dodatečné přizpůsobovací práce na montáži a potřeba vyšší kvalifikace operátorů, kteří tyto práce provádějí. Metoda lícování je používána v kusové a malosériové výrobě a při opravách strojů.

#### q Přesnost výroby a její vliv na náklady montáže

Značný podíl pracnosti při montáži připadá na přizpůsobovací práce. Jejich omezení, nebo v ideálním případě úplné vyloučení, závisí na kvalitě výroby spojovaných součástí a jejich přesnosti. Pod pojmem přesnost je nutno komplexně vnímat velikost tolerancí úchylek rozměrů, tvarů a polohy ploch. Právě volba přesnosti je závažným problémem pro každého konstruktéra.

Nároky výroby na přesnost jsou rozdílné podle druhu výrobku a typu výroby. Rozměrová tolerance je rozdíl mezi horním mezním rozměrem a dolním mezním rozměrem. Závislost výrobních nákladů na velikosti tolerance rozměrů je možno posoudit z obr. 1.6.14.



Obr. 1.6.14. Závislost nákladů na výrobní toleranci součásti

Na obrázku je zřejmý hyperbolický nárůst nákladů na výrobu součástí při zmenšování jejich rozměrových tolerancí a progresivní růst nákladů na jejich montáž při zvětšování rozměrových tolerancí. Poloha minima křivky celkových nákladů (součtová křivka) je závislá na tvaru obou dílčích křivek, a to na křivce nákladů na výrobu a montáž. Minimum na součtové křivce určuje velikost optimální tzv. hospodárné tolerance.



## Shrnutí kapitoly

Tato kapitola byla zaměřena na finální proces výroby součástí – **montáž**. Dozvěděli jste se jednotlivé **druhy a metody montáže**. Dále jste se naučili **rozpoznávat a řešit rozměrové řetězce** a v neposlední řadě i **vliv přesnosti výroby** na konečné **náklady montáže**.



## Kontrolní otázka

1. Jaké jsou druhy montáže?
2. Definujte proudovou montáž.
3. Definujte rozčleněnou montáž.
4. Definujte soustředěnou montáž.
5. Definujte předmětnou montáž.
6. Definujte linkovou montáž.
7. Co je rozměrový řetězec?
8. Jaké znáte rozměrové řetězce?
9. Co je to metoda úplné vyměnitelnosti součástí?
10. Co je to metoda částečné vyměnitelnosti součástí?
11. Co je to metoda selektivní?
12. Co je to metoda kompenzační?

13. Co je to metoda regulační?
14. Co je to metoda lícování?
15. Kolik procent z celkové ceny součásti může představovat montáž?



### Úkol k řešení

1. Nakreslete schéma členění výrobního procesu.
2. Nakreslete schéma předmětné a linkové montáže.
3. Nakreslete schéma soustředěné, rozčleněné a proudové montáže.
4. Nakreslete schémata všech rozměrových řetězců.
5. Nakreslete závislost nákladů na výrobní toleranci součásti.





## Použitá a doporučená literatura k dalšímu studiu

1. BILÍK, O. *Obrábění I. (2.Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2002. 80 s. ISBN 80-248-0033-0.
2. BILÍK, O. *Obrábění II. (1.Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 1994. 132 s. ISBN 80-7078-228-5.
3. BILÍK, O. *Obrábění II. (2.Díl)*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2001. 118 s. ISBN 80-7078-994-1.
4. BRYCHTA, J. *Obrábění I. Návody pro cvičení 1. část*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 1998. 84 s. ISBN 80-7078-436-9.
5. BRYCHTA, J. *Obrábění I. Návody pro cvičení 2. část*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 1998. 120 s. ISBN 80-7078-470-9.
6. BRYCHTA, J. *Výrobní stroje obráběcí*. Ostrava: Vysoká škola báňská – TU Ostrava, 2003. 150 s. ISBN 80-248-0237-6.
7. HOFMAN, P. *Technologie montáže*. Plzeň: Vydavatelství Západočeské univerzity Plzeň, 1997. 90 s. ISBN 80-7082-382-8.
8. KOCMAN, K. *Speciální technologie obrábění*. Brno: PC-DIR Real, s.r.o., 1993. 213 s. ISBN 80-214-1187-2.
9. KOCMAN, K., PROKOP, K. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERN Brno, s.r.o., 2001. 274 s. ISBN 80-214-196-2.
10. KŘÍŽ, R., VÁVRA, P. a kol. *Strojírenská příručka*. Praha: Scientia, spol. s r. o., 1996. 220 s. ISBN 80-7183-024-0.
11. TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie část 1*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2004. 112 s. ISBN 80-248-0672-X.
12. VIGNER, M., PŘIKRYL, Z. a kol. *Obrábění*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1984. 808 s.
13. VLACH, B. a kol. *Technologie obrábění a montáží*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1990. 472 s. ISBN 80-03-00143-9.
14. HAVRILA, M., ZAJAC, J., BRYCHTA, J., JURKO, J. *Top trendy v obrábění 1. část – Obráběné materiály*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
15. JURKO, J., ZAJAC, J., ČEP, R., *Top trendy v obrábění 2. část – Nástrojové materiály*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
16. VASILKO, K., HAVRILA, M., NOVÁK – MARCINČIN, J., MÁDL, J., ZAJAC, J. *Top trendy v obrábění 3. část – Technologická obrábění*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
17. MONKA, P., PAULIKOVÁ, A. *Top trendy v obrábění 4. část – Upínání, přípravky a meradlá*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2007. ISBN 80-968954-2-7.
18. PŘIKRYL, Z., MUSÍLKOVÁ, R. *Teorie obrábění*. Praha : SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1971. 200 s.
19. HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-1cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-1cast.pdf)>.
20. HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 2. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. 94 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-2cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-2cast.pdf)>.
21. HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 3. část*. Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program "Strojírnoství". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005. 57 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-3cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-3cast.pdf)>.

22. HUMÁR, A. *Výrobní technologie II* [online]. Studijní opory pro podporu samostudia v oboru "Strojírenská technologie" BS studijního programu "Strojírenství". VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2002. 84 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobníTechnologie\\_II.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobníTechnologie_II.pdf)>.
23. AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praxi*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cutting - A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6.
24. STEPHENSON, D. A., AGAPIOU, J. S. *Metal Cutting Theory and Practice*. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996. 905 s. ISBN 0-8247-9579-2.
25. VASILKO, K., NOVÁK – MARCINČIN, J., HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove, 2003. 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
26. PILC, J., STANČEKOVÁ, D. *Základy stavby obrábacích strojov*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2004. 110 s. ISBN 80-8070-281-0.
27. VASILKO, K., HRUBÝ, J., LIPTÁK, J. *Technológia obrábania a montáže*. Bratislava: Alfa, š. p., 1991. 494 s. ISBN 80-05-00807-4.



## CD-ROM

Informace o doplňujících animacích, videosekvencích apod., které si může student vyvolat z CD-ROMu připojeného k tomuto materiálu

**OBSAH:**

<b>2.</b>	<b>SOUČASNÁ TEORIE OBRÁBĚNÍ.....</b>	<b>135</b>
2.1.	URČOVÁNÍ ŘEZIVOSTI A OBROBITELNOSTI.....	136
q	Významné charakteristiky obrobitelnosti materiálů.....	136
q	Způsoby krátkodobého stanovování obrobitelnosti materiálů.....	137
q	Obrobitelnost z pohledu měrného řezného odporu.....	137
q	Zákonitosti procesu obrábění a obrobitelnosti.....	138
q	Hodnocení obrobitelnosti materiálů.....	139
q	Materiál a jeho obrobitelnost.....	141
q	Porovnání obrobitelnosti.....	144
q	Efektivní metoda krátkodobého určení obrobitelnosti.....	145
q	Zhodnocení průběhu měření obrobitelnosti.....	150
2.2.	TEORIE VZNIKU A TVORBY TŘÍSKY.....	152
q	Vstupní charakteristiky procesu třískového obrábění.....	152
q	Stabilita řezného procesu a tuhost soustavy stroj – nástroj – obrobek.....	153
q	Integrita povrchu a charakteristické veličiny třískového obrábění.....	155
q	Vznik třísky a její tvarování.....	155
q	Plastická deformace při ortogonálním řezání.....	156
q	Tvorba třísky u klasického obrábění.....	156
q	Tvorba třísky u vysokorychlostního obrábění.....	158
q	Oblasti deformací.....	160
2.3.	VLIV ŘEZNÝCH PARAMETRŮ NA TVORBU TŘÍSKY.....	164
q	Tvářená tříska.....	164
q	Plastická tříska.....	165
q	Měrná řezná síla.....	166
2.4.	KRITÉRIA V OPTIMALIZACI ŘEZNÝCH PARAMETRŮ.....	172
q	Konvenční optimalizace.....	172
q	Kritérium minimálních výrobních nákladů.....	172
q	Kritérium maximální produktivity.....	181
q	Vícekritériální optimalizace.....	182
q	Kritérium maximálního zisku.....	182
q	Kritérium maximálního úběru.....	182
2.5.	OMEZENÍ V OPTIMALIZACI ŘEZNÝCH PARAMETRŮ.....	185
q	Omezení dané výkonem obráběcího stroje.....	185
q	Omezení dané maximálně přípustným kroutícím momentem.....	186
q	Omezení dané maximálně přípustnou silou řezání.....	187
q	Omezení dané vhodným utvářením třísky.....	187
q	Omezení dané požadovanou drsností obrobené plochy.....	187
q	Omezení dané požadovanou přesností obrobené plochy.....	188
q	Omezení dané minimálními a maximálními otáčkami stroje.....	188
q	Omezení dané minimálním a maximálním posuvem stroje.....	189
q	Omezení dané komplexním Taylorovým vztahem.....	189
q	Komplexní omezující podmínka.....	189
q	Organizační omezení.....	190
q	Oblast přípustných řešení.....	190
q	Optimální trvanlivosti z hlediska minimálních výrobních nákladů.....	191
q	Optimální trvanlivost bez uvažování omezujících podmínek.....	191
q	Optimální trvanlivost s respektováním omezujících podmínek.....	191

## 2. SOUČASNÁ TEORIE OBRÁBĚNÍ

### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

<p><b>Budete umět:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obecné pojmy a terminologii obrobitelnosti</li> <li>• Popsat různé způsoby stanovení obrobitelnosti a řezivosti</li> <li>• Stanovit základní kritéria obrobitelnosti, součinitel obrobitelnosti.</li> <li>• Určit základní parametry obrobené plochy</li> <li>• Jak vzniká a jak se utváří tříska při obrábění</li> <li>• Jak vzniká tříska v podmínkách HSC (vysokorychlostního obrábění)</li> <li>• Jaký je vliv řezných parametrů na utváření třísky (měrný řezný odpor)</li> <li>• Vypočítat síly při obrábění, resp. jejich složek několika způsoby (pomocí řezného odporu a průřezu třísky, pomocí empirických vztahů)</li> <li>• Definovat základní kriteria optimalizace (kritérium minimálních výrobních nákladů, kritérium maximální produktivity, kritérium maximálního zisku)</li> <li>• Určit omezení v optimalizaci řezných parametrů (dané výkonem obráběcího stroje, maximálním kroutícím výkonem, maximálně přípustnou silou řezání, vhodným utvářením třísky, požadovanou drsností obrobené plochy, požadovanou přesností obrobené plochy...)</li> </ul>	<p>Budete umět</p>
<p><b>Budete schopni:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zhodnotit průběh měření obrobitelnosti</li> <li>• Rozeznat tvarování třísky u klasického a vysokorychlostního obrábění.</li> <li>• Určit základní oblasti deformací</li> <li>• Určit vlivy řezných parametrů na vznik a tvorbu třísky, na čem závisí a jak se dají určit.</li> <li>• Optimalizovat řezné podmínky podle různých kritérií</li> </ul>	<p>Budete schopni</p>

- 2.1 Určování řezivosti a obrobitelnosti ( 10 otázek)
- 2.2 Teorie vzniku a tvorby třísky ( 10 otázek)
- 2.3 Vliv řezných parametrů na utváření třísky ( 8 otázek)
- 2.4 Kritéria v optimalizace řezných parametrů (7 otázek)
- 2.5 Omezení v optimalizace řezných parametrů ( 5 otázek)

## 2.1. Určování řezivosti a obrobitelnosti



**Čas ke studiu:** 15 hodin



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Obecné pojmy a terminologii obrobitelnosti
- Popsat různé způsoby stanovení obrobitelnosti
- Stanovit obrobitelnost dle základních kritérií



**Výklad**

S ohledem k nezvratným skutečnostem je obrobitelnost vlastností relativní. Proto se pro sledovaný materiál stanovuje porovnáváním s materiálem jiným, obráběným stejným nástrojem za stejných pracovních podmínek. Srovnávacím kritériem pak zpravidla bývá teplota řezání, méně často utváření třísky, velikost síly řezání (odporů), jakost povrchu obrobené plochy anebo velikost řezné rychlosti při zvolené trvanlivosti  $v_T$  (obvyklé hodnoty trvanlivosti: 45, 30 nebo 15 minut, což se k doposud stále platné „ČSN normě“ i v současnosti jeví jako objektivní).

Posuzujeme-li obrobitelnost jako hodnotou  $v_T$ , jedná se prakticky o vyhodnocování úběru obráběného materiálu (velikost objemu materiálu odebraného za jednotku času) pomocí přesně specifikovaného řezného nástroje při smluveném konstantním průřezu třísky (např. pro podélné soustružení: hloubka třísky  $a_p = 2$  mm, posuv na otáčku  $f = 0,25$  mm), a to v daném řezném prostředí.

Z hlediska technologie obrábění je obrobitelnost jednou z nejdůležitějších vlastností materiálu. V obecném smyslu ji pak lze definovat jako míru schopnosti daného materiálu „nechat se zpracovávat“ určitou metodou obrábění. Je hlavním činitelem, která ovlivňuje volbu řezných podmínek pro funkci nástroje při všech metodách obrábění.

### q Významné charakteristiky obrobitelnosti materiálu

Obrobitelnost závisí na mnoha faktorech, z nichž nejdůležitější jsou:

- způsob výroby a tepelné zpracování obráběného materiálu,
- mikrostruktura obráběného materiálu,
- chemické složení obráběného materiálu,

- fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu,
- **technologické vlastnosti** obráběného materiálu
- metoda obrábění,
- pracovní prostředí,
- geometrie nástroje,
- druh a vlastnosti nástrojového materiálu.

#### □ Způsoby krátkodobého stanovování obrobiteľnosti materiálů

Krátkodobé a přesné stanovování obrobiteľnosti materiálu zejména třískovým obráběním s definovatelnou řeznou geometrií břitu nástroje je při současném bouřlivém vývoji neustále nově vyvíjených vysoce pevných, tvrdých a přitom zvláště houževnatých technických materiálů na programu dne.

Je vhodné na tomto místě uvést, že v ekologickém obrábění se v současnosti stále častěji objevují vysoce pevné a tvrdé materiály, které přímo vyžadují obrábění „za sucha“.

Svou neodbytností přímo provokuje vyvíjení dalších ještě progresivnějších řezných materiálů. Tyto jsou pak schopny, za optimálních řezných, ale i mnoha dalších technologických podmínek obrábět ještě progresivněji.

#### Vybrané možnosti hodnocení obrobiteľnosti:

- vzhledem k míře závislosti na řezné rychlosti,
- dosažené drsnosti obrobené plochy,
- velikosti opotřebení břitu nástroje,
- **množství energie potřebné k odřezání** dané vrstvy **materiálu**,
- ve vztahu k dosahované teplotě řezání.

#### □ Obrobiteľnost z pohledu měrného řezného odporu

Pro posouzení obrobiteľnosti z pohledu spotřebovaného **množství energie**, která je nezbytná k odřezání určitého objemového množství materiálu se přímo nabízí metoda měření jednotlivých složek síly obrábění, konkrétně při podélném vnějším soustružení.

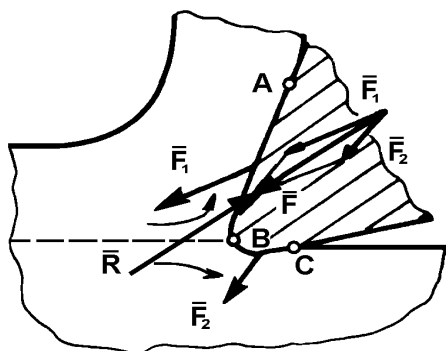
Jak je teorií obrábění proklamováno a odbornou veřejností na základě četných experimentů dokazováno, spotřebované množství energie nutné k odebrání určitého objemu materiálu s povrchu obrobku je závislé na jeho fyzikálních vlastnostech. Tato závislost je s (rostoucími – neustále vývojem zdokonalovanými, v poslední době až „protichůdnými“) fyzikálními vlastnostmi přímo úměrná.

S rostoucí pevností a tvrdostí obráběného materiálu (při jinak neměnných parametrech řezání) roste jeho měrný řezný odpor vůči řeznému klínu (břitu) nástroje. Roste tedy také „obtížnost jeho obrábění“ (technická, technologická, energetická, časová, nákladová a z toho plynoucí finanční náročnost). Obráběný materiál se s rostoucími užitnými vlastnostmi zpravidla stává nesnadněji či obtížněji obrobiteľným.

Chceme-li tuto „ortodoxní“ teoretickou zákonitost při třískovém obrábění těchto „supermateriálů“, „elegantním způsobem obejít“, musíme „posunout“ rozhodující řezné parametry do

oblasti HSC- „vysokorychlostního obrábění“ , tedy obrábět vysokými řeznými ( $v_c$ ), ale zejména dostatečně velkými rychlostmi posuvu ( $v_f$ ).

#### q Zákonitosti procesu obrábění a obrobitelnosti



Síla obrábění a její složky jsou výhradně jevem dynamickým. Při obrábění v závislosti na čase kolísá jejich okamžitá velikost  $F_{ok}$ , a to i při obrábění za konstantních řezných podmínek (nutnost několikrát experimentální měření opakovat). Kolísání je způsobeno zejména rozptylem mechanických vlastností obráběného (testovaného) materiálu a mechanikou tvorby třísky.

Síla řezání  $F$  je výslednicí dvou složek (viz obr. 2.1.1), a to aktivní složky  $F_1$  a složky pasivní  $F_2$ . Sílu řezání i její složky pak dále rozkládáme (viz obr. 2.1.1).

Obr. 2.1.1 Síla řezání a její rozklad při soustružení

Poměr velikostí jednotlivých složek je dán zejména určitou technologií obrábění a geometrií nástroje. Ze všech složek síly řezání má zpravidla největší význam řezná (tangenciální) složka  $F_c$ . Je základem pro formulaci omezujících podmínek při optimalizaci řezných parametrů.

Pasivní (radiální) složka síly soustružení  $F_p$  (působící v rovině zadní  $P_p$ ) je zachycována tuhostí soustavy stroj-nástroj-obrobek a vyvolává deformace tohoto systému. Složka axiální  $F_f$  (osová,), působící v rovině boční  $P_f$  (ve směru posuvu nástroje) představuje rozhodující část posuvové síly.

Poměr velikosti jednotlivých složek např. síly soustružení je pro poměrně „často používanou“ řeznou geometrii přibližně roven  $F_c : F_p : F_f = 1 : 0,4 : 0,25$ . Jiné geometrie samozřejmě mají toto rozložení odlišné.

Složky síly řezání (obrábění - soustružení) jsou vzájemně kolmé a platí pro ně:

$$F_e = (F_c^2 + F_p^2 + F_f^2)^{\frac{1}{2}} \quad (\square)$$

Měrná síla obrábění  $p$  (měrný řezný odpor) je velikost řezné (cuttingové) složky síly obrábění  $F_c$ , vztažená na  $1 \text{ mm}^2$  odřezávaného průřezu třísky  $S$ .

$$p = \frac{F_c}{S} = \frac{R_c}{S} \quad [\text{MPa}, \text{N.mm}^{-2}] \quad (2.1.2)$$

Ze znalosti měrné síly obrábění  $p$  daný případ obrábění a ze znalosti průřezu  $S$  můžeme určit velikost řezné složky síly řezání - obrábění  $F_c$ . Měrná síla obrábění závisí na obráběném materiálu, tloušťce odřezávané vrstvy, rychlosti obrábění, řezné geometrii, řezném prostředí, velikosti opotřebení břitu, event. (a to ne nepodstatně) na dalších parametrech.

Obrobitelnost a řezivost spolu úzce (neoddělitelně) souvisí a řada kritérií obrobitelnosti je současně i kritérii řezivosti. Z hlediska charakteristik obrobitelnosti a řezivosti je možné obrobitelnost a řezivost rozdělit na obrobitelnost a řezivost **absolutní** a **relativní**.

**Relativní obrobitelnost, resp. řezivost** jsou charakterizovány bezrozměrnými čísly, které udávají poměr velikostí určité veličiny, a sice poměr velikosti této veličiny vztahující se k danému

materiálu obrobku, resp. k nástroji a velikostí této veličiny odpovídající **etalonovému** (referenčnímu) materiálu obrobku, resp. nástroji.

**Absolutní obrobiteľnosť**, resp. řezivost jsou charakterizovány buď funkčním vztahem a parametry spolu souvisejícími nebo určitou velikostí dané veličiny charakterizující obrobiteľnosť, resp. řezivost.

Obrobiteľnosť, resp. řezivost hodnotíme především z hlediska intenzity opotřebování břitu, dále též z hlediska teplotního, **silového**, technologického a kvalitativního. Nejčastěji vycházíme z intenzity opotřebování břitu.

Nejdůležitějším kritériem tohoto typu je komplexní **Taylorův vztah**. Dalšími kritérii jsou jednoduchý Taylorův vztah a hodnota řezné rychlosti  $v_T$  odpovídající určité trvanlivosti břitu, což patří do absolutní kategorie.

K relativním charakteristikám, které vycházejí z intenzity opotřebování břitu, patří především **index obrobiteľnosti**

$$K_v = \frac{C_{v_{zk.mat}}}{C_{v_{et.mat}}} \cdot T \left( \frac{1}{m_{et}} - \frac{1}{m_{zk}} \right) \quad (2.1.3)$$

kde  $v_{T/VB}$  (pro náš případ) odpovídá  $v_{15zk}$  [m.min<sup>-1</sup>], což je řezná rychlost  $v_c$  při trvanlivosti  $T = 15$  minut pro zkoušený (sledovaný) materiál,

$v_{T/VB}$  (pro náš případ) odpovídá  $v_{15et}$  [m.min<sup>-1</sup>] je řezná rychlost  $v_c$  při trvanlivosti  $T = 15$  minut pro referenční (etalonový) materiál.

Uvedené charakteristiky, zvláště pak při neustále vyvíjených nových, vysoce výkonných řezných „super materiálech“ a stoupajících cenách, se vyšetřují (zjišťují) časově i nákladově náročnými zkouškami, a proto je snaha nahradit je jinými charakteristikami, spojenými s menší experimentální náročností.

Řešitelé nemají v tomto případě na mysli např. jednoduchý Taylorův vztah a hodnotu  $v_T$  zjištěnou obráběním zvýšenou řeznou rychlostí, tedy rychlostí, která neodpovídá optimální trvanlivosti nástroje. Rovněž ani neuvažují sníženou velikost opotřebením břitu nebo obrábění nástrojem se sníženou řezivostí.

## q Hodnocení obrobiteľnosti materiálu

V současnosti se stále častěji objevuje řada nových materiálů a s nimi také řada vstávajících problémů ve výrobní praxi. Obrobiteľnosť materiálů je komplexní pojem, který vypovídá zejména o mechanických a fyzikálních vlastnostech materiálu, o chemickém složení materiálu, jeho struktuře, ale také způsobu výroby polotovaru.

Ve výrobě jsou na obrobiteľnosti závislé kvalitativní parametry procesu obrábění, parametry integrity povrchu a zejména pro výrobu rozhodující ekonomické výsledky procesu. Významnou roli při obrábění rovněž hraje nejen použitý způsob obrábění, ale zejména použitý materiál a geometrie řezného nástroje.

Hodnocení obrobiteľnosti je možno provádět na základě:

- řezné rychlosti (kinematická obrobiteľnosť)



- dosažené drsnosti obrobené plochy
- velikosti opotřebení bříty nástroje
- množství energie potřebné k odřezání dané vrstvy materiálu
- teploty řezání
- druhu a tvaru tvořící se třísky

Obrobitelnost je důležitou technologickou vlastností, proto je významné její zjišťování. Jako kritérium pro hodnocení obrobitelnosti se dnes využívá hodnot řezné rychlosti pro zvolenou trvanlivost a opotřebení označované jako  $v_{T/VB}$ . I když je možné využívat i jiné druhy opotřebení, je třeba vědět, ve kterém rozsahu řezné rychlosti je dané kritérium rozhodující. Metodika zkoušek představuje stanovení hodnoty  $v_{T/TB}$  ověřovaného materiálu a její porovnání s hodnotou materiálu etalonového. Postup zkoušek zahrnuje kontrolu vlastností obou materiálů a volbu nástrojů.

Význam pojmu „**obrobitelnost strojírenských materiálů**“ stále roste především při širším uplatňování automatizace a NC techniky s adaptivním řízením. V budoucnu bude požadováno, aby obrobitelnost každého materiálu měla jen malé odchylky od předpokládané hodnoty. Pokud tato podmínka nebude splněna, musí se začít uplatňovat systémy, které umožní třdit obráběné materiály s ohledem na odchylky od požadované obrobitelnosti. Z hlediska technologie obrábění ale stále zůstává jako základní problematika zjišťování a stanovení obrobitelnosti.

Tabulka č. 2.1.1 Mechanizmy poškození a opotřebení nástroje

MECHANIZMUS POŠKOZENÍ NÁSTROJE ZA PODMÍNEK			
Těžké hrubování	Hrubování	Polohrubování	Dokončování
Lom Vyštipování Deformace bříty	Vyštipování Deformace bříty Trhliny Žlábek	Plošné opotřebení Deformace bříty Žlábek	Deformace bříty Žlábek Plošné opotřebení

Ve spojitosti se zaváděním nákladných obráběcích strojů a center dochází ke zkracování hospodárné trvanlivosti nástrojů. Tyto se dnes pohybují v rozmezí 15 až 30 minut pro soustružení a až 60 minut pro frézování. S hodnotou trvanlivosti nástroje souvisí i otázky jeho opotřebení a volba vhodného kritéria opotřebení.

Výsledky výzkumných prací prokazují, že k opotřebení a poškození nástroje dochází v důsledku různých mechanismů, které probíhají různě. a to podle toho, zda se jedná o operaci hrubování, polohrubování, nebo dokončování. Vnější projevy těchto mechanismů uvádí tab. 2.1.1.

Z hlediska poškozování nástroje jsou proto významné tyto vlastnosti nástrojového materiálu: houževnatost a odolnost proti opotřebení.

## q Materiál a jeho obrobiteľnosť

Z hľadiska technológie obrábění je obrobiteľnosť jednou z nejdôležitejších vlastností materiálu a v obecném smyslu ji lze definovat jako *míru schopnosti daného konkrétního materiálu být zpracován některou z metod obrábění*. Je hlavním činitelem, který ovlivňuje volbu řezných podmínek pro funkci nástroje při všech metodách obrábění.

Obrobiteľnosť závisí na mnoha faktorech, z nichž nejdôležitejší jsou:

- způsob výroby a tepelné zpracování obráběného materiálu,
- mikrostruktura obráběného materiálu,
- chemické složení obráběného materiálu,
- fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu,
- metoda obrábění,
- pracovní prostředí,
- řezná geometrie nástroje,
- druh a vlastnosti nástrojového materiálu.

Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem je obrobiteľnosť vlastností **relativní** a pro daný sledovaný materiál *se určuje porovnáním s jiným materiálem, obráběným stejným nástrojem za stejných pracovních podmínek*. Srovnávacím kritériem pak může být teplota řezání, utváření třísky, velikost řezných sil (odporů), jakost povrchu obroběné plochy nebo, a to nejčastěji, velikost řezné rychlosti při zvolené trvanlivosti  $v_T$  (obvyklé hodnoty trvanlivosti: **45, 30** nebo **15** minut).

Pokud je obrobiteľnosť posuzována hodnotou  $v_T$ , jedná se prakticky o vyhodnocování úběru obráběného materiálu (velikost objemu materiálu odebraná za jednotku času) pomocí daného nástroje při smluveném konstantním průřezu třísky (např. pro podélné soustružení: hloubka třísky  $a_p = 2$  mm, posuv na otáčku  $f = 0,2$  mm), v daném řezném prostředí. Pro potřeby vyhodnocování obrobiteľnosti jsou technické konstrukční materiály rozděleny do devíti základních skupin, označovaných malými písmeny:

- a - litiny,
- b - oceli**,
- c - těžké neželezné kovy (měď a slitiny mědi),
- d - lehké neželezné kovy (hliník a slitiny hliníku),
- e - plastické hmoty,
- f- přírodní nerostné hmoty,
- g- vrstvené hmoty ,
- h - gumy
- v- tvrzené litiny pro výrobu válců.

V jednotlivých skupinách je vždy vybrán jeden konkrétní materiál, který slouží jako etalon obrobiteľnosti a ve vztahu k tomuto materiálu je pak stanovována relativní obrobiteľnosť všech ostatních materiálů celé skupiny. Například pro skupinu oceli je referenčním (etylénovým) materiálem ušlechtilá uhlíková ocel 12 050.1 podle ČSN 41 2050). Materiály každé skupiny jsou děleny do tříd a to na základě *součinitele (indexu) obrobiteľnosti*, daného např. vztahem:

$$K_v = \frac{v_{T/VB} \text{ zkoušeného materiálu}}{v_{T/VB} \text{ etalonového materiálu}} \quad , \quad (2.1.4)$$

$$\text{případně} \quad K_v = \frac{C_{v_{zk.mat}}}{C_{v_{et.mat}}} \cdot T \left( \frac{1}{m_{et}} - \frac{1}{m_{zk}} \right) \quad , \quad (2.1.5)$$

kde  $v_{T/VB}$  (pro náš případ) odpovídá  $v_{15zk}$  [m.min<sup>-1</sup>], což je řezná rychlost  $v_c$  při trvanlivosti  $T = 15$  minut pro zkoušený (sledovaný) materiál,

$v_{T/VB}$  (pro náš případ) odpovídá  $v_{15et}$  [m.min<sup>-1</sup>] je řezná rychlost  $v_c$  při trvanlivosti  $T = 15$  minut pro referenční (etalonový) materiál.

Třídy jsou označovány číslem umístěným před písmeno, které určuje danou skupinu materiálů (např. 11a. 14b. atd.). Odstupňování střední hodnoty indexu obrobiteľnosti v jednotlivých třídách je dáno geometrickou řadou s kvocientem  $q = 10^{1/10} = 1,26$  (třída referenčního (etalonového) materiálu má hodnotu  $q = 1$ ).

Znamená to, že hodnota řezné rychlosti  $v_{cT}$  v dané třídě je vždy 1,26 krát vyšší (nižší), než hodnota  $v_{cT}$  v sousední třídě. Materiály v třídách s nižším číslem, než má třída referenčního (etalonového) materiálu mají horší obrobiteľnost než referenční (etalonový) materiál. Materiály v třídách s vyšším číslem mají obrobiteľnost lepší.

Tabulka č.2.1.2 Hodnoty součinitele  $K_v$  (indexu) obrobiteľnosti pro jednotlivé třídy skupiny ocelí

Třída	$K_v$			Třída	$K_v$		
	vyjádřeno kvocientem	střední hodnota	rozsah		vyjádřeno kvocientem	střední hodnota	rozsah
1b	$1,26^{-13}$	0,050	0,045-0,054	11b	$1,26^{-3}$	0,50	0,45-0,56
2b	$1,26^{-12}$	0,065	0,055-0,069	12b	$1,26^{-2}$	0,63	0,57-0,71
3b	$1,26^{-11}$	0,080	0,070-0,089	13b	$1,26^{-1}$	0,80	0,72-0,89
4b	$1,26^{-10}$	0,10	0,09-0,11	<b>14b</b>	<b><math>1,26^0</math></b>	<b>1,00</b>	<b>0,90-1,12</b>
5b	$1,26^{-9}$	0,13	0,12-0,14	15b	$1,26^1$	1,26	1,13-1,41
6b	$1,26^{-8}$	0,16	0,15-0,17	16b	$1,26^2$	1,59	1,42-1,78
7b	$1,26^{-7}$	0,20	0,18-0,22	17b	$1,26^3$	2,00	1,79-2,24
8b	$1,26^{-6}$	0,25	0,23-0,28	18b	$1,26^4$	2,50	2,25-2,82
9b	$1,26^{-5}$	0,32	0,29-0,35	19b	$1,26^5$	3,15	2,83-3,55
10b	$1,26^{-4}$	0,40	0,36-0,44	20b	$1,26^6$	4,00	3,56-4,47

Relativně nejhorší obrobiteľnost (nejhůře se obrábějící) v dané skupině má vždy materiál zařazený do třídy s nejnižším číslem. Nejlepší obrobiteľnost má materiál zařazený do třídy s nejvyšším číslem. Příklad dělení skupiny oceli na třídy, včetně hodnot  $i_0$  (střední hodnota, rozsah hodnot, vyjádření hodnotou kvocientu geometrické řady) je uveden v tabulce č.2.1.2.

**Obrobiteľnost**, jak již bylo uvedeno, je především vlastností obráběného materiálu. Přesto však musí být posuzována v úzké souvislosti s řezivostí nástroje (nástrojového materiálu), který je použit pro zkoušky obrobiteľnosti. Tuzemská odborná literatura uvádí vlastnosti a třídy obrobiteľnosti pro téměř 500 druhů ocelí podle ČSN, k nimž přiřazuje 263 druhů ocelí podle DIN včetně čísla materiálu (WSN). Tyto údaje doplňuje 137 druhů ocelí, známých podle EN (Evropské normy).

Třídy obrobiteľnosti jsou značeny podle CNN a současně jsou porovnány s třídami obrobiteľnostmi uváděnými v katalogu firmy WIDIA (92 druhů ocelí). Oceli, které nebyly nalezeny v katalogu WIDIA, jsou převedeny pomocí porovnávací tabulky.

Obrobiteľnost materiálu je určována jako relativní, tj. srovnáním zkoušeného materiálu a referenčního (etalonového) materiálu. Podle CNN je pro oceli doporučován pouze jeden etalonový

materiál, a to ocel **12 050.1**. Na základě praktických zkušeností se ukazuje, že by bylo vhodné využívat pro každou třídu obrobitelnosti jiný referenční materiál. Doporučené materiály uvádí následující tabulka.

Tabulka č.2.1.3 Doporučené referenční (etalonové) oceli

Třída obrobitelnosti	18b/1	17b/2	16b/3	15b/4	14b/5	13b/6	12b/7	11b/8	10b/9	9b/10
<i>Etalon</i>	12 010 HB 105	11 373 HB 130	12 040 HB 160	14 220 HB 160	12 050 HB 190	12 050 HB 250	12 060 HB 250	12 060 HB 280	12 061 HB 280	15 330 HB 350

Tabulka č.2.1.4 Doporučené referenční (etalonové) austenitické oceli

Třída obrobitelnosti	12b/21	12b/22	9b/23	8b/24	8b/25	7b/26
<i>Etalon</i>	17 020	17 021	17 248	17 238	17 352	-

Tabulka č.2.1.5 Doporučené nástroje pro zkoušku obrobitelnosti

Metoda obrábění	Doporučené nástroje
Soustružení	VBD typu SNGN 120408 nebo SPGN 120408, SK P20, průřez držáku 25x25 mm, úhel $\chi_r = 70^\circ$ (PN223850.1 nebo PN223850.2).
Vrtání	Vrták $\varnothing$ 10 mm, ČSN 221140, strojní ostření s tolerancí délky ostří 0,2 mm. Pro vrtáky se slinutým karbidem doporučen druh K10.
Frézování	Frézovací hlava PN 222462.15 nebo PN 222462.25 o průměru 125 mm, počet zubů 10. Po upnutí destiček je dovolené maximální házení axiální 0,03 mm, házení radiální 0,05 mm.

Tabulka č.2.1.6 Doporučené řezné podmínky pro zkoušku obrobitelnosti

Metoda obrábění	Řezné podmínky		
	Řezná rychlost [m.min <sup>-1</sup> ]	Posuv [mm.ot <sup>-1</sup> ]	Hloubka řezu [mm]
<b>Soustružení</b>	80, 100, 125	0,2	2,0
VBD z SK	<u>160</u> , 200, 250		
Vrtání RO	12, 18, <u>24</u> , 30, 35	0,12	3 D
Vrtání SK	28, 36, 44, 52, 60	0,08	2 D
Frézování	80, 110, <u>139</u>		2
VBD z SK	176, 220, 278	$f_z = 0,1$ mm	šířka frézování 0,5 D

Jednotné stále platné normativy zařazují oceli do tříd obrobitelnosti na základě zkoušek bez chlazení, prováděných slinutými karbidy typu P10-P20, které mají ve srovnání s dnes již velmi často používanými povlakovanými SK a jinými řeznými materiály, vyznačujícími se zejména podstatně jemnější a pravidelnější zrnitostí, mnohem nižší řezivostí.

## q Porovnání obrobiteľnosti

Tabulka č. 2.1.7 Porovnání obrobiteľnosti podle ČSN (CNN) a DIN (WIDIA)

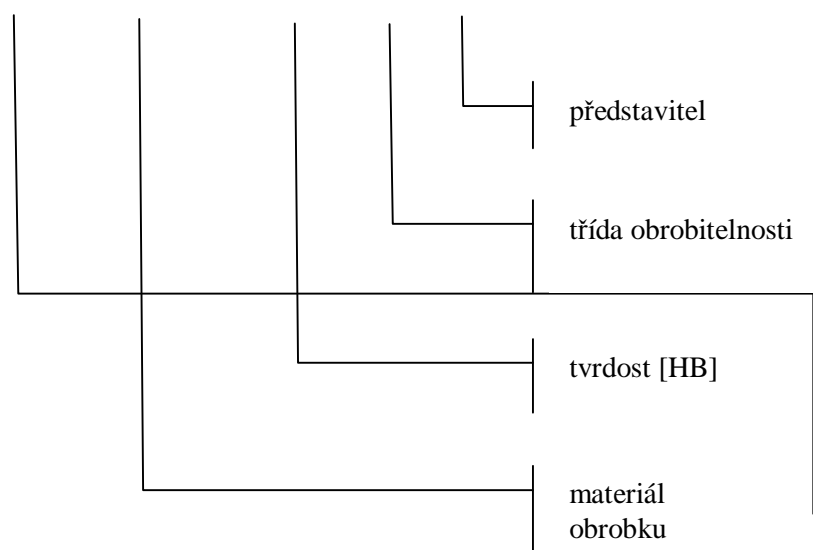
Oceli										
ČSN (CNN)	18b	17b	16b	15b	<b>14b</b>	13b	12b	11b	10b	9b
WIDIA (DIN)	1	2	3	4	<b>5</b>	6	7	8	9	10
Austenitické oceli										
ČSN (CNN)	12b	11b	10b	9b	8b	7b				
WIDIA (DIN)	21	22	23	24	25	26				

 Tabulka č.2.1.8 Součinitel (index) obrobiteľnosti  $K_v$ 

Třída	1b	2b	3b	4b	5b	6b	7b	8b	9b	10b
Tvrdość [HB]									350	300
minimální	0,045	0,055	0,070	0,090	0,12	0,15	0,18	0,23	0,29	0,36
<b>střední</b>	<b>0,050</b>	<b>0,065</b>	<b>0,080</b>	<b>0,10</b>	<b>0,13</b>	<b>0,16</b>	<b>0,20</b>	<b>0,25</b>	<b>0,32</b>	<b>0,4</b>
maximální	0,054	0,069	0,089	0,11	0,14	0,17	0,22	0,28	0,35	0,44
Třída obrobiteľnosti	11b	12b	13b	<b>14b</b>	15b	16b	17b	18b	19b	20b
Tvrdość [HB]	280	250	250	<b>190</b>	160	160	130			
minimální	0,45	0,57	0,72	<b>0,9</b>	1,13	1,42	1,79	2,25	2,83	3,56
<b>střední</b>	<b>0,5</b>	<b>0,63</b>	<b>0,8</b>	<b>1</b>	<b>1,26</b>	<b>1,59</b>	<b>2</b>	<b>2,5</b>	<b>3,15</b>	<b>4</b>
maximální	0,56	0,71	0,89	<b>1,12</b>	1,41	1,79	2,24	2,82	3,55	4,47

### Zápis obrobiteľnosti dle DIN (WIDIA)

A 12 050 190 5 A



skupina materiálu:  
**A** (1 – 10) – uhlíkové oceli, nízkolegované oceli, ocelolitina  
**B** (11 – 18) – litiny  
**C** (21 – 26) – vysocelegované oceli, nástrojové oceli, nerez



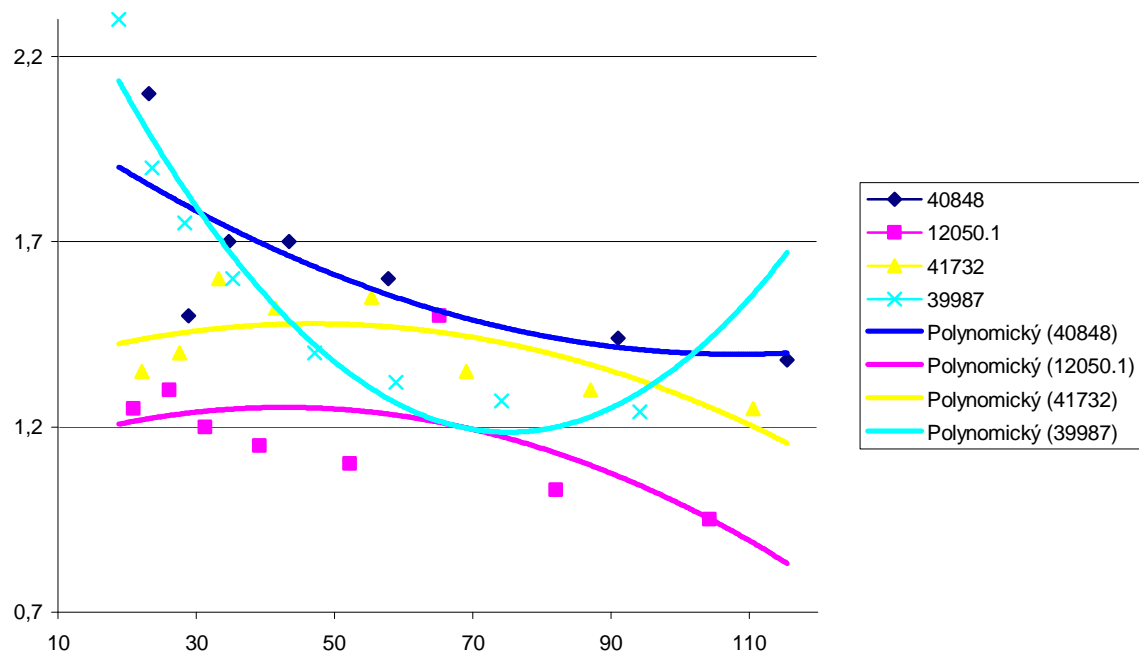
Obr.2.1.2 Experimentální měření teploty řezání pyrometrem

#### q Efektivní metoda krátkodobého určení obrobiteľnosti

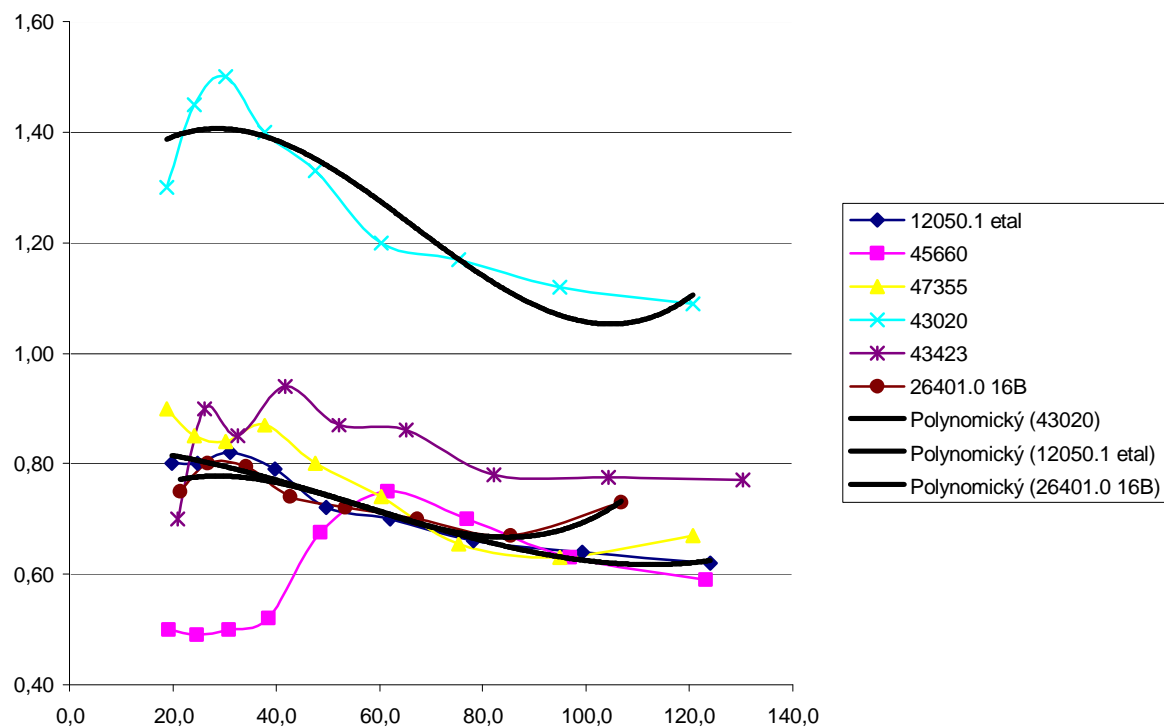
Jedna z možností jak krátkodobou zkouškou lze určit obrobiteľnost materiálu je (obr. 2.1.2) například metoda měření teploty řezání pyrometrem. Zaměříme se však na dostatečně přesnou, časově a ekonomicky výhodnou metodu určení obrobiteľnosti prostřednictvím závislosti síly řezání  $F_e$  (např. při vnějším podélném soustružení) a jejich složek  $F_c$ ,  $F_f$  a  $F_p$  na řezné rychlosti  $v_c$

Smysl této účinné krátkodobé zkoušky obrobiteľnosti spočívá v teoreticky dokázané a experimentálně potvrzené skutečnosti, že **houževnatější** (myšleno z hlediska obrobiteľnosti) materiál, **při jinak shodných řezných podmínkách, klade větší měrný řezný odpor.**

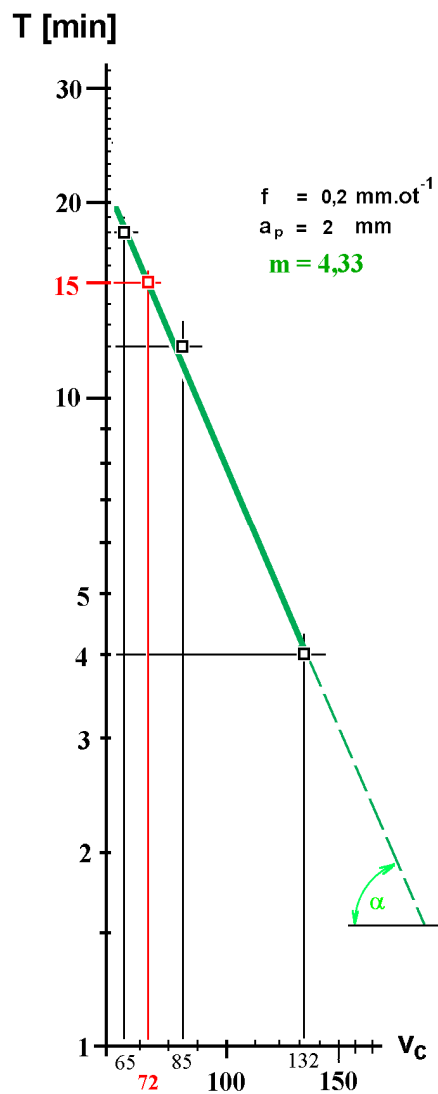
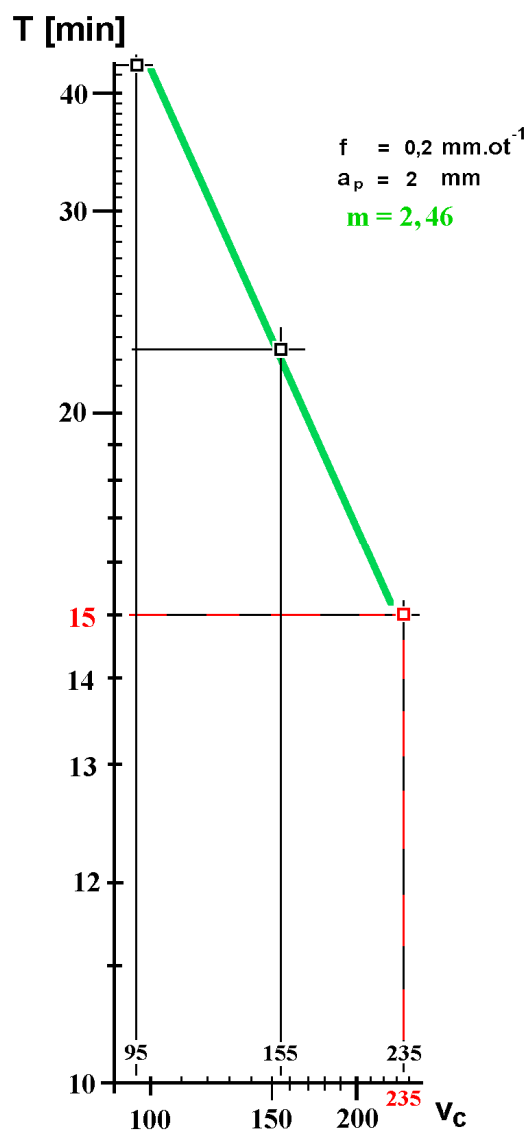
**Příklad určení obrobitelnosti na základě závislosti síly soustružení  $F_c$  na rezné rychlosti  $v_c$**



**Etalon a vzorky 1-3**



Etalon a vzorky 4-7





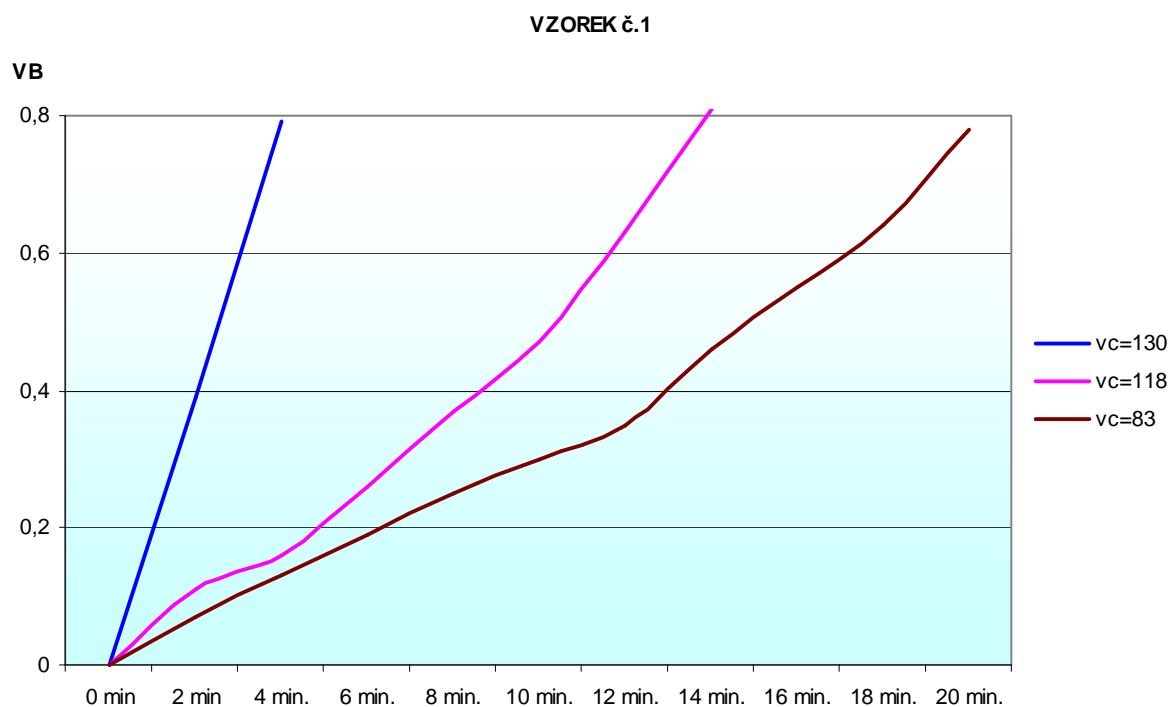
Souhrnná tabulka zkoušek obrobitelnosti

Číslo vzorku	Tavba	Značka	Φ	Měření opotřebení VB (0,8 mm)						V <sub>15</sub>	Index obrobit.	Třída obrobit.	Pozn.
			[mm]	v <sub>c</sub>	min	v <sub>c</sub>	min	v <sub>c</sub>	min				
1	39987.0	4140	75	130	4	118	14	85	20	96	0,74	13b	
2	40848.0	4140	95	132	4	85	12	65	18	72	0,55	11b	
3	41732.0	C45	90	140	4	88	12	70	18	91	0,70	12b	
4	43020	C35RHAKL	52	125	4	105	13	82	24	77	0,59	12b	Vibrace
5	47355	9SMn28	50	245	6	175	18	160	44	189	1,46	16b	
6	45660	9SMnBi28	50	235	15	155	22,5	95	45	235	1,81	17b	
7	43423	16MnCrSWKL	85	135	4	103	14	83	24	101	0,77	13b	

Měření obrobitelnosti zkušební vzorku Č. 1

VŠB – TU Ostrava		Katedra obrábění a montáže			Protokol zkoušky obrobitelnosti					Protokol 23.7.2004				
Tavba č.		Značka		Ø[mm]	řezný nástroj					materiál nástroje				
39987.0		4140		75	SCMW 432, SCMW 120408 IC 50 M					P20				
<i>Geometrie břitu řezného nástroje</i>														
$a_p$ [mm]		$f$ [mm/ot]		$k_r$ [°]	$a_o$ [°]		$g_o$ [°]		$e_r$ [°]		$r_e$ [mm]		$l_s$ [°]	
2		0,2		70	8		0		90		0,8		0	
číslo měření	$R_a$ [μm]	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	VB <sub>B</sub> [mm] při T [min]											
			2 min	4 min.	6 min.	8 min.	10 min.	12 min.	14 min.	16 min.	18 min.	20 min.	22 min	24 min
1	4,23	130	0,39	0,79										
2	4,70	118	0,11	0,16	0,26	0,37	0,47	0,63	0,81					
3	6,63	83	0,07	0,13	0,19	0,25	0,30	0,35	0,46	0,55	0,64	0,78		
4														
<i>výsledky zkoušky</i>														
třída obrob. ČSN	třída obrob. DIN	obrobitelnost dle BS	$v_{15}$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$v_{30}$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$a$ [°]		$R_a$ [μm]	$m$ [-]		index obrobitelnosti $K_v$ [-]				
13b	6		96		105,7			3,56		0,74				

**Poznámka:** Zpracoval řešitelský tým Katedry obrábění a montáže – 346, Fakulty strojní VŠB-TU Ostrava



#### q Zhodnocení průběhu měření obrobitelnosti

Z výše uvedených výsledků měření 7 vzorků vyplývá, že se obrobitelnosti zkoumaných materiálů se pohybují v rozmezí tříd obrobitelnosti **11b až 17b**, při řezné rychlosti odpovídající dané trvanlivosti  $v_{15}$  v rozsahu **72 až 235  $m \cdot min^{-1}$**  čemuž odpovídají hodnoty součinitele obrobitelnosti  $K_v$  v intervalu **0,55 až 1,81**. Jedná se o míru závislosti trvanlivosti řezné hrany na řezné rychlosti (v námi sledovaném intervalu řezné rychlosti dle doporučení ČSN).

**Poznámka:** Krátkodobá metoda měření obrobitelnosti je v tomto uvedeném příkladu doplněna protokolem klasické dlouhodobé zkoušky obrobitelnosti jejíž kritériem je čas, za který se opotřebí otěrem řezná hrana ( $VB = 0,8$  mm) za ČSN předem stanovených řezných podmínek .



### Shrnutí kapitoly

V této kapitole jste se dozvěděli obecné pojmy a terminologii obrobitelnosti. Jak se obrobitelnost určuje, jaké jsou její významné charakteristiky, na jakých faktorech závisí. Naučili jste se také jaké jsou způsoby stanovování obrobitelnosti, za jakých pohledů je možno ji sledovat a jak ji hodnotíme.

Mohli jste sledovat praktické určení obrobitelnosti na konkrétních vzorcích materiálu a také zhodnocení průběhu měření obrobitelnosti.

**Kontrolní otázky****2.1 Určování řezivosti a obrobitelnosti**

1. Vysvětlete pojem obrobitelnost.
2. Vysvětlete pojem řezivost.
3. Vyjmenujte nejdůležitější faktory obrobitelnosti.
4. Čím je charakterizována absolutní obrobitelnost?
5. Čím je charakterizována absolutní řezivost?
6. Jaké znáte možnosti hodnocení obrobitelnosti?
7. Čím je způsobeno opotřebení a poškození řezného nástroje?
8. Jak jsou technické konstrukční materiály pro potřeby vyhodnocování obrobitelnosti rozděleny a jak jsou označovány?
9. K čemu slouží referenční (etalonový) materiál, a který je pro oceli doporučován?
10. Proč je v současnosti doporučováno používat pro každou třídu obrobitelnosti jiný referenční materiál, a o jaké materiály se jedná?
11. Vysvětlete pojem součinitel (index) obrobitelnosti  $K_v$  a jeho praktický význam.
12. Jak jsou označovány třídy obrobitelnosti a jaká je jejich závislost na hodnotě číslice?
13. Co je zakódováno v písmenech a číslicích zápisu obrobitelnosti dle DIN (WIDIA)?
14. Vysvětlete na konkrétním případě rozdíl mezi krátkodobou a dlouhodobou zkouškou obrobitelnosti.
15. Pro jsou v současnosti krátkodobé zkoušky obrobitelnosti preferovány?
16. Která rovina je kolmá na nástrojovou rovinu základní?
17. Která pracovní rovina je tečná k ostří?
18. Jakým řeckým písmenem se značí nástrojové úhly hřbetu?
19. Definujte nástrojový boční úhel čela  $\gamma_f$ .
20. Jakým způsobem ovlivňuje řezný proces nástrojový úhel sklonu ostří  $\lambda_s$ .

**Úkol k řešení**

1. Nakreslete graf závislosti trvanlivosti břítu na řezné rychlosti.
2. Napište alespoň dva vztahy na výpočet indexu obrobitelnosti  $K_v$ .
3. Vyjmenujte jednotlivé způsoby určování obrobitelnosti.

## 2.2. Teorie vzniku a tvorby třísky



**Čas ke studiu:** 20 hodin



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Jak vzniká tříska a jak se tvaruje
- Jak se tvoří tříska u klasického obrábění
- Jak se tvoří tříska u HSC (vysokorychlostního) obrábění
- Určit oblasti deformací



**Výklad**

Prioritním výstupem jsou parametry obrobené plochy. Při řezání působí obráběcí nástroj na obrobek a vyvolává v materiálu napětí, proti kterému klade materiál odpor. V důsledku toho se ustálí pole řezání, které má výrazné charakteristiky stavu napjatosti, teploty a deformace. Proces řezání se může realizovat jako ortogonální nebo obecné řezání. Jednou z předních progresivních technologií současnosti je tzv. 3D obrábění. Jedná se o technologicky jednoduché, ale i velmi náročné plochy prostorově nepravidelných tvarů, které jsou často matematicky obtížně definovatelné. Perspektivní metoda, která řeší mnohé problémy „klasického třískového obrábění“ zmíněných ploch se nazývá HSC (High Speed Cutting – „vysokorychlostní obrábění“). Smyslem této progresivní technologie je snížit cenu výrobku při současném zvýšení jeho kvality.

### □ Vstupní charakteristiky procesu třískového obrábění

Při třískovém obrábění je silovým působením řezného nástroje, jehož řezný klín vniká pod povrch obrobku, odebírána z povrchu obrobku tříska. Její vznik je podmíněn, ale i provázen elastickou a plastickou deformací povrchu obrobku s jeho zpevněním. Toto předpokládané zpevnění po vyčerpání plasticity dospěje ke kluzu uvnitř materiálu a následnému vytvoření třísky. Toto se provádí za účelem dosažení požadovaného tvaru, rozměrů a jakosti vzniknuvšího povrchu součásti. Proces probíhající v reálném čase a prostředí je ovlivňován a charakterizován celou řadou veličin, které jsou dány před řezným procesem, určují jeho průběh a popisují jeho výsledek. Vstupními charakteristikami obrábění jsou vlastnosti soustavy stroj, nástroj, obrobek, z nichž stroj charakterizuje jeho tuhost, která se v průběhu jeho životnosti opotřebením jeho částí mění.

**Nástroj** lze definovat materiálem určitých vlastností (pevnost, tepelná vodivost apod.), způsobem upnutí a v neposlední řadě řeznou geometrií.

**Obrobek** je definován svými rozměry, fyzikálními vlastnostmi, chemickým složením a tepelným zpracováním, strukturou a způsobem upnutí.

## q Stabilita řezného procesu a tuhost soustavy stroj – nástroj – obrobek

Vliv pracovních podmínek na stabilitu řezného procesu souvisí především s tuhostí systému stroj – nástroj – obrobek, se směrem řezné síly (síly obrábění) vůči tomuto systému, třením mezi jeho pohyblivými se členy a třením na stykových plochách břitu řezného nástroje.

**Tuhost soustavy** stroj – nástroj – obrobek je pro danou soustavu hodnota konstantní. Může se však měnit způsob deformace. Práce plastických deformací (**deformační práce**)  $A_d$  je základní složkou práce řezání. Do práce  $A_d$  počítáme tu práci plastických deformací (měrná práce  $e_d = 40$  až 80%, pro uhlíkovou ocel asi 55%, pro legovanou ocel 60% a měď 80%), které se aktivně podílejí na tvorbě třísky. **Měrná práce** tření  $e_t$  činí asi 5 až 35% z celkové měrné práce  $e$ . Práce pasivní ep je silně závislá na tloušťce odřezávané vrstvy  $a_p$ . Při hrubování je její podíl v celkové měrné práci  $e$  zanedbatelný, při obrábění načisto ( $a_p = 0,05$  až 0,25 mm) se tento podíl zvětšuje na několik procent a při jemném obrábění ( $a_p < 0,05$  mm) může činit až několik desítek procent. Práce elastických deformací je obvykle menší než 3% a je závislá na modulu pružnosti obráběného materiálu, a také na tuhosti soustavy stroj – nástroj – obrobek. Disperzní práce  $A_{disp}$  ( $e_{disp}$  měrná disperzní práce spojená s rozdělením materiálu, která úzce souvisí s jeho povrchovou energií) bývá menší než 1%. Jedná se o práci plastických deformací v primární oblasti **OMNO**.

**Tuhost soustavy je dána:**

$$j_s = \frac{F'}{\Delta y} \quad (2.2.1)$$

Např. dle lit. [29] (teze HP) je síla způsobující deformaci obrobku

$$F' = \sqrt{F_z^2 + F_y^2} \quad (2.2.2)$$

Označíme-li  $F_y / F_z = \beta$

$$F' = \sqrt{F_z^2 + (b \cdot F_z)^2} = F_z \cdot \sqrt{1 + b^2} = F_z \cdot I_s \quad (2.2.3)$$

(pro  $\beta = 0,4$  je  $\lambda \cong 1,08$ )

Dosazením do rovnice pro tuhost:

$$j_s = \frac{I_s \cdot c_{F_z} \cdot \Delta a_p^{x_{F_z}} \cdot f^{y_{F_z}}}{\Delta y} \quad (2.2.4)$$

kde  $Da_p$  ... je nepřesnost polotovaru

$Dy$  ... nepřesnost po obrábění ( $e = Da_p / Dy$  ... zpřesnění)

Limitní posuv z hlediska tuhosti soustavy pak bude:

$$f_{\text{lim}} = \left[ \frac{j_s}{I_s \cdot c_{F_z} \cdot \left( \frac{\Delta a_p}{\Delta y} \right)} \right]^{\frac{1}{y_{F_z}}} = \left[ \frac{j_s}{I_s \cdot c_{F_z} \cdot e} \right]^{\frac{1}{y_{F_z}}} \quad (2.2.5)$$

Skutečný posuv musí být menší než limitní:

$$f \leq \left[ \frac{j_s}{I_s \cdot c_{F_z} \cdot e} \right]^{\frac{1}{y_{F_z}}} = a_7 \quad (2.2.6)$$

Soustava „stroj-nástroj-obrobek“ se skládá z většího počtu částí. Proto je nutno hovořit také o tuhosti těchto jednotlivých částí. Pojem technologická tuhost se liší od chápání pojmu tuhost, který lze vysvětlit naukou – mechanikou. Vyčíslení tuhosti se vztahuje na místo hrotu nástroje. Lze s úspěchem předpokládat, že tuhost technologické soustavy je na různých místech povrchu obrobku různá, a proto je pojem technologické tuhosti pojmem vsutku komplexním. Z toho plyne, že při určování tuhosti technologické soustavy se při výpočtu bere v úvahu pouze pasivní složka síly obrábění a deformace v jejím směru, přičemž se předpokládá působení všech složek síly obrábění, tedy výsledné síly obrábění, na soustavu prostřednictvím hrotu řezného klínu.

Mimo pojmu tuhost je zaveden i pojem **poddajnost**  $w$ , což je převrácená hodnota tuhosti. Z odvození, které je provedeno např. v literatuře<sup>8</sup> plyne, že celková poddajnost soustavy je rovna součtu poddajností jejich jednotlivých částí, respektive že převrácená hodnota tuhosti soustavy je rovna součtu převrácených hodnot jejich jednotlivých částí. Počet jednotlivých částí může být však různý. V průběhu řezání **podporuje nízká tuhost** technologické soustavy **vznik kmitavých procesů**. **Vysokofrekvenční kmitání s malou amplitudou** však na výsledný proces řezání **nemá nepříznivý vliv**.

Je-li však kmitání velmi intenzivní, projevuje se jeho škodlivost snížením dosažené přesnosti geometrického tvaru, zhoršením drsností povrchu obráběných součástí, rychlým otupováním a znehodnocováním nástrojů, nadměrně se zvyšujícím opotřebáváním obráběcího stroje vedoucí k destrukci jeho kinematických, ale i statických částí. Pracovní prostředí je tímto „obohaceno“ o nežádoucí hluk, který zpravidla kmitání doprovází.

Z **fyzikálního hlediska** můžeme tyto **kmity rozdělit na vynucené a samobuzené**. Příčinou vynuceného kmitání jsou síly periodicky proměnlivé v čase, působící na kmitající technologický systém. Obvykle vznikají v pohybovém mechanizmu stroje, anebo mimo obráběcí stroj. **Síly periodicky proměnlivé v čase zpravidla úzce souvisí s pracovním pohybem obrobku nebo nástroje**. Rámcově však můžeme vynucené kmitání rozdělit z hlediska původu budicí síly do dvou skupin, a to kdy:

- budicí síla nesouvisí s procesem řezání,
- budicí síla souvisí s procesem řezání.

## q Integrita povrchu a charakteristické veličiny třískového obrábění

**Kvalita obrobku závisí** především na tvarové a rozměrové přesnosti, interních (metalurgických) vlastnostech určených materiálem a jeho zpracováním a **na vlastnostech povrchu**. **Funkční vlastnosti povrchu** popisuje určitý **soubor charakteristik**, který označujeme **integritou povrchu**. K těmto charakteristikám patří především:

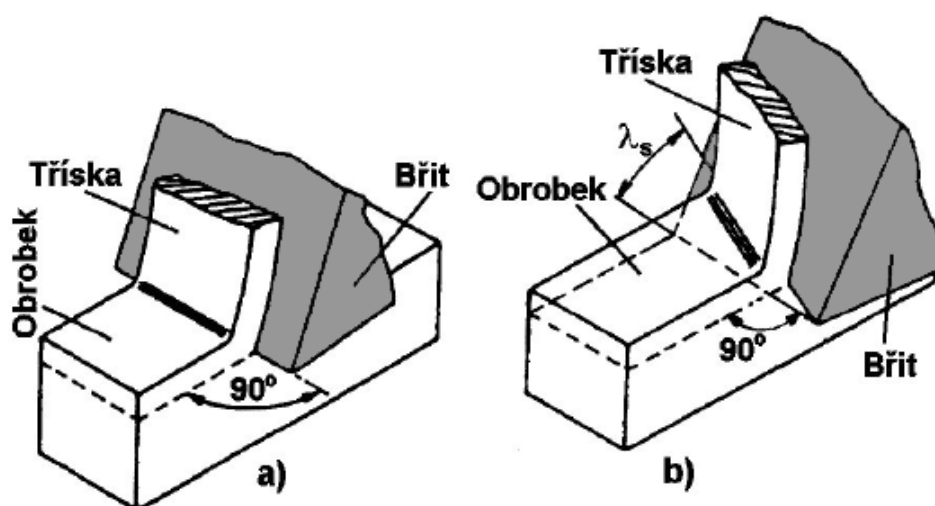
1. Topografie povrchu (geometrické charakteristiky povrchu).
2. Strukturní a fyzikálně-chemické změny v povrchové vrstvě (zbytková pnutí).
3. Stupeň, hloubka a charakter zpevnění.
4. Smysl, velikost a průběh reziduálních pnutí.

K charakteristickým veličinám probíhajícího procesu třískového obrábění řadíme rychlost hlavního řezného pohybu, velikost rychlostí vedlejších pohybů, hloubku odebírané vrstvy, velikost síly obrábění a jejich složek, opotřebení nástroje, dynamickou tuhost soustavy, opotřebení nástroje, průběh teplotního pole nástroje a obrobku a jejich okamžité teploty na površích a prostředí (tlak, teplota, množství a složení případné procesní kapaliny) obklopující řezný proces obrábění.

## q Vznik třísky a její tvarování

V případě **ortogonálního řezání** je ostří nastaveno kolmo na směr řezného pohybu a daná problematika se řeší v rovině. Typickým příkladem ortogonálního řezání je zapichování, frézování nástrojem s přímými zuby, protahování apod. Schématicky je znázorněno na obr. 2.2.1 a).

Při **obecném řezání** je třeba řešit řezný proces v prostoru (podélné soustružení, vrtání, frézování nástrojem se zuby ve šroubovici apod. Schéma je uvedeno na obr. 2.2.1 b).



Obr. 2.2.1 Realizace řezného procesu, a) ortogonální řezání, b) obecné řezání

Mechanismus vzniku a oddělování třísky je různý u krystalických a nekrystalických látek. Většina technických materiálů běžně používaných ve strojírenské praxi jsou materiály krystalické. A právě teoretické a experimentální studie těchto materiálů se provádějí zejména pro případ ortogonálního řezání.

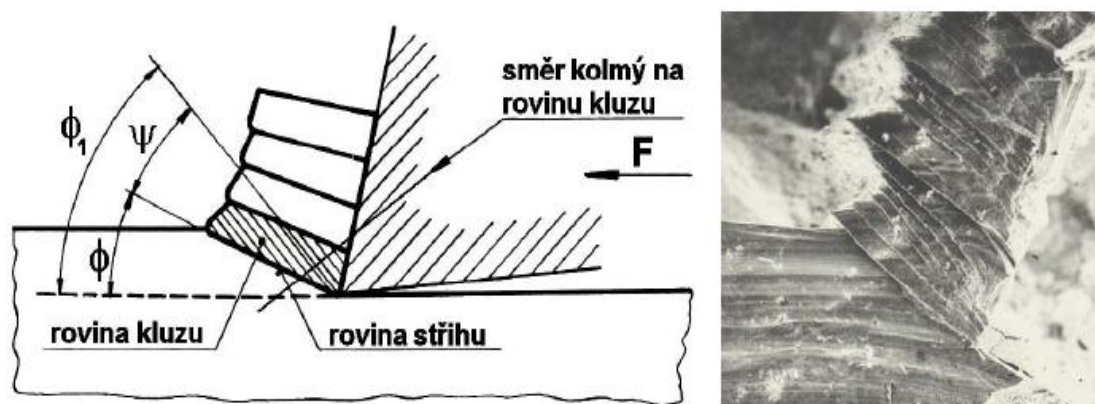


## q Plastická deformace při ortogonálním řezání

Při řezném procesu dochází v oblasti tvoření třísky k pružným a následně k plastickým deformacím vlivem vnikání nástroje do materiálu obrobku. Břit nástroje je tlačěn do obrobku silou  $F$ . Napětíové pole v zóně řezání se rozkládá na napětíové pole v obrobku a nástroji.

Pružné deformace jsou rozloženy do celého objemu obrobku, plastické deformace zahrnují jen zónu řezání. O rozložení napětí v zóně řezání je možné usuzovat z dostupných fotoelasticimetrických, případně jiných metod.

Smyková napětí rostou do té míry, než dojde k plastické deformaci materiálu obrobku před břitem nástroje (posuv vrstev v kluzných rovinách pod úhlem  $\Phi_1$ ). Pohyb nástroje pokračuje, roste plastická deformace a dochází k pěchování a posunu vrstev materiálu ve směru kolmém ke kluzným rovinám. Oddělováním třísky se v podstatě ukončuje proces plastická deformace. **Plastický lom** nastává působením **kluzné síly** zatímco **křehký lom** působením **síly normálové**.



Obr. 2.2.2 Vznik třísky

Při dalším pohybu nástroje roste napětí v materiálu až dosáhne vyšší hodnoty, než je mez stříhu obráběného materiálu a dojde k oddělení segmentu třísky pod úhlem stříhu  $\Phi$ . Rozdíl mezi úhly  $\varphi_1$  a  $\varphi$  se pohybuje v rozmezí  $\psi = (0 \div 30)^\circ$ , nízké hodnoty úhlu  $\psi$  vykazují tvárné materiály (např. ocel), vysoké hodnoty naopak materiály křehké (např. šedé litiny).

## q Tvorba třísky u klasického obrábění

Základní podmínkou progresivního obrábění je naprostá převaha požadovaných fyzikálních vlastností materiálu řezného nástroje nad obráběným. Obecně se předpokládá, že se vzrůstající řeznou rychlostí roste celkové množství tepla, a to téměř úměrně s narůstající rychlostí stříhu třísky i intenzitou tření třísky o nástroj. **Plastickou deformací třísky** v rovině stříhu se „skokově“ mění její **teplota**, která dále roste třením třísky o čelo nástroje.

Při **klasickém obrábění** dochází ve smykové rovině k **mechanickému zpevnění** třísky, které vede k jejímu ztvrdnutí oproti původnímu stavu. Díky tomu, že zpevněná tříska klade větší odpor, narůstá úhel roviny stříhu, který zvyšuje tloušťku třísky i její odpor proti ohybu a současně zvětšuje plochu kontaktní zóny.

Mezi třískou a čelem nástroje „**spolupůsobí**“ přítláčné i třecí síly, které tímto nabývají vysokých hodnot. Dochází takto k přechodu velké části tepla vyvolaného třením z třísky do nástroje. Třecí teplo

a značná přítlačná síla třísky podporují difusní procesy, které vedou k vymílání kráteru na čele nástroje. Intenzita vývoje celkového procesního tepla roste úměrně se zvyšováním rychlosti *smyku třísky* ve smykové rovině, ale také s řezným odporem, který je dán obráběným materiálem.

Za těchto podmínek se nedají (anebo velmi problematicky) obrábět tvrdé a kalené materiály. Z uvedených faktů vyplývá, že „*horní interval*“ řezné rychlosti je u „běžných“ materiálů a „konvenčních“ nástrojů omezen prudkým poklesem řezivosti způsobeném náhlou plastickou deformací, kterou způsobuje intenzivně rostoucí procesní teplo.

Během řezného procesu lze provádět pozorování *mikrozměn* i *makrozměn*. Přímé pozorování změn v mikroskopických objemech, které odpovídají řádově velikosti zrna je značně obtížné vzhledem k vysoké deformační rychlosti  $v_d$ , (řádově se pohybující  $10^4$  až  $10^6$   $m.s^{-1}$ ), intenzivní a nerovnoměrné deformaci a vysokému teplotnímu gradientu při ohřevu deformovaného materiálu (řádově  $10^4$  až  $10^6$   $^{\circ}C.s^{-1}$ ), ovlivňujícím zejména v oblasti sekundární deformace jak deformační zpevnění, tak i fázové přeměny.

Uvedené charakteristiky výrazně omezují přímé pozorování mikrozměn v oblasti kořene třísky na úzký rozsah řezných podmínek, týkajících se pouze nižších řezných rychlostí. Mezi experimentální metody přímého zjišťování mikrozměn patří fotografování boční plochy vzorku při ortogonálním řezání a rychlostním filmování. Kamery pro rychlostní filmování se nazývají časové lupy. Podstatou je zde fotografování zkoumaného děje vysokou snímkovou frekvencí ( $4000$  až  $18000$   $obr.s^{-1}$ ) a následné promítnutí s frekvencí podstatně nižší. Nevýhodou je však složité, pracné a nákladné provedení experimentu.

Přímé pozorování změn v makroskopických objemech je méně obtížné než přímé pozorování mikrozměn. **Makroskopické změny** lze pozorovat *fotografováním* boční plochy vzorku při ortogonálním řezání, rychlostním *filmováním* nebo přímým pozorováním *pod mikroskopem*, avšak za extrémně nízkých řezných podmínek. Boční plocha zkoumaného vzorku je opatřena pomocnou mřížkou, prostřednictvím níž lze určovat deformace jednotlivých elementů, což umožní vymezení deformačních oblastí a stanovení charakteru a intenzity deformace ve směru zvolených souřadných os. Při použití časové lupy má tento způsob experimentálního studia velký význam pro sledování vzniku elementární třísky a pro sledování tvorby i rozpadu nárůstku.

Experimentálním studiem změn ukončených lze stanovit součinitel pěchování třísky

$$K = \frac{a_1}{a} = \frac{l}{l_1} = \frac{S_1}{S} > 1. \quad (2.2.7)$$

Primární plastické deformace mají za následek rozdíl mezi průřezem odřezávané vrstvy  $S$  a průřezem vzniklé třísky  $S_1$ . Tloušťka vzniklé třísky  $a_1$  je vždy větší než tloušťka odřezávané vrstvy (pěchování příčné) a délka vzniklé třísky  $l_1$  je vždy menší než odpovídající dráha nástroje  $l$  (pěchování podélné).

Vedle délkové metody stanovování  $K$  se častěji používá metoda hmotnostní, při které se zváží hmotnost vzniklé třísky  $m_1$  změřené délky  $l_1$  a při známé měrné hmotnosti  $\rho$  obráběného materiálu se součinitel pěchování třísky  $K$  dá vypočítat z matematického výrazu

$$K = \frac{1000 \cdot m_1}{l_1 \cdot r \cdot S} \quad (2.2.8)$$

Intenzitu primární plastické deformace  $\varepsilon$  lze stanovit ze vztahu

$$e = \frac{K^2 - 2K \cdot \sin g_n + 1}{K \cdot \cos g_n} \quad (2.2.9)$$

Rovněž je možné orientačně při studiu makrozměn stanovit velikost primární plastické deformace  $\varepsilon$  (*poměrný kluz*) z výrazu

$$e = \cot g d + tg (d - g_n). \quad (2.2.10)$$

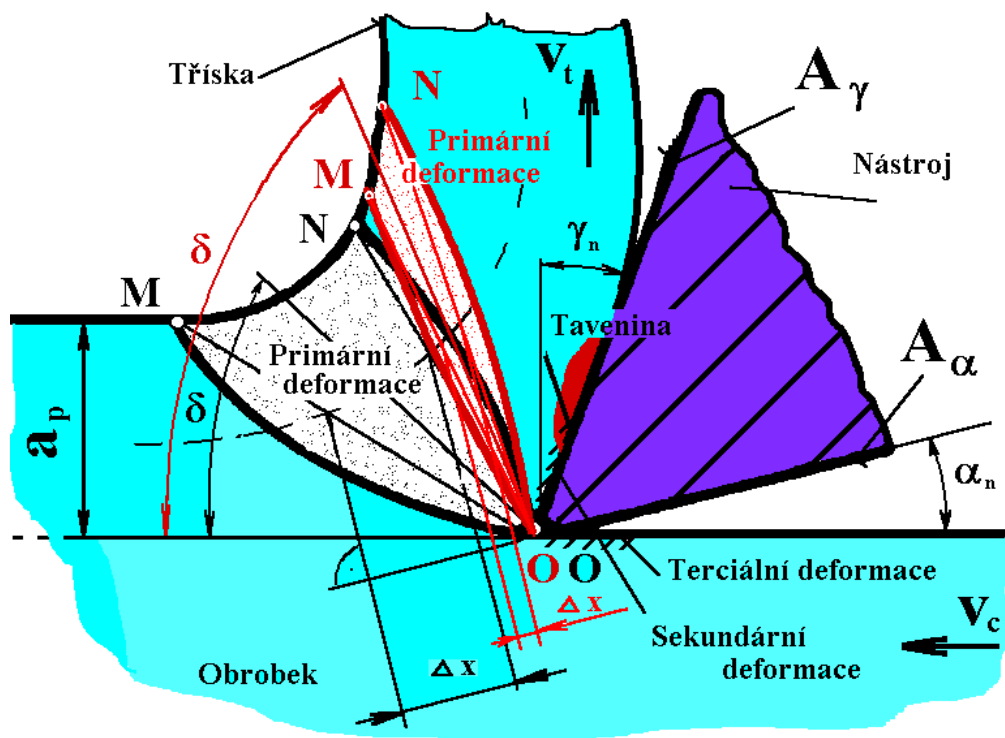
Za předpokladu, že v důsledku řezné rychlosti probíhá pohyb částic uvnitř oblasti  $O'OMN$  rovnoměrně, je možné na základě hodnoty  $\Delta x$  stanovit deformační rychlost  $v_d$

$$v_d = [\cot g d + tg (d - g_n)] \cdot \frac{v_c}{\Delta x} \quad (2.2.11)$$

### q Tvorba třísky u vysokorychlostního obrábění

Vysokorychlostní obrábění, realizované zvláště výkonnými, mimořádně tvrdými a tepelně odolnými řeznými nástroji, probíhá při teplotě třísky blízké tavné teplotě obráběného materiálu. Za **určité řezné rychlosti** dochází k **náhlé změně** řady **metalurgických, chemických i mechanických vlastností třísky**.

Tříska sníží svou přitlačnou sílu na čelo nástroje. Tento děj nastane také v případě kalené ocelové třísky, která rovněž změkne. Třecí síla i celkový řezný odpor klesne, zvětší se **úhel smyku  $\delta$** , resp. **stříhu  $\beta$** , ztenčí se průřez odcházející třísky a zvýší se rychlost  $v_t$  jejího odchodu z kontaktní zóny.



Obr. 2.2.3 Tvorba třísky u „klasické“ a „HSC technologie“

Jelikož předpokladem významného efektu rychlostního obrábění (řezání, frézování) je hodnota posuvové rychlosti  $v_f$  alespoň  $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , nejlépe však  $v_f = 30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a výše (dle výzkumů TU v Darmstadtu), lze korigovat vztah (2.2.12) pro podmínky HSC technologie na tvar, kde rozdíl mezi  $v_c$  a výslednou řeznou rychlostí  $v_e$  nelze již zanedbat.

$$v_d = [\cot g d + tg (d - g_n)] \cdot \frac{v_e}{\Delta x}. \quad (2.2.12)$$

Výše uvedené efekty lze zdůvodnit mimo jiné taky tím, že je posuvová rychlost již srovnatelná s řeznou rychlostí  $v_c$ , což způsobuje **zvýšenou reakci plasticky se deformujícího materiálu i ve směru posuvové rychlosti  $v_f$** .

Také se sníží plocha kontaktní zóny a omezí sekundární nárůst teploty třísky třením v kontaktní zóně. Do nástroje se přenáší minimální množství tepla, protože naprostá většina vygenerovaného tepla odchází s třískou. Třecí síla  $F_r$  mezi dvěma relativně k sobě se pohybujícími elementy je pro stacionární stav popsána zákonem

$$F_r = m \cdot F_n \quad [\text{N}]. \quad (2.2.13)$$

Koeficient tření  $\mu$  je přitom přijímán jako **konstantní veličina**. Pro vysokorychlostní třískové obrábění tento předpoklad **neplatí**, protože koeficient  $\mu$  nezůstává konstantní<sup>1</sup>, ale **se stoupající řeznou rychlostí klesá**.

Na **spodní** straně třísky může v **extrémních** případech docházet k vytváření **tekuté vrstvy**, tedy k **dosažení teploty tavení** obráběného materiálu. Tím je **tření** na čelní ploše nože **redukováno**, proto **ubývá pěchování** třísky a **přirůstá zakřivení třísky**<sup>1</sup>.

**Úbytek pěchování třísky vede k přirůstku úhlu kluzu** (úhlu stříhu, jak uvádí literatura<sup>1</sup>), a tím k **redukování přetvárné práce**. Utvářející se tříška „zčervená“ (obr. 2.2.3) a následně **sníží** svou **přítlačnou sílu  $F_n$**  na čelo nástroje<sup>9</sup>. Tento děj nastává i při obrábění kalené oceli, kde takto zahřátá tříška rovněž změkne.

Třecí síla, ale i celkový řezný odpor poklesne, zvětší se úhel smykové roviny, ztenčí se průřez třísky, a tím se zvýší rychlost odchodu  $v_t$  z kontaktní zóny. Plocha kontaktní zóny se naopak sníží, čímž se omezí sekundární nárůst teploty třísky třením v kontaktní zóně.

Do nástroje, ale i obrobku se za těchto podmínek přenáší minimální množství tepla, protože převážná většina vygenerovaného tepla „odchází s třískou“.

Tento popsaný děj způsobuje, že se, i přes celkově značný nárůst uvolněného tepla během procesu, omezí působení nežádoucích difusních mechanismů i mechanického vymílání čela. Vysoká kvalita řezné hrany (jemnozrnná struktura) „HSC“ nástrojů a důmyslné povlakování jejich povrchů zvyšují odolnost čela i celého břitu proti abrazivnímu i difusnímu opotřebení. Podíl přestupu procesního tepla do nástroje se ještě více snižuje z důvodu jeho napovlakování, které v tomto případě také plní funkci tepelně izolační vrstvy.

Růst teploty řezné části nástroje se po dosažení určité řezné rychlosti zpomaluje. Při obrábění hliníku dosahuje teplota svého maxima okolo 600 °C, u bronzu 1000 °C, v případě šedé litiny kolem 1300 °C a u oceli 1500 °C. Následné zvyšování řezné rychlosti nevede k zvláště výraznému zrychlování procesu opotřebení nástroje, vede však k výraznému zkracování strojního času obrábění.

Vyšší teplota třísky je tedy pozitivním faktorem a principiálním zdrojem příznivých efektů vysokorychlostního třískového obrábění. Chlazení „*místa obrábění*“, tak jak ho známe z klasické (konvenční) technologie, zde není zpravidla nutné a mnohdy ani žádoucí, poněvadž by bránilo dosažení „vysokorychlostního režimu“. Z hlediska zvýšené citlivosti supertvrdých řezných materiálů na tepelné šoky není kapalinové chlazení mnohdy ani přípustné. V případě nepřerušovaného obrábění keramických a jiných supertvrdých materiálů může být potřebná teplota dosažena laserovým předeříváním obráběného materiálu<sup>9</sup>, a to těsně před jeho vstupem do primární zóny stříhu.

## q Oblasti deformací

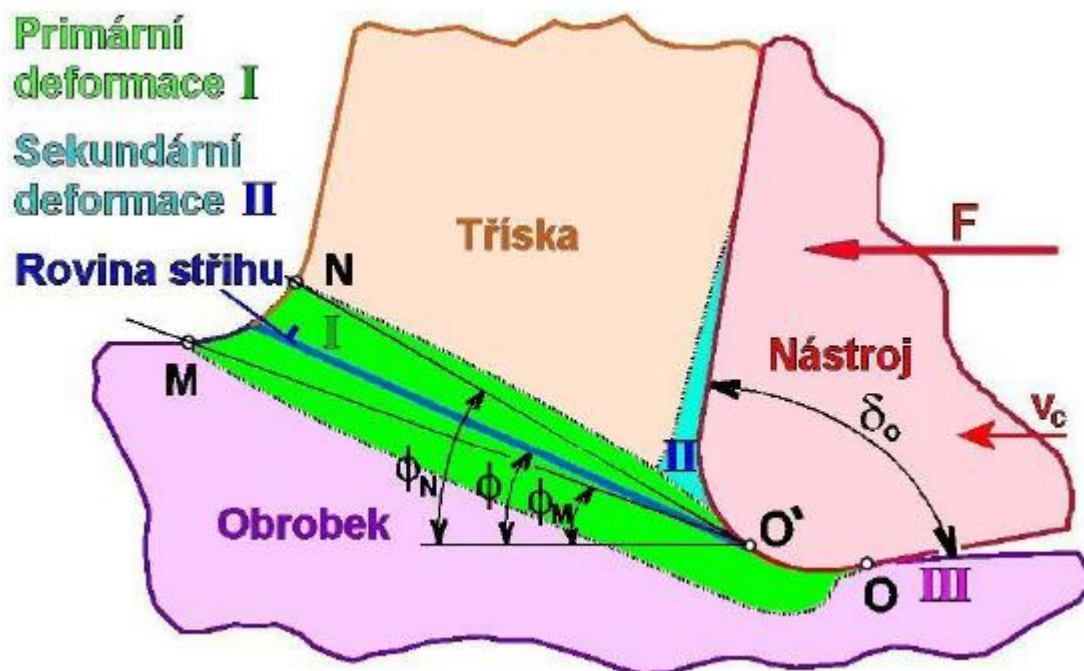
Při vnikání břitu nástroje do obráběného materiálu vznikají pružné a následně plastické deformace v těchto oblastech:

- před břitem nástroje, v oblasti primární plastické deformace, která se značí **I** a vymezuje body **OMNO'**,
- v povrchových vrstvách styku třísky a čela nástroje je oblast sekundární plastické deformace, která je označena **II**,
- v povrchové vrstvě obrobek vzniká oblast terciární plastické deformace **III**.

Velikost oblasti **OMNO'**, její tvar a stav napjatosti jsou proměnlivé a závisí zejména na fyzikálních vlastnostech obráběného materiálu, především na jeho deformační a zpevňovací schopnosti.

S rostoucí řeznou  $v_c$ , ale zejména posuvovou rychlostí  $v_f$  se tato oblast značně zužuje (ve vysokorychlostním resp. „HSC“ obrábění) a tím obě roviny téměř splývají. Rovněž záleží na řezném prostředí (chlazení, suché obrábění), geometrii řezného nástroje a jemu předurčené kinematice (myšleno vzhledem k obrobku).

Při zvětšování pracovního úhlu čela  $\gamma_{ne}$  klade nástroj menší odpor proti odchodu třísky, tříska tak odchází snadněji, a proto je méně deformována. Při zvětšování pracovního úhlu nastavení  $\kappa_{re}$  se šířka třísky zmenšuje, což se projeví v poklesu velikosti koeficientu pěchování třísky, ale pouze do určité hodnoty tohoto úhlu. Při volbě optimálních řezných podmínek je nutno mít tyto zákonitosti na zřeteli.



Obr. 2.2.3 Oblasti plastických deformací v zóně řezání

***Plastická deformace obráběného materiálu v procesu řezání způsobuje:***

- oddělení třísky od obrobku (oblast **I**),
- mechanické zatížení nástroje řeznými odpory,
- tepelné zatížení nástroje,
- opotřebení nástroje (na čele v důsledku **II**, na hřbetu v důsledku vlivu **III**),
- změnu textury materiálu v tříске i v povrchové vrstvě obrobeneé plochy,
- vznik zbytkových napětí v povrchové vrstvě obrobeneé plochy,
- pēchování třísky (prūrez a délka třísky neodpovídají teoretickým hodnotám).



## Kontrolní otázky

### 2.2 Teorie vzniku a tvorby třísky

1. Jaký je v současnosti prioritní požadavek zákazníka ve vztahu k obrobku?
2. Čím je v procese řezání podmíněn a provázen vznik třísky?
3. Co je smyslem progresivní technologie HSC (High Speed Cutting)?
4. Jak lze definovat řezný nástroj?
5. Jak lze definovat obrobek?
6. Čím je dána tuhost soustavy?
7. Co je to poddajnost?
8. Jak lze matematicky vyšetřit limitní posuv z hlediska tuhosti soustavy?
9. Co způsobuje v průběhu řezání nízká tuhost technologické soustavy?
10. Jak lze rozdělit vynucené kmitání z hlediska původu budící síly?
11. Definujte integritu povrchu!
12. Funkční vlastnosti povrchu jsou popsány určitým souborem charakteristik. Vyjmenujte tyto charakteristiky?
13. K charakteristickým veličinám probíhajícího procesu třískového obrábění řadíme:?
14. Jak je nastaveno ostří nástroje v případě ortogonálního řezání?
15. Uveďte typické příklady ortogonálního řezání!
16. Jakého původu je většina technických materiálů běžně používaných ve strojírenské praxi?
17. K jakým deformacím při vnikání nástroje do materiálu obrobku dochází v oblasti tvoření třísky?
18. Jak jsou rozloženy pružné a plastické deformace?
19. Kde a do jaké míry rostou smyková napětí?
20. Kdy je ukončen proces plastická deformace?
21. Co způsobuje a kdy nastává plastický lom?
22. Co způsobuje a kdy nastává křehký lom ?
23. Kde jsou rozloženy pružné, a kde plastické deformace?
24. Čím je způsobena teplota třísky a jak se mění její hodnota?
25. K jakému zpevnění třísky u klasickém obrábění dochází ve smykové rovině?
26. Jaké síly „spolupůsobí“ mezi třískou a čelem nástroje?
27. Jaká změny a čím lze pozorovat během řezného procesu?
28. Vysvětlete a určete pojem součinitel pěchování třísky!
29. Jak lze matematicky stanovit intenzitu primární plastické deformace  $\varepsilon$  ?
30. Stanovte a vysvětlete za jakého předpokladu lze stanovit deformační rychlost  $v_d$ !
31. Při jaké teplotě a za jakých podmínek může probíhat vysokorychlostní obrábění?
32. K jakým náhlým změnám při vysokorychlostním obrábění dochází?

33. Jak při HSC obrábění působí tříška na čelo řezného nástroje?
34. Nastává děj (zodpovězený otázkou 33) také v případě kalené ocelové třísky?
35. Jak se změní v „podmínkách HSC“ třecí síla i celkový řezný odpor?
36. Jak se změní v podmínkách HSC úhel smyku  $\delta$ , resp. stříhu  $\beta$ ?
37. Jak se změní v podmínkách HSC změni rychlost odchodu třísky  $v_t$  z kontaktní zóny?
38. Jak se změní (změní-li se) v podmínkách HSC průřez odcházející třísky  $a_p$ ?
39. Jaká hodnota posuvové rychlosti  $v_f$  je předpokladem významného efektu rychlostního obrábění?
40. Zdůvodněte (další) efekty vysokorychlostního obrábění
41. Koeficient tření  $\mu$  je přijímán jako konstantní veličina. Je tomu tak i v podmínkách HSC obrábění? Pokud ne, vysvětlete proč!
42. V podmínkách HSC dochází k úbytku pěchování třísky. K čemu tato skutečnost vede?
43. Utvářející se tříška v podmínkách HSC „zčervená“. Co to způsobí?
44. Do nástroje a obrobku se v podmínkách HSC přenáší minimální množství tepla. Kde se převážná většina vygenerovaného tepla odvede?
45. Vyjmenujte oblasti plastické deformace a určete místa jejich výskytu!
46. Jaký má vliv zvětšování pracovního úhlu čela  $\gamma_{ne}$  na řezný nástroj ?
47. Jaký má vliv zvětšování pracovního úhlu čela  $\gamma_{ne}$  na odchod třísky?
48. Co ovlivňuje velikost, tvar a stav napjatosti oblasti OMNO' ?
49. Jaký vliv a na co má zvětšování pracovního úhlu nastavení  $\kappa_{re}$ ?
50. Co způsobuje plastická deformace obráběného materiálu v procesu řezání?



### Úkol k řešení

1. Nakreslete schematicky vnikání nástroje do obrobku při podélném soustružení. Zakreslete základní úhly nástroje.
2. Zakreslete vznik třísky u konvečního a vysokorychlostního obrábění v zóně řezání. Znázorněte oblast primární a sekundární deformace, rovinu stříhu.
3. Popište na předcházejícím schématu co plastická deformace v procesu řezání způsobuje.



## 2.3. Vliv řezných parametrů na tvorbu třísky



**Čas ke studiu:** 8 hodin



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Jaký je vliv řezných parametrů na vznik a tvarování třísky
- Vysvětlit co je to měrná řezná síla.
- Vysvětlit na čem závisí měrná řezná síla.
- Vysvětlit jak se dá určit měrná řezná síla.
- Určit síly obrábění, resp. jejich složky



**Výklad**

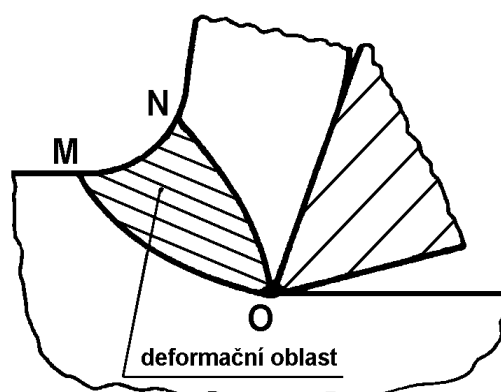
Z teoretického pohledu je třískové obrábění charakterizováno oddělováním materiálu z obrobku ve formě třísky, která vzniká prostřednictvím relativního pohybu břitu řezného nástroje vůči obrobku (v důsledku silového působení tohoto břitu na materiál obrobku) při vnikání břitu do obráběného materiálu. U drtivé většiny technických materiálů převážně dochází (při tvorbě třísky) bezprostředně u břitu nástroje k plastické deformaci, kdy vzniká tříska tvářená. Například při obrábění keramiky, dřeva, hornin či některých plastů nedochází při vytváření a oddělování třísky k plastické deformaci, ale ke vzniku třísky netvářené, což však není náš případ.

### q Tvářená tříska

Tvářená tříska má také z mechanického, ale i jiného hlediska podstatně větší význam než tříska netvářená.

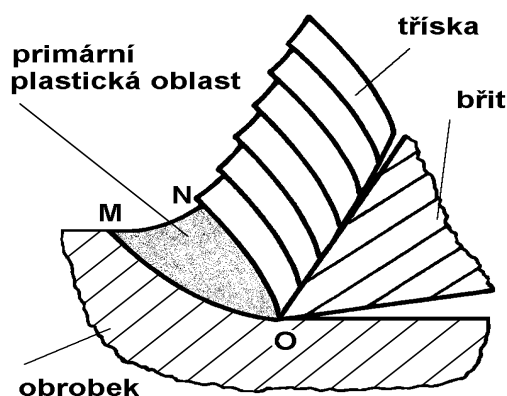
Mimo tzv. problematiku třískového hospodářství nebo při obrábění v poloautomatických či automatických bezobslužných provozech, kdy může plynulá tříska znehodnocovat obrobený povrch nebo způsobit přerušení výroby, nás také mnohdy informuje o vhodnosti či nevhodnosti volby rozhodujících řezných podmínek.

Teoreticky je druh třísky dán vlastnostmi obráběného materiálu, především plasticitou v oblasti těsně před břitem, kde se obráběný materiál plasticky deformuje.



Obr. 2.3.1 Oblast primární plastické deformace

### q Plastická tříska



Obr. 2.3.2 Deformační oblast s vyčerpanou plasticitou

Plasticita může být dána chemickým složením, krystalickou stavbou a podmínkami plastické deformace (teplotou, stavem napjatosti a deformační rychlostí).

V závislosti na plasticitě obráběného materiálu v oblasti, kde se materiál při vytváření třísky deformuje, vznikají jednotlivé druhy tvářené třísky. Dále se při průchodu *obráběného materiálu deformační oblastí* materiál *intenzívně zpevňuje*.

Za určitých podmínek se nevyčerpá plasticita materiálu při průchodu deformační oblastí a vytvoří se tříška, která je na vnější straně bez viditelných stop po kluzu uvnitř materiálu.

Častěji však dochází na hranici NO deformační oblasti k vyčerpání plasticity a ke kluzu, který je patrný z obr. 2.3.2 na vnější straně třísky stopami po kluzu elementů třísky. Zde může, ale také nemusí dojít k porušení soudržnosti materiálu (překročení kohezní pevnosti) na kluzové ploše. Podle stupně porušení pak vznikají jednotlivé druhy tvářené třísky.

## q Měrná řezná síla

Měrná řezná síla (měrný řezný odpor) je velikost řezné složky síly obrábění (řezného odporu), vztážená na  $1 \text{ mm}^2$  odřezávané vrstvy

$$p = \frac{F_c}{S} = \frac{R_c}{S} \quad [\text{MPa}, \text{N}\cdot\text{mm}^{-2}]. \quad (2.3.1)$$

Známe-li měrnou řeznou sílu pro daný případ obrábění a průřez  $S$ , můžeme určit velikost řezné složky (řezného odporu). Měrná řezná síla závisí na obráběném materiálu, tloušťce odřezávané vrstvy, řezné rychlosti, úhlu řezu, nastavení, hřbetu i sklonu ostří, poloměru špičky, řezném prostředí, stavu břitu (jeho opotřebení), atd. Obráběný materiál ovlivňuje velikost měrné řezné síly zejména svou pevností, tvrdostí, houževnatostí, ale též zpevňovací schopností.

Při stejných řezných podmínkách platí pro vzájemný vztah dvou druhů ocelí, resp. slitin lehkých kovů přibližný vztah daný poměrem pevností v tahu  $R_m$  obou porovnávaných materiálů

$$\frac{p_1}{p_2} = \left( \frac{R_{m1}}{R_{m2}} \right)^n \quad n = 0,4 \div 0,7 \quad (2.3.2)$$

Měrný řezný odpor lze přibližně určit pro uvažovanou technologii ze vztahu

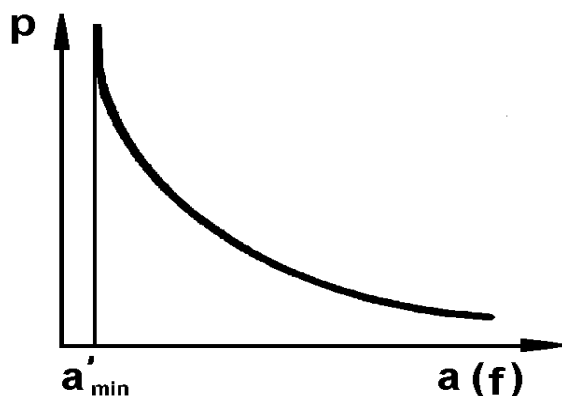
$$p = K_p \cdot R_m \quad (2.3.3)$$

Závislost měrného řezného odporu na *tloušťce* odřezávané vrstvy  $a$ , resp. *posuvu*  $f$  je velmi silná. Matematicky se může vyjádřit:

$$p = \frac{c_p}{a^{u_p}}, \quad (2.3.4)$$

$$\text{resp. } p = \frac{k_p}{f^{u_p}}, \quad (2.3.5)$$

kde  $c_p$ ,  $k_p$ ,  $u_p$  jsou empirické konstanty.



Obr. 2.3.3 Průběh závislosti  $p$  na *tloušťce* odřezávané vrstvy  $a$  *posuvu*

Velikost exponentu  $u_p$  se obvykle pohybuje v rozmezí  $u_p = 0,15$  až  $0,3$ . S velikostí měrného řezného posuvu též bezprostředně souvisí i minimální tloušťka odřezávané vrstvy.

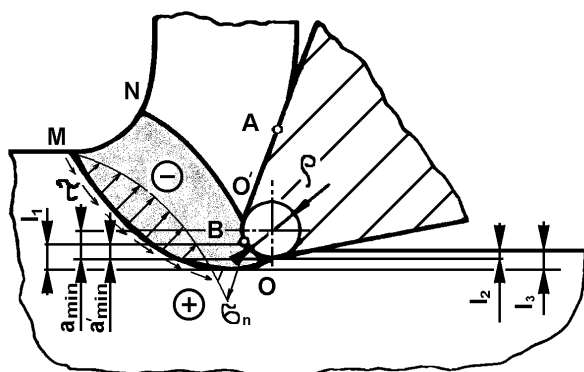
Břit řezného nástroje není schopen odebrat tloušťku třísky menší, než je poloměr ostří

$$a \leq r. \quad (2.3.6)$$

Při *tloušťce* odřezávané vrstvy dané tímto vztahem je velikost měrného řezného odporu nekonečně velká. Při odebrání *tloušťky* a odřezávané vrstvy větší než je poloměr ostří dochází k tomu, že

tloušťka materiálu, která se břitem v daném poloměru neodebírá, ale odchází pod břit (viz obr. 2.3.4), je menší ve srovnání s hodnotou  $a_{min}$ .

Pozn.: V důsledku existence určitého poloměru ostří tak dochází k dělení materiálu ne v úrovni tečny k břitu ve směru řezného pohybu, ale v úrovni odpovídající tloušťce materiálu  $a_{min}$  a po vytvoření třísky v úrovni  $a'_{min}$ . Způsobuje to stav napjatosti před břitem, kdy se u ostří vytváří tah, který napomáhá vzniku třísky, tedy **dělení materiálu před břitem**.



Obr. 2.3.4 Zpevnování při obrábění

V počátku záběru břitů s obráběným materiálem je místem prvního dotyku bod A.

V důsledku plastických deformací obráběného materiálu se bod největších napětí posouvá směrem do obráběného materiálu a přechází tak do bodu B.

Část materiálu pod tímto bodem odchází pod břit, kde se plasticky a elasticky deformuje a zpevňuje.

V důsledku této deformace, vysoké teploty a strukturních změn zde vznikají různá zbytková pnutí.

Výsledek zpevnění je též ovlivněn oblastí primární plastické deformace dosahující (jak je znázorněno kótami  $l_1$ ,  $l_3$  na obr. 2.3.4) pod úroveň plochy řezu. Důsledkem elastické deformace pak dochází k odpružení plochy řezu o tloušťku materiálu  $l_2$ . Tyto naznačené skutečnosti významně ovlivňují funkční vlastnosti osoustružené plochy.

Závislost měrného řezného odporu na rychlosti je obecně nemonotónní. Za předpokladu, že se nemění mechanické vlastnosti obráběného materiálu s teplotou, a že se netvoří nárůstek, má závislost klesající charakter (s rostoucí rychlostí měrný řezný odpor klesá). Tento pokles je však menší než u závislosti měrného řezného odporu na tloušťce odřezávané vrstvy. Změna měrného řezného odporu s řeznou rychlostí též souvisí se změnou velikosti oblasti primární plastické deformace s řeznou rychlostí. Tvoří-li se zaoblený nárůstek, dochází naopak ke zvětšení měrného řezného odporu v důsledku rozšíření oblasti primární plastické deformace. Tloušťka odřezávané vrstvy ovlivňuje hodnotu měrného řezného odporu jen velmi málo.

Výpočet síly obrábění obvykle provádíme pomocí jejich složek. Z praktického hlediska je nejvýznamnější řezná složka  $F_c$ , kterou také určujeme nejčastěji. Někdy může být významná pasivní složka  $F_p$ , ale i posuvová  $F_f$ . V případě této disertační práce jsou složky  $F_p$  a  $F_f$  zcela bezvýznamné, a to z důvodu tvaru a hmotnosti obráběných kováčích zápustek.

Metodika výpočtu síly obrábění, resp. jejich složek se v praxi určuje jedním ze tří následujících způsobů:

a) Pomocí měrného řezného odporu a průřezu třísky určujeme řeznou složku

$$F_c = p \cdot S. \quad (2.3.7)$$

Neznáme-li pro daný případ obrábění hodnotu měrného řezného odporu, určíme ji odhadem, např. pomocí odhadu koeficientu  $K_p$  [14,42]. Složky  $F_p$  a  $F_f$  určujeme přepočtem z řezné složky  $F_c$

$$F_p = c_{pc} \cdot F_c, \quad (2.3.8)$$

$$F_f = c_{fc} \cdot F_c. \quad (2.3.9)$$

Tento jednoduchý způsob určování síly obrábění je pouze přibližný, protože je síla obrábění závislá na celé řadě činitelů a jejich vliv na měrnou řeznou sílu  $p$  nebývá pro konkrétní případ obrábění zcela znám.

**b)** Další možnost určování složek síly obrábění je prostřednictvím empirických vztahů:

$$F_c = f_1 ( a, f, v_c, \dots ), \quad (2.3.10)$$

$$F_p = f_2 ( a, f, v_c, \dots ), \quad (2.3.11)$$

$$F_f = f_3 ( a, f, v_c, \dots ), \quad (2.3.12)$$

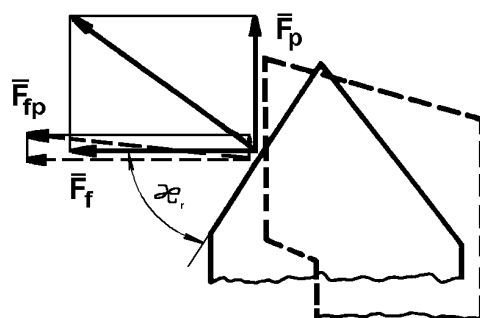
které mají většinou mocninový charakter.

Výše uvedené vztahy se musí nejprve experimentálně určit (naměřit), a to speciálně pro konkrétní případ obrábění. Pokud však jsou experimentálně určeny empirické konstanty těchto vztahů, lze prostřednictvím nich určovat sílu obrábění relativně přesně.

**c)** Pomocí vztahu  $F_c = p \cdot S$ , do kterého zavádíme významnou závislost měrného řezného odporu na *tloušťce* odřezávané vrstvy, resp. *posuvu* (16,17). Složky  $F_p$  a  $F_f$  určujeme pomocí vztahů (14,15). Při tomto způsobu určení síly obrábění, resp. jejich složek, jde vlastně o kompromis výše uvedeného způsobu **a)** a způsobu **b)**.

Výpočty síly obrábění jsou u různých technologií obrábění odlišné. Většina jich však vychází z *geometrie průřezu odřezávané vrstvy*. Níže uvedené vztahy pro soustružení nutno chápat jako základ pro výpočet sil při obrábění. Vztahy je pak možné vzájemně vhodně kombinovat, resp. doplňovat dalšími výpočty.

Pokles pasivní složky  $\bar{F}_p$  a růst posuvové složky  $\bar{F}_f$  se zvětšujícím se úhlem nastavení  $c_r$  je dán natáčením jejich výslednice  $\bar{F}_{fp}$ , která zůstává přibližně ve stejné pozici k ostří, jak znázorňuje obr.

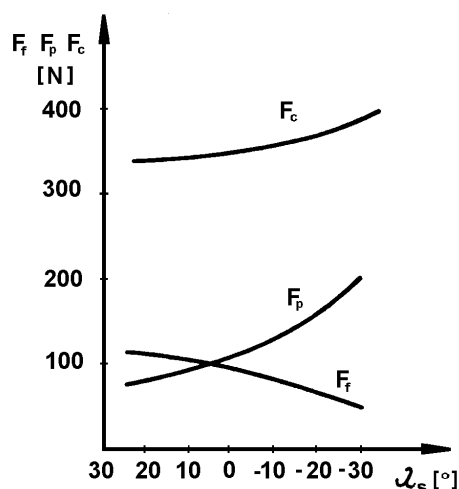


Obr. 2.3.5 Vliv úhlu nastavení  $k_r$  na pasivní  $F_p$  a posuvovou  $F_f$  složku

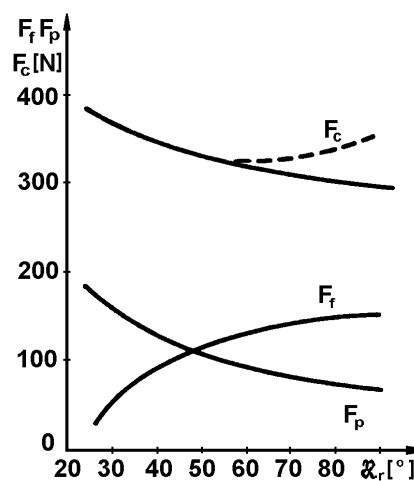
2.3.5 Průběh jednotlivých složek síly obrábění pak znázorňuje obr. 2.3.6.

Úhel sklonu ostří  $I_s$  ovlivňuje stáčení třísky, a tím i deformaci třísky spojenou s jejím třením po ploše čela bříty.

Obrázek 2.3.7 znázorňuje závislost složek síly obrábění na úhlu sklonu ostří  $I_s$  pro stejné pracovní podmínky. Z průběhu křivek pak plynou velikosti konstant  $c_{fc}$ ,  $c_{pc}$  pro daný případ obrábění.



Obr.2.3.6 Závislost  $F_c$ ,  $F_f$  a  $F_p$  na úhlu sklonu ostří  $I_s$



Obr. 2.3.7 Závislost  $F_c$ ,  $F_f$  a  $F_p$  na úhlu nastavení  $C_r$

Úhel řezu vyplývá ze skutečnosti, že pasivní a posuvová složka síly obrábění je ovlivněna tímto úhlem podstatně více než řezná složka.

Poloměr zaoblení špičky  $r_e$  nože má na velikost jednotlivých složek  $F_c$ ,  $F_p$ ,  $F_f$  opačný vliv než úhel nastavení (mění střední velikost  $c_r$ ), přičemž ovlivnění je větší u složky  $F_f$  a  $F_p$  než u složky  $F_c$ . Řezné prostředí ovlivňuje nejvíce složku  $F_c$ , dále  $F_f$  a nejméně složku  $F_p$ .

Při výpočtu velikosti složek řezné síly  $F_f$ ,  $F_p$  a  $F_c$  při podélném soustružení se vychází z empirických vztahů:

$$F_c = c_c \cdot a^{f_{Fc}} \cdot f^{p_{Fc}} \cdot v^{c_{Fc}} \cdot P K_{F_{Fc}}, \quad (2.3.13)$$

$$F_p = c_p \cdot a^{f_{Fp}} \cdot f^{p_{Fp}} \cdot v^{c_{Fp}} \cdot P K_{F_{Fp}}, \quad (2.3.14)$$

$$F_f = c_f \cdot a^{f_{Ff}} \cdot f^{p_{Ff}} \cdot v^{c_{Ff}} \cdot P K_{F_{Ff}}, \quad (2.3.15)$$

Konstanty  $f_{Fc}$ ,  $p_{Fc}$ ,  $c_{Fc}$ ,  $f_{Fp}$ ,  $p_{Fp}$ ,  $c_{Fp}$ ,  $f_{Ff}$ ,  $p_{Ff}$ ,  $c_{Ff}$ ,  $c_c$ ,  $c_p$ ,  $c_f$  jsou empirické konstanty,  $K_{F_{Fc}}$ ,  $K_{F_{Fp}}$ ,  $K_{F_{Ff}}$  jsou opravné konstanty pro jiné specifické pracovní podmínky, než pro které platí konstanty  $c_c$ ,  $c_p$ ,  $c_f$ .

Vzhledem k tomu, že závislosti  $F_{c,p,f} = f(v_c)$  nejsou obecně monotónní a exponenty  $c_{Fc}$ ,  $c_{Fp}$ ,  $c_{Ff}$  se příliš od nuly neliší, uvažuje se (s určitou nepřesností) pro praktické výpočty (např. pro formulaci omezujících podmínek při optimalizaci řezných podmínek), že složky síly obrábění nejsou prakticky závislé na řezné rychlosti.



## Shrnutí kapitoly

V této kapitole jste se dozvěděli jaký vliv mají řezné parametry na tvorbu třísky. U většiny technických materiálů převážně dochází (při tvorbě třísky) bezprostředně u břitu nástroje k plastické deformaci, kdy vzniká tříška tvářená.

Byl vysvětlen pojem měrná řezná síla v závislosti na různých parametrech obrábění a její matematická vyjádření. Také jste se naučili metodiku výpočtu sil při obrábění několika způsoby a vliv geometrie nástroje na složky řezných sil.



## Kontrolní otázky

### 2.3 Vliv řezných parametrů na tvorbu třísky

1. Jaký význam má v procese obrábění tvářená tříška?
2. Čím je v procese řezání podmíněn a provázen vznik třísky?
3. Co je smyslem progresivní technologie HSC (High Speed Cutting)?
4. Jak lze definovat řezný nástroj?
5. Jak lze definovat obrobek?
6. Čím je dána tuhost soustavy?
7. Co je to poddajnost?
8. Jak lze matematicky vyšetřit limitní posuv z hlediska tuhosti soustavy?
9. Co způsobuje v průběhu řezání nízká tuhost technologické soustavy?
10. Jak lze rozdělit vynucené kmitání z hlediska původu budící síly?
11. Definiujte integritu povrchu!
12. Funkční vlastnosti povrchu jsou popsány určitým souborem charakteristik. Vyjmenujte tyto charakteristiky?
13. K charakteristickým veličinám probíhajícího procesu třískového obrábění řadíme:?
14. Jak je nastaveno ostří nástroje v případě ortogonálního řezání?
15. Uveďte typické příklady ortogonálního řezání!
16. Jakého původu je většina technických materiálů běžně používaných ve strojírenské praxi?
17. K jakým deformacím při vnikání nástroje do materiálu obrobku dochází v oblasti tvoření třísky?
18. Jak jsou rozloženy pružné a plastické deformace?
19. Kde a do jaké míry rostou smyková napětí?
20. Kdy je ukončen proces plastická deformace?

**Úkol k řešení**

1. Zakreslete závislost řezných složek  $F_c$ ,  $F_f$  a  $F_p$  na úhlu sklonu ostří  $\lambda_s$ .
2. Zakreslete závislost řezných složek  $F_c$ ,  $F_f$  a  $F_p$  na úhlu sklonu ostří  $C_r$ .
3. Napište vzorec měrné řezné síly.
4. Zakreslete průběh závislosti měrného řezného odporu na tloušťce odřezávané vrstvy a posuvu.
5. Pomocí obrázku vysvětlete zpevňování materiálu při obrábění.



## 2.4. Kritéria v optimalizaci řezných parametrů



**Čas ke studiu:** 10 hodin



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Význam optimalizace řezných podmínek
- Základní kritéria optimalizace (kritérium minimálních výrobních nákladů, kritérium maximální produktivity, kritérium maximálního zisku.)



**Výklad**

Význam optimalizace řezných podmínek a trvanlivosti nástrojů roste zároveň s rostoucími požadavky na komplexní optimalizaci pracovních podmínek, zejména s vazbou na optimalizaci geometrie a materiálu nástrojů, výměnu nástrojů při nasazení více nástrojů při práci současně apod. Tyto optimalizační vazby jsou velmi složité a lze je uspokojivě řešit pouze na počítači při použití vhodných optimalizačních algoritmů. Při optimalizaci více řezných podmínek však jde převážně o optimalizaci dílčího zaměření bez vazby na další faktory ovlivňující komplexně optimalizaci technologie jako celku.

### q Konvenční optimalizace

V procesu obrábění dochází nejčastěji k postupnému záběru jednotlivých nástrojů bez překrývání jejich práce, což oprostuje od úvah další vazby na tuto práci. Kritéria optimálnosti při práci jedním nástrojem jsou různá, ale z praktického hlediska jsou významná pouze dvě:

### q Kritérium minimálních výrobních nákladů

Toto kritérium lze jednoduše matematicky formulovat:

$$VN_u = \min, \quad (2.4.1)$$

$VN_u$  jsou výrobní náklady na uvažovaný operační úsek v **Kč** (jsou uvažovány pouze náklady plynoucí ze strojního času  $t_{As}$  a času na výměnu, resp. seřízení opotřebeného nástroje  $t_{vn}$ , náklady na vedlejší práci a seřízení stroje optimalizací řezných podmínek neovlivní).

Z hlediska těchto dvou časů lze náklady  $VN_u$  rozepsat

$$VN_u = N_{sm} + N_{vn}. \quad (2.4.2)$$

Položky  $N_{sm}$  lze vyjádřit při jednostránkové obsluze a obrábění jednoho kusu jako náklady obsahující následující položky:

- náklady na mzdu dělníka (operátora),
- náklady na provoz stroje,
- náklady na nástroje,
- dílenské režijní náklady.

Vyjádření rovnice:

$$N_{sm} = N_s + N_n = t_s \left[ k_C \frac{M_o}{60} \left( 1 + \frac{VR_d}{100} \right) + \frac{N_{hs}}{60} \right] + z_v \cdot N_{nT} = t_{As} \cdot N_{sm} + z_v \cdot N_{nT} \quad (2.4.3)$$

Z předchozího vztahu vyplývá, výrobní režijní náklady se připočítávají ke mzdám výrobních dělníků. Tuto skutečnost je nutné respektovat při určování výrobní režie. Jakékoliv změny v provozu, které vyvolají změnu režie, se projeví i při optimalizaci řezných podmínek (např. počet výrobních dělníků - při vícestrojové obsluze vzrůstá hodnota výrobní režie).

Hodinové náklady na provoz stroje  $N_{hs}$  lze vyjádřit takto:

$$N_{hs} = O_s \cdot k_{us} + C_E, \quad (2.4.4)$$

$$O_s = \frac{C_s}{Z_s \cdot F_c \cdot s_m \cdot h_s} \quad (2.4.5)$$

Koeficient časového využití stroje se stanovuje z dlouhodobého průměru, ev. z předpokladu o vytížení stroje. Pro různé typy výrob plynou z využití času v různých závodech přibližné hodnoty koeficientu [2.4.5], který je dán podílem součtu ceny stroje, předpokládané částky za opravy, resp. údržby (po dobu jeho životnosti) a ceny stroje.

Počet výměn  $z_v$  při obrábění jedné součásti lze vyjádřit:

$$z_v = \frac{t_{As}}{T} \cdot t \quad (2.4.6)$$

Náklady na nástroje, vztažené na jednu trvanlivost  $N_{nT}$ , lze též vyjádřit i pro nástroje s *výměnitelnými břitovými destičkami*, které se zpravidla nepřeostřují

$$N_{nT} = \frac{C_d \cdot z_d}{z_b \cdot s_b} + (1 + k_{ut}) \frac{C_m}{z_u} \quad (2.4.7)$$

Koeficient údržby tělesa nástroje  $k_{ut}$  zahrnuje vlastní údržbu tělesa nástroje a především cenu náhradních dílů - utvářečů třísek, podložek, šroubů apod. Stanoví se jako podíl sumy předpokládané ceny oprav všech náhradních dílů za dobu životnosti tělesa a ceny tělesa nástroje.

Součinitel využití břitových destiček  $s_b$  zahrnuje vliv poškození břitů (které právě neřežou) odcházející třískou, křehkým lomem apod. Počet možných výměn břitových destiček je taky omezen se zřetelem na poškození tělesa nástroje v provozních podmínkách. Střední hodnoty  $z_u$ ,  $k_{ut}$ ,  $s_b$  zjištěné v provozních podmínkách jsou uvedeny v tabulce č. 2.4.1.

Pro vyšetřované technologické prostředí (výroba či renovace rotačních ploch kovacích zápustek v *obrobně kovárny*) lze provozní podmínky klasifikovat jako dle následující tabulky jako těžké, čímž se určí potřebné nákladové koeficienty.

Tabulka č. 2.4.1 - Provozní podmínky při obrábění

Provozní podmínky při obrábění	$z_u$	$s_b$	$k_{ut}$
lehké	400 až 600	0,95	0,05
střední	200 až 400	0,90	0,25
těžké	200	0,80	0,40
velmi těžké	100	0,70	0,60

S ohledem na relativně vysoké ceny břitových destiček a celosvětový vývoj cen některých surovin pro jejich výrobu se vyměnitelné destičky ze slinutých karbidů, u kterých to umožňuje jejich geometrie, přeastřují.

Náklady  $N_{vn}$  obsahují:

- náklady na mzdu seřizovače,
- náklady na provoz stroje,
- dílenské režijní náklady.

Vyjádřeno rovnicí:

$$N_{vn} = t_{vn} \left[ k_c \cdot \frac{M_s}{60} \left( 1 + \frac{VR_d}{100} \right) + \frac{O_s}{60} \right] \cdot z_v = t_{vn} \cdot N_{vnm} \cdot z_v \quad (2.4.8)$$

Dosazením předchozích vztahů do podmínky (2.4.1) se obdrží *kritérium optimálnosti z hlediska minimálních výrobních nákladů* ve tvaru

$$VN_u = t_s \cdot N_{sm} + \frac{t_{As}}{T} \cdot t \cdot (t_{vn} \cdot N_{vnm} + N_{nT}) \stackrel{!}{=} \min \quad (2.4.9)$$

Vzhledem k tomu, že určení optimálních řezných podmínek nelze obecně oddělit od určení trvanlivosti nástroje, je vhodné vyjádřit vztah (2.4.9) jako funkci řezných podmínek - posuvu  $f$ , tloušťky odřezávané vrstvy  $a$ , řezné rychlosti  $v_c$ , resp. trvanlivosti  $T$  (tedy veličin, které se optimalizují).

Strojní čas lze vyjádřit

$$t_{As} = \frac{L}{n \cdot f} \quad (2.4.10)$$

Po dosazení za  $t_{As}$  ze vztahu (2.4.10) do rovnice (2.4.9) obdržíme

$$VN_u = \frac{L}{n \cdot f} \cdot N_{sm} + \frac{L \cdot t}{n \cdot f \cdot T} (t_{vn} \cdot N_{vnm} + N_{nT}) \stackrel{!}{=} \min \quad (2.4.11)$$

Po sloučení konstant vztahu (2.4.11) do konstant  $K_1$ ,  $K_2$ , se obdrží *kritérium optimálnosti* ve tvaru:

$$\frac{K_1}{n \cdot f} + \frac{K_2}{n \cdot f \cdot T} \stackrel{!}{=} \min \quad (2.4.12)$$

$$\text{kde } K_1 = L \cdot N_{sm} \quad (2.4.13)$$

$$K_2 = L \cdot t \cdot (t_{vn} \cdot N_{vmm} + N_{nT}) \quad (2.4.14)$$

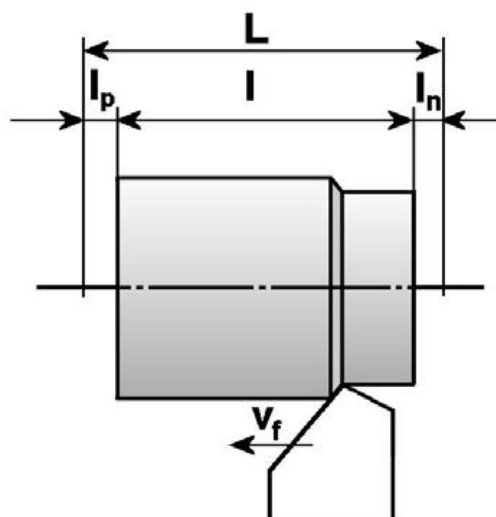
### Příklad 2.4.1 Kritérium minimálních výrobních nákladů

Určete optimální řezné podmínky pro zadaný úsek hrubovacího soustružení dle kritéria minimálních výrobních nákladů.

Vysvětlení použitých symbolů

$N_c$	Celkové operační výrobní náklady
$N_s$	Náklady na strojní práci
$N_{SH}$	Hodinová sazba stroje
$N_N$	Náklady na nástroje
$N_V$	Náklady na vedlejší práci
$N_T$	Náklady na 1 břit nástroje (s jednou trvanlivostí)
$N_1$	Cena VBD
$N_2$	Cena držáku
$DV$	Sazba vedlejších prací
$n_B$	Počet břitů na destičce
$z$	Počet garantovaných upnutí VBD
$t_{AX}$	Čas jednotkové nepravidelné obsluhy - zahrnuje výměnu a operační seřízení nástroje
$t_{AS}$	Jednotkový strojní čas
$t_{AV}$	Jednotkový vedlejší čas - čas pro manipulaci s kusem a upnutí pomocí jeřábu
$Q_T$	Počet obrobeneých kusů za jednotku trvanlivosti nástroje
$\lambda$	poměr dráhy nástroje ve směru posuvu a délky obráběné plochy (viz. výpočet)

*Poznámka:* Použité označení a symboly v tomto praktickém příkladě se mohou lišit od předešlého teoretického výkladu.



Obr. 2.4.1 – Dráha nástroje při podélném soustružení [ 5 ]

**Zadání:**

$N_{SH}$  – hodinová sazba stroje,  $N_{SH} = 1800 \text{ Kč}$

$N_1$  – cena VBD,  $N_1 = 190 \text{ Kč}$

$N_2$  – cena držáku VBD,  $N_2 = 1900 \text{ Kč}$

$D_V$  – sazba vedlejších prací,  $D_V = 110 \text{ Kč}$

$n_B$  – počet břitů na destičce,  $n_B = 4$

$z$  – počet garantovaných upnutí VBD,  $z = 1750$

$t_{AX}$  – čas jednotkové nepravidelné obsluhy (zahrnuje obsluhy a operační seřízení stroje),

$t_{AX} = 15 \text{ min}$

$t_{AV}$  – jednotkový vedlejší čas (pro manipulaci s kusem a upnutí pomocí jeřábu),  $t_{AV} = 7,5 \text{ min}$

$a_p$  – hloubka třísky,  $a_p = 5 \text{ mm}$

$f$  – posuv,  $f = 0,5 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$

$f_r$  – rychloposuv,  $f_r = 714,3 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$

$m$  – exponent z Taylorova vztahu,  $m = 3$

Obráběný materiál: 1.2379 (X155CrVMo 12-1, 19 573)

$c_V = 150$

$x_V = 0,2$

$y_V = 0,35$

**Výpočet:****Schéma úběru materiálu (schéma drah nástroje) pro daný úsek hrubování:**

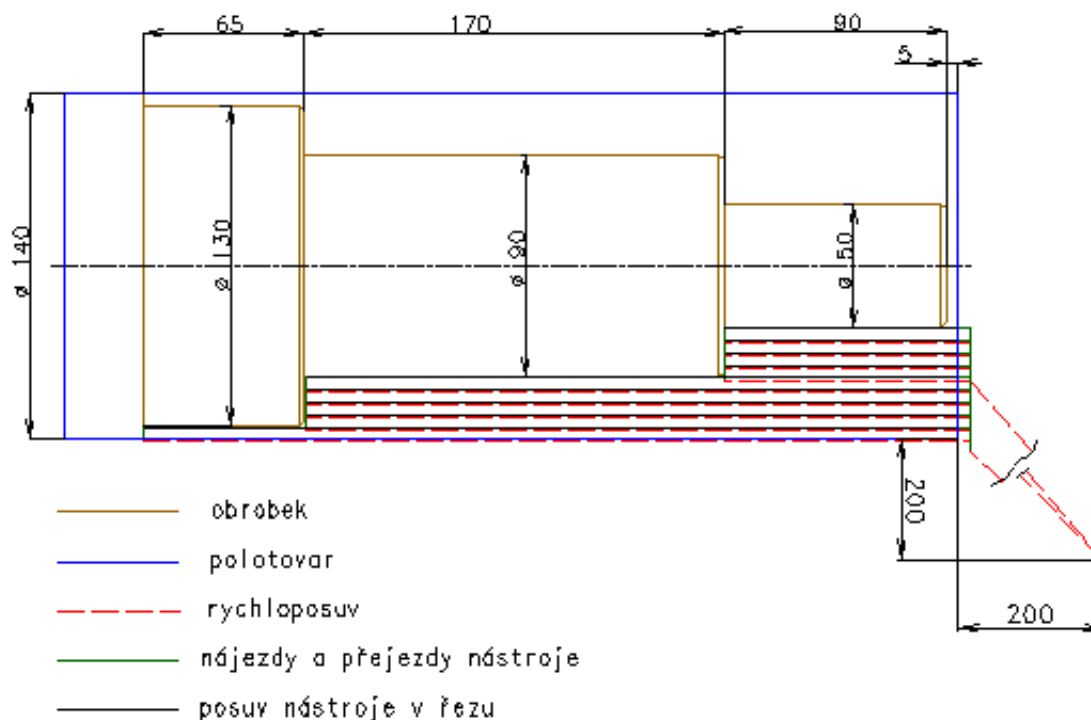
Dle zadání rozměru součásti a zhotovení schématu úběru materiálu byly zjištěny tyto údaje:

$l_r$  – dráha nástroje rychloposuvem,  $l_r = 2377 \text{ mm}$

$l$  – dráha nástroje v tříске,  $l = 1766 \text{ mm}$

$l_n$  – dráha náběhu nástroje do třísky,  $l_n = 127 \text{ mm}$

$l_p$  – dráha výběhu nástroje z třísky,  $l_p = 53,5 \text{ mm}$



Obr. 2.4.2 – Schéma úběru materiálu

Tabulka výpočtu optimalizace dle kritéria minimálních nákladů je sestavena pro průměr obrobku  $D = 100 \text{ mm}$ .

Tabulka č. 2.4.1 Tabulka výpočtu optimalizace dle kritéria minimálních nákladů

<b>n</b> [ot·min <sup>-1</sup> ]	<b>v<sub>c</sub></b> [m·min <sup>-1</sup> ]	<b>T</b> [min]	<b>t<sub>AS</sub></b> [min]	<b>Q<sub>T</sub></b> [-]	<b>N<sub>S</sub></b> [Kč/ks]	<b>N<sub>N</sub></b> [Kč/ks]	<b>N<sub>V</sub></b> [Kč/ks]	<b>N<sub>C</sub></b> [Kč/ks]
100	31,41	100,552	38,96	2,844	1168,9	26,75	13,75	1209,4
150	47,12	29,793	25,97	1,264	779,26	60,18	13,75	853,2
200	62,83	12,569	19,48	0,711	584,44	106,99	13,75	705,19
250	78,54	6,435	15,58	0,455	467,56	167,18	13,75	648,48
<b>300</b>	<b>94,25</b>	<b>3,724</b>	<b>12,98</b>	<b>0,316</b>	<b>389,63</b>	<b>240,74</b>	<b>13,75</b>	<b>644,12</b>
350	109,95	2,345	11,13	0,232	333,97	327,67	13,75	675,39
400	125,66	1,571	9,74	0,177	292,22	427,98	13,75	733,96
450	141,37	1,103	8,65	0,14	259,75	541,66	13,75	815,17
500	157,08	0,804	7,79	0,113	233,78	668,72	13,75	916,25
550	172,78	0,604	7,08	0,094	212,52	809,15	13,75	1035,43
600	188,49	0,465	6,49	0,079	194,81	962,96	13,75	1171,52
650	204,2	0,366	5,99	0,067	179,83	1130,14	13,75	1323,72

**Příklad výpočtu pro 5. řádek z tabulky ( $n = 300 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ ):**

Jednotkový strojní čas  $t_{AS}$ :

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} + t_{\text{rychloposuvu}}$$

$$t_{AS} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} + \frac{l_r}{n \cdot f_r}$$

$$t_{AS} = \frac{127 + 1766 + 53,5}{300 \cdot 0,5} + \frac{2377}{300 \cdot 714,3}$$

$$t_{AS} = 12,98 \text{ min}$$

Náklady na jeden břit nástroje  $N_T$ :

$$N_T = \frac{N_1}{n_B} + \frac{N_2}{z} + \frac{t_{AX} \cdot D_V}{60}$$

$$N_T = \frac{190}{4} + \frac{1900}{1750} + \frac{15 \cdot 110}{60}$$

$$N_T = 76,09 \text{ Kč / ks}$$

Náklady na strojní práci  $N_S$ :

$$N_S = \frac{t_{AS} \cdot N_{SH}}{60}$$

$$N_S = \frac{12,98 \cdot 1800}{60}$$

$$N_S = 389,63 \text{ Kč / ks}$$

Řezná rychlost  $v_c$ :

$$v_c = \frac{p \cdot D \cdot n}{1000}$$

$$v_c = \frac{p \cdot 100 \cdot 300}{1000}$$

$$v_c = 94,25 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Trvanlivost T:

$$T = \frac{c_T}{a_p^{x_v} \cdot f^{y_v} \cdot v_c^m}$$

$$T = \frac{c_V^m}{a_p^{x_v} \cdot f^{y_v} \cdot v_c^m}$$

$$T = \frac{150^3}{5^{0,2} \cdot 0,5^{0,35} \cdot 94,25^3}$$

$$\underline{\underline{T = 3,724 \text{ min}}}$$

Součinitel  $\lambda$ :

$$I = \frac{l}{L}$$

$$I = \frac{l}{l_n + l + l_p}$$

$$I = \frac{1766}{127 + 1766 + 53,5}$$

$$\underline{\underline{I = 0,907}}$$

Výpočet  $Q_T$ :

$$Q_T = \frac{T}{I \cdot t_{AS}}$$

$$Q_T = \frac{3,724}{0,907 \cdot 12,98}$$

$$\underline{\underline{Q_T = 0,316}}$$

Náklady na nástroj  $N_N$ :

$$N_N = \frac{N_T}{Q_T}$$

$$N_N = \frac{76,09}{0,316}$$

$$\underline{\underline{N_N = 240,74 \text{ Kč} / ks}}$$

Náklady na vedlejší práci  $N_V$ :

$$N_V = \frac{t_{AV} \cdot D_V}{60}$$

$$N_V = \frac{7,5 \cdot 110}{60}$$

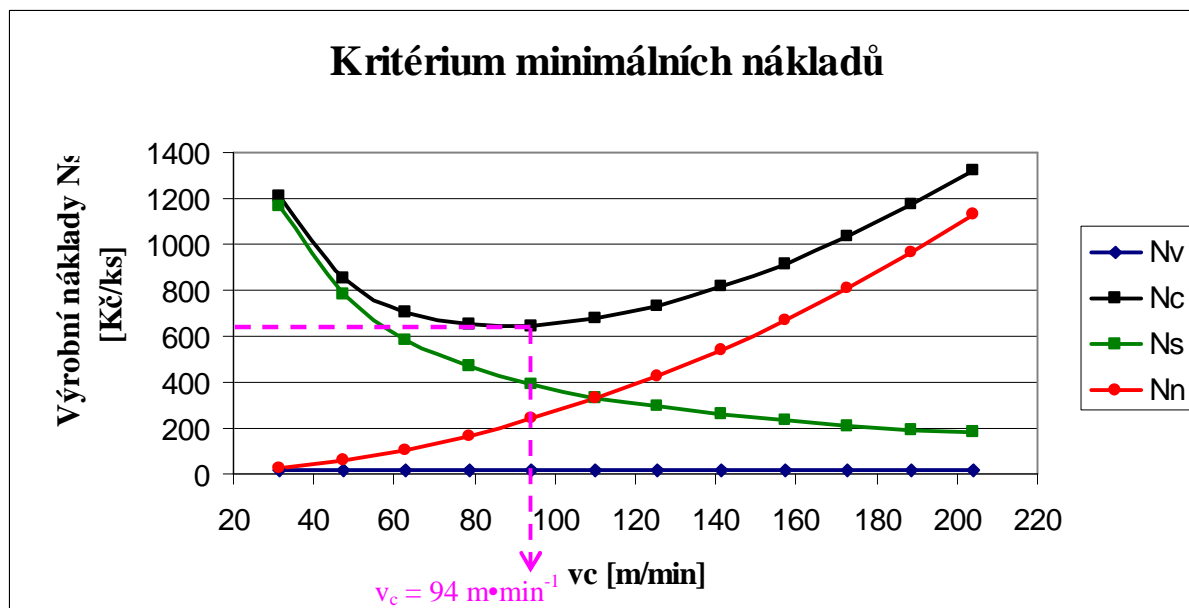
$$\underline{\underline{N_V = 13,75 \text{ Kč} / ks}}$$

Celkové operační výrobní náklady  $N_C$ :

$$N_C = N_S + N_N + N_V$$

$$N_C = 389,63 + 240,74 + 13,75$$

$$\underline{\underline{N_C = 644,12 \text{ Kč} / ks}}$$



Obr. 2.4.2 – Graf kritéria minimálních nákladů

Z tohoto grafu lze vyčíst, že minimální výrobní náklady  $N_C = 644,12 \text{ Kč/ks}$  se dosáhnou při obrábění reznou rychlostí  $v_{c(MV)} = 94,25 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  při zvoleném posuvu  $f = 0,5 \text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$ .

#### Příklad 2.4.1

**Vypočítejte trvanlivost vyměnitelné břitové destičky (VBD) při podélném soustružení dle kritérium minimálních výrobních nákladů s využitím známého Taylorova vztahu:**

Po derivaci základního vztahu podle trvanlivosti  $T$ , za předpokladu, že hodnoty  $t_{AV}$  a  $N_{vm}$  jsou ve vztahu k trvanlivosti konstantní (jejich derivací tedy bude nula) a předpokladu, že tato derivace je rovna nule (hledání maximální hodnoty operačních výrobních nákladů  $N_C$ ) a následně úpravě se získá vztah pro výpočet optimální trvanlivosti ve tvaru:

$$T_{opt}(VN) = (m-1) \cdot I \cdot \frac{N_T}{N_{SH} / 60}$$

**Zadáni:** Délka dráhy nástroje v řezu  $l = 200 \text{ mm}$

Délka nájedu nástroje  $l_n = 8 \text{ mm}$

Délka nájedu nástroje  $l_p = 2 \text{ mm}$

Exponent z Taylorova vztahu  $m = 2,5$

Čas jednotkové nepravidelné obsluhy  $t_{Ax} = 4 \text{ min}$  (zahrnuje výměnu a operační seřízení nástroje)

Cena VBD  $N_1 = 250,- \text{ Kč}$ .

Cena držáku nástroje  $N_2 = 1500,- \text{ Kč}$ .

Počet břitů na VBD  $n_B = 4$

Počet garantovaných upnutí VBD  $z = 4$

Hodinová sazba stroje  $N_{SH} = 950 \text{ Kč}$ .



**Výpočet:**

Náklady na 1 břit nástroje (s jednou trvanlivostí):

$$N_T = \frac{N_1}{n_B} + \frac{N_2}{z} + \frac{t_{AX} \cdot D_V}{60}$$

$$N_T = 85,5 \text{ Kč.}$$

Poměr dráhy nástroje ve směru posuvu a délky obráběné plochy  $\lambda$  [ - ] se vypočte:

$$I = \frac{l}{L}$$

Kde L je celková dráha nástroje.

$$L = l_p + l_n$$

$$\lambda = 0,952$$

Vypočtená trvanlivost nástroje dle zadaných hodnot z hlediska minimálních výrobních nákladů:

$$T_{opt}(VN) = 7,71 \text{ min}$$

## q Kritérium maximální produktivity

Jde o maximální počet vyráběných součástí za jednotku času, resp. minimum jednotkového času, které je druhé nejdůležitější kritérium optimálnosti. Používá se všude tam, kde jsme omezeni kapacitou výrobního zařízení, resp. *daným termínem dohotovení určitého počtu součástí*. V případě konkrétního termínu neplánované zakázky je možné kombinovat kritérium maximální produktivity s kritériem minimálních výrobních nákladů tak, aby náklady na obrábění byly minimální a současně, aby byl dodržen termín dohotovení zakázky.

Kritérium maximální produktivity lze vyjádřit při uvažování určitého operačního úseku ve tvaru

$$t_u = t_s + t_{vm} \cdot z_v = \min. \quad (2.4.15)$$

Z matematického hlediska jsou kritéria optimálnosti minimálních výrobních nákladů a maximální produktivity stejná. Tato skutečnost umožňuje řešit optimalizaci řezných podmínek.

### Příklad 2.4.2

**Vypočítejte trvanlivost dle kritérium maximální výrobnosti s využitím známého Taylorova vztahu:**

$$T_{opt}(MV) = (m - 1) \cdot I \cdot t_{Ax}$$

**Zadání:** Délka dráhy nástroje v řezu  $l = 200$  mm

Délka nájedu nástroje  $l_n = 8$  mm

Délka nájedu nástroje  $l_p = 2$  mm

Exponent z Taylorova vztahu  $m = 2,5$

Čas jednotkové nepravidelné obsluhy  $t_{Ax} = 4$  min (zahrnuje výměnu a operační seřízení nástroje)

**Výpočet:**

Poměr dráhy nástroje ve směru posuvu a délky obráběné plochy  $\lambda$  [ - ] se vypočte:

$$I = \frac{l}{L}$$

Kde  $L$  je celková dráha nástroje.

$$L = l_p + l_n$$

$$\lambda = 0,952$$

Vypočtená trvanlivost nástroje dle zadaných hodnot z hlediska maximální výrobnosti:

$$T_{opt}(MV) = 5,71$$

### q Vícekriteriální optimalizace

V technologii obrábění mohou nastat i případy, kdy je požadován určitý kompromis mezi optimalizací z hlediska minimálních výrobních nákladů  $VN_u$  a maximální produktivity  $t_u$ . Pak je nutné vzít v úvahu vícekriteriální hodnocení s kritériem  $K_v$ :

$$K_v = r \frac{VN_u}{VN_u^l} + (1-r) \frac{t_u}{t_u^l} = \min, \quad 0 \leq r \leq 1. \quad (2.4.16)$$

Po dosazení za  $VN_u$  a  $t_u$  a po úpravě [2.4.16] obdržíme kritérium ve tvaru

$$\frac{1}{n \cdot f} \left[ K_1 \frac{r}{VN_u^l} + \frac{K_3(1-r)}{t_u^l} \right] + \frac{1}{n \cdot f \cdot T} \left[ K_2 \frac{r}{VN_u^l} + \frac{K_4(1-r)}{t_u^l} \right] = \min. \quad (2.4.17)$$

### q Kritérium maximálního zisku

Toto kritérium je čistě z hlediska optimalizace řezných podmínek shodné s kritériem minimálních výrobních nákladů. Přihlédne-li se však k zákonitostem tržního prostředí, může docházet k určitým rozdílům.

### q Kritérium maximálního úběru

Shodnost s kritériem maximální produktivity je pouze v případě, kdy se vychází předem z optimální trvanlivosti řezného nástroje z hlediska maximální produktivity. Vzhledem k tomu, že je tuto optimální trvanlivost možno určit před optimalizací řezných podmínek pouze za určitých okolností (obecně nelze oddělit optimalizaci trvanlivosti a řezných podmínek), je použití tohoto kritéria jako kritéria maximální produktivity obecně nesprávné.

Matematicky se dá kritérium maximálního úběru vyjádřit vztahem:

$$U = v_c \cdot f \cdot a_p. \quad (2.4.18)$$



## Shrnutí kapitoly

V této kapitole jste se dozvěděli jaký je význam optimalizace, jak se zaměřit na faktory ovlivňující optimalizaci technologie jako celku. Jaká omezující kritéria můžeme definovat. To jsou kritérium minimálních výrobních nákladů, maximální produktivity, vícekritériální optimalizace, kritérium maximálního zisku, maximálního úběru.



## Kontrolní otázky pro kapitolu

### 2.4 Kritéria v optimalizaci řezných parametrů

1. Jaký význam má v procese obrábění optimalizace?
2. Jaký je v současnosti prioritní požadavek zákazníka ve vztahu k obrobku?
3. Čím je v procese řezání podmíněn a provázen vznik třísky?
4. Co je smyslem progresivní technologie HSC (High Speed Cutting)?
5. Jak lze definovat řezný nástroj?
6. Jak lze definovat obrobek?
7. Čím je dána tuhost soustavy?
8. Co je to poddajnost?
9. Jak lze matematicky vyšetřit limitní posuv z hlediska tuhosti soustavy?
10. Co způsobuje v průběhu řezání nízká tuhost technologické soustavy?
11. Jak lze rozdělit vynucené kmitání z hlediska původu budící síly?
12. Definujte integritu povrchu!
13. Funkční vlastnosti povrchu jsou popsány určitým souborem charakteristik. Vymenujte tyto charakteristiky?
14. Co řadíme k charakteristickým veličinám probíhajícího procesu třískového obrábění?
15. Jak je nastaveno ostří nástroje v případě ortogonálního řezání?
16. Uveďte typické příklady ortogonálního řezání!
17. Jakého původu je většina technických materiálů běžně používaných ve strojírenské praxi?
18. K jakým deformacím při vníkaní nástroje do materiálu obrobku dochází v oblasti tvoření třísky?
19. Jak jsou rozloženy pružné a plastické deformace?
20. Kde a do jaké míry rostou smyková napětí?
21. Kdy je ukončen proces plastické deformace?



### Úkol k řešení

1. Jak lze zjednodušeně matematicky formulovat kritérium minimálních výrobních nákladů?
2. Jak vyjádříte u kriteria minimálních výrobních nákladů náklady na provoz stroje  $N_{hs}$ ?
3. Jak vyjádříte početně počet výměn  $z_p$  při obrábění jedné součásti ?
4. Zakreslete teoretickou závislost řezné rychlosti na jednotlivých časech obrábění (kritérium maximální výrobnosti).
5. Zakreslete teoretickou závislost řezné rychlosti na jednotlivých nákladech obrábění (kritérium minimálních výrobních nákladů).

## 2.5. Omezení v optimalizaci řezných parametrů



**Čas ke studiu:** 10 hodin



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Omezující podmínky v optimalizaci dané výkonem stroje, maximálním kroutícím momentem, přípustnou silou řezání, otáčkami stroje, posuvem stroje, řezivostí nástroje - Taylorovým vztahem
- Určit oblast přípustných řešení
- Určit optimální trvanlivost z různých hledisek



**Výklad**

Jedná se o technická omezení vyskytující se při optimalizaci řezných podmínek, které se formulují ve formě omezujících podmínek. *Technologické prostředí charakterizuje určitý soubor omezujících podmínek, a proto je nezbytné vždy uvážit, které omezující podmínky přicházejí pro danou technologii v úvahu.* Čím větší počet různých omezení bude nutné při určování optimálních řezných podmínek respektovat, tím složitější bude optimalizace.

*Omezující podmínky jsou obecně nerovnice, pouze výjimečně mohou být rovnicemi.*

### □ Omezení dané výkonem obráběcího stroje

Omezení dané výkonem obráběcího stroje je *nejdůležitějším* omezením při *hrubování*. Omezující podmínku lze formulovat:

$$P_{\text{řez}} \leq P_{\text{euž}} = P_e \cdot h. \quad (2.5.1)$$

Výkon potřebný pro řezání  $P_{\text{řez}}$  je nutné vyjádřit jako funkci řezných podmínek.

Pak platí

$$60 P_{\text{řez}} = F_c \cdot v_c. \quad (2.5.2)$$

Pro soustružení platí

$$F_c = c_c \cdot a^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \cdot v_c^{z_{F_c}}, \quad (2.5.3)$$

kde  $c_c$  je konstanta a  $x_{F_c}$ ,  $y_{F_c}$ ,  $z_{F_c}$  jsou exponenty.

Po dosazení z rovnice (2.5.3) do omezující podmínky (2.5.1) platí

$$c_c \cdot a^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \cdot v_c^{z_{F_c}+1} \leq 60 P_e \cdot h. \quad (2.5.4)$$

Dosazením za  $v_c$  se po úpravě obdrží omezující podmínka z hlediska výkonu obráběcího stroje ve tvaru

$$a^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \cdot n^{z_{F_c} + 1} \leq \frac{60 P_e \cdot h}{c_c} \left( \frac{1000}{p \cdot D} \right)^{z_{F_c} + 1} . \quad (2.5.5)$$

Vzhledem k tomu, že závislost řezné složky je na řezné rychlosti poměrně slabá ( $z_{F_c}$  se blíží 0), obecně nemonotónní, i vzhledem k tomu, že pro určitý řezný materiál přichází v úvahu jen omezený rozsah řezné rychlosti, uvažuje se většinou rovnice (2.5.3) ve tvaru

$$F_c = c_c \cdot a^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \quad (2.5.6)$$

a omezující podmínka (2.5.5) ve tvaru

$$a^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \cdot n \leq \frac{60 \cdot 10^3 P_e \cdot h}{p \cdot c_c \cdot D} . \quad (2.5.7)$$

Analogicky lze vyjádřit omezující podmínku z hlediska výkonu i pro jiné technologie.

#### □ Omezení dané maximálně přípustným kroučícím momentem.

Z hlediska *upínacího zařízení stroje* (síly upnutí), eventuálně z jiných důvodů je nutné uvažovat omezení dané maximálně přípustným kroučícím momentem  $M_{k,max}$ , kdy

$$M_k \leq M_{k,max} . \quad (2.5.8)$$

Kroučící moment lze vyjádřit vztahem

$$M_k = \frac{F_c \cdot D_{(n)}}{2} . \quad (2.5.9)$$

Dosazením za  $M_k$  z rovnice (49) do podmínky (48) a dále za  $F_c$  z rovnice (46) po úpravě pro soustružení platí omezující podmínka

$$a^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \leq \frac{2 M_{k,max}}{c_c \cdot D} . \quad (2.5.10)$$

### q Omezení dané maximálně přípustnou silou řezání

Z ohledem na pevnost řezného nástroje nebo obrobku je nutné uvažovat omezující podmínku z hlediska maximálně přípustného řezného odporu  $R$ , resp. výsledné síly obrábění  $F$ .

Přestože lze uvažovat působení všech složek síly obrábění, vzhledem ke zkoumanému technologickému prostředí je vhodné a také jednodušší uvažovat pouze namáhání řeznou složkou síly obrábění a dovolené namáhání  $s_d$  uvažovat se zřetelem na toto zjednodušení s určitou bezpečností.

$$F_c \leq F_{c \max}. \quad (2.5.11)$$

Po dosazení za  $F_c$  z rovnice (46) lze po úpravě obdržet omezující podmínku ve tvaru:

$$a^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \leq \frac{F_{c \max}}{c_c \cdot F_c}. \quad (2.5.12)$$

Omezující podmínku z hlediska maximálně přípustné výsledné síly obrábění je někdy vhodné uvažovat v zjednodušeném tvaru

$$f \leq f_{F \max}. \quad (2.5.13)$$

Uvažovaná omezující podmínka má praktické uplatnění zejména z hlediska křehkých lomů břitu (vylamování ostří), resp. celkové destrukce břitu. Praktické zkušenosti však ukazují, že tyto jevy jsou jen málo závislé na tloušťce odřezávané vrstvy, a proto je použití této omezující podmínky oprávněné. Velikost  $f_{F \max}$  se určuje experimentálně nebo přibližně na základě zkušeností s obráběním ve stejných nebo obdobných pracovních podmínkách.

### q Omezení dané vhodným utvářením třísky.

U technologických operací, kdy sám technologický proces nezajišťuje dělení třísek, je nutné zejména u strojů bez přímého dohledu obsluhy (NC strojů) zabezpečit obrábění v rozsahu řezných podmínek, kde dochází ke vhodnému utváření (dělení) třísek.

Optimalizaci řezných podmínek je vhodné provádět pro určitou tloušťku odřezávané vrstvy  $a$  na základě znalostí diagramu vhodného utváření třísek. Omezující podmínky jsou:

$$f \leq f_{u \max}, \quad (2.5.14)$$

$$f \geq f_{u \min}. \quad (2.5.15)$$

### q Omezení dané požadovanou drsností obrobené plochy.

Soustruží-li se načisto, je důležité omezení z hlediska požadované drsnosti obrobené plochy. Toto omezení lze formulovat ve tvaru

$$R_a \leq R_{a \max}. \quad (2.5.16)$$

Obecně platí:

$$R_a = f \left( f, v_c, a, r_e, c_r, c_r^l, \dots \right). \quad (2.5.17)$$



Odborná literatura uvádí mnoho různých vztahů (2.5.18), které však mají omezenou platnost na konkrétní podmínky obrábění. Vztah (2.5.18) s univerzální platností se doposud nepodařilo stanovit, a proto se formuluje v obecném vztahu

$$f \left( f, v, a, r_e, c_r, c_r^l, \dots \right) \leq R_{a \max} . \quad (2.5.18)$$

Po dosazení za  $v_c$  obdržíme po úpravě omezující podmínku ve tvaru

$$g_1 \left( a, f, n, \right) \leq g_2 \left( R_{a \max}, D_{(n)}, r_e, c_r, c_r^l, \dots \right). \quad (2.5.19)$$

Omezující podmínka (2.5.20) se v konkrétní formě stanovuje pro specifické technologické prostředí. Není-li však pro určitý případ obrábění vztah (2.5.18) znám, uvažuje se někdy omezující podmínka ve zjednodušení, a to ve tvaru

$$f \leq f_{R \max} . \quad (2.5.20)$$

Uvažuje-li se rovnice (2.5.18) ve tvaru

$$f = F \left( R_a, v_c, a, r_e, c_r, c_r^l, \dots \right), \quad (2.5.21)$$

pak  $f_{R_a, \max}$  je rovno minimální hodnotě posuvu, který ještě vyhovuje v uvažovaném rozsahu řezných podmínek, tedy minimální hodnotě funkce  $F$ ,

$$f_{R_a, \max} = F_{\min} \left( a_{\min} \div a_{\max}, v_{\min} \div v_{\max}, r_e, c_r, c_r^l, \dots \right). \quad (2.5.22)$$

Z významnějších matematických výrazů (57), které mají poněkud větší rozsah platnosti, je vhodné uvést empirický vztah

$$f = 0,1366 r_e^{0,4869} \cdot R_{a, \max}^{0,5131}, \quad (2.5.23)$$

platící pro soustružení ocelí slinutými karbidy, který byl při řešení práce použit.

#### □ Omezení dané požadovanou přesností obrobené plochy

Toto omezení mající smysl při dokončovacích operacích má kritérium požadované přesnosti obrobené plochy. Neuvažuje-li se nepřesnost vlivem radiálního opotřebení (otupení) nástroje, je nepřesnost způsobena *elastickou deformací* soustavy stroj - nástroj - obrobek *pod působením rezné síly*. Obvykle je rozhodující deformace jednoho z členů této soustavy a deformace dalších je možné zanedbat. Při formulaci této podmínky se vychází ze vztahů z pružnosti a z rovnice:

$$d \leq d_{\max} . \quad (2.5.24)$$

#### □ Omezení dané minimálními a maximálními otáčkami stroje

Vzhledem k tomu, že je možné nastavení otáček na stroji pouze v určitém rozsahu, platí:

$$n \leq n_{s, \max} , \quad (2.5.25)$$

$$n \geq n_{s, \min} . \quad (2.5.26)$$

### □ Omezení dané minimálním a maximálním posuvem stroje

Jestliže se posuvy na obráběcím stroji nastavují v určitém rozsahu a udávají se za jednu otáčku, pak

$$f \leq f_{s \max} , \quad (2.5.27)$$

$$f \geq f_{s \min} . \quad (2.5.28)$$

Pro obráběcí stroje, kde je posuv udáván v  $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , platí:

$$f \cdot n = f_m \leq f_{sm \max} , \quad (2.5.29)$$

$$f \cdot n = f_m \geq f_{sm \min} . \quad (2.5.30)$$

### □ Omezení dané komplexním Taylorovým vztahem

Poslední uvedené omezení má v rámci uvedených omezení výjimečné postavení. Omezující podmínka *je rovnicí* a kromě toho *je funkcí trvanlivosti řezného nástroje*. Tyto skutečnosti ovlivňují významně matematické řešení úloh optimalizace řezných podmínek. Obrobitelnost obráběného materiálu lze charakterizovat funkčním vztahem mezi proměnnými řezného procesu. Podobně tak i řezivost nástroje a řezné prostředí.

Obrobitelnost, řezivost i dané řezné prostředí spolu úzce souvisí. S ohledem na *současnou neschopnost charakterizovat obrobitelnost* (resp. řezivost a řezné prostředí) pomocí základních fyzikálních, resp. chemických veličin, je vhodné charakterizovat obrobitelnost materiálu pro optimalizaci řezných podmínek pomocí komplexního Taylorova vztahu, který je *současně charakteristikou řezivosti a řezného prostředí*.

Pro soustružení má pak komplexní Taylorův vztah tvar:

$$v_c = \frac{c_v}{a^{x_v} \cdot f^{y_v} \cdot T^{\frac{1}{m}}} . \quad (2.5.31)$$

Dosazením do rovnice (71) se obdrží omezující podmínka ve tvaru

$$a^{x_v} \cdot f^{y_v} \cdot n = \frac{10^3 c_v}{p \cdot D \cdot T^{\frac{1}{m}}} . \quad (2.5.32)$$

Omezující podmínka z hlediska komplexního Taylorova vztahu se může uvažovat spolu s ostatními omezujícími podmínkami nebo ji lze začlenit do kritéria optimálnosti.

### □ Komplexní omezující podmínka.

Obtížně podchytitelné faktory vedou ke snaze sloučit působení těchto faktorů do společných závislostí i za cenu určité nepřesnosti.

## q Organizační omezení

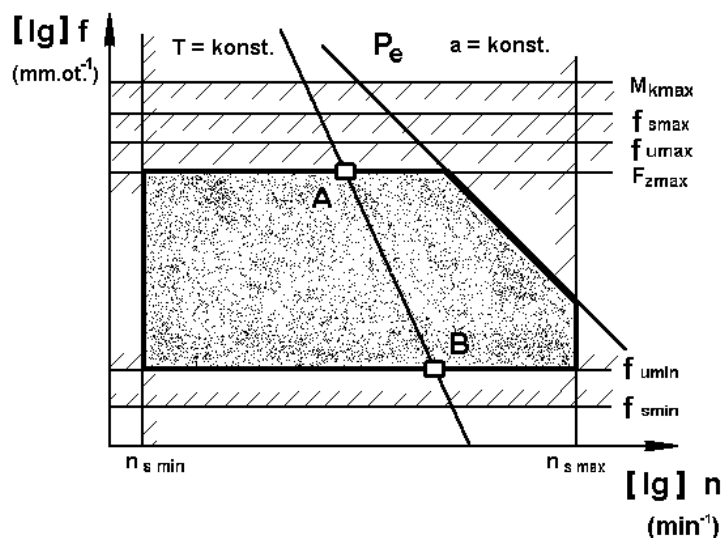
Mimo omezení technického charakteru mohou přicházet v úvahu omezení tzv. organizačního charakteru. Při jednonástrojovém obrábění jde o omezení z hlediska *omezeného množství speciálních nástrojů, časového rozmezí*, ve kterých seřizovač může provádět výměnu nástrojů apod. Matematická formulace je závislá na konkrétních podmínkách.

## q Oblast přípustných řešení

Jedná se o společnou oblast všech omezujících podmínek, které se v dané optimalizační úloze vyskytují. Většina omezujících podmínek je mocninového charakteru a lze je logaritmováním linearizovat. Zobrazí se tedy v logaritmických souřadnicích např. v souřadném systému  $(\log) f - (\log) n$  jako přímky pro určitou tloušťku odřezávané vrstvy  $a$ .

Následující obr. 2.5.1 znázorňuje příklad možného tvaru oblasti přípustných řešení pro případ, kdy posuvy na stroji jsou v  $\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ .

Silně orámovaná část diagramu je oblastí přípustných řešení (možných kombinací  $n - f$ , které lze v daném operačním úseku realizovat) za předpokladu, kdy se neuvažuje omezení z hlediska komplexního Taylorova vztahu.



Pro zobrazení tohoto omezení v diagramu  $(\log) f - (\log) n$  je potřebné vycházet z  $T = \text{konstanta}$  (tato trvanlivost by měla být vždy optimální).

Za předpokladu, že trvanlivost  $T = \text{konstanta}$ , se zobrazí komplexní Taylorův vztah jako přímka.

Pro uvažovaný diagram pak oblastí přípustných řešení je úsečka  $A - B$ .

Obr. 2.5.1 Oblast přípustných řešení

### q Optimální trvanlivosti z hlediska minimálních výrobních nákladů

Při odvození vztahu se vychází z rovnice pro určení výrobních nákladů (31). Pro určení optimální trvanlivosti se hledá extrém této funkce. Snahou je vyjádřit funkci (31) jako funkci  $T$ .

Toto vyplývá z derivace, kde trvanlivost není funkcí posuvu a hloubky řezu. Dosazením do této rovnice za  $n$  ze vztahu  $v = \frac{P \cdot D_{(n)} \cdot n}{10^3}$  a dále z rovnice (1), po úpravách a první derivaci podle trvanlivosti a tuto položenou rovnou nule se obdrží po další úpravě [40] vztah pro **optimální trvanlivost z hlediska minimálních výrobních nákladů**

$$T_{optN} = \frac{t_{vn} \cdot N_{vnm} + N_{nT}}{N_{sm}} \cdot t \cdot (m - 1). \quad (73)$$

Ve vyšetřovaném technologickém prostředí je dostatečný až předimenzovaný výkon stroje, ale *nedostatečné otáčky pro obráběné průměry kovacích zápustek* (v blízkosti osy rotace). Proto všude tam, kde nejsou dostatečné rezervy u obráběcích strojů z hlediska výkonu stroje  $P_e$ , z hlediska maximálních otáček dosažitelných na stroji  $n_{smax}$ , resp. z hlediska maximálních minutových posuvů dosažitelných na stroji  $f_{smax}$ , je *nutné řešit optimalizaci řezných podmínek a trvanlivosti nástrojů ve vzájemné vazbě komplexně*.

### q Optimální trvanlivost bez uvažování omezujících podmínek

Za určitých okolností je možné určit optimální trvanlivost  $t$  samostatně před optimalizací řezných podmínek. Určují se proto vztahy pro optimální trvanlivosti za předpokladu, že se ne-uplatňují omezující podmínky z hlediska výkonu stroje, maximálních otáček a minutových posuvů dosažitelných na stroji.

### q Optimální trvanlivost s respektováním omezujících podmínek

Již dřívější výzkum potvrdil, že řada omezujících podmínek nemá vliv na určení optimální trvanlivosti. Jedná se především o ty podmínky, které *nejsou funkcí otáček*. Jiné omezující podmínky právě naopak způsobují, že optimální trvanlivost je nutné určovat s vazbou na tyto omezující podmínky *hledáním vázaného extrému kriteriální funkce*. Jedná se především o omezující podmínky z hlediska výkonu obráběcího stroje, maximálních otáček, resp. maximálního minutového posuvu, které jsou dosažitelné na daném stroji.

Řešení vázaného extrému pro jednotlivé omezující podmínky (např. pomocí Lagrangeových multiplikátorů) je v oblasti optimalizace řezných podmínek a trvanlivosti nevýhodné proto, že se může při optimalizaci uplatnit vždy několik omezujících podmínek. Proto je dáována přednost *komplexnímu výpočtu, jehož řešením jsou optimální hodnoty řezných podmínek a trvanlivosti*.

Výsledky komplexního výpočtu respektující omezující podmínky z hlediska  $P_e$ ,  $n_{smax}$  resp.  $f_{smax}$  mohou vést k výrazně odlišným optimálním trvanlivostem ve srovnání s hodnotami určenými z empirických vztahů apod.

U postupného způsobu optimalizace platí v praxi vžitá zásada vycházet z určité předem stanovené hodnoty trvanlivosti, která by měla být trvanlivostí optimální a stanovená pro stroj s dostatečnou rezervou výkonu, otáček, resp. maximálních minutových posuvů. Pro určení hodnoty trvanlivosti plyne zásada obrábět celý přírůstek najednou, což je pro náš případ možné, ale současně i vyhovující.



## Shrnutí kapitoly

Tato kapitola byla zaměřena na optimalizaci řezných podmínek, které se formulují ve formě omezujících podmínek. Byly popsány tyto omezující podmínky:

- Omezení dané výkonem obráběcího stroje,
- omezení dané maximálně přípustným kroutícím momentem,
- omezení dané maximálně přípustnou silou řezání,
- omezení dané vhodným utvářením třísky,
- omezení dané požadovanou drsností obrobené plochy,
- omezení dané požadovanou přesností obrobené plochy,
- omezení dané minimálními a maximálními otáčkami stroje,
- omezení dané minimálním a maximálním posuvem stroje,
- omezení dané komplexním Taylorovým vztahem,
- organizační omezení.

Dále byla definována oblast všech omezujících podmínek, optimální trvanlivost z hlediska minimálních výrobních nákladů, optimální trvanlivost bez uvažování i s respektováním omezujících podmínek.



## Kontrolní otázky

1. Jaká známe omezení v optimalizaci řezných parametrů?
2. Definujte omezující podmínku z hlediska maximálně přípustné výsledné síly obrábění v zjednodušeném tvaru.
3. Uveďte komplexní Taylorův vztah pro soustružení.
4. Čím je dána tuhost soustavy?
5. Co je to poddajnost?
6. Jak lze matematicky vyšetřit limitní posuv z hlediska tuhosti soustavy?
7. Co způsobuje v průběhu řezání nízká tuhost technologické soustavy?
8. Jak lze rozdělit vynucené kmitání z hlediska původu budicí síly?
9. Definujte integritu povrchu!
10. Funkční vlastnosti povrchu jsou popsány určitým souborem charakteristik. Vyjmenujte tyto charakteristiky?
11. K charakteristickým veličinám probíhajícího procesu třískového obrábění řadíme?
12. Jak je nastaveno ostří nástroje v případě ortogonálního řezání?
13. Uveďte typické příklady ortogonálního řezání!
14. Jakého původu je většina technických materiálů běžně používaných ve strojírenské praxi?
15. K jakým deformacím při vnikání nástroje do materiálu obrobku dochází v oblasti tvoření třísky?

16. Jak jsou rozloženy pružné a plastické deformace?
17. Kde a do jaké míry rostou smyková napětí?
18. Kdy je ukončen proces plastická deformace?



### Úkol k řešení

1. Načrtněte oblast přípustných řešení do diagramu  $\log f - \log n$ .
2. Jak lze formulovat podmínku omezení dané výkonem obráběcího stroje ?
3. Definujte komplexní Taylorův vztah pro soustružení ?



## Použitá a doporučená literatura k dalšímu studiu

- [ 1 ] AB Sandvik Coromant. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. 1. vyd.. Praha, 1997. 980 s. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [ 2 ] AB Sandvik Coromant. Produktivní obrábění kovů. Švédsko, 1997. 300 s.
- [ 3 ] BÁTORA, B.; VASILKO, K.. *Obrobené povrchy – technologická dedičnost, funkčnost*. Trenčín: Trenčianská univerzita, 2000. s 183, ISBN 80-88914-19-1.
- [ 4 ] BRYCHTA, J. Možnosti zvyšování efektivity obrábění prostorových ploch nepravidelných tvarů frézováním. (Habilitační práce). Ostrava, VŠB - TU Ostrava, 2001. 124 s..
- [ 5 ] HUMÁR, A. *Technologie I, Technologie obrábění 1. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Brno 2003, VUT Brno. 138 s.
- [ 6 ] MÁDL, J. Optimalizace řezných podmínek v teorii obrábění. Praha: ČVUT Praha, 1988. 57 s.



## CD-ROM

Informace o doplňujících animacích, videosekvencích apod., které si může student vyvolat z CD-ROMu připojeného k tomuto materiálu

## OBSAH:

<b>3. PROGRESIVNÍ METODY V TŘÍSKOVÉM OBRÁBĚNÍ .....</b>	<b>196</b>
3.1. Zásady hospodárného vysokovýkonného obrábění .....	197
<b>q</b> Možnosti snižování výrobních nákladů.....	198
<b>q</b> Zavedení systému pro hospodaření s náradím.....	199
<b>q</b> Sledování životnosti a spotřeby náradí.....	200
<b>q</b> Využívání zavedeného systému k optimálnímu nasazování náradí.....	200
<b>q</b> Zabezpečení jakosti a kvality výroby.....	201
3.2. Aspekty vysokorychlostního – HSC obrábění .....	203
<b>q</b> Utváření třísky a její vliv na obrobenou plochu.....	204
<b>q</b> Tvorba třísky u klasického obrábění .....	205
<b>q</b> Tvorba třísky u „HSC“ technologie.....	206
<b>q</b> Význam rezných podmínek v rychlostním obrábění.....	208
3.3. Výkonnostní „vysokoobjemové“ - HVC obrábění.....	214
<b>q</b> Základní charakteristiky výkonostního obrábění .....	215
<b>q</b> Způsoby HSC technologií.....	216
<b>q</b> Význam rychlosti posuvu v rychlostním obrábění .....	216
<b>q</b> Stanovení optimálních rezných podmínek pro víceosé frézování .....	217
<b>q</b> Aplikace lineárního programování v technologii.....	223
<b>q</b> Stanovení oblasti přípustných řešení na základě určených omezení .....	226
<b>q</b> Vázanost rezných podmínek na posuv na zub .....	230
<b>q</b> Řezné podmínky a objemový úběr.....	230
<b>q</b> Závislost rezných podmínek na dosahované drsnosti .....	231
<b>q</b> Požadavky na související činnosti.....	231
<b>q</b> Požadavky na stroje pro HSC .....	232
<b>q</b> Požadavky na nástroje pro HSC .....	232
3.4. Problematika posouzení externích zakázek .....	239
<b>q</b> Limitující faktory: .....	240
<b>q</b> Poptávkové řízení.....	240
<b>q</b> Matice odpovědnosti a spolupráce.....	241
<b>q</b> Příklad možného určení výrobních nákladů .....	241
<b>q</b> Vlastnosti obráběných materiálů HSC technologií .....	243
<b>q</b> Postupový řetězec.....	244
<b>q</b> Požadavky pro aplikaci vysokorychlostního obrábění.....	245



### 3. PROGRESIVNÍ METODY V TŘÍSKOVÉM OBRÁBĚNÍ

#### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

##### Budete umět:

- vyjmenovat a **charakterizovat** některé vybrané **metody směřující ke snižování výrobních nákladů**. Seznámíte se s **program pro hospodaření s nástroji a nářadím**, prostřednictvím něhož se podstatně **snižuje doba zpracování údajů** nezbytných pro „plné využití výrobního systému“
- **sledovat životnosti nástrojů a spotřebu nářadí**, která směřuje k významnému **snižování výrobních nákladů**. Seznámíte se s principem a smyslem **zavádění a využívání systému** umožňujícímu **optimální nasazování nářadí**, který spadá do oblasti **informační technologie**, reengineeringu a podnikových informačních systémů
- podrobněji **charakterizovat základní aspekty** „vysoko – objemového“ třískového obrábění s definovatelným řezným klínem pro **vhodně zvolené řezné parametry, pracovní geometrii a vzájemnou trajektorii** nástroje a obrobku
- porozumět **zákonitostem a problematice tvorby třísky, příčinám vzniku** a velikostí **deformačních oblastí** u klasického i HSC obráb.
- **zdůvodnit příčiny odlišností deformačních oblastí** v podmínkách „**klasického a vysokorychlostního**“ řezání (obrábění) a zdůvodnit jejich důsledky
- teoreticky **analyzovat tvorbu třísky** u „**HSC**“ technologie, včetně významu **kritických hodnot řezných parametrů** nezbytných pro **efekt rychlostního obrábění (řezání)**
- popsat a **analyzovat problematiku posouzení externích zakázek** včetně jejich limitujících faktorů, poptávkového řízení, matice zodpovědnosti a spolupráce s příkladem možného **určení výrobních nákladů**
- popsat a pochopit související činnosti při aplikaci HSC obrábění. **Znát vlastnosti obráběných materiálů „HSC technologií**, postupový řetězec i **požadavky**, které jsou **nezbytné pro aplikaci efektů vysokorychlostního obrábění**
- porovnat a **zhodnotit výhody a nevýhody „klasického“ (konvenčního) a „vysokorychlostního“ (HSC) obrábění (řezání)**
- posoudit, zajistit a vykonat nezbytné činnosti, které provádějí současná výrobní prostředí výrobních strojírenských společností

Budete umět

<p><b>Budete schopni:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vybrat a použít některou z <b>možností</b>, která <b>bude směřovat ke snižování výrobních nákladů</b> (např. prostřednictvím zkracování strojních časů), a tím k <b>ekonomičtějšímu a ekologičtějšímu třískovému obrábění (řezání)</b></li> <li>• pochopit a hlouběji porozumět <b>zákonitostem</b>, dějům a souvislostem, které provázení <b>vznik a tvorbu třísky</b></li> <li>• znát a vysvětlit hlavní <b>příčiny vzniku</b> a rozlišností <b>plastických deformačních oblastí</b>, jejich velikostí a rozložení (umístění ve vztahu břit, tříska, obrobená plocha) u „klasického“ (konvenčního) a „vysokorychlostního“ obrábění</li> <li>• <b>ovlivnit tvorbu třísky</b> u „HSC“ technologie směřující k minimální energetické bilanci řezného procesu</li> <li>• prostřednictvím <b> dodržení limitních hodnot</b> řezných parametrů splnit podmínky potřebné pro zajištění <b>vysoké integrity</b> obrobeného povrchu</li> <li>• budete schopni <b>určit limitující faktory</b> ovlivňující <b>poptávkové řízení</b> prostřednictvím „Matice zodpovědnosti“ a dalších <b>souvisejících činností</b>.</li> </ul>	<p>Budete schopni</p>
---	-----------------------

### 3.1. Zásady hospodárného vysokovýkonného obrábění



**Čas ke studiu:** 12 hodin (studijní doba se doporučuje rozložit na 6 x 2 hodiny)



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět:

- znalostní předpoklad zásadně snížit výrobní náklady
- získat dovednost aplikovat vhodný systém pro hospodaření s nářadím
- schopnost sledovat životnost a spotřebu řezných nástrojů a nářadí
- využívat systém určený pro optimální nasazování řezných nástrojů
- znát a dodržovat podmínky pro zabezpečení jakosti a kvality výroby



## Výklad

Konkurence a trhy se průběžně mění na základě konkrétních a krátkodobých požadavků různých zakázek. Zkracující se realizace stále náročnějších požadavků je umožněna okamžitým přenosem zpravidla jednoznačně dat po www. sítích, zlepšenou komunikací, a rychlejší (např. leteckou) dopravou. Toto směřuje k geografickému rozšíření trhu, týkajícího se nákupu i prodeje.

**Přesto**, anebo právě proto, že **soudobá ekonomika nezná hranic**, propastné **rozdíly** mezi **mzdovými náklady** a **finální cenou výrobku tlačí** stále více firem k takzvané **globalizaci trhu**. Každý prvek hospodářství je tímto vystaven značnému konkurenčnímu tlaku, zejména proto, že zahraniční firmy operují v nejrůznějších geografických oblastech. Z toho vyplývá, že se na celosvětovém trhu **uplatní** pouze **výrobce**, který je schopen **včas** nabídnout **zboží žádané jakosti** za předem dohodnutou cenu.

Chce-li výrobce v konkurenčním boji **obstát**, musí **nepřetržitě** výrobní **proces zdokonalovat** a **inovovat**. Znamená to, že na straně jedné hledá **možnosti** ve **zlepšení organizačních opatření**, na druhé straně pak **v oblasti výrobních prostředků** a **výrobních technologií**. Zatímco o oblasti organizačních opatření byly v uplynulých patnácti letech vedeny rozsáhlé polemiky, v současné době přicházejí do popředí zájmu technologické otázky.

**Technologie**, které jsou již nyní většinou k dispozici, mohou být **hospodárně** (natož pak optimálně) **využívány** jen v tom případě, jsou-li nejprve vnímány, chápány a až poté **transformovány** dostatečně **kvalifikovanými** a **permanентně se vzdělávajícími** zaměstnanci. **Význam člověka**, jako hlavního hnacího činitele v podniku, rozhodujícího o prioritních otázkách spravování a řízení podniku, byl znovu postaven do **nezastupitelné role**.

K charakteristickým znakům dnešní doby náleží nesmírně **rychlý rozvoj vědy a techniky**. Neustálý růst strojírenské výroby, která je neoddelitelná od výzkumu a vývoje, vyžaduje stále **těsnější spojení teorie** obrábění s technologickou **praxí**.

Současné strojírenství představuje hlavní odvětví průmyslu a je základem rozvoje ostatních průmyslových odvětví. Současným trendem ve strojírenství je kladení důrazu na **kvalitu** a **efektivitu** výroby, na její **technickou, ekologickou i estetickou** úroveň. Rovněž se soustředí na **hospodaření se surovinami** a **energií**.

### □ Možnosti snižování výrobních nákladů

Četné rozbory efektivnosti výrobních procesů již před mnoha lety statisticky dokázaly, že **na skutečné výrobní činnosti připadá** jen asi **7 %** celkové **kapacity stroje**, při jednosměnném provozu s uvažováním pracovního volna i časů všech dalších ztrát. Z toho plyne, že **snižování** spotřeby **času** zkracováním prostřednictvím vlastního **obrábění** je neefektivní a **nákladné**, protože představuje **zvýšení technických nároků** na **NC stroje**. Proto byl od sedmdesátých let, dnes již minulého století, prosazován trend výstavby **automatizovaných výrobních systémů**, které umožňují prakticky nepřetržitý provoz a výrazně zkracují všechny vedlejší časy, zejména manipulační. **Návratnost** těchto systémů je však **dlouhá**.

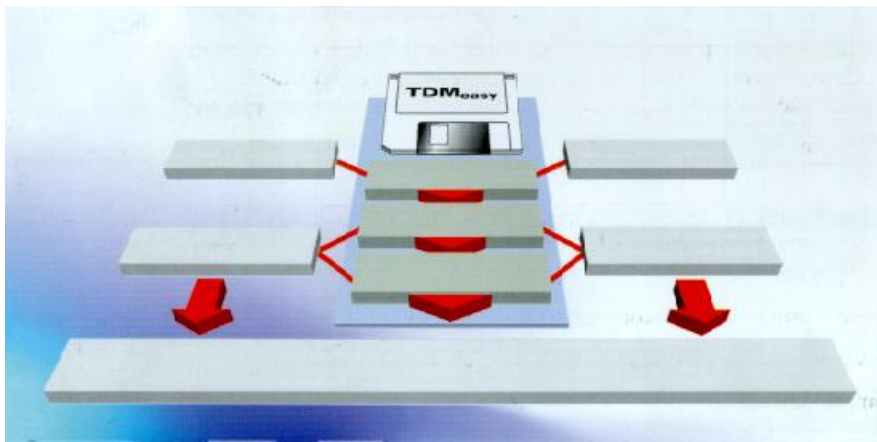
**Efektivitu** však **lze dosáhnout** mnohem jednoduššími a méně nákladnějšími prostředky, a to **vyšším kapacitním využitím strojů**. Tím může být například vícesměnný, až nepřetržitý provoz s omezením prostojů, zpravidla vynucovaných tím, že řada **činností** je **vykonávána** a **řízena člověkem**.

Pokud jeho úlohu omezíme alespoň takovou **automatizací**, která tyto **činnosti zajišťuje**, vzroste výrazně efektivita celého procesu. Toho se dosahuje využitím NC strojů např. ve spojení s různými dopravními zařízeními, manipulátory a roboty, které na základě požadavku **stroje automaticky zakládají** nový **polotovár**, případně **přemisťují** hotový **výrobek**.

Tento způsob zvyšování efektivity výroby při současném snižování výrobních nákladů však nelze použít vždy a všude. Například **při kusové výrobě** forem, stříhadel či zápustek se nejedná o velkosériovou výrobu a časy na manipulaci s polotovarem jsou oproti strojním časům nepodstatné. Přesto **lze** i tyto strojírenské provozy, a to **zavedením účinného systému** pro hospodaření s nářadím podstatně zproduktivnit a **zefektivnit**.

#### q Zavedení systému pro hospodaření s nářadím

V současné době je mnohými prozíravými strojírenskými podniky směřována značná pozornost na oblast informační technologie. Mimořádné úsilí je věnováno reengineeringu a podnikovým informačním systémům. Rovněž **zavádění vhodných systémů pro hospodaření** s nářadím se může stát účinným prostředkem ke zvýšení produktivity a **snížení výrobních nákladů**.



Obr. 3.1.1 Integrovaný systém TDM<sub>easy</sub> Firmy WALTER

Například německá firma WALTER z bavorského Tübingenu nabízí, zejména pro menší a střední podniky představující řádově 150 až 200 zaměstnanců, účinný, jednoduchý a cenově příznivý systém pro hospodaření s nářadím, uváděný pod zkratkou TDM<sub>easy</sub>. Prezentuje jej především jako manipulačně jednoduchý a současně velmi účinný. Opírá se o dlouholetou vývojovou zkušenost při používání zákaznický specifikovaných systémů pro hospodaření s nástroji v rámci výrobní řady TDM.

Vybraný **integrováný systém** je údajně první program pro **hospodaření s nástroji** a nářadím, který **obsahuje Průvodce funkcemi**, jímž provádí uživatele celým programem. Tím podstatně snižuje dobu zpracování a přibližuje okamžik „plného využití systému“. Tento průvodce poskytuje správnou podporu pro různé činnosti jako:

- ✓ Zakládání nových nástrojů nebo nových kompletních nástrojových sestav,
- ✓ zaúčtování skladových přírůstků,
- ✓ požadavek na vypracování objednávky,
- ✓ evidence nástrojů,
- ✓ hrubé seřizování nástrojů.

Nabízené integrované **systémy** některých známějších společností **obsahují** nejrůznější **potřebné prostředky** od **knihoven** montážních nástrojových celků, vedení administrativy skladů, až po podporu **plánování** v nástrojárnách včetně **řízení a kontroly kvality**. Aby byl některý z nabízených systémů vhodně vybrán a účinně zaveden, což může představovat zvýšení doby aktivního obrábění při

současném **snížení zásob** nástrojů řádově **v desítkách procent**, musí být nejprve **zpracována** základní **databáze**, tedy **katalog** veškerých používaných obráběcích **nástrojů**.

#### q **Sledování životnosti a spotřeby nářadí**

Zásadním **momentem** každé **významné změny** bývá **okamžik její realizace**. Jedním takovýmto **mezníkem** v již navyklé organizaci práce může být **zahájení sledování a zaznamenávání** skutečného **pohybu** a **spotřeby** všech **nástrojů** a skupin **nářadí**. Vždy psychologicky významným, i když ne z pohledu personálních a mezilidských vztahů jednoduchým rozhodnutím, bývá konkrétní zahájení **mapování amortizace** a **spotřeby** veškerého nářadí, vztahujícího se konkrétně k jednotlivým operátorům. Jakkoliv může být toto **období** (i z hlediska personálních změn) **obtížné** až nepříjemné, je **z hlediska** perspektivního **vývoje** hospodaření s nářadím **nevyhnutelné**.

#### q **Využívání zavedeného systému k optimálnímu nasazování nářadí**

Důsledkem skutečného mapování pohybu a spotřeby nástrojů a nářadí lze kontrolovat, ale především korigovat skutečnou a plánovanou spotřebu nářadí.

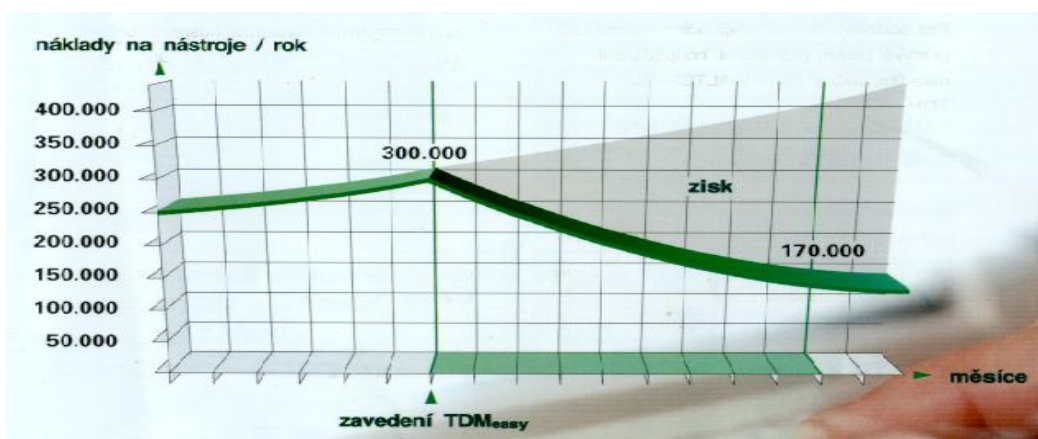
Informace o standardních nebo **preferovaných nástrojích** v rámci „Nástrojárny“ včetně fyzických **rozměrů** nástrojů a **formátových dat** CAD, umožňují **optimalizovat** konstruktérské práce **již v počátečních fázích** vývoje. Účinnost NC programování se zvyšuje díky tomu, že jsou k dispozici data týkající se:

- ✓ Preferovaných řezných rychlostech,
- ✓ hodnotách posuvu, což zjednodušuje i sestavování sběrných seznamů,
- ✓ určování záložních nebo alternativních voleb nástrojů.

**Vhodně zavedené** systémy pomohou **realizovat**, a to zejména při **správné aplikaci**, **zvýšení produktivity výroby** při **současném snížení výrobních nákladů**. Publikované studie potvrzují, že účinně zavedený systém pro hospodaření s nástroji prodlužuje dobu jejich aktivního obrábění, a tím trvanlivost řezných nástrojů o 40 až 50%.

Účinnému a efektivnímu zavedení jakéhokoliv systému **hospodaření s nářadím** musí předcházet jeho **řádná evidence**, spojená se **sledováním** jeho **veškerého pohybu**.

Teprve pak lze zavést například jeden samostatný modul, tedy základní **databázi** obsahující všechny **informace o každém nástroji**. Konkrétně se jedná o **umístění ve skladu** až po **výrobní stroje**, na kterých se **nástroje** „realizují“. **Náklady** na pořízení a zavedení vybraného **systému** se **odvíjejí** od **předem obtížně** specifikovaných skutečností. Lze však „úspěšně předpokládat“ jejich návratnost. Další podstatný efekt vyplyne z plynulosti výroby (snížení neproduktivních časů, minimum prostojů) a zejména ze zvýšení kvality výroby.



Obr. 3.1.2 Graf předpokládaných úspor v eurech

### q Zabezpečení jakosti a kvality výroby

Současná konkurence a trh se neustále mění na základě požadavků zákazníka. Změny probíhají rychlejším tempem a požadavky jsou stále náročnější. **Chce-li výrobce** v této náročné a nepřetržité soutěži **obstát**, musí neustále **hledat nová řešení**, která vedou k **ekonomicky výhodnějším a kvalitativně vyšším technologiím**.

S tímto neoddelitelně souvisí i **požadavky na zabezpečování jakosti měřicího zařízení**, které stanovuje ČSN ISO 10012-1, jejíž první částí je metrologický certifikační systém pro měřicí zařízení. Termín „**měřicí zařízení**“ v příslušném kontextu označuje **souhrn zařízení**. Jednotlivý měřicí přístroj, měřicí převodník nebo celý měřicí systém se nazývá „**položka měřicího zařízení**“ v organizaci, kde se **vedou o jednotlivých položkách příslušné záznamy**.

Norma ISO 10012-1 doplňuje normy řady ISO 9000. Zabývá se podrobně měřicím zařízením v rámci systému jakosti. Termíny a definice z oblasti metrologie byly většinou převzaty z mezinárodního metrologického slovníku (Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie – VIM) vypracovaného v roce 1984 Sekretariálem ISO v Ženevě.

Mimo některých účelně upravených definic jsou v této normě definovány dva **nové termíny**, a sice „**metrologická confirmace**“ a **měřicí zařízení**“. „Metrologická confirmace“ je nově zavedený a definovaný termín. **Používá se** v těch případech, kdy **nelze přiměřeně použít termín „kalibrace“** (podle VIM), neboť **zahrnuje ještě další operace**, jako je **posouzení zjištěných chyb**, popř. **seřízení, oprava** nebo **nově provedená kalibrace** apod. Tento termín má podobný význam jako „**ověřování měřidel**“, avšak **neobsahuje požadavek**, aby tyto operace provedl **metrologický orgán** nebo aby **měřidlo bylo opatřeno ověřovací značkou**.

Výše uvedené **termíny se nesmí zaměňovat**. Rovněž je třeba brát v úvahu, že termín „**ověřování**“ používaný v normách řady ISO 9000 **označuje** v systémech jakosti zcela **jiný pojem** než „**ověřování měřidel**“. Normy řady ISO 9000 a další související normy se nezabývají povinným ověřováním stanovených měřidel, jak je to vymezeno v národních metrologických předpisech (viz zákon o metrologii č. 505/1990 Sb.) – nezasahují do oblasti legální metrologie. Termín „**měřicí zařízení**“ v příslušném kontextu označuje **souhrn** (jedná se o souhrnný termín). **Jednotlivý měřicí přístroj**, měřicí převodník nebo celý měřicí systém apod. se nazývá „**položka měřicího zařízení**“.



## Shrnutí kapitoly

„Zásady hospodárneho vysokovýkonného obrábění“, dle mínění autorů, **obsahuje informace** prostřednictvím nichž **lze nastudovat a pochopit**, jak lze **pojmenovat a charakterizovat** některé vybrané praktické **metody progresivního třískového obrábění** (řezání). Hlubší pochopení a následné aplikování těchto metod pak může směřovat k významnému snižování výrobních nákladů a současně vést ke značné úspoře energetických zdrojů. Tato kapitola pak dále obsahuje informace, které umožní selektovat a charakterizovat některé metody směřující ke snižování výrobních nákladů.

Cílem této kapitoly je **seznámit studující s programem pro hospodaření s nástroji a nářadím**, prostřednictvím něhož **lze podstatně snížit dobu** zpracování údajů, které jsou nezbytné pro „**plné využití** konkrétního **výrobního systému**“. Prostřednictvím výše uvedené studie **sledovat životnosti nástrojů a spotřebu nářadí**, která směřuje k významnému **snižování výrobních nákladů**. V neposlední řadě seznámit s principem a smyslem **zavádění a využívání systému** (spadajících do oblasti **informační technologie**, reengineeringu a podnikových informačních systémů), které umožňují **optimální nasazování nářadí**.

Samotný závěr této třetí kapitoly sleduje záměr pochopení nutnosti **hledání** neustále **nových** způsobů **řešení**, která vedou k **ekonomicky** výhodnějším a **kvalitativně vyšším technologiím**. S tímto také neoddelitelně souvisí i požadavky na zabezpečování **jakosti měřicího zařízení**, které stanovuje ČSN ISO 10012-1



### Kontrolní otázka

1. Co zejména směřuje k geografickému rozšíření trhu, který se týká nákupu i prodeje strojírenských výrobků?
2. Jak jednoduše a méně nákladněji můžeme dosáhnout zefektivnění třískového obrábění ?
3. Jaká je rozhodující podmínka uplatnění se výrobce na současném celosvětovém trhu?
4. Jakým způsobem lze současný výrobní proces nepřetržitě zdokonalovat a inovovat?
5. Za jakých podmínek mohou být současné moderní technologie hospodárně (natož pak optimálně) využívány?
6. Jaký význam má v otázkách spravování a řízení v současném moderním technicky vyspělém podniku člověk?
7. Co především vyžaduje nesmírně rychlý rozvoj vědy, techniky a neustálý růst strojírenské výroby?
8. Jaký je současný trend ve strojírenství a na co klade důraz?
9. Kolik % celkové kapacity stroje dle odborníky uznávaných statistických údajů připadá na skutečné výrobní činnosti?
10. Co je nezbytné pro „plné využití konkrétního výrobního systému“?
11. Proč je snižování spotřeby času zkracováním vlastního obrábění neefektivní a nákladné?
12. Jak lze dosáhnout mnohem jednoduššími a méně nákladnějšími prostředky efektivity obrábění?
13. Co obsahuje systém pro hospodaření s nástroji a nářadím?
14. Co musí předcházet účinnému a efektivnímu zavedení jakéhokoliv systému hospodaření s nářadím?
15. S čím je neoddelitelně spojená řádná evidence používaného nářadí?

16. Jaké činnosti poskytuje či zajišťuje „Průvodce funkcemi“?
17. Jaké prvky obsahují systémy pro hospodaření s nástroji a k čemu konkrétně slouží?
18. Z grafu předpokládaných úspor plyne, že po zavedení  $TDM_{easy}$  došlo k plynulé, a ne skokové změně snížení nákladů na nástroje a nářadí. Jak si tuto skutečnost vysvětlujete?
19. V grafu předpokládaných úspor (obr. 3.1.2) náklady na nástroj do zavedení  $TDM_{easy}$  rostou. Pokuste se tento fakt zdůvodnit.
20. Čím se zabývá norma ISO 10012-1, která doplňuje normy řady ISO 9000.
21. Z jakých pramenů jsou většinou převzaty termíny a definice z oblasti metrologie.
22. Kde, kdy a kým byl vydán mezinárodní metrologický slovník (Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie – VIM).
23. Ve kterých případech se používá nově zavedený, definovaný termín „Metrologická confirmace“?
24. Čeho se týká a co stanovuje první část ČSN ISO 10012-1?
25. Co se především očekává od zavádění a využívání systému, spadajících do oblasti informační technologie, reengineeringu a podnikových informačních systémů, v oblasti třískového obrábění?



### Úkol k řešení

1. Vypište a charakterizujte vybrané metody které směřují ke snižování výrobních nákladů.
2. Zpracujte program pro hospodaření s nástroji a nářadím, prostřednictvím něhož podstatně snížíte dobu zpracování údajů, které jsou nezbytné pro „plné využití daného výrobního systému“.
3. Stanovte program pro sledování životnosti nástrojů a spotřebu nářadí, který bude směřovat k významnému snížení výrobních nákladů.
4. Uveďte v písemné či elektronické formě příklad, jak lze dosáhnout využitím NC strojů vyšší efektivity výroby!
5. Sestavte princip a smysl zavádění a využívání systému, který umožní optimální nasazení výrobního nářadí.
6. Navrhněte jiný systém hospodaření s nářadím, který v daném technologickém prostředí povede k ekonomickým úsporám.
7. Navrhněte vlastní systém hospodaření s nářadím, který v daném technologickém prostředí bude směřovat k vyšší kvalitě výrobků při dodržení tvrdých ekologických požadavků.

## 3.2. Aspekty vysokorychlostního – HSC obrábění



**Čas ke studiu:** 21 hodin (studijní doba se doporučuje rozložit na 7 x 3 hodiny)





**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce rozšíříte své znalosti:

- pochopíte princip utváření třísky a její vliv na obrobenou plochu
- porozumíte zákonitostem tvorby třísky v podmínkách klasického resp. konvenčního obrábění
- porozumíte zákonitostem tvorby třísky v podmínkách vysoko rychlostního resp. HSC obrábění
- uvědomíte si význam řezných podmínek v „rychlostním obrábění“
- budete znát důsledky zvýšení teploty v zóně tvorby třísky
- prohloubíte znalosti o vliv zvýšení řezné rychlosti na tvorbu třísky
- budete znát, jaký má vliv zvýšení rychlosti posuvu na deformační oblasti
- pochopíte spojitost mezi řeznými podmínkami a integritou obrobeného povrchu.



**Výklad**

Jednou z předních progresivní technologií současnosti je tzv. 3D - prostorové obrábění . Proces řezání (třískového obrábění) zde může být **řízen**, vyžaduje-li to tvar obráběné součásti, **simultánně** (současně) ve třech osách **X, Y** a **Z**. probíhá. Jedná se o technologicky **jednoduché**, ale **i velmi náročné plochy prostorově nepravidelných tvarů**, které jsou často matematicky obtížně definovatelné.

Perspektivní metoda, která řeší mnohé problémy „klasického třískového obrábění“ zmíněných ploch se nazývá HSC (High Speed Cutting – „vysokorychlostní řezání – „obrábění“). **Smyslem této progresivní technologie je snížit cenu výrobku při současném zvýšení jeho kvality.**

#### q Utváření třísky a její vliv na obrobenou plochu

**Utváření třísky** při řezání (obrábění) kovů patří k velmi složitým **heterogenním deformačním a destruktivním** procesům. Doposud **uznávané přístupy** vedoucí k definici mechanismu tvorby třísky při řezání jsou převážně založené na geometrických modelech. Někteří autoři preferují deformační a stříhové procesy v rovině (Brix, Glebov, Merchant, Time a další), jiní zas v objemu vyskytujícímu se pod řeznou hranou nástroje (Hitany - Okoshi, Jonson, Oxley – Palmer, Zorev). **Nejblíže však k realitě** procesu řezání dospěl **Loladze**, který definuje proces řezání jako obtékání řezného klínu obráběným materiálem prostřednictvím vyvolané plastické deformace.

Pro objasnění podstaty procesu tvorby třísky považujeme za významný, často publikovaný, metalograficko – faktografický přístup. **Podstata mnohých experimentů spočívá v okamžitém zastavení procesu při minimálním ovlivnění** geometrických poměrů při tvorbě třísky. Tímto způsobem získané **vzorky** jsou pak **podrobeny metalografickým a faktografickým rozbořem** na bázi současných fyzikálně – metalurgických poznatků.

Spolupůsobení nástroje a obráběného materiálu vyvolává silový účinek, který lze v principu charakterizovat jako sílu normálního tlaku třísky na čelo nástroje  $F_n$  a sílu tření  $F_t$ , která působí na ploše styku nástroje s tvořící se třískou. Tyto složky se sumarizují ve výslednou sílu  $F$ , jejíž působíště je přibližně ve středu kontaktu třísky s čelní plochou řezné části nástroje. Výsledná **síla vyvolává** v obráběném materiálu **reakci** opačného znaménka, která **působí** ve středu úsečky

považované za rozhraní **mezi** základním **materiálem** a právě se vytvářející **třískou**. Fyzikální **podstatu** této síly **tvorí deformační odpor** materiálu.

**Břit** řezného nástroje **není schopen** odebrat **tloušťku** třísky **menší**, než je jeho **poloměr ostří**

$$a_p \leq r. \quad (3.2.1)$$

Při tloušťce odřezávané vrstvy dané tímto vztahem je **velikost měrného řezného odporu nekonečně velká**. Je-li odebrání tloušťky  $a_p$  odřezávané vrstvy **menší než je poloměr ostří**, dochází k tomu, že tloušťka materiálu, která se břitem v daném poloměru **neodebírá**, ale **odchází pod břit** (obr. 2.3.4), je menší ve srovnání s hodnotou  $a_{min}$ . V důsledku existence určitého poloměru ostří tak nastává k dělení materiálu ne v úrovni tečny k břitu ve směru řezného pohybu, ale v úrovni odpovídající tloušťce materiálu  $a_{min}$  a po vytvoření třísky v úrovni  $a'_{min}$ . Způsobuje to stav napjatosti před břitem, kdy se **u ostří vytváří tah**, který napomáhá vzniku třísky, tedy dělení materiálu před břitem.

Vlivem plastických deformací obráběného materiálu se bod největších napětí posouvá směrem do obráběného materiálu a přechází tak do bodu **B**. Část materiálu pod tímto bodem odchází pod břit, kde se plasticky a elasticky deformuje a zpevňuje. V důsledku této deformace, vysoké teploty a strukturních změn zde vznikají různá zbytková pnutí. Výsledek zpevnění je též ovlivněn oblastí primární plastické deformace dosahující ( $l_1, l_3$  na obr. 2.3.4) pod úroveň plochy řezu. Důsledkem elastické deformace pak dochází k odpružení plochy řezu o tloušťku materiálu  $l_2$ . Tyto naznačené skutečnosti významně ovlivňují funkční vlastnosti obrobenej plochy.

#### q Tvorba třísky u klasického obrábění

Základní podmínkou progresivního obrábění je naprostá převaha požadovaných fyzikálních vlastností materiálu řezného nástroje nad materiálem obráběným. Obecně lze předpokládat, že se vzrůstající řeznou rychlostí roste celkové množství tepla, a to téměř úměrně s narůstající rychlostí stříhu třísky i intenzitou tření třísky o nástroj. **Plastickou deformací** třísky v rovině stříhu se „**skokově**“ mění její **teplota**, která dále **roste třením třísky o čelo** nástroje.

Při **klasickém obrábění** dochází **ve smykové rovině** k mechanickému **zpevnění třísky**, které vede k jejímu **ztvrdnutí** oproti původnímu stavu. Díky tomu, že zpevněná **tříska klade větší odpor**, **narůstá úhel roviny stříhu**, který zvyšuje tloušťku třísky i její **odpor proti ohybu** a současně **zvětšuje plochu kontaktní zóny**.

Mezi **třískou** a **čelem** nástroje „**spolupůsobí**“ **přítlačné i třecí síly**, které tímto nabývají vysokých hodnot. Dochází takto **k přechodu** velké části **tepla vyvolaného třením z třísky do nástroje**. Třecí teplo a značná přítlačná síla třísky podporují **difusní procesy**, které vedou k vymílání kráteru na čele nástroje. **Intenzita** vývoje celkového **procesního tepla roste úměrně se zvyšováním rychlosti smyku třísky ve smykové rovině**, ale **také s řezným odporem**, který je dán obráběným materiálem.

**Za těchto podmínek se nedají** (anebo jen velmi obtížně) **obrábět tvrdé a kalené materiály**. Z uvedených faktů vyplývá, že „**horní interval**“ **řezné rychlosti** je u „běžných“ řezných materiálů a „konvenčních“ nástrojů **omezen prudkým poklesem řezivosti** způsobeném **náhlou plastickou deformací**, kterou způsobuje **intenzivně rostoucí procesní teplo**.

Během řezného procesu **lze provádět pozorování mikrozměn i makrozměn**. Přímé pozorování změn v **mikroskopických objemech**, které odpovídají **řádově velikosti zrna** je značně obtížné vzhledem k vysoké deformační rychlosti  $v_d$ , (řádově se pohybující  $10^4$  až  $10^6$   $\text{m.s}^{-1}$ ), intenzivní a nerovnoměrné deformaci a **vysokému teplotnímu gradientu** při **ohřevu deformovaného materiálu** (řádově  $10^4$  až  $10^6$   $^\circ\text{C.s}^{-1}$ ), ovlivňujícímu zejména v oblasti **sekundární deformace** jak **deformační zpevnění**, tak i **fázové přeměny**.

Uvedené charakteristiky výrazně **omezují přímé pozorování** mikrozměn v oblasti **kořene třísky** na **úzký rozsah řezných podmínek**, týkajících se pouze **nižších řezných rychlostí**. Mezi experimentální metody přímého zjišťování mikrozměn patří fotografování boční plochy vzorku při ortogonálním řezání a rychlostním filmování. Kamery pro rychlostní filmování se nazývají časové lupy. Podstatou je zde fotografování zkoumaného děje vysokou snímkovou frekvencí (4000 až 18000 obr.s<sup>-1</sup>) a následné promítnutí s frekvencí podstatně nižší. Nevýhodou je však složité, pracné a nákladné provedení experimentu.

**Přímé pozorování změn v makroskopických objemech je méně obtížné** než přímé pozorování mikrozměn. Makroskopické změny se mohou pozorovat fotografováním boční plochy vzorku při ortogonálním řezání, rychlostním filmování nebo přímým pozorováním pod mikroskopem, **avšak za extrémně nízkých řezných podmínek**. Boční plocha zkoumaného vzorku je opatřena pomocnou mřížkou, pomoci níž lze určovat deformace jednotlivých elementů, což umožní vymezení deformačních oblastí a stanovení charakteru a intenzity deformace ve směru zvolených souřadných os. Při použití časové lupy má tento způsob experimentálního studia velký význam pro **sledování vzniku elementární třísky** a pro **sledování tvorby i rozpadu nárůstku**.

Experimentálním studiem změn ukončených lze stanovit **součinitel pěchování třísky**

$$K = \frac{a_1}{a} = \frac{l}{l_1} = \frac{S_1}{S} > 1. \quad (3.2.2)$$

Primární plastické deformace mají za následek rozdíl mezi průřezem odřezávané vrstvy  $S$  a průřezem vzniklé třísky  $S_1$ . Tloušťka vzniklé třísky  $a_1$  je vždy větší než tloušťka odřezávané vrstvy (pěchování příčné) a délka vzniklé třísky  $l_1$  je vždy menší než odpovídající dráha nástroje  $l$  (pěchování podélné).

Vedle **délkové metody** stanovování  $K$  se častěji používá metoda **hmotnostní**, při které se zváží hmotnost vzniklé třísky  $m_1$  změřené délky  $l_1$  a při známé měrné hmotnosti  $\rho$  obráběného materiálu se součinitel pěchování třísky  $K$  dá vypočítat z matematického výrazu

$$K = \frac{1000 \cdot m_1}{l_1 \cdot r \cdot S}. \quad (3.2.3)$$

Intenzitu primární plastické deformace  $\varepsilon$  lze stanovit ze vztahu

$$e = \frac{K^2 - 2K \cdot \sin g_n + 1}{K \cdot \cos g_n} \quad (3.2.4)$$

Rovněž je možné orientačně při studiu makrozměn stanovit **velikost primární plastické deformace  $\varepsilon$**  (poměrný kluz) z výrazu

$$e = \cot g d + tg (d - g_n). \quad (3.2.5)$$

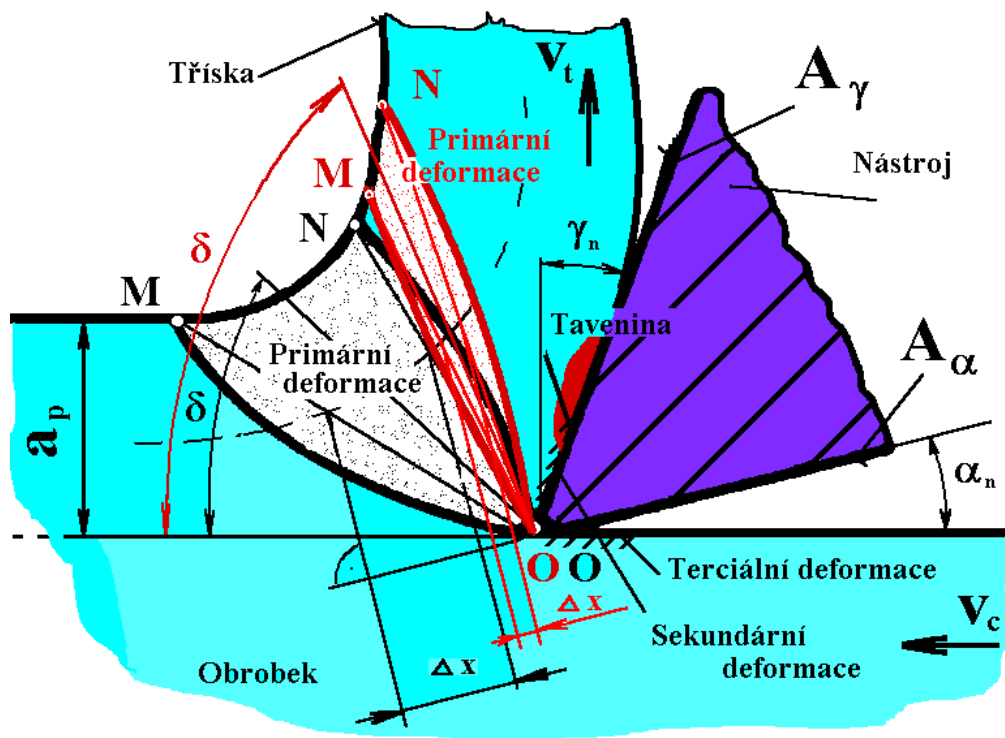
Za předpokladu, že v důsledku řezné rychlosti probíhá pohyb částic uvnitř oblasti O'OMN rovnoměrně, je možné na základě hodnoty  $\Delta x$  stanovit **deformační rychlost  $v_d$**

$$v_d = [\cot g d + tg (d - g_n)] \cdot \frac{v_c}{\Delta x} \quad (3.2.6)$$

## q Tvorba třísky u „HSC“ technologie

**Vysokorychlostní** obrábění, realizované zvláště výkonnými, mimořádně tvrdými a tepelně odolnými řeznými nástroji, **probíhá při teplotě třísky blízké tavné teplotě obráběného materiálu**.

Za určité řezné rychlosti **dochází k náhlé změně** řady metalurgických, chemických i **mechanických vlastností** třísky. Tříska snižuje svou **přítlačnou sílu** na čelo nástroje. Tento děj **nastane také** v případě kalené ocelové třísky, která rovněž **změkne**. Třecí síla i celkový řezný odpor klesne, **zvětší se úhel** smykové roviny, **ztenčí se průřez** odcházející třísky a **zvýší se rychlost**  $v_f$  jejího odchodu z kontaktní zóny.



Obr. 3.2.1 Tvorba třísky u „klasické“ a „HSC technologie“

Jelikož **předpokladem významného efektu** rychlostního obrábění je hodnota posuvové rychlosti  $v_f$  alespoň **15 m.min<sup>-1</sup>**, nejlépe však  $v_f = 30 \text{ m.min}^{-1}$  a **výše** (dle výzkumů TU v Darmstadtu), lze korigovat matematický vztah (3.2.6) pro podmínky HSC technologie na tvar, kde rozdíl mezi  $v_e$  a výslednou řeznou rychlostí  $v_e$  nelze již zanedbat.

$$v_d = \left[ \cot g d + \operatorname{tg} (d - g_n) \right] \cdot \frac{v_e}{\Delta x} \quad (3.2.7)$$

Výše uvedené efekty lze zdůvodnit mimo jiné taky tím, že je **posuvová rychlost**  $v_f$  již **srovnatelná s řeznou rychlostí**  $v_e$ , což **způsobuje zvýšenou reakci** *plasticky se deformujícího materiálu* i **ve směru** posuvové rychlosti  $v_f$ . Také se snižuje plocha **kontaktní zóny** (plocha styku odcházející třísky s čelní částí břitu řezného nástroje) a **omezí sekundární nárůst teploty** třísky třením v kontaktní zóně. Do **nástroje se přenáší minimální množství tepla**, protože **naprostá většina vygenerovaného tepla** (až 95 %) **odchází s třískou**. Třecí síla  $F_r$  mezi dvěma relativně k sobě se pohybujícími elementy je pro stacionární stav popsána zákonem

$$F_r = m \cdot F_n \quad [\text{N}]. \quad (3.2.8)$$

Koeficient tření  $\mu$  je přitom přijímán jako konstantní veličina. Pro vysokorychlostní třískové obrábění tento předpoklad neplatí, protože koeficient  $\mu$  **nezůstává konstantní**<sup>1</sup>, ale se stoupající řeznou rychlostí klesá. Na spodní straně třísky může v extrémních případech docházet k vytváření tekuté

vrstvy, tedy k dosažení teploty tavení obráběného materiálu. Tím je tření na čelní ploše nože redukováno, proto ubývá pēchování třísky a pŕirůstá zakřivení třísky.

Úbytek pēchování třísky vede k pŕirůstku úhlu kluzu (resp. úhlu stŕihu, jak se také uvádí v některé odborné literatuře), a tím k podstatnému redukování pŕetvárné práce. Utvářející se **tříska „zčervená“** (obr.3.2.1) a následně sníží svou pŕitlačnou sílu  $F_n$  na čelo nástroje  $A_\gamma$ .

Zatímco v podmínkách **klasického obrábění** (nizká řezná i posuvová rychlost a velký pracovní úhel  $\gamma_{ne}$ ) se **tříska stýká** s čelní plochou  $A_\gamma$  nástroje a postupně si **vytváří žlábek**, při **optimálně zvolených řezných parametrech a pracovní geometrii** řezného nástroje (pracovní úhel čela  $\gamma_{ne}$  je blízký nule nebo může dosahovat i záporných hodnot) se v podmínkách HSC obrábění se vznikající, utvářející a současně odcházející tříska **pouze dotýká čelní části bŕitu** řezného nástroje a se zcela **vyčerpanou plasticitou vhodně** zkroucená a správně „nasměrovaná“ urychleně opouští „prostor řezu“ rychlostí odchodu třísky  $v_r$ , která je svou hodnotou prakticky srovnatelná (koeficient pēchování třísky  $K$  je blízký jedné) rychlosti řezání  $v_e$ .

Tento **děj nastává i při obrábění kalené oceli**, kde takto zahřátá tříska rovněž změkne. **Třecí síla**, ale i celkový **řezný odpor poklesne, zmenší se úhel smykové roviny, ztenčí se pŕůřez třísky**, a tím se **zvýší** rychlost odchodu třísky  $v_r$  z kontaktní zóny.

**Plocha kontaktní zóny se naopak sníží**, čímž se omezí sekundární nárůst teploty třísky třením v kontaktní zóně. Do nástroje se za těchto podmínek pŕenáší minimální množství tepla, protože pŕevážná většina vygenerovaného tepla „odchází s třískou“. Tento popsany děj způsobuje, že **se, i pŕes celkově značný nárůst uvolněného tepla** během procesu, **omezí působení nežádoucích difusních mechanismů** i mechanického **vymílání čela**.

Vysoká **kvalita řezné hrany** (jemnozrnná struktura) „HSC“ nástrojů a **důmyslné povlakování** jejich povrchů zvyšují odolnost čela i celého bŕitu proti abrazivnímu i difusnímu opotřebení. Podíl pŕestupu procesního tepla do nástroje se ještě více snižuje z důvodu jeho „napovlakování“, které v tomto pŕípádě také plní funkci tepelně izolační vrstvy. **Růst teploty řezné části nástroje se po dosažení určité řezné rychlosti zpomaluje**. Při obrábění hliníku dosahuje teplota (tzv. **limitní teplota obráběného materiálu**) svého maxima okolo 600 °C, u bronzu 1 000 °C, v pŕípádě šedé litiny kolem 1 300 °C a u obrábění oceli okolo 1 500 °C.

Následné **zvyšování řezné rychlosti nevede k zvláště výraznému zrychlování** procesu **opotřebení nástroje, vede však k výraznému zkracování strojního času obrábění**. **Vyšší teplota třísky** je tedy pozitivním faktorem a **princiální zdrojem pŕíznivých efektů** vysokorychlostního třískového obrábění. **Chlazení „místa obrábění“**, tak jak ho známe z klasické (konvenční) technologie, zde **není** zpravidla nutné a mnohdy ani **žádoucí**, poněvadž by bránilo dosažení „vysokorychlostního režimu“.

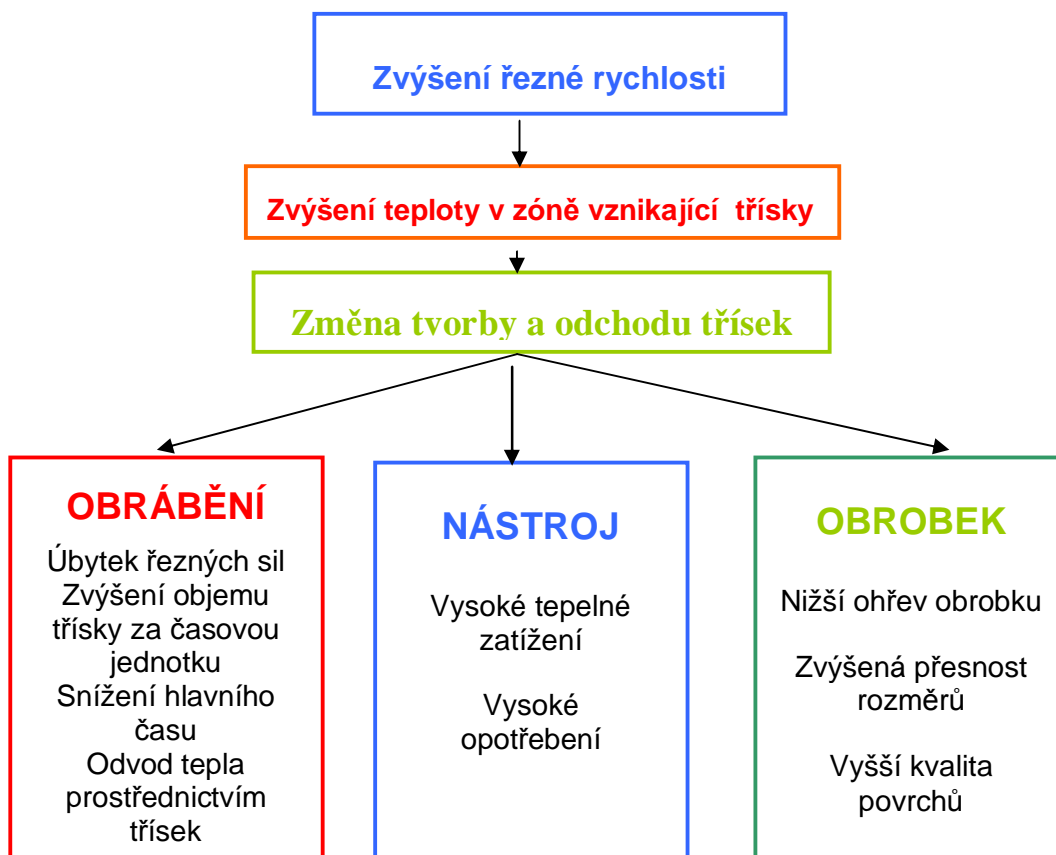
Z hlediska zvýšené citlivosti supertvrдых řezných materiálů na tepelné šoky není kapalínové chlazení mnohdy ani pŕípustné. V pŕípádě **nepřerušovaného obrábění keramických** a jiných supertvrдых **materiálů** může být **potřebná teplota dosažena laserovým pŕedehříváním** obráběného materiálu<sup>9</sup>, a to těsně pŕed jeho vstupem do primární zóny stŕihu.

## q Význam řezných podmínek v rychlostním obrábění

**Řezné podmínky** představované zejména řeznou rychlostí  $v_e$ , rychlostí posuvu  $v_f$ , a tloušťkou obráběné vrstvy  $a_p$ , spolu s řeznou **geometrií** zastoupenou pŕedevším úhlem čela  $\gamma_m$ , úhlem sklonu ostŕí  $\lambda_s$ , a hlavním úhlem nastavení  $\kappa_r$ , měly a stále mají na pŕůběh procesu třískového obrábění **zásadní vliv**. Nedá se tedy nepŕedpokládat, že u rychlostního a dokonce vysokorychlostního obrábění s definovanou řeznou geometrií tomu bude jinak. **Proces vysokorychlostního obrábění** (zejména soustružení a frézování) **je** ve srovnání s **konvenčním obráběním charakterizován pŕedevším změnou vzniku třísky a jejího odchodu**, což je zásadní pro pochopení celé „HSC technologie“<sup>3</sup>.

**Zvýšením řezné rychlosti**, a s tím vázaným zvýšením rychlosti **posuvu** lze **dosáhnout** hlavního požadavku, totiž podstatného **zvýšení objemového úběru** za časovou jednotku, respektive **snížení hlavního času**<sup>1</sup>. Kromě toho se **vysokým počtem otáček vřetena sníží jeho kmity**, což umožní klidné obrábění obrobků citlivých vůči kmitání<sup>3</sup>.

S rostoucí řeznou rychlostí se oblast primární plastické deformace zužuje (obr.3.2.1 oblast **OMNO**), čímž se energie vydaná na plastickou i elastickou deformaci soustředí do menšího objemu. Tento fakt způsobuje nižší energetickou spotřebu, protože se přetvárná práce soustředí do menšího prostoru a probíhá rychleji. S klesajícím deformačním koeficientem ( **$I \propto K \propto 10$** ) roste rychlost odchodu třísky  $v_t$ , jejíž průřez se tímto zmenšuje. Rostoucí teplota v místě řezu způsobuje snižování měrného řezného odporu  $p$ .



Obr. 3.2.2 Zevní projevy zvýšené řezné rychlosti v podmínkách „HSC“

S rostoucí **deformační rychlostí**  $v_d$  roste **teplotní gradient**, čímž se zase naopak **zkracuje** doba styku břítu nástroje s právě **vznikající** částí obrobené plochy, která se tímto méně prohřívá. **Řezný proces probíhá rychleji**, při **vyšším objemovém úběru** za časovou jednotku, čímž se také **snižuje strojní čas** i celková **energetická náročnost** třískového obrábění.



### Kontrolní otázka

1. Jaké procesy provázejí utváření třísky při řezání (obrábění) kovů?
2. Patří proces tvorby třísky při obrábění kovů k dějům jednoduchým anebo složitým?
3. Vysvětlete pojem – heterogenní, deformační a destruktivní proces.
4. Na čem jsou založeny doposud stále uznávané přístupy, které vedou k definici mechanismu tvorby třísky při řezání?
5. Jaké druhy deformačních a stříhových procesů jsou různými autory odborné literatury preferovány?
6. Který z uznávaných autorů odborné literatury zaměřené na problematiku tvorby třísky dospěl nejbližší k realitě procesu řezání?
7. Jak je v současnosti definován proces řezání (obrábění) kovů?
8. Čím je umožněno „obtékání řezného klínu“ obráběným materiálem?
9. Jaký přístup objasňuje podstatu procesu tvorby třísky ?
10. V čem spočívá úspěšnost různých experimentů zaměřených na studium kořene a tvorby třísky?
11. Jakými rozbory jsou získané vzorky tzv. „kořene třísky“ dále zkoumány?
12. Kdy vzniká a čím je vyvolán silový účinek při třískovém obrábění?
13. Charakterizujte silový účinek!
14. Jmenujte složky sumarizují výslednou sílu  $F$ .
15. Která složka výsledné síly  $F$  působí na čelo nástroje?
16. Která složka výsledné síly  $F$  působí na ploše styku nástroje s tvořící se třískou?
17. Kde se předpokládá působiště výsledné síly  $F$ ?
18. Co vyvolává výsledná síla  $F$  v obráběném materiálu a kde působí?
19. Co vytváří fyzikální podstatu síly  $F$ ?
20. Vysvětlete pojem - deformační odpor. O jakou deformaci se jedná?
21. Jak se nazývá metoda, která řeší mnohé problémy „klasického třískového obrábění“?
22. Co znamená zkratka HSC?
23. Co je smyslem vysokorychlostního obrábění?
24. Vysvětlete pojem 3D obrábění.
25. V kolika osách současně se může 3D obrábění realizovat?
26. Pro jak náročné plochy lze 3D obrábění používat ?
27. Lze 3D obrábění realizovat i pro matematicky obtížně definovatelné plochy?
28. Jakou minimální tloušťku třísky je schopen břit řezného nástroje odebrat?
29. Jaký význam má v procese obrábění tvářená tříska?
30. Jaká je hodnota rychlosti posuvu, při které dochází k maximálnímu efektu?
31. Co způsobuje srovnatelná hodnota rychlosti posuvu s řeznou rychlostí?
32. Co zejména způsobuje deformující se materiál ve směru posuvové rychlosti?
33. Jak ovlivní plochu kontaktní zóny rychlost posuvu  $v_f$ , jejíž velikost je srovnatelná s  $v_c$ ?

34. Jak ovlivní dostatečně vysoká  $v_f$  v důsledku sekundárního nárůstu teploty třísky tření v kontaktní zóně (plocha styku odcházející třísky s čelní částí břitu řezného nástroje)?
35. Kde odchází „v podmínkách HSC“ a v jakém procentuálním množství naprostá většina vygenerovaného tepla?
36. Jaký efekt způsobuje teplota tavení obráběného materiálu na čelní ploše nože?
37. S ubýváním pěchování třísky se její zakřivení zvětšuje, zmenšuje a nebo se nemění?
38. Přímé pozorování změn v mikroskopických objemech, které odpovídají řádově velikosti zrna je značně obtížné vzhledem k vysoké deformační rychlosti  $v_d$ . V jakých hodnotách se deformační rychlost řádově pohybuje?
39. Změny v mikroskopických objemech v důsledku ohřevu deformovaného materiálu provází rovněž vysoký teplotní gradient. V jakých hodnotách se teplotní gradient řádově pohybuje?
40. Co zejména ovlivňuje a ve které deformační oblasti vysoký teplotní gradient?
41. K čemu směřuje anebo co způsobuje úbytek pěchování třísky?
42. V podmínkách „HSC“ utvářející se tříska (při úběrech menších průřezů) „zčervená“. Jaké efekty tato skutečnost provází?
43. Efekty plynoucí ze správné odpovědi na otázku č.42 se uskutečňují i při obrábění kalené oceli?
44. Co provází zvýšení rychlosti odchodu třísky  $v_t$  z kontaktní zóny?
45. Jakých maximálních teplot v podmínkách HSC dosahujeme při obrábění hliníku, bronzu a oceli?
46. K čemu vede a naopak nevede v podmínkách HSC výrazné zvyšování řezné a posuvové rychlosti?
47. Co zvyšuje u „HSC“ nástrojů odolnost čela i celého břitu proti abrazivnímu i difusnímu opotřebení?
48. Je chlazení „místa obrábění“, při řezných podmínkách odpovídajících HSC obrábění žádoucí? Pokud je či není, zdůvodněte proč?
49. Jak působí kapalinové chlazení na „supertvrdé“ řezné materiály?
50. Jak lze dosáhnout potřebnou teplotu při nepřerušovaném obrábění keramických a supertvrdých materiálů?
51. Čím je charakterizován proces vysokorychlostního obrábění (zejména soustružení a frézování) ve srovnání s konvenčním obráběním?
52. Jakého zásadního požadavku lze dosáhnout zvýšením řezné a zejména posuvové rychlosti?
53. Jaký vliv mají stoupající otáčky vřetene obráběcího stroje na jeho kmitání, a tím i na samotný proces třískového obrábění?
54. Jaký má vliv rostoucí řezná rychlost  $v_c$  na velikost primární plastické deformace *OMNO*?
55. Jaký má vliv rostoucí rychlost posuvu  $v_f$  na velikost primární plastické deformace *OMNO*?
56. O jaké hodnoty intervalu rychlosti posuvu  $v_f$  (viz otázka 55) se zejména jedná?
57. V podmínkách HSC se přetvárná práce soustředí do menšího prostoru a probíhá rychleji. Jaký to má vliv na energetickou spotřebu?
58. Jaký má vliv rostoucí rychlost odchodu třísky  $v_t$  na deformační koeficient  $K$  (koeficient pěchování třísky)?
59. Jaký má vliv rostoucí teplota v místě řezu na měrný řezný odpor  $p$ ?



60. Jak působí zvýšení řezné rychlosti  $v_c$  na nástroj?
61. Působí zvýšení posuvové rychlosti  $v_f$  na nástroj? Jestliže ano, je tento vliv významnější než při rostoucí řezné rychlosti?
62. Jak působí zvýšení teploty v „řezné zóně“ na samotný proces obrábění?
63. Jak působí změna tvorby a odchodu třísky v podmínkách „HSC“ na obrobek a jeho povrch?
64. Co způsobuje zvýšení řezné rychlosti  $v_c$  v podmínkách „HSC“?
65. Co způsobuje zvýšení teploty v zóně vznikající třísky?
66. Způsobuje nižší ohřev obrobku při HSC obrábění příznivý efekt? V případě kladné odpovědi, jaký?
67. Jaké výhody lze očekávat od zvýšené přesnosti rozměrů obrobků a kvality jejich povrchových a podpovrchových vrstev?
68. Jak je závislé (pokud ovšem je) vysoké tepelné zatížení „klasického“ řezného nástroje (RO 19 800, SK P20) na jeho opotřebení?
69. Je závislé vysoké tepelné zatížení „současného“ jemnozrného povlakovaného řezného nástroje na jeho opotřebení? Zdůvodněte kladnou či zápornou odpověď.
70. Souvisí zvýšení řezné a posuvové rychlosti s množstvím odvedeného tepla prostřednictvím třísek?
71. Existuje závislost zvýšení objemu odebrané třísky za časovou jednotku se snížením hlavního (strojního) času?
72. Souvisí úbytek řezných sil se zvýšením objemu odebraných třísek za časovou jednotku? Pokud se domníváte, že souvisí, zdůvodněte proč?
73. Souvisí podíl množství odvedeného tepla prostřednictvím odcházejících třísek z místa řezu se snížením hlavního strojního času? Jestliže tvrdíte, že souvisí, vysvětlete jak.
74. Souvisí úbytek řezných sil s množstvím odvedeného tepla z místa řezu? Jestliže souvisí, zdůvodněte to.
75. Mají řezné parametry svými hodnotami odpovídajícími „klasickému“ (konvenčnímu) třískovému obrábění s definovatelnou řeznou geometrií a HSC obrábění vliv na procentuální podíl odvodu tepla nástrojem, třískou, obrobkem a okolním prostředím? Pokud ano, zdůvodněte to a porovnejte podíly obou technologií. Pokud se domníváte že nemají, obhajte svůj názor.
76. Který z možných odvodů tepla vzniklého při procesu třískového obrábění je výhodné preferovat a proč?
77. Souvisí směr a rychlost odcházející třísky z místa řezu se sekundární plastickou deformací? Jestliže souvisí, zdůvodněte jak.
78. Kterými řeznými parametry se nejvíce liší konvenční a HSC obrábění? Uveďte jejich hodnoty!
79. Které geometrické parametry (nástrojové i pracovní úhly) jsou odlišné u konvenčního a HSC obrábění? Uveďte jejich hodnoty!
80. Intenzivní styk třísky s čelní plochou řezného nástroje  $A_r$  je charakteristický pro klasické nebo HSC obrábění? Vysvětlete proč?
81. U kterého z diskutovaných způsobů třískového obrábění, porovnávaných z hlediska řezných a geometrických parametrů, dochází k vymílání žlábků na čele nástroje?
82. U kterého z diskutovaných způsobů třískového obrábění dochází k minimálnímu styku odcházející třísky s čelní plochou řezného nástroje a proč?

83. Jakých optimálních hodnot dosahuje úhel čela při klasickém obrábění? Zdůvodněte proč?
84. Jakých optimálních hodnot dosahuje úhel čela při HSC obrábění? Proč jsou tyto hodnoty výhodné?
85. Čím se dosahuje v podmínkách HSC obrábění téměř absolutního vyčerpání plasticity odcházející třísky z místa řezu?
86. Jakých hodnot dosahuje koeficient pěchování třísky  $K$  v podmínkách konvenčního třískového obrábění definovanou řeznou geometrií. Pokuste se zdůvodnit nebo vysvětlit tyto hodnoty.
87. Jakých hodnot dosahuje koeficient pěchování třísky  $K$  v podmínkách HSC třískového obrábění definovanou řeznou geometrií. Zdůvodněte příčinu dosahování těchto hodnot.
88. Napište matematický model pro výpočet deformační rychlosti  $v_d$  a pojmenujte jeho jednotlivé parametry.
89. Jakých hodnot a za jakých podmínek mohou parametry obsažené ve vzorci pro výpočet deformační rychlosti mohou dosahovat?
90. Vysvětlete pojem teplotní gradient rozměru a dosahovaných hodnot.
91. Má souvislost teplotní gradient s deformační rychlostí? Pokud ano, jakou?
92. Jak souvisí, souvisí-li, doba styku odcházející třísky s čelem nástroje a deformační rychlostí  $v_d$ ?
93. Má vliv velikost úhlu čela  $\gamma_n$  na deformační rychlost  $v_d$ ? Pokud ano, jakou?
94. Má velikost úhlu čela  $\gamma_n$  vliv na pevnost bříty řezného nástroje?
95. Souvisí deformační rychlost  $v_d$  s objemovým úběrem materiálu za časovou jednotku? Pokud souvisí, uveďte jak.
96. Souvisí deformační rychlost  $v_d$  se strojním časem? Pokud souvisí, zdůvodněte proč.
97. Souvisí deformační rychlost  $v_d$  s energetickou náročností třískového obrábění? Uveďte příklad.
98. Jak působí (za předpokladu že působí) změna odchodu třísky s vyšší kvalitou obrobeného povrchu?
99. Zvýšení řezné rychlosti dle schématu 3.3.2 přináší vysoké opotřebení řezného nástroje. Musí toto platit neomezeně?
100. Zvýšení řezné rychlosti dle schématu 3.3.2 také přináší vysoké tepelné zatížení řezného nástroje. Ze správných odpovědí některých výše uvedených otázek lze úspěšně oponovat tomuto tvrzení. Pokuste se o to, prosím. Přeji Vám úspěšný studijní den.



### Úkol k řešení

1. Nakreslete a popište primární plastickou oblast pro klasické a HSC obrábění a zdůvodněte základní rozdíly a jejich příčiny.
2. Schématicky znázorněte oblast sekundární plastické deformace a vysvětlete důvody jejího vzniku. Charakterizujte rozdíly sekundárních oblastí u klasického a HSC obrábění.
3. Určete prostřednictvím zakreslení do schématického náčrtu prostor oblasti výskytu terciální plastické deformace. Vypište a zdůvodněte faktory, které způsobují, zesilují či oslabují výskyt této oblasti.

4. Do schématického obrázku řezného klínu nástroje a odcházející třísky zakreslete všechny důležité kóty, úhly, roviny a vektory rychlostí, které jsou rozhodující pro polohu a rozlohu oblasti *OMNO*'.
5. Nakreslete schéma zevních projevů zvýšené řezné rychlosti v podmínkách HSC a písemnou formou stručně zdůvodněte jednotlivé souvislosti.

### 3.3. Výkonnostní „vysokoobjemové“ - HVC obrábění



**Čas ke studiu:** 18 hodin (studijní doba se doporučuje rozložit na 6 x 3 hodiny)



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce budete umět:

- stanovit optimálních řezné podmínky pro třískové obrábění prostorových ploch
- aplikovat lineární parametrické programování pro zadaný případ obrábění v konkrétním výrobním prostředí
- určit oblasti přípustných řešení na základě daných omezení
- hlouběji pochopit význam dosažení a překročení limitní hranice rychlosti posuvu pro realizaci efektu rychlostního obrábění
- popsat a vysvětlit vázanost řezných podmínek na posuv na zub při frézování
- matematicky definovat závislost řezných podmínek na dosahované drsnosti
- vyjmenovat a charakterizovat požadavky na související činnosti při aplikaci „výkonnostního obrábění“.



#### Výklad

**Podstata vysokorychlostního „vysokouběrového HVC“ - obrábění** a tudíž výkonostního řezání (zejména frézování a soustružení na víceosých obráběcích strojích CNC) spočívá především v **dosahování kratších strojních časů při současném zvýšení přesnosti a kvality** obrobeneých **prostorových ploch převážně nepravidelných**, matematicky obtížně definovaných **tvarů**. Tohoto bezesporu značně nesnadného požadavku „HSC - technologie“ dosahuje prostřednictvím vysokých řezných rychlostí  $v_c$ , především však **podstatně zvýšenou rychlostí posuvu  $v_f$** .

Dalším neméně důležitým činitelem je **nárůst teploty v místě řezu**, který **způsobuje úbytek** řezných složek, a tím celkové **síly obrábění**. V neposlední řadě rovněž způsobuje **menší ohřev** obrobku vyvolaný **změnami poměru tvorby třísky**.

Vhodné využití výpočetní techniky s kvalitním CAD/CAM systémem ve spojení s technologií vysokorychlostního obrábění podstatně zkracuje čas výroby, která je představována **obráběním „načisto“ bez následné ruční dokončovací operace – „tuširování“** (zaškrabávání). V některých průmyslových odvětvích vyspělých států, např. v **automobilovém a leteckém průmyslu**, ve **výrobě nástrojů forem a modelů**, je „HSC- technologie“ již běžně **úspěšně využívána**.

V současnosti je zaváděna do oblastí jemné mechaniky a přesného strojírenství. Její rychlé a efektivní zavádění vyžaduje úzkou spolupráci mezi uživateli, výrobcí strojů a nástrojů, jakož i firmami vyvíjejícími CAD/CAM systémy. Aplikace „HSC– technologie“ již dosáhla vysoké úrovně při opracování lehkých kovů. **Tenkostěnné obrobky z hliníku**, součásti s **vysokými požadavky na jakost povrchu** (části pouzder) jsou pomocí této technologie hospodárně opracovávány.

Při výrobě nástrojů a forem stojí v popředí možnost snížit rozteč rádků, a tím současně snížit čas pro ruční dohotovení. Výroba nástrojů a forem je nejdůležitějším artiklem pro mnohá průmyslová odvětví, a proto zaujímá klíčovou pozici. Zvyšováním objemu odebrané třísky za jednotku času se z vysokorychlostního frézování dostáváme do „značně racionalizačního“ **vysokoobjemového frézování** (HVC), jehož výkony se mohou řádově pohybovat (při hrubování) až v **tisících  $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$** .

## q Základní charakteristiky výkonostního obrábění

„HSC – technologie“ zahrnuje mimo vlastního vysokorychlostního obrábění (viz tab. 3.3.1, 3.3.2) bez použití chladicích a mazacích kapalin, také **tvrdé obrábění**. **Rychlostní frézování prosazuje** téměř výhradně **sousledné** (sousměrné) frézování, které je charakterizováno minimalizací trhavých pohybů. *Je výhodnější z hlediska silového než nesousledné.*

Řezná síla působí směrem do upínače obrobku, a není proto nutné vyvodit tak velkou upínací sílu jako u nesousledného frézování. Dále zde dochází k **menšímu opotřebení nástroje**, což je dáno tím, že *při nesousledném frézování* dojde ke vniknutí zubu frézy do materiálu, až když **tloušťka obráběného materiálu před zubem frézy přesáhne velikost poloměru ostří ( $r_n = 25$  až  $35$  mm)**. Do té doby dochází vlivem **poloměru ostří k deformaci** obráběného povrchu i k jeho **zpevnování**, které tímto znesnadňuje obrábění.

Cílem těchto technologií je dosažení řádově vyšší kvality řezného procesu, integraci strojních operací i pružnou automatizaci. Tyto nové technologie mají vzájemně úzkou návaznost. **Princip vysokorychlostního obrábění spočívá** ve **zvýšení úběru třísek, zkvalitnění obráběného povrchu** a z něj plynoucí **prodloužení životnosti** nástroje.

Toto je zejména docíleno podstatným **nárůstem řezné rychlosti**, která způsobuje **snížení průřezu odcházející třísky**, a tím **pokles řezné síly**. *Relativně vysoká rychlost odchodu třísky vzhledem k čelní ploše nástroje*, ve spojitosti s novou kvalitou (zvýšenou stabilitou) řezné hrany **umožňují zajistit zvýšení podílu tepla, odcházejícího třískou**.

V neposlední řadě *zde dochází ke snižování tepelného a mechanického zatěžování nástroje*, čímž **se prodlužuje jeho životnost**. **Snížení řezných sil** za současné **redukce tepelných toků do nástroje**, rámu **stroje** i **obrobku** vede ke **zvýšení přesnosti a kvality obroběného povrchu**. „Suché obrábění“ znamená vyloučení či minimalizaci používání tzv. „procesních kapalin“, při současném snížení nákladů na jejich **pořízení, filtraci, recyklaci** a konečně také **likvidaci**.

„Čisté řešení“ (za současných legislativních poměrů) je obvykle velmi složité, takže se často používá „kvazi-suché“ obrábění. Metoda spočívá v ponechání určitého, poměrně silně redukovaného množství kapaliny pro **mazání kontaktních ploch třísky a nástroje**, což především vede ke snížení třecí síly. **Technologie tvrdého obrábění zajišťuje** opracování **kalených ocelí** a jiných **velmi tvrdých materiálů** nástroji s **definovaným tvarem řezné hrany**. Tato progresivní technologie představuje možnost nahrazení ekonomicky, ekologicky a energeticky nevýhodnou broušením, která obroběný povrch značně degeneruje. Jejím rozšíření přispívá, zatím stále jen postupně zavádění a využívání kubického nitridu boritého (KBN resp. CBN).

Tab. 3.3.1. Rozsahy řezných rychlostí pro vybrané metody HSC obrábění

Meze	soustružení	vrtání	frézování	frézování závitů	protahování	vystružování	řezání	broušení
	$v_c$ [ m.min <sup>-1</sup> ]							
Horní	8 000	1 100	6 000	400	70	250	200	9 500
Dolní	800	100	500	120	12	10	70	6 000

Tab. 3.3.2 Rozsahy řezných rychlostí pro vybrané metody HSC obrábění

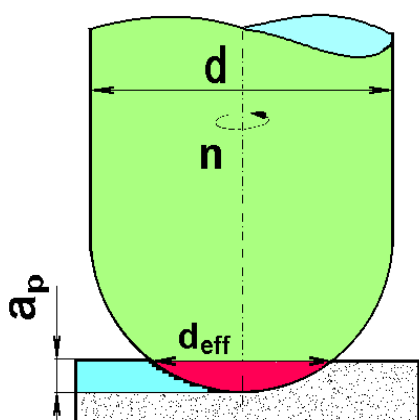
Meze	ocel	Slitiny Ti	Slitiny Ni	Litina	Slitiny Al	Plasty zpevněné	Bronzy mosaz
	$v_c$ [ m.min <sup>-1</sup> ]						
Horní	1 100	1 000	280	1 600	6 000	8 000	3 000
Dolní	800	150	160	900	3 000	2 800	1 100

### q Způsoby HSC technologií

Zatímco neustálé zvyšování řezné rychlosti mnohdy vede k výraznému snížení trvanlivosti řezného nástroje, zvyšování rychlosti posuvu má na trvanlivost velmi malý vliv. Navíc dosahování vysokých rychlostí při soustružení malých průměrů či frézování malými efektivními průměry fréz  $d_{eff}$ , klade vysoké nároky na konstrukční a technické parametry obráběcích strojů.

Soustružíme-li naopak větší součásti, bývá zpravidla energeticky nešpodárné vzhledem k jejich setrvačným hmotnostem je roztáčet do velmi vysokých otáček a po obvykle krátkém strojním čase je opět náročně „ubrdžovat“.

### q Význam rychlosti posuvu v rychlostním obrábění



Při dokončovací operacích v 2D až 5D frézování se zpravidla používají frézy malých průměrů ( $d \leq 6$  mm) s „kulatým čelem“.

Na takto malých průměrech se i při velmi vysokých otáčkách rotačního několikabřitého řezného nástroje, který je upnut v hlavním vřetenu obráběcího centra (bez možnosti naklonění), nedosahují dostatečně velké, natož pak velmi vysoké řezné rychlosti. Pokud ano, tak jenom velmi obtížně, a to při velmi vysokých až maximálních otáčkách vřetene obráběcího stroje.

Problém je umocněn tím, že jejich funkční, tedy efektivní průměry  $d_{eff}$ , kterými je řezná rychlost prakticky určována, jsou redukovány, zejména při

dokončovací operacích, tedy malých hodnotách tloušťky obráběné vrstvy  $a_p$  na polovinu až třetinu průměru frézy  $d$ .

 Obr. 3.3.1 Efektivní průměr kulové frézy  $d_{eff}$  při dokončovacím frézování

Pro názornost uvedme tento **příklad**: Frézujeme-li dvoubřitou stopkovou frézou s kulatým čelem o průměru  $D = 6$  mm, hloubkou řezu  $a_p = 0,20$  mm, bude její efektivní průměr  $d_{eff}$ , na kterém se efektivní řezná rychlost realizuje, dle následujícího výpočtu.

$$d_{eff} = 2 \cdot \sqrt{d \cdot a_p - a_p^2} = 2 \cdot \sqrt{6 \cdot 0,2 - 0,2^2} = 2,154 \text{ mm.} \quad (3.3.1)$$

Pozn.: Vztah (3.3.2) platí pro nulový úhel naklonění osy nástroje, kde  $\beta = 0^0$ .

Při maximálních otáčkách vřetene  $n_{max} = 2500 \text{ min}^{-1}$ , které lze zadat např. obráběcímu frézovacímu centru WHN 13 CNC, dosáhne efektivní řezná rychlost  $v_{c,eff}$  při zvoleném průměru frézy  $d$  a tloušťce obráběné vrstvy  $a_p$ , dle následujícího vztahu hodnotu

$$v_{c,eff} = \frac{p \cdot n_{max} \cdot d_{eff}}{1000} = \frac{p \cdot 2500 \cdot 2,154}{1000} = 16,92 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}. \quad (3.3.2)$$

Pro tento jednoduchý výpočet lze použít upravený vztah (pro  $\beta = 0^0$ )

$$v_{c,eff} = \frac{2 \cdot p \cdot n}{1000} \sqrt{d \cdot a_p - a_p^2} \quad (3.3.3)$$

V současné praxi často používané tříosé frézovací centra WHN 16 CNC při  $n_{max} = 12\,000 \text{ min}^{-1}$  umožní dosáhnout v tomto případě pouhých  $v_{c,eff} = 81,2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Uvedené příklady dokazují, že se při těchto parametrech o vysokorychlostní obrábění z hlediska řezné rychlosti  $v_c$  nejedná. Ani WHN 16 CNC svými technickými parametry, zejména posuvovými rychlostmi, rychlofrézování „s plným efektem“ neumožňuje. Maximální strojní posuvová rychlost dosahuje „pouze“  $v_{f,max} = 8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , rychloposuvy pro přejezdy nástroje nebo obrobku až  $v_{ff,max} = 25 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Pozn.: Jak je již výše ve studijním textu uvedeno, pro plné uplatnění efektů HSC obrábění je zapotřebí alespoň  $v_f = 15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Příslovce „pouze“ je ironicky uvedeno v uvozovkách proto, že ještě **v současnosti** průměrná rychlost posuvu při frézování a soustružení i ve vyspělých průmyslových zemích **nepřesahuje** hodnotu  $v_f = 1 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Rychlost posuvu  $v_f$  vypočítáme ze vztahu

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]. \quad (3.3.4)$$

Maximální strojní posuvy však mohou být realizovány pouze tehdy, umožní-li to pevnost a geometrie řezných elementů nástroje a výkon stroje v souvislosti s obráběným materiálem, tuhost soustavy, ale i posuv na zub (tzv. „velkorádiové“ VBD).

## □ Stanovení optimálních řezných podmínek pro víceosé frézování

Pro **stávající** technologické prostředí je **vhodné korigování** alespoň některých **podkladů pro optimalizaci** řezných podmínek v závislosti na konkrétních výchozích parametrech obrábění všude tam, kde je to přípustné a možné. **Stanovení optimálních** řezných podmínek je především *časově*, *materiálově*, *ekologicky*, *energeticky* a tím i *finančně velmi náročné*. Z těchto důvodů je **nezbytné provedení každého experimentu předem zodpovědně naplánovat**<sup>20</sup>.

**Optimální řezné podmínky** úzce souvisí s **optimální trvanlivostí břitu** řezného nástroje. *Obecně nelze od sebe oddělit určení optimální trvanlivosti a optimálních řezných podmínek. Toto lze provést jen za určitých okolností. Proto je nejvýhodnější použít komplexního optimalizačního výpočtu*<sup>31</sup>, jehož řešením jsou **optimální hodnoty řezných podmínek a trvanlivosti**, resp. i optimální hodnoty *dalších proměnných*.

Stanovení *oblasti přípustných řešení* musí být provedeno s respektováním zákonitostí teorie obrábění s *přihlédnutím* ke *konstrukčním možnostem* obráběcího stroje, *tuhosti* obráběcí soustavy, *konkrétní kinematice* obrábění a *pracovní geometrii* břitu řezného *nástroje*, požadované rozměrové *přesnosti* a *kvality obroběného povrchu*, *typu výroby* (sériová, kusová), *termínu zhotovení zakázky* apod.

*Při aplikaci lineárního parametrického programování* na výpočet *optimálních řezných podmínek* se uvažuje jako proměnný parametr trvanlivost  $T_n$ . **Soustava lineárních nerovností**, zvláště určená pro tento případ **vyjadřuje funkční závislost** jednotlivých **omezujících podmínek** na výsledku řešení.

Pro názorné srovnání lze uvést příklad oblastí přípustných řešení z hlediska technických, ale i konstrukčních omezení tříosého WHN 13 CNC, a šestiosého japonského HEXAPODU. Pak může následovat určení optimálních řezných podmínek. **Zásadní rozdíl** mezi těmito obráběcími centry spočívá **v možnosti** či nemožnosti **naklápění vřetene** stroje, což rozhodujícím způsobem **ovlivňuje „variabilitu“ obrábění**.

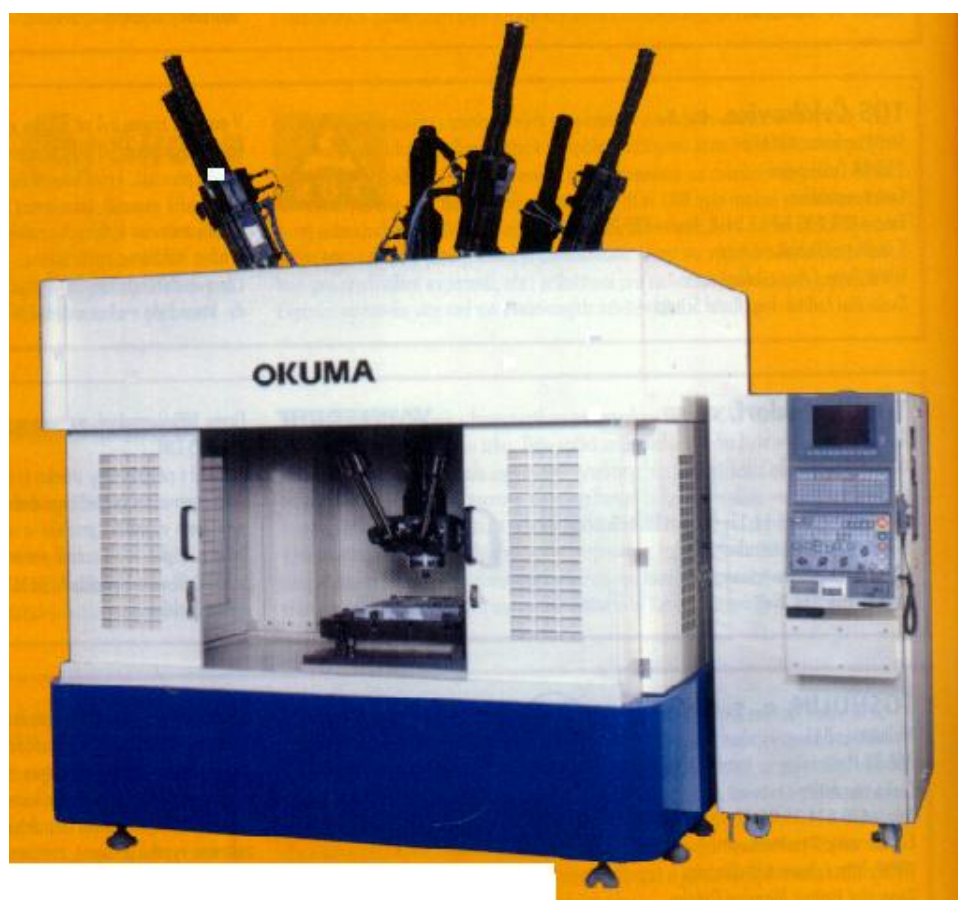


Obr. 3.3.2 Technické parametry **WHC 13 CNC**

**Tabulka 3.3.3 Technické parametry obráběcího stroje WHC 13CNC firmy TOS Varnsdorf**

PARAMETR	HODNOTA	JEDNOTKA
Průměr pracovního vřetene	130	[mm]
Upínací kužel pracovního vřetene	ISO 50	[-]
Rozsah otáček vřetene	260 – 2 500	[min <sup>-1</sup> ]
Výkon hlavního motoru	37	[kW]
Příčné přestavení stolu (X)	2 000	[mm]
Svislé přestavení stolu (Y)	2 000	[mm]
Podélné přestavení stolu (Z)	1 250	[mm]

Výsuv pracovního vřetene (W)	800	[mm]
Upínací plocha stolu	1 600 x 1 800	[mm]
Maximální hmotnost obrobku	12 000	[kg]
Pracovní posuvy X, Y, Z, W	6 000	[mm.min <sup>-1</sup> ]
Rychloposuv X, Y, Z, W	8 000	[mm.min <sup>-1</sup> ]
Počet nástrojů v zásobníku	60	[-]
Max. ø nástroje zcela obsazeného zásobníku	125 - 150	[mm]
Max. ø nástroje při volných sousedních místech	320	[mm]
Max. délka nástroje	500	[kW]
Max. hmotnost nástroje	25	[kVA]
Celková hmotnost nástrojů	85	[kg]
Hmotnost obráběcího CNC stroje	36 850	[kg]



Obr. 3.3.3 Technické parametry víceosých japonských HSC strojů

Tabulka 3.3.4 Technické parametry HSC strojů firmy OKUMA

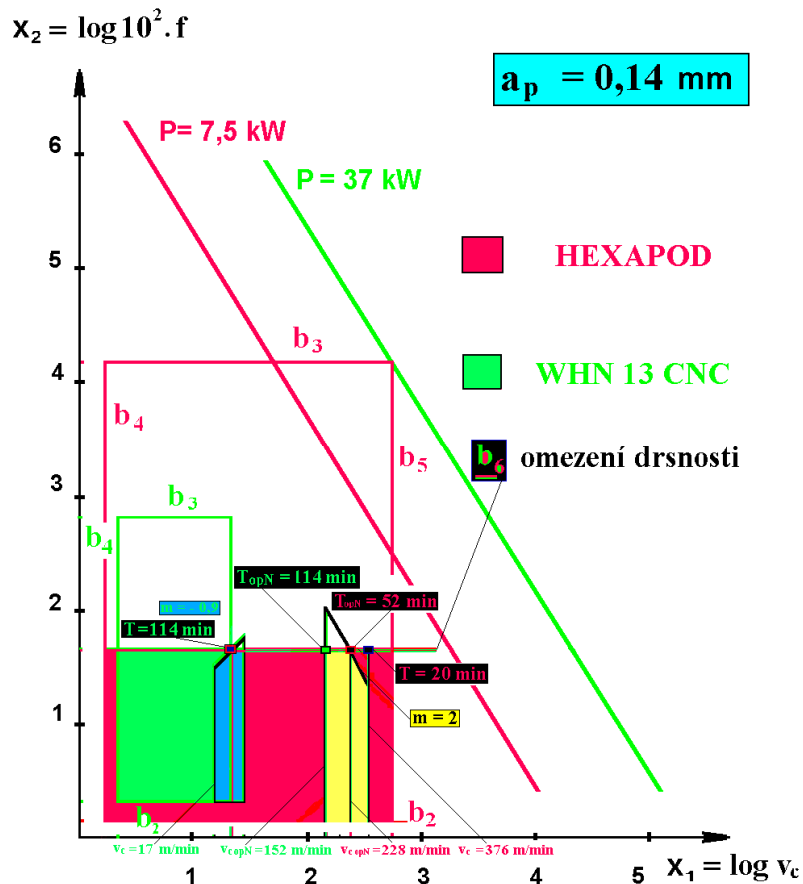
PARAMETR	6-osý HEXAPOD	M3X - H	MA - 550VB	ROZMĚR
Pracovní prostor	450 x 450 x 400	520x460x420	1 350 x 560	[mm]
Pracovní stůl	600 x 600	400 x 400	1 350 x 560	[mm]
Max. hmot. obrobku	400	400	1 000	[kg]
Osa X	450	520	1 300	[mm]
Osa Y	450	460	560	[mm]
Osa Z	400	420	560	[mm]



Úhel naklonění/otočení	+/- 30°	Po 1°	-	[°]
Max. otáčky vřeteníku	30 000	15 000	6 000 (25000)	[min]
Akcelerace	1,5	1,4	0,5	[G]
Max. výkon vřeteníku	7,5	22	22	[kW]
Max. krouticí moment	2,3	-	1 120	[Nm]
Rychloposuv osy X	100	120	40	[m/min]
Rychloposuv osy Y	100	120	40	[m/min]
Rychloposuv osy Z	100	120	30	[m/min]
ATC	-	12	32 (48)	[-]
Max. pracovní posuv	40	30	30	[m/min]
Upínací kužel	40	40	50	[-]
Zastavěná plocha	2,270 x 2,030	1,550 x 3,500	3,200x2,795	[m]
Hmotnost	-	8 200	11 800	[kg]
Řídicí systém	OSP – U100	OSP–E100M	OSP–E100	[-]

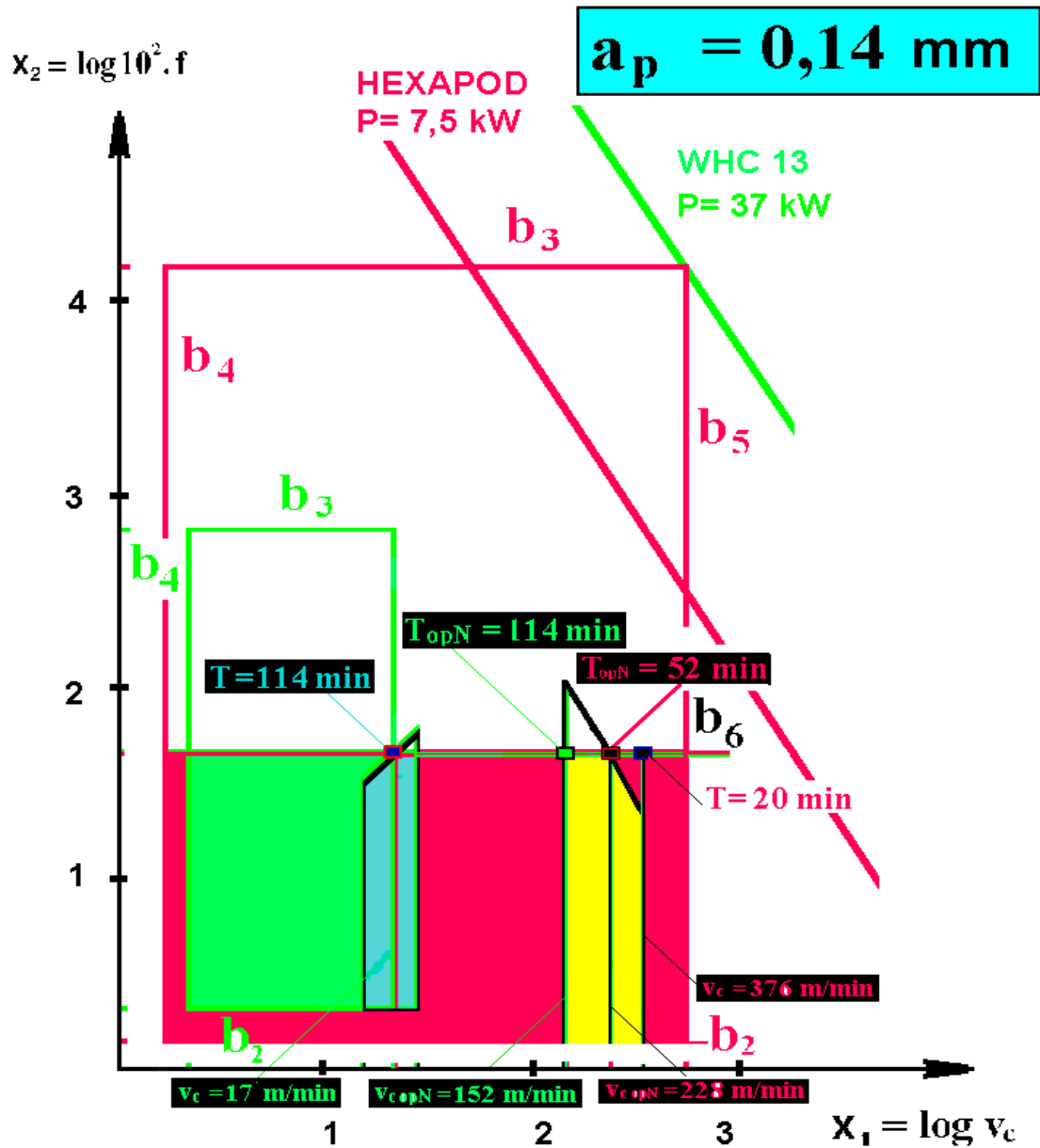
### Oblast přípustných řešení

Znázorněná **oblast** přípustných řešení je dána především **technickými omezeními**, konstrukčními podmínkami, ale i **technologickými zákonitostmi**. Zejména omezení **posuvu na zub**, který je úzce propojen s požadavky na drsnost a **pevnost** jednotlivých **zubů fréz** malých průměrů, „nedá vyniknout“ **horním partiím oblastí**, které jsou dány technickými možnostmi (parametry) obráběcích center.

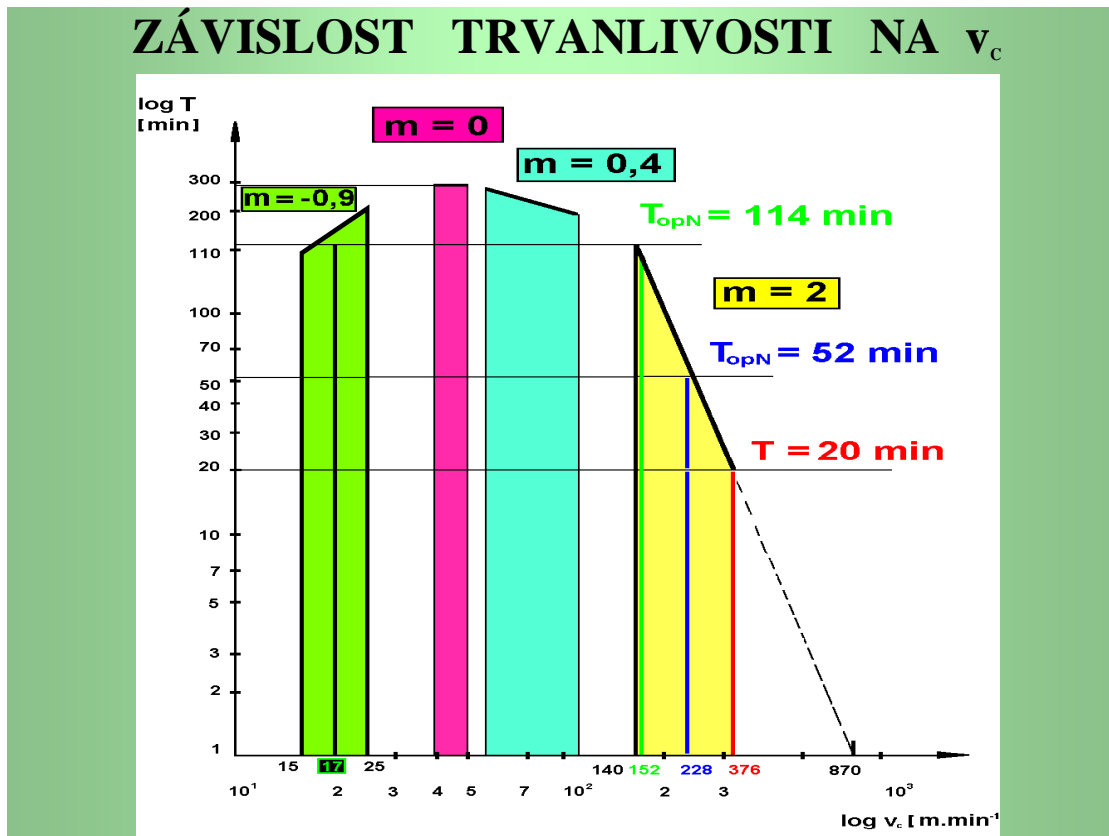


Obr. 3.3.4 Oblasti přípustných řešení obou variant

Vyšší řezné a posuvové rychlosti však lze realizovat s frézami větších průměrů, které mohou mít a také mají vyšší počty zubů. Zde se při stejném posuvu na zub i neměnných otáčkách vřetene docílí kratších strojních časů a vyšších objemových úběrů na stejných drahách a přídavicích  $a_p$ . Zejména Hexapod, koncepčně zkonstruovaný pro vysokorychlostní obrábění nemůže v zadaných podmínkách plně uplatnit své možnosti, konkrétně nejvyšší posuvy.

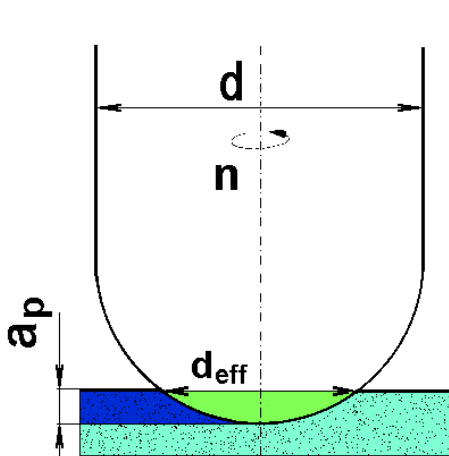


Obr. 3.3.5 Detail oblastí přípustných řešení s optimálními trvanlivostmi i rychlostmi

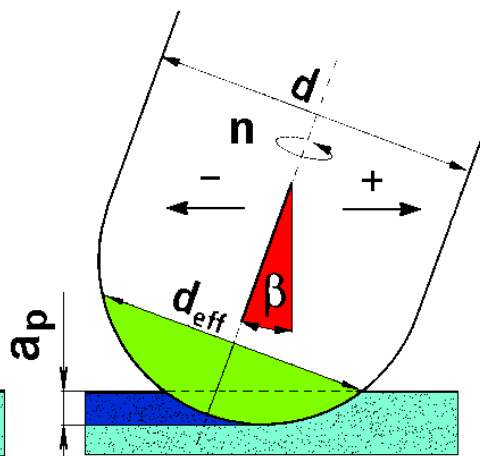


Obr. 3.3.6 Míra závislosti řezné rychlosti na trvanlivosti břitu řezného nástroje

Obrázek 3.3.6 vypovídá o různých mírách závislosti řezné rychlosti na trvanlivosti břitu řezného nástroje  $m$  při jinak konstantních (neměnných) řezných parametrech. Při konkrétní konfiguraci, (nástroj, obrobek, řezné parametry, řezná geometrie i kinematika, řezné prostředí), která je ve studijním textu níže uvedena, byly experimentálně vyšetřeny uvedené hodnoty z nichž plyne, že  $m$  při nízkých  $v_c$  nabývá záporných hodnot (závislost se „obrací“) a obrábění se tak stává vícenásobně nevýhodné. Zkracuje se trvanlivost břitu nástroje  $T$ , prodlužuje strojní čas obrábění, zhoršuje drsnost i kvalita obrobeneho povrchu a podpovrchových vrstev v důsledku rostoucích vnesených pnutí (rezdují) apod.



Obr. 3.3.7 Efektivní průměr frézy



Obr. 3.3.8 Efektivní průměr při naklonění osy vřetena

Obrázek 3.3.2 znázorňuje **omezení tříosého obráběcího centra**, jehož **nemožnost naklonění vřetene** stroje ( $\beta = 0^\circ$ ) podstatně **snižuje efektivní průměr** frézy (zvláště při malých hloubkách řezu  $a_p$ ), a tím i efektivní řeznou rychlost, viz. matematické vztahy (3.3.3) a (3.3.5).

Obrázek 3.3.3 charakterizuje možnosti šestiosého HEXAPODU (technické parametry viz příloha č. 8), kdy je **naklonění ve všech směrech možné** ( $\beta \neq 0^\circ$ ), což **rozšiřuje možnosti volby frézovacích drah** a navíc také **umožňuje fréze „nepracovat středem“**, tedy při velmi malé až nulové řezné rychlosti  $v_c$ . Následující vztahy umožňují výpočet efektivního průměru frézy, který lze zvětšit vhodným nakloněním vřetene frézy:

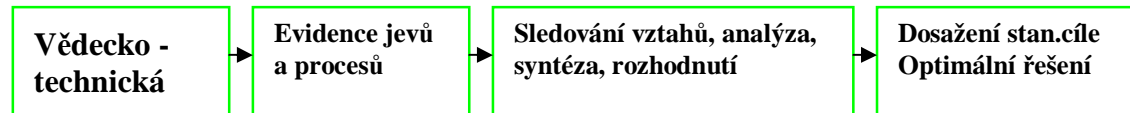
$$d_{eff} = d \cdot \sin \left[ b \pm \arccos \left( \frac{d - 2 a_p}{d} \right) \right] \text{ [mm]}, \quad (3.3.5)$$

a tím rovněž dosažení vyšší efektivní řezné rychlosti (6.2)

$$v_{c,eff} = \frac{p \cdot n \cdot d}{1000} \sin \left[ b \pm \arccos \left( \frac{d - 2 a_p}{d} \right) \right] \text{ [m.min}^{-1}\text{]}. \quad (3.3.6)$$

#### q Aplikace lineárního programování v technologii

Při **řízení a rozhodování** v oblasti vědecko-technologické činnosti je nutné **sledovat určité procesy a jevy a analyzovat je s cílem dosažení optimálního průběhu** jednotlivých procesů a dějů a **určit jejich posloupnost** tak, aby bylo dosaženo stanoveného cíle<sup>31</sup>.



Obr. 3.3.9 Obecné schéma řešené úlohy

.Lineární **vědecko-technická analýza** může být prováděna **na základě solidního logického rozboru** nebo rozhodnutí učiněného zkusmo, náhodně, intuitivně či na základě **prakticismu**, anebo **aplikací matematických metod**. Velmi často se takováto rozhodnutí provedou na základě zkušeností, intuitivně nebo i zkusmo. Pokud vychází ze **solidní logické analýzy**, mohou vést k **vyhovujícím výsledkům**, které **nelze kritizovat**, protože **není známá optimální hodnota výsledku** a tedy ani úroveň kvality takového rozhodnutí. Právě **v oblasti technologie obrábění**, při volbě řezných podmínek, **se s tímto setkáváme často**.

Jednou z možností jak **dosáhnout přesných informací** o kvalitě a úrovni řešení, je **aplikace matematických metod** na řešení daného problému a to zejména lineárního programování (LP). Jedná se o takový typ úloh, kde jsou **počáteční podmínky dány určitým intervalem** a **mají tedy jistý stupeň volnosti**. Extrémním případem je pak úloha, která nemá omezení, nebo naopak taková úloha, kde jsou počáteční podmínky dány tak, že vedou pouze k jednomu řešení. **Obvykle existuje více možností** k řešení dané úlohy a **cílem řešení je najít** takové, které **nejracionálněji využívají všech možností** tak, aby **výsledek byl optimalizován z hlediska požadovaných kritérií** programování je jednou z nejjednodušších matematických disciplín, kterou **lze realizovat v ekonomickém rozhodování**.

S přihlédnutím k tomu, že značné množství **vědecko-technických problémů lze popsat pomocí lineárních modelů** nebo je na tyto vhodnou úpravou převést, používá se tato metoda často,

ale i úspěšně. Nespornou výhodou je možnost použití více způsobů řešení, která jsou relativně jednoduchá a dají se snadno mechanizovat.

V lineárním programování se neřeší takové úlohy, které jsou specifikovány soustavou rovnic s jedním řešením. V tomto případě nelze posuzovat výhodnost jednotlivých hledaných proměnných z hlediska kritériální a není možné tedy hledat různé programy. Má-li soustava skutečně prezentovat problém lineárního programování, počet proměnných musí být vyšší než je počet omezujících podmínek.

Soustava  $m$  rovnic o  $n$  neznámých, kde  $m < n$  může mít nekonečně mnoho řešení za předpokladu, že řešení existuje. Z praktického hlediska by pravděpodobně nebylo možné zjišťovat pro všechna řešení hodnotu kritériální funkce a ze všech možných kombinací zvolit takové, pro které kritériální funkce nabývá optimální hodnoty, tj. její hodnota je maximální nebo naopak minimální. Kteroukoliv maximalizační úlohu lze převést prostou změnou znamének v kritériální funkci na minimalizační a naopak. Tento významný typ převodu má značný interpretační význam a to zejména v tom, že umožňuje najít nejvhodnější řešení a současně ocenit i disponibilní zdroje daného ekonomického systému.

Řešení, kde nejvýše  $m$  proměnných je různých od nuly a zbývající jsou rovny nule, nazýváme základním řešením. Počet základních řešení je dán výrazem:

$$\left[ \frac{n}{m} \right] = \frac{n!}{m!(n-m)!} \quad (3.3.7)$$

Je-li dáno  $m$  rovnic větší počet  $n$  neznámých, nabízí se dle vzorce (3.3.7) velmi mnoho řešení. Výběr nejvhodnějšího řešení je nesmírně pracný až nemožný. Proto je nutné zaměřit se na takové metody, které nám dovolí získat jednoduchým způsobem optimální řešení. Jedna z nejvhodnějších je metoda simplex. Uvedená metoda řeší klasickou LP (pokud má úloha řešení), tedy nalezení extrému vícerozměrné reální funkce na uzavřeném konvexním polyedru, který je definován v daném prostoru soustavou lineárních nerovnic. Podstatou metody je postup, kdy v první etapě nalezneme nějaké základní přípustné řešení úlohy. Je vhodné převést soustavu rovnic na kanonický tvar, odkud lze bezprostředně určit základní přípustné řešení soustavy.

Pod pojmem „kanonický tvar“ je chápána následující soustava  $m$  rovnic o  $n$  neznámých:

$$\begin{aligned} a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + \dots + a_{1(n-m)} \cdot x_{(n-m)} + x_{(n-m+1)} &= b_1 \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + \dots + a_{2(n-m)} \cdot x_{(n-m)} + x_{(n-m+2)} &= b_2 \\ \cdot & \\ \cdot & \\ a_{m1} \cdot x_1 + a_{m2} \cdot x_2 + \dots + a_{m(n-m)} \cdot x_{(n-m)} + x_{(n)} &= b_m \end{aligned} \quad (3.3.8)$$

kde  $x_{(n-m+1)} \div x_n \dots$  jsou základní proměnné, u kterých jsou koeficienty rovny jedné a v uvedené soustavě vytvářejí jednotkovou submatici. Proměnné  $x_1 \div x_{(n-m+1)}$  se nazývají nezákladní proměnné. Základní řešení soustavy obdržíme, dosadíme-li za nezákladní proměnné soustavy nuly a v tomto případě platí, že základní proměnné se rovnají absolutním členům soustavy  $x_{(n-m+1)} = b_1, x_{(n-m+2)} = b_2, \dots, x_n = b_m$ .

Jestliže platí, že  $b_1 \div b_m \neq 0$ , nazýváme toto řešení *nedegenerovaným*, v případě, že alespoň jeden z absolutních členů soustavy se rovná nule, pak i příslušná základní proměnná se rovná nule a toto řešení se nazývá *degenerované*.

Ve *druhé etapě* přecházíme pomocí dovolených úprav od jednoho základního přípustného řešení k jinému základnímu přípustnému řešení s lepší hodnotou kriteriální funkce tak dlouho, až dojdeme k optimálnímu řešení nebo zjistíme, že optimální řešení neexistuje.

Problémy LP, vedoucí k matematickému modelu typu  $A \cdot x < b$  jsou nejjednoduššího případu, které lze simplexovou metodou řešit, protože zavedením přídavných proměnných získáme okamžitě soustavu rovnic v kanonickém tvaru. Řešení optimálních rezných podmínek ve stanovené oblasti přípustných řešení na základě určených omezení je však v našem případě složitější a vyžaduje matematický model typu  $A \cdot x \leq b$  resp.  $A \cdot x \geq b$ .

Složitost modelu typu  $A \cdot x \leq b$  spočívá v tom, že kanonický tvar soustavy rovnic má v matici soustavy jednotkovou submatici a jestliže v převodní soustavě rovnic takovou submatici nemáme, můžeme ji uměle vytvořit tak, že v určitých rovnicích přičteme nové pomocné proměnné. Protože tato uměle vytvořená proměnná nemá žádný věcný význam, je nezbytné, aby se v konečném optimálním řešení nevyskytovala jako proměnná základní a aby se v průběhu řešení vyloučila a stala se proměnnou nezákladní, za niž dosazujeme nulu. Nepodaří-li se ji vyloučit, je nové řešení nepřípustné.

Vyloučení spočívá v zavedení sekundární kriteriální funkce  $z'$ , která poslouží k minimalizování součtu pomocných proměnných. Nebude-li možné problém LP z hlediska sekundární účelové funkce optimalizovat, celkové řešení problému neexistuje. Bude-li však tato podmínka splněna, můžeme pokračovat ve zlepšování řešení podle původní kriteriální funkce.

U úlohy typu  $A \cdot x \geq b$  je zpravidla nutné zavedení obou druhů proměnných, tj. přídavných i pomocných, pokud se nechceme pomocným proměnným vyhnout (aplikace eliminační metody, anulace rovnice a vhodná úprava matice). Naše praktická úloha představuje matematický model, který neobsahuje pouze nerovnosti stejného typu ( $\leq$  nebo  $\geq$ ). Řešení lze provést tak, že se systém nerovností převede na soustavu rovnic zavedením přídavných proměnných a zavedou se pomocné proměnné u těch rovnic, kde přídavná proměnná má záporné znaménko. Koeficienty sekundární kriteriální funkce obdržíme sečtením stejnohlých koeficientů u rovnic se záporným znaménkem přídavných proměnných.

Další postup je stejný jako u  $A \cdot x \leq b$  tj. minimalizuje se sekundární kriteriální funkce  $z'$  a v případě kladného výsledku lze pokračovat v řešení dle původní kriteriální funkce. Přídavné proměnné se do kriteriální funkce nepřidávají, mají tam nulové koeficienty. Naznačený postup řešení je časově velmi náročný. V praxi po sestavení omezujících podmínek a kriteriální funkce se řešení provádí pomocí vhodných SW na počítači (např. STATGRAPHICS)<sup>31</sup>.

**Má-li** však konkrétní optimalizační **úloha**, ze současného neustále a rychle se měnícího výrobního prostředí, **respektovat všechny** podmínky, **požadavky**, možnosti, ale i zvyklosti provozovatele těchto zařízení, **musí se** tomuto **prostředí maximálně přizpůsobit**, avšak jen do té míry, při které **nepřekročí mez**, která by výsledek řešení „zkreslila“ natolik, že by jej přesunula **mimo reálné** (akceptovatelné) **intervaly** základních rezných podmínek, a to nejen z hlediska technických omezení, ale i konstrukčních požadavků (přesnost, kvalita, jakost) a neoddělitelného vztahu řezivost – obrobiteľnosť.

Náš případ však na základě podrobného zmapování specifik sledovaného výrobního prostředí (organizační zvyklosti, technická omezení, personální obsazení a **momentální požadavky trhu**) a hlubších teoretických znalostí (experimentální stanovení potřebných konstant a exponentů pro Taylorův vztah) **posunul** stávající **úlohu** do takové situace, kdy **soustava omezení má stejný**

počet proměnných jako omezujících podmínek a tudíž skutečně nereprezentuje problém lineárního programování. Řešení pak „v takto připraveném zadání“ lze jednoduše, přesněji a přehledněji řešit následujícím způsobem.

#### □ Stanovení oblasti přípustných řešení na základě určených omezení

Pro případ frézování kovací zápustky, vyrobené ze zápustkové nástrojové oceli 19 663.3, zpracované dle ČSN 41 9663 a obráběné zápustkovou frézou s kulatým čelem (Sphericut U5286) s vysokým úhlem sklonu šroubovice  $\omega = 30^0$  a úhlem čela  $\gamma_o = 0^0$ ,  $\alpha_o = 2^0$  v určeném technologickém prostředí se uvažují jako proměnné pouze dva parametry řezných podmínek  $v_c$ ,  $f$ , zatímco tloušťka třísky  $a_p$  je považována za konstantní.

Pak lze vyjádřit vliv omezujících podmínek aplikací vybraných vztahů, tedy soustavou omezení. Experimentálně stanovené hodnoty, laboratorním měřením a dlouhodobým sledování ve výrobní praxi jsou:  $c_c = 2\,865$ ;  $x_{Fc} = 1,019$ ;  $y_{Fc} = 0,56$ ;  $z_{Fc} = -0,124$ ;  $m = 1,4$ ;  $R_{m,o} = 0,66 R_m$ ;  $R_m = 1\,050$  MPa;  $x_v = 0,19$ ;  $y_v = 0,11$ ;  $c_v = 1\,050$ ;  $a_p = 0,14$  mm;  $a_e = 0,11$  mm; průměr dvoubřité frézy  $d = 6$  mm. Bez chladicí a mazací kapaliny.

#### 1. Omezení výkonem obráběcího stroje (matematické zpracování viz<sup>20</sup>):

**Varianta WHN 13 CNC: Výkon hlavního motoru  $P = 37$  kW**

$$v_c^{1+z_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \leq \frac{6 \cdot 10^4 \cdot P_c \cdot h}{c_c \cdot a_p^{x_{Fc}}} \quad (3.3.9)$$

Zavedením substitucí položíme  $\log v_c = x_1$ ,  $\log (10^2 f) = x_2$ ,  $\log T_n = 1$ . Následným dosazením a zlogaritmováním upravíme vztah

$$0,876 x_1 + 0,56 x_2 \leq b_1, \quad (3.3.10)$$

$$\text{pak } b_{1W} = \log \frac{6 \cdot 10^4 \cdot 37 \cdot 0,78}{2\,865 \cdot 0,14^{1,019}} + 0,56 \cdot 2 = 4,61 \quad \begin{array}{l} \text{pro } x_1 = 0; \quad x_2 = 8,24 \\ \text{pro } x_2 = 0; \quad x_1 = 5,26 \end{array}$$

**Varianta HEXAPOD: Maximální výkon vřeteníku  $P = 7,5$  kW**

$$b_{1H} = \log \frac{6 \cdot 10^4 \cdot 7,5 \cdot 0,78}{2\,865 \cdot 0,14^{1,019}} + 0,56 \cdot 2 = 3,92 \quad \begin{array}{l} \text{pro } x_1 = 0; \quad x_2 = 7 \\ \text{pro } x_2 = 0; \quad x_1 = 4,47 \end{array}$$

## 2.5. Omezení konstrukčními parametry obráběcího stroje:

$$\left. \begin{array}{l} f \geq f_{\min} \\ f \leq f_{\max} \\ v_c \geq v_{c \min} \\ v_c \leq v_{c \max} \end{array} \right\}, \quad (3.3.11)$$

kde -  $f_{\min,o}$  - minimální pracovní posuv frézy, resp. posuvová rychlost  $v_f$  v [mm.ot<sup>-1</sup>]

$f_{\max,o}$  - maximální pracovní posuv frézy, resp. posuvová rychlost  $v_f$  v [mm.ot<sup>-1</sup>]

$v_{c,min}$  - minimální řezná rychlost frézy, pro daný efektivní průměr  $d_{eff}$  [m.min<sup>-1</sup>]

$v_{c,max}$  - maximální řezná rychlost frézy, pro daný efektivní průměr  $d_{eff}$  [m.min<sup>-1</sup>]

### Varianta WHN 13 CNC:

Jestliže se minimální pracovní posuvy (rychlosti posuvu  $v_f$ ) ve směrech X, Y, Z rovnají  $f_{\min,p} = 40$  mm.min<sup>-1</sup>, minimální posuv na otáčku dostaneme při nastavených maximálních otáčkách WHN centra, tedy  $n_{\max} = 2\,500$  min<sup>-1</sup>.

### 6. Minimální a maximální posuv na otáčku pak bude

$$f_{\min,o} = \frac{f_{\min,p}}{n_{\max}} = \frac{40}{2\,500} = 0,016 \text{ mm.} \quad (3.3.12)$$

Maximální posuv na otáčku pak bude:

$$f_{\max,o} = \frac{f_{\max,p}}{n_{\min}} = \frac{6\,000}{260} = 6,384 \text{ mm.} \quad (3.3.13)$$

Logaritmováním stonásobně zvětšených mezních hodnot posuvů na otáčku frézy pak dostaneme hodnoty pravých stran nerovností  $b_{2,w}$ ,  $b_{3,w}$ :

$$x_2 \geq b_{2w} \quad \text{kde} \quad b_{2w} = \log 10^2 f_{\min,o}, \quad b_{2w} = \log 10^2 \cdot 0,016 = 0,204$$

$$x_2 \leq b_{3w} \quad \text{kde} \quad b_{3w} = \log 10^2 f_{\max,o}, \quad b_{3w} = \log 10^2 \cdot 6,384 = 2,804$$

### Varianta HEXAPOD

Minimální posuv na otáčku pak bude:

$$f_{\min,o} = \frac{f_{\min,p}}{n_{\max}} = \frac{400}{30\,000} = 0,0133 \text{ mm.}$$

Maximální posuv na otáčku pak bude:

$$f_{\max,o} = \frac{f_{\max,p}}{n_{\min}} = \frac{40\,000}{300} = 133,33 \text{ mm.}$$



Obdobně jako u WHN 13 CNC:

$$\begin{aligned} x_2 \geq b_{2H} \text{ kde } b_{2H} &= \log 10^2 f_{\min,0}, & b_{2,H} &= \log 10^2 \cdot 0,0133 = 0,125, \\ x_2 \leq b_{3H} \text{ kde } b_{3H} &= \log 10^2 f_{\max,0}, & b_{3,H} &= \log 10^2 \cdot 133,333 = 4,12. \end{aligned}$$

Určení mezních hodnot řezných rychlostí obou variant:

Varianta WHN 13 CNC:

Minimální řezná rychlost frézy  $v_{c,min}$ , pro daný efektivní průměr  $d_{eff}$  v [m.min<sup>-1</sup>]

$$x_1 \geq b_{4W} \quad \text{kde} \quad b_{4,W} = \log \frac{p \cdot d_{eff} \cdot n_{\min}}{1000} = \log \frac{p \cdot 2,154 \cdot 260}{1000} = 0,245$$

Maximální řezná rychlost frézy  $v_{c,max}$ , pro daný efektivní průměr  $d_{eff}$  v [m.min<sup>-1</sup>]

$$x_2 \leq b_{5W} \quad \text{kde} \quad b_{5,W} = \log \frac{p \cdot d_{eff} \cdot n_{\max}}{1000} = \log \frac{p \cdot 2,154 \cdot 2500}{1000} = 1,23$$

**Varianta HEXAPOD**

Jelikož konstrukce šestiosého obráběcího centra umožňuje naklonění vřetena, jehož hodnota je v tomto případě  $\beta = 20^\circ$ , efektivní průměr a tedy i rychlost lze vypočítat dle vztahů (3.3.5) a (3.3.6):

$$d_{eff} = d \cdot \sin \left[ b \pm \arccos \left( \frac{d - 2 a_p}{d} \right) \right] = 6 \cdot \sin \left[ 20 \pm \arccos \left( \frac{6 - 2 \cdot 0,14}{6} \right) \right] = 3,9 \text{ mm}$$

Dosažením efektivního průměru vykloněním vřetena obdržíme hodnoty  $b_{4,H}$  a  $b_{5,H}$

$$x_1 \geq b_{4H} \text{ kde } b_{4,H} = \log \frac{p \cdot d_{eff} \cdot n_{\min}}{1000} = \log \frac{p \cdot 3,9 \cdot 300}{1000} = 0,565$$

$$x_2 \leq b_{5H} \text{ kde } b_{5,H} = \log \frac{p \cdot d_{eff} \cdot n_{\max}}{1000} = \log \frac{p \cdot 3,9 \cdot 30000}{1000} = 2,565$$

**7. Omezení z hlediska požadované drsnosti obrobené plochy (platí pro obě varianty):**

$$f \leq f_{Ra,max}, \quad (3.3.14)$$

$$\text{kde } f_{Ra,max} \text{ je rovno vztahu } f_{Ra,max} = 0,1366 r_e^{0,6869} \cdot R_a^{0,5131} \quad (3.3.15)$$

Po dosažení do rovnice určující požadovanou drsnost  $R_a = 3,2 \mu\text{m}$  bude:

$$b_6 = \log 10^2 \cdot 0,1366 \cdot 2,4^{0,6869} \cdot 3,2^{0,5131} = 1,7036$$

Toto omezení je vhodné kontrolovat, a případně i korigovat:

Posunutí frézy  $b_r$  s kulatým čelem lze vypočítat prostřednictvím vztahu:

$$b_r = 2 \sqrt{a_p \cdot (d - a_p)} = 2 \cdot \sqrt{0,14 \cdot (6 - 0,14)} = 1,81 \text{ mm.}$$

Z předcházející rovnice plyne, že maximálnímu možnému (myslí se tím pro daný průměr frézy) posunutí  $b_r = 6 \text{ mm}$  odpovídá hloubka řezu  $a_p = 3 \text{ mm}$ . Tomuto posunutí (kroku frézy) pak odpovídá dosažená teoretická drsnost  $R_{th} = 3 \text{ }\mu\text{m}$ .

Jelikož však dokončovací přírůstek je „předurčen“ technologickým postupem neboli tzv. „strategií frézování“ na hodnotou  $a_p = 0,14 \text{ mm}$ , bude se teoretická drsnost rovnat následujícímu vztahu (3.11):

$$R_{th} = \frac{d}{2} - \sqrt{\frac{d^2 - b_r^2}{4}} = \frac{6}{2} - \sqrt{\frac{6^2 - 1,81^2}{4}} = 0,139 \text{ }\mu\text{m.}$$

Jelikož je teoretická drsnost v tomto směru mnohonásobně menší než požadovaná, což je značně ovlivněno zvolenou hloubkou řezu  $a_p$ , požadavku konstrukce vyhovuje, i když praxe dokazuje, že skutečná dosahovaná drsnost je vždy větší, a to přibližně o 20% teoretické hodnoty  $R_{th}$ .

#### 8. Omezení řezivosti nástroje a obrobitelností materiálu obrobku komplexním Taylorovým vztahem

$$v_c \cdot f^{y_v} = \frac{c_v}{a_p^{x_v}} \cdot T^{-\frac{1}{m}} \quad (3.3.16)$$

Po zlogaritmování

$$x_1 + y_v \cdot x_2 = b_7 - \frac{1}{m} l, \quad (3.3.17)$$

kde 
$$b_7 = \log \frac{c_v}{a_p^{x_v}} + 2 y_v. \quad (3.3.18)$$

Po dosazení do vztahu (6.12) obdržíme

$$b_7 = \log \frac{1050}{0,14^{0,19}} + 2 \cdot 0,11 = 3,4$$

Pro „teoretickou“ trvanlivost břitu  $T = 1 \text{ minuta}$  je  $\lambda = 0$ , (dle substituce  $\lambda = \log T$ ). Tímto se vztah zjednoduší na

$$x_1 + y_v \cdot x_2 = b_7. \quad (3.3.19)$$

### q Vázanost řezných podmínek na posuv na zub

U vícebřitých rotačních nástrojů je posuv na zub  $f_z$  dán vztahem

$$f_z = \frac{v_f}{z \cdot n} \quad [\text{mm}] \quad (3.3.20)$$

Posuv na otáčku  $f$  je určen následujícím vztahem

$$f = f_z \cdot z \quad [\text{mm}] \quad (3.3.21)$$

Prostřednictvím jednoduchého matematického vztahu (3.3.5), ukázkového příkladu a technických parametrů obráběcího centra WHN 16 CNC lze prověřit použitelnost nabízené maximální posuvové rychlosti:

$$f_z = \frac{12\,000}{2 \cdot 8\,000} = 0,75 \text{ mm.}$$

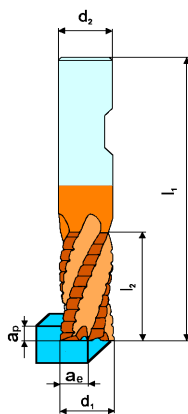
Možný **posuv na zub** však **nelze akceptovat** především **z pevnostního důvodu** a dosahované drsnosti. U klasického rovinného frézování se hodnoty posuvu na zub běžně pohybují v intervalu  $f_z = 0,04 - 0,15$  mm. Literatura<sup>1</sup> specializující se na 2D-3D frézování HSC doporučuje i dokazuje vhodnost situovat interval do hodnot  $f_z = 0,05 - 0,25$  mm, a pro HVC  $f_z = 0,1 - 0,4$  mm.

V uváděném případě lze na zvoleném obráběcím centru použít čtyřzubou zápusťkovou frézu s kulatým čelem 5384 FRAISA br MICRO GRAIN a navíc snížit otáčky na čtvrtinu maximálních.

$$f_z = \frac{3\,000}{4 \cdot 8\,000} = 0,094 \text{ mm}$$

Takto stanovené řezné podmínky se již přibližují hodnotám posuvu na zub (s klesajícím průměrem frézy se již hodnota posuvu na zub  $f_z$  přibližuje ke spodní hranici intervalu, a naopak), které jsou doporučovány výrobcem těchto nástrojů. Nesplňují však požadavky kladené na vysokorychlostní ani vysoko-objemové frézování.

### q Řezné podmínky a objemový úběr



Vědecko – výzkumné experimenty prováděné na Technické univerzitě v Darmstadtu na základě mnohých měření prokázaly, že **nejpříznivější průřez odřezávané třísky**, a to hned z několika hledisek, **je průřez čtvercový** ( $a_p = a_e$ ). Tento průřez odebírané třísky, kdy je hloubka řezu  $a_p$  rovna šířce řezu  $a_e$ , je velmi příznivý a již také používaný u HVC technologie, pokud to však technická, ale i jiná omezení umožní.

Ideální se však ukazuje „sladit“ „základní řezné podmínky“ tak, aby byl odebíraný objem kubického tvaru, tedy  $a_p = a_e = f_z$ . U většiny případů je však tento nesmírně náročný předpoklad nerealizovatelný, což však neznamená, že by se alespoň o jeho přiblížení nemělo usilovat. Úběr materiálu za jednotku času  $Q$  lze popsat matematickým vztahem

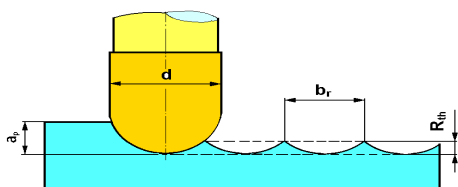
Obr. 3.3.10 Efektivní průměr stopkové frézy při obrábění

$$Q = \frac{a_e \cdot a_p \cdot v_f}{1000} \quad [\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}]. \quad (3.3.22)$$

Řeznými podmínkami stanovený **čtvercový průřez**, nebo ve zvlášť příznivých případech dokonce odebíraný **kubický objem** (při frézování), **snižuje na nejnížší možnou mez** (jsou-li dosaženy řezné podmínky, splňující kritéria HSC) požadovaný **efektivní výkon** ( $P_e$  [kW]) vřetene stroje s ohledem na odebrané množství materiálu obrodku za čas.

#### q Závislost řezných podmínek na dosahované drsnosti

Žádáme-li po progresivním obrábění, aby operace frézování byla finální, jeden z ostrých požadavků bude dosahovaná drsnost obrobené plochy. U 2D – 3D frézování to znamená, že závěrečné operace, jako „šlichtování“ Z- konstant, **šlichtování** - kopírování, 3D- křivky- paralelní kouty a zbytkový materiál kontura, obráběné převážně **stopkovými frézami s kulatým čelem** budou muset splňovat konstrukcí předepsanou drsnost povrchu. Hloubka třísky  $a_p$  je zpravidla dána přídavkem na obrábění.



Vznikající teoretická drsnost  $R_{th}$  je pak určena průměrem frézy s kulatým čelem  $d$  a také krokem zápusťkové frézy  $b_r$ . Je zřejmé, že s větším průměrem frézy a rostoucím krokem se zkracuje celková trajektorie nástroje, a tím i strojní čas.

Obr. 3.3.11 Schématický rozbor vzniku teoretické drsnosti

Otázkou však je, do jaké míry se rostoucí průměr frézy a krok frézy projeví na teoretické drsnosti a na drsnosti výsledné. Prostřednictvím následujících matematických vztahů lze tuto závislost vypočítat. Teoretická drsnost je tedy rovna:

$$R_{th} = \frac{d}{2} - \sqrt{\frac{d^2 - b_r^2}{4}} \quad [\mu \text{ m}]. \quad (3.3.23)$$

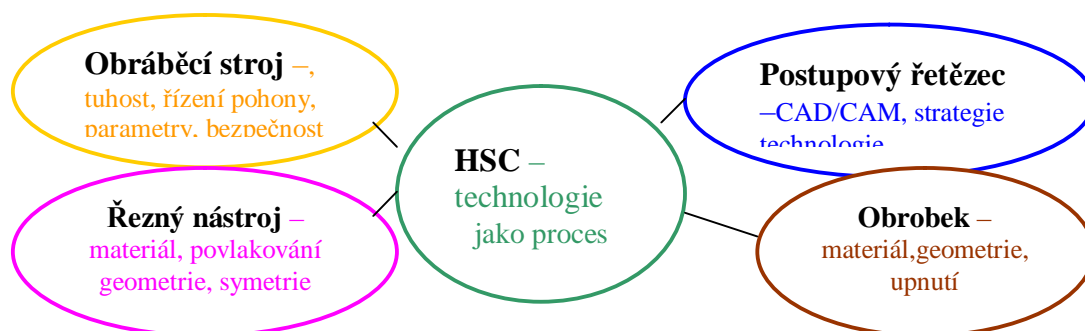
Krok frézy s kulatým čelem lze popsat matematickým vztahem

$$b_r = 2 \sqrt{a_p \cdot (d - a_p)} \quad [\text{mm}]. \quad (3.3.24)$$

Na dosaženou drsnost obrobeného povrchu bude mít v kolmém směru také vliv posuv na zub  $f_z$ , vzájemný poměr hloubky řezu  $a_p$  a šířky řezu  $a_e$ , stav břitů frézy v průběhu doby záběru, vlastní kmitání soustavy, vyložení, tuhost a „vyváženost“ řezného nástroje, ale i otáčky  $n$  a stav vřetene a momentální úroveň seřízení stroje.

#### q Požadavky na související činnosti

V souvislosti se značným odlišením HSC obrábění od konvenčního, jsou kladeny velmi „ostré“ požadavky na související činnosti.



Obr. 3.3.12 Faktory ovlivňující související činnosti na HSC – proces

Jen úplné zajištění a dodržení všech faktorů, a s nimi souvisejících činností, nás může přivést k zásadním, očekávaným výhodám, které s sebou HSC nesporně přináší.

#### □ Požadavky na stroje pro HSC

**Stroj:** Vysoké řezné rychlosti vyžadují vysoké otáčky vřetena, a tím rovněž vysoké posuvové rychlosti, které přímo souvisejí s posuvem na zub. Tuhé vřeteno musí zajišťovat nejen vysoké otáčky, ale mít k dispozici, velký, plynule říditelný rozsah při dostatečném kroutícím momentu. Toto si vyžaduje speciální ložiska trvale snášející nejvyšší oběžné rychlosti (např. elektromagnetická nebo keramická).

Přesné upnutí nástroje s minimální tolerancí obvodového házení. Zkušenosti vedou k tomu, že se ukazuje jako zvlášť vhodné upínat stopkové frézy do dvou druhů sklíčidel, a to do smršťovacího sklíčidla nebo do sklíčidla s hydraulickým upínáním. Oba způsoby zajišťují absolutní vyváženost s minimálními odchylkami obvodového házení.

Pohony pro osy musí zajišťovat kromě vysokých posuvových rychlostí rovněž extrémní hodnoty zrychlení a zpoždění, se zajištěním přesné naprogramované trajektorie. To vyžaduje konstrukčně i materiálově zajištěnou minimalizaci pohybujících se hmot s vynikající schopností tlumení kmitů. Velmi vysoké oběžné rychlosti se dají realizovat pouze dostatečně rychlými řídicími jednotkami s nejkratšími dobami zpracování záznamu.

Pro zvláště komplikované geometrie forem, jsou zapotřebí programy náročné na soubory dat, vyžadující značnou kapacitu paměti. Bezpečnosti musí být u HSC - strojů přiřazena zvláštní pozornost. „Absolutní kapotáž“ obráběcího centra musí při možných kolizích úplně pohltit „vystřelené“ částice.

V důsledku enormních obvodových rychlostí působí na rotující části značné odstředivé síly. Při případném roztržení rotujícího nástroje (z příčiny kolize, či vnitřní vady), získávají jednotlivé úlomky obrovskou kinetickou energii. Nesmí být rovněž podceňena otázka zdroje vzniku hluku (pohony, vřeteno, chlazení, tvorba a odchod třísky) a jeho tlumení, jakož i tvorbě prachu a mlhy.

#### □ Požadavky na nástroje pro HSC

Při obrábění forem a zápustek, jejichž předpokládaná a nekompromisně vyžadována funkčnost přímo vyžaduje velmi pevný, tvrdý a současně houževnatý materiál ( $R_m = 1600 - 1800 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ , HRC 48-52), dochází k tomu, že **s rostoucí řeznou rychlostí přetvárný odpor roste**. Proto musí být mechanické zatížení **britů sníženo redukcí přísuvu a posuvu na zub**. K tomuto přistupuje skutečnost, že je břit nástroje s **přibývajícím** radiálním přísuvem  $a_e$  déle v záběru, a tím je **tepelně** značně **namáhán**.

Proto by **radiální přísuv** (šířka řezu) **neměl** u vysokorychlostního frézování nástrojové oceli **překračovat**, v zájmu hospodárné trvanlivosti **5 až 10 % průměru nástroje**. Obecně při HSS nástrojové oceli platí následující zásada: Čím **vyšší** je volena **řezná rychlost**, tím **nižší** má být **přísuv**. Celkově lze tedy konstatovat, že změna tvorby třísky a jejího odchodu jsou klíčovými body vysokorychlostního frézování.

Nesmí se ovšem opomenout na **důležitou závislost** vztahu, **řezný materiál - obráběný materiál**, tedy závislostí mezi řezivostí a obrobiteľností. Stav tepelného **zpracování zde neztrácí na významnosti** a kvalita výbrusu a případná povrchová úprava nástroje taktéž. Je vhodné zdůraznit, že **mezi oblastí konvenčních řezných rychlostí a oblastí vysokorychlostní** se nachází pro mnohé obráběcí operace **zóna řezných rychlostí, v níž není hospodárné obrábění možné**, poněvadž **efekt změněné tvorby třísky se ještě neuplatní**.

Vzhledem k rotačnímu pohybu nástroje, obrábějícímu při **velmi vysokých otáčkách, rozpínané odstředivou silou, tepelně zatíženého a pevnostně mimořádně namáhaného**, se vyžaduje kromě vysokých fyzikálních a mechanických vlastností také **geometrická přesnost a homogennost struktury** ve vztahu k možnému nerovnoměrnému rozložení hmoty a následnému rozkmitání.

**K prodloužení** potřebné **trvanlivosti bříty** při obrábění zvláště obtížně obrobiteľných materiálů je vhodné **odlehčit zatížení řezné hrany** vhodným povlakem, naneseným metodou PVD (např. TiAlN zvláště odolný proti opotřebování a TiCN se vyznačuje vysokou termickou stabilitou).

**Optimální řezná geometrie** (nástrojová i pracovní geometrie) je **speciální záležitostí** systematického a **dlouhodobého vývoje, ověřovaného** po celá desetiletí ve výzkumných **experimentálních centrech** i v mnohých provozech. Dá se s téměř 100% jistotou konstatovat, že je optimální a speciálně **v HSC její „funkční úhly sledují předpokládaný směr odchodu třísky“**.



### Kontrolní otázka

1. V čem spočívá podstata výkonostního obrábění?
2. O jaké operace třískového obrábění v souvislosti s vysokými objemovými úběry třísky za čas se zejména jedná?
3. O jaké tvary a rozměry obráběných součástí se převážně jedná?
4. Jaký důležitý činitel způsobuje úbytek řezných složek, a tím celkové síly obrábění?
5. Co paradoxně způsobuje nárůst teploty v místě řezu a čím je vyvolaný?
6. Jaké aspekty způsobují podstatné zkrácení výrobního času?
7. Co skrývá výraz obrábění „načisto“?
8. Kterou, časově i profesně náročnou, dokončovací operaci správná aplikace vysokorychlostního řezání zpravidla vyloučí?
9. V kterém průmyslu se „HSC– technologie“ nejefektivněji uplatňuje?
10. Z jaké příčiny se v současnosti „HSC– technologie“ zavádí do oblastí jemné mechaniky a přesného strojírenství.
11. Spolupráci koho vyžaduje rychlé a efektivní zavádění „HSC– technologie“?

12. Dá se úspěšně aplikovat „HSC– technologie“ při opracování lehkých kovů?
13. Pokud na otázku č.12 odpovídáte kladně, zdůvodněte proč?
14. Proč lze i hliníkové tenkostěnné obrobky s vysokými požadavky na jakost povrchu, HSC technologií úspěšně a hospodárně obrábět.
15. Při výrobě nástrojů a forem stojí v popředí možnost snížit rozteč řádků. Co se tím umožní?
16. Které výrobky jsou nejdůležitějším artiklem pro mnohá průmyslová odvětví?
17. Co znamená zkratka HVC .
18. V jakých jednotkách se uvádí výkony vysokoobjemového obrábění a jakých hodnot může tato progresivní metoda řádově dosahovat?
19. Co také zahrnuje, mimo vlastního vysokorychlostního obrábění bez použití chladicích a mazacích kapalin, „HSC – technologie“ ?
20. Jakou kinematiku obrábění prosazuje téměř výhradně rychlostní frézování a proč?
21. Při kterém způsobu frézování a proč není nutné vyvodit velkou upínací sílu?
22. K menšímu opotřebení nástroje dochází při sousledném a nebo nesousledném frézování? Zdůvodněte proč!
23. Při kterém způsobu frézování dojde ke vniknutí zubu frézy do obráběného materiálu, až když tloušťka obráběného materiálu před zubem přesáhne velikost poloměru ostří  $r_n = 35$  až  $45 \mu\text{m}$ ?
24. K čemu dochází při nesousledném frézování před okamžikem než břit zubu frézy vnikne do obráběného materiálu?
25. V čem spočívá princip vysokorychlostního obrábění?
26. Lze při správné aplikaci „vysokorychlostního obrábění“ prodloužit životnost nástroje? Pokud si myslíte, že lze, zdůvodněte to.
27. Podstatným nárůstem řezné rychlosti, která způsobuje snížení průřezu odcházející třísky, dochází k poklesu anebo nárůstu síly řezání?
28. Jak působí relativně vysoká rychlost odchodu třísky  $v_f$  vzhledem k čelní ploše nástroje, ve spojitosti s novou kvalitou (zvýšenou stabilitou) řezné hrany, na podíl tepla odcházejícího třískou?
29. V podmínkách vysokorychlostního obrábění dochází ke zvyšování nebo snižování tepelného a mechanického zatěžování nástroje?
30. K čemu vede snížení řezných sil za současné redukce tepelných toků do nástroje, rámu stroje i obrobku?
31. Jak se tzv. „suché obrábění“ promítne do výrobních nákladů?
32. Vysvětlíte pojem „kvazi-suché“ obrábění!
33. Co zajišťuje technologie „tvrdého obrábění“?
34. Co představuje technologie „tvrdého obrábění“?
35. Zvyšování řezné rychlosti mnohdy vede k výraznému snižování trvanlivosti řezného nástroje. Jaký vliv má na trvanlivost řezného nástroje zvyšování rychlosti posuvu  $v_f$ ?
36. Jaké nároky klade soustružení malých průměrů či frézování malými efektivními průměry fréz  $d_{eff}$  na konstrukční a technické parametry obráběcích strojů?

37. Jaké pohyby je energeticky vhodné při určování „strategie obrábění“ přidělovat větším, a tím také hmotnějším součástem?
38. Jaké frézy se zpravidla používají při dokončovacích operacích v tzv. prostorovém (3D až 5D) frézování?
39. Za jakých podmínek lze při obrábění na malých efektivních poměrech fréz dosahovat dostatečně vysoké řezné rychlosti?
40. Jaký je matematický vztah pro výpočet efektivní rychlosti při frézování?
41. Jaký je matematický vztah pro výpočet posuvové rychlosti pro frézování?
42. Co je před optimalizací řezných podmínek vhodné provést vzhledem k stávajícímu technologickému prostředí provést?
43. Proč je nutné stanovení optimálních řezných podmínek předem zodpovědně naplánovat?
44. S čím především úzce souvisí optimální řezné podmínky?
45. Lze od sebe oddělit určení optimální trvanlivosti a optimálních řezných podmínek?
46. S respektováním čeho musí být provedeno stanovení oblasti přípustných řešení?
47. Co je nutné uvažovat při aplikaci lineárního parametrického programování výpočtem optimálních řezných podmínek ?
48. Co vyjadřuje soustava lineárních nerovností?
49. Jaký proměnný parametr se uvažuje při aplikaci lineárního parametrického programování při výpočtu optimálních řezných podmínek?
50. Jaký je zásadní rozdíl mezi tříosým a pětiosým obráběcím centrem?
51. Jak rozumíte pojmu „variabilitu“ obrábění?
52. V čem spočívá zásadní omezení tříosého obráběcího centra oproti víceosému obráběcímu centru? Co toto omezení především způsobuje?
53. V jakých hodnotách (v jakém intervalu) se přibližně pohybuje úhel naklonění vřetena  $\beta$  obráběcího centra?
54. Co dále zabezpečuje možnost naklonění vřetena ve všech směrech?
55. Vysvětlete opodstatnění jednoho ze stěžejních požadavků vysokorychlostního frézování - „nepracovat středem“ frézy!
56. Uveďte vztah pro výpočet efektivního průměru frézy a pojmenujte jednotlivé parametry včetně jejich rozměrů!
57. Uveďte vztah pro výpočet efektivní řezné rychlosti frézování a pojmenujte jednotlivé parametry včetně jejich rozměrů!
58. K čemu směřuje neustálé zvyšování řezné rychlosti (zejména u klasického řezání)?
59. Jaký má vliv na trvanlivost řezné hrany (řezné destičky či řezného nástroje) zvyšování rychlosti posuvu?
60. Jaké nároky klade na konstrukční a technické parametry obráběcích strojů soustružení malých průměrů či frézování malými efektivními průměry fréz  $d_{eff}$ .
61. Jaké výhody poskytuje technologie tvrdého obrábění?
62. Jaká omezení mají zejména tříosá obráběcí centra proti víceosým obráběcím centrům?



63. Proč se obtížně dosahují dostatečně velké, natož pak velmi vysoké řezné rychlosti na 3D obráběcích centrech při dokončovacím obrábění malými průměry fréz?
64. Za jakých podmínek lze na 3D obráběcích centrech při dokončovacím obrábění malými průměry fréz dosáhnout alespoň dostatečně velkých (natož pak velmi vysokých) řezných rychlostí?
65. O kolik procent jsou redukovány efektivní průměry kulových fréz  $d_{eff}$  při dokončovacím obrábění?
66. Který parametr rozhodujícím způsobem redukuje efektivní průměry kulových fréz  $d_{eff}$ , a tím i jejich efektivní řeznou rychlost  $v_{c,eff}$ ?
67. Uveďte základní vztah pro výpočet efektivní řezné rychlosti  $v_{c,eff}$  a pojmenujte jeho jednotlivé parametry včetně jejich rozměrů!
68. Uveďte upravený vztah pro výpočet efektivní řezné rychlosti  $v_{c,eff}$  a pojmenujte jeho jednotlivé parametry včetně jejich rozměrů!
69. Jakých hodnot dnes dosahuje průměrná rychlost posuvu  $v_f$  při operacích frézování a soustružení ve vyspělých průmyslových zemích?
70. Uveďte matematický vztah pro výpočet rychlosti posuvu  $v_f$  při frézování a charakterizujte parametry, které jsou obsaženy v tomto vzorci.
71. Za jakých podmínek mohou být realizovány vysoké rychlosti posuvu  $v_f$ , které jsou nezbytné pro plné uplatnění efektů HSC obrábění?
72. Ve kterých případech a kdy je vhodné korigování alespoň některých podkladů pro optimalizaci řezných podmínek v závislosti na konkrétních výchozích parametrech obrábění?
73. Uveďte zásadní důvody proč je stanovení optimálních řezných podmínek velmi náročné.
74. Co je nezbytné provést (s přihlédnutím k odpovědi na otázku č.73) před optimalizací řezných podmínek?
75. S čím zejména úzce souvisí optimální řezné podmínky?
76. Lze obecně od sebe oddělit určení optimální trvanlivosti a optimálních řezných podmínek?
77. Co a proč je doporučováno použít při určování optimálních řezných podmínek?
78. Jaké zákonitosti musí být respektovány při stanovení oblasti přípustných řešení?
79. K čemu musí být přihlédnuto při stanovování oblasti přípustných řešení?
80. Jaký proměnný parametr uvažujeme při aplikaci lineárního parametrického programování na výpočet optimálních řezných podmínek?
81. Co vyjadřuje soustava lineárních nerovností, zvláště určená pro náš případ?
82. Popište a vysvětlete příklad oblastí přípustných řešení z hlediska technických omezení tříosého českého WHN 13 CNC, a šestiosého japonského HEXAPODU.
83. Popište a vysvětlete příklad oblastí přípustných řešení z hlediska konstrukčních omezení tříosého WHN 13 CNC, a šestiosého HEXAPODU.
84. Jaký je zásadní rozdíl mezi oběma uváděnými obráběcími centry?
85. V čem jsou srovnatelná obě uváděná obráběcí centra?
86. Čím je především dána oblast přípustných řešení?
87. S čím je především propojeno omezení posuvu na zub  $f_z$ ?

88. O čem informují míry závislosti  $m$  na obr. 3.3.6.
89. Je závislost řezné rychlosti na trvanlivosti břitu monotónní?
90. Při jakých řezných rychlostech dosahuje  $m$  vysokých hodnot?
91. Při jakých řezných rychlostech dosahuje  $m$  záporných hodnot?
92. Jaký vliv mají záporné hodnoty  $m$  na kvalitu obrobeného povrchu a ekonomiku obrábění?
93. Jaký řezný parametr nejvíce omezuje tříosá obráběcí centra a z jakého důvodu?
94. Jaká omezení způsobuje nemožnost naklonění kulové frézy?
95. Jaké zásadní přednosti má možnost naklonění vřetene v různých směrech?
96. Uveďte matematický vztah a pojmenujte všechny jeho parametry včetně jejich rozměrů (jednotek) pro výpočet efektivního průměru nakloněné frézy.
97. Co je nezbytné sledovat při řízení a rozhodování v oblasti vědecko-technologické činnosti?
98. Jaký cíl si klade analýza procesů a jevů?
99. Na jakém základě může být prováděna vědecko – technická analýza technologické činnosti?
100. Lze provést zásadní rozhodnutí provedou na základě zkušeností, intuitivně nebo i zkusmo? Pokud lze, s jakými výsledky?
101. Uveďte alespoň jednu z možností jak dosáhnout přesných informací o kvalitě a úrovni řešení?
102. Má-li soustava presentovat problém lineárního programování, jaký počet proměnných musí obsahovat?
103. Jaké řešení dle matematického vztahu (3.3.7) nazýváme základním řešením?
104. Co řeší metoda simplex a v čem spočívá její přednost?
105. Kdy nazýváme řešení nedegenerovaným?
106. Jak se nazývá řešení úlohy, jestliže alespoň jeden z absolutních členů soustavy se rovná nule?
107. Napište matematický vztah a určete všechny jeho parametry včetně jednotek pro omezení výkonem obráběcího stroje!
108. Napište matematické vztahy a určete všechny jeho parametry včetně jednotek pro omezení konstrukčními parametry obráběcího stroje!
109. Napište matematické vztahy pro omezení minimálního a maximálního posuvu na otáčku obráběcího stroje!
110. Napište matematický vztah pro omezení z hlediska požadované drsnosti obrobené plochy!
111. Napište matematický vztah pro omezení z hlediska řezivosti nástroje a obrobitelnosti materiálu obrobku, charakterizujte všechny jeho parametry a uveďte jméno jeho autora!
112. Z jakých důvodů zpravidla nelze akceptovat možný posuv na zub, který nám umožňují technické parametry obráběcího stroje?
113. V jakém intervalu se u klasického frézování zpravidla pohybují hodnoty posuvu na zub  $f_z$ .
114. V jakém intervalu se u vysokorychlostního HSC resp. výkonostního vysoko-objemového HVC frézování zpravidla pohybují hodnoty posuvu na zub  $f_z$ .
115. Jaký je nejpříznivější průřez odřezávané třísky a kterými řeznými podmínkami toho lze dosáhnout?

116. U jaké technologie obrábění se tento způsob nejčastěji používá?
117. Existuje, ve většině případech sice jen teoreticky, ještě příznivější úběr třísky než čtvercový? Pokud ano, uveďte jakými parametry toho lze dosáhnout?
118. Co snižuje na nejnižší možnou mez řeznými podmínkami stanovený čtvercový průřez, nebo ve zvlášť příznivých případech dokonce odebíraný kubický objem?
119. Uveďte matematický vztah a pojmenujte všechny jeho parametry včetně jejich rozměrů (jednotek) pro výpočet efektivního výkonu včetně obráběcího stroje!
120. Žádáme-li po progresivním obrábění, aby operace frézování byla finální, který z konstrukčních požadavků bude pro technologii náročný (ostrý)?
121. Jakými frézami se nejčastěji provádí tzv. šlichtování?
122. Čím je při dokončovacím frézování zpravidla dána hodnota tloušťky obráběné vrstvy?
123. Jakými parametry je určena teoretická drsnost  $R_{th}$  frézy s kulatým čelem?
124. Jak lze zkracovat celkovou trajektorii řezného nástroje, a tím i strojní čas?
125. Uveďte matematický vztah a pojmenujte všechny jeho parametry včetně jejich rozměrů pro výpočet teoretické drsnosti  $R_{th}$ .
126. Napište matematický vztah a pojmenujte všechny jeho parametry včetně jejich rozměrů pro výpočet kroku frézy s kulatým čelem  $b_r$ .
127. Které parametry spolupůsobící při řezném procesu budou mít také vliv na dosaženou drsnost obroběného povrchu?
128. Vyjmenujte požadavky na související činnosti při aplikaci HSC obrábění.
129. Jaké jsou základní technické a konstrukční požadavky na HSC obráběcí centrum?
130. Jakou procentuální hodnotu průměru nástroje frézy a proč, by neměl radiální přísuv (šířka řezu) při vysokorychlostním frézování nástrojové oceli, v zájmu hospodárné trvanlivosti překračovat?
131. Lze v podmínkách HSC opomenout závislost vztahu, řezný materiál - obráběný materiál, tedy závislost mezi řezivostí a obrobitelností?
132. Ztrácí v podmínkách HSC stav tepelného zpracování řezného materiálu a obráběného materiálu a případná povrchová úprava nástroje na své významnosti?
133. Jaká zóna se nachází pro mnohé obráběcí operace mezi oblastí konvenčních řezných rychlostí a oblastí vysokorychlostní?
134. Za jakých řezných podmínek se efekt změněné tvorby třísky ještě neuplatní?
135. Proč se vyžaduje mimo vysokých fyzikálních a mechanických vlastností také vysoká geometrická přesnost a homogenost struktury řezného rotačního nástroje?
136. Co je vhodné provést k prodloužení potřebné trvanlivosti břitu při obrábění zvlášť obtížně obrobitelných materiálů?
137. Jaké chemické složení povlaků a jaká metoda jeho nanesení se vyznačuje vysokou termickou stabilitou?
138. Jakou cestou lze dospět k optimální řezné geometrii nástroje?
139. Co především sleduje optimální řezná geometrie nástroje v podmínkách HSC?

140. Jak dlouho trval systematický a dlouhodobý vývoj včetně ověřování mnohých provozech a ve výzkumných experimentálních centrech, než dospěl k téměř optimální řezné geometrie nástroje?



### Úkol k řešení

1. Vypočtete efektivní průměr  $d_{eff}$  nenakloněné kulové frézy průměru 8 mm, při tloušťce obráběné vrstvy 0,18 mm a otáčkách vřetene  $n = 4\,000\text{ min}^{-1}$ .
2. Vypočtete efektivní průměr  $d_{eff}$  stejné kulové frézy, pracující za jinak stejných řezných podmínek (viz př. 1) ovšem nakloněné o úhel  $\beta = 25^\circ$ . Z důvodu procvičení látky pak vypočtete efektivní průměr kulové frézy  $d_{eff}$  jejíž průměr  $d = 4$  mm, při tloušťce obráběné vrstvy  $a_p = 0,15$  mm a otáčkách vřetene  $n = 6\,000\text{ min}^{-1}$ .
3. Vypočtete efektivní řeznou rychlost  $v_{eff}$  nenakloněné kulové frézy průměru  $d = 8$  mm, při tloušťce obráběné vrstvy  $a_p = 0,18$  mm a otáčkách vřetene  $n = 4\,000\text{ min}^{-1}$ .
4. Vypočtete efektivní řeznou rychlost  $v_{eff}$  stejné kulové frézy, pracující za jinak stejných řezných podmínek (viz př. 1) ovšem nakloněné o úhel  $\beta = 25^\circ$ . Z důvodu procvičení látky vypočtete efektivní průměr kulové frézy průměru  $d = 4$  mm, při tloušťce obráběné vrstvy  $a_p = 0,15$  mm a otáčkách vřetene  $n = 6\,000\text{ min}^{-1}$ .
5. Jaký bude efektivní průměr  $d_{eff}$  dvoubřité stopkové frézy s kulatým čelem o průměru  $d = 8$  mm, frézujeme-li tloušťkou obráběné vrstvy (hloubkou řezu)  $a_p = 0,25$  mm?
6. Jaká bude efektivní řezná rychlost  $v_{eff}$  plynoucí z předcházejícího výpočtu úkolu č.5?
7. Jaká bude efektivní řezná rychlost  $v_{eff}$  plynoucí z předcházejícího výpočtu úkolu č.6 při naklonění vřetene stroje  $\beta$  o  $15^\circ$ ,  $20^\circ$  a  $25^\circ$ ?
8. Vypočtete objemový úběr frézovacího centra při  $a_p = a_e = 5$  mm a  $v_f = 15\,000\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ .
9. Vypočtete objemový úběr frézovacího centra při hloubce řezu  $a_p = 1$  mm, šířce řezu  $a_e = 9$  mm a  $v_f = 15\,000\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ .
10. Vypočtete teoretickou drsnost a krok frézy pro vámi vhodně zadané řezné parametry, které jsou charakteristické pro hrubování a následně pak šlichtování.

### 3.4. Problematika posouzení externích zakázek



**Čas ke studiu:** 8 hodin (studijní doba se doporučuje rozložit na 4 x 2 hodiny)



**Cíl** Po prostudování tohoto odstavce se seznámíte:

- s limitujícími faktory, které jsou rozhodující při posuzování externích zakázek
- s průběhem poptávkového řízení

- s maticí odpovědnosti a spolupráce
- s příklady možného určení výrobních nákladů
- vlastnostmi obráběných materiálů HSC technologií
- s postupovými řetězci
- požadavky pro aplikaci vysokorychlostního obrábění.



## Výklad

Současný **globální trh nutí** i „dobře zavedeného“ **výrobce** vlastních finálních výrobků **k nepřetržitému inovačnímu procesu**, natož pak např. výrobce nástrojů a náradí, kteří jsou o svou **existenci**, tedy udržení stávajícího objemu výroby, nuceni **permanently bojovat**. Chtějí-li svou **produkci** a případný **zisk** prostřednictvím **externí objednávky rozšířit**, vyplývají pak pro ně, ale i pro potenciálního zákazníka určité **omezující faktory**, které **je nutno** před uzavřením smlouvy prověřit a **posoudit**.

### q Limitující faktory:

- ü Strojový park a jeho technologické parametry, umožňující realizaci zakázky v požadované přesnosti a jakosti.
- ü Výrobní kapacity, které dávají společnosti předpoklady realizovat zakázku v požadovaném množství a termínu, bez ohrožení výroby stálých zakázek.
- ü Ekonomické faktory, určující, bude-li případná realizace zakázky pro výrobce výhodná z hlediska zisku.
- ü

Je žádoucí si uvědomit, že **při hledání cest**, jak snížit výrobní náklady **jsme vždy limitováni** strojnými parky provozů. **Investice** do nového stroje či jeho vybavení, u kterého musí být zaručena jeho návratnost, **jsou** v současnosti **značné**. Všechny **faktory**, které hrají významnější roli při přijímání zakázky **je nutno** předem **posoudit**. Jde o **vytvoření** jednotného **postupu**, který v rámci daných možností **zaručí kompetentnost rozhodnutí** o přijetí nebo odmítnutí zakázky. Pro tento účel je zpracována obchodním úsekem organizační směrnice jakosti:

### Přezkoumání smlouvy

Tato směrnice určuje „**zásady činnosti** přezkoumání smlouvy **od kontaktu** se zákazníkem pro uzavření jednání o dodávce předmětu jeho zájmu **po** uzavření a **vyhodnocení** obchodního případu“.

### q Poptávkové řízení

Do realizace **obchodního případu** samostatně **vstupují tři úseky**, které **zauímají své stanovisko** v „**poptávkovém řízení**“.

1. **Obchodní úsek (OÚ)** – nesoucí celou odpovědnost za činnosti, které jsou popisovány v této organizační směrnici. Ve vlastním obchodním případě pak doplní poptávkový list (PL) o náklady na obaly, dopravu a ostatní obchodní náklady. Samostatnou složkou je pak přiměřený zisk.

2. **Výrobní úsek (VÚ)** – posoudí volné kapacity pro výrobu předmětu poptávky v požadovaném termínu a rozhodne o středisku pro výrobu poptávky. Ten, na základě kalkulace, stanoví předběžný čas výroby a předpokládaný termín výroby. Vyplněný PL pak předá technickému úseku.

3. **Technický úsek (TÚ)** – Posoudí technologické a materiálové požadavky poptávky, stanoví předpokládaný technologický postup a provede kalkulaci spotřeby výrobního času v normohodinách, resp. v „normominutách“. Současně stanoví materiálové náklady, případně další jiné náklady.

#### □ **Matice odpovědnosti a spolupráce**

Matice odpovědnosti a spolupráce jasným a přehledným způsobem určuje, kdo, ve které fázi a jakým způsobem nese zodpovědnost za správný průběh. Udává také, kde je nutná spolupráce mezi subjekty, a kdo má disponovat určitými informacemi.

Tabulka 3.4.1 Matice odpovědnosti a spolupráce

Matice odpovědnosti a spolupráce	Zákazník	OÚ	TÚ	VÚ	ÚJ
Poptávka zákazníka	Zodpovídá	S			
Evidence poptávky		Z			
Upřesnění poptávky – spec. požad. na jakost	(Z)	Z			
Vystavení poptávkového listu		Z, OÚ			
Posouzení poptávky	Informován	S	Z	Z	S
Stanovení nákladů		S	Z	S	S
Stanovení ceny	Informován	Z			
Vystavení nabídky	Informován	Z			
Vystavení obchodní smlouvy	(S)	Z			
Upřesnění a uzavření obchodní smlouvy	(Z)	Z			
Přenos smluvních podmínek		Z			
Rozprac. smluv. podmínek do dokumentace			Z	S	S
Realizace obchod. případu dle smluv. pod.			S	Z	S
Kontrola průběhu plnění smluv. podmínek		Z	S	S	S
Ukončení obchodního případu		Z		S	S
Informace o spokojenosti zákazníka	Spolupráce	Z			

ÚJ– úsek jakosti, TÚ – technický úsek

#### □ **Příklad možného určení výrobních nákladů**

Rozbor výrobních nákladů lze předvést na konkrétní zakázce. Jedná se o lisovací nástroje na výrobu plechového výlisku označeného: díl č. 1JO 804 796A. Výztuha je určená pro automobily koncernu VW. Dále **je zadána výroba i konstrukce kontrolního přípravku** pro tuto výztuhu. Součástí má být i **společná deska** pro nástroje 2,3 a 4, které „pracují na jeden zdvih“.

#### **Popis zakázky**

K prvnímu **kontaktu** mezi oběma subjekty dochází **prostřednictvím faxové poptávky** na výrobu lisovacích nástrojů. Jedná se o následující nástroje určené pro čtyři operace:

- |            |   |
|------------|---|
| 1. operace | Tah I. LOO 14 101                               |
| 2. operace | Tah II. – LOO 14 102                            |
| 3. operace | Střih rozvinutého tvaru                         |
| 4. operace | Kalibrace – LKN 1030 a společnou Upínací desku. |

Další požadavky:

- Ü Maximální spotřeba materiálu nesmí přesáhnout 0,48 kg.kus<sup>-1</sup>
- Ü Pro činné nástroje použit ocel DIN včetně povlakování nebo plynové pružiny
- Ü Předpokládaná produkce 540 000 ks.rok<sup>-1</sup>
- Ü Maximální tolerance výlisku 70% tolerance výkresové.

Lisování bude prováděno na lisu LKT 250. CAD data byly **zaslány** prostřednictvím **elektronické pošty**. V souladu s Organizační směrnicí jakosti dochází po posouzení úplnosti poptávky k vystavení Poptávkového listu. **Technický a výrobní úsek** prostřednictvím tohoto PL **zaujímají stanovisko** k možnosti realizace zakázky. Po proběhnutí této fáze se PL vrací vedoucímu obchodního úseku. V obou případech je deklarována realizovatelnost zakázky.

**Výrobní úsek** uvádí nejbližší možný **termín zhotovení** do jednoho měsíce po obdržení objednávky a dodání výkresu. Součástí této fáze **poptávkového řízení** je i **stanovení** předběžné **ceny** zakázky, která **vychází z nákladů na materiál**. Dále se stanoví předběžný **počet normohodin** pro **výrobu** i pro **konstrukci**. **Určení** předběžného počtu **normohodin vychází ze zkušeností technologa a na základě podobnosti** (porovnání) s již **realizovanými zakázkami**. **Přesné stanovení** potřebných **normohodin** proběhne až při realizaci na základě dodané dokumentace a **po uzavření obchodní smlouvy**.

Tabulka 3.4.2 Stanovení předběžné ceny externí zakázky

Číslo operace	Nástroj	Rozměr	Čas	Materiál	Konstrukční
		D <sub>x</sub> š <sub>x</sub> v [mm]	[Nhod]	[Kč]	hodiny
010	LRP	1250x900x580	1 180	380 000,-	250
020	LOO	550x450x360	420	51 000,-	120
030	LOO	500x420x360	470	48 000,-	120
040	LKN	500x400x360	530	56 000,-	90
Společná deska		1350x800x60	335	45 000,-	45
Společná deska		1350x800x60			40
Celková suma			2 935	580 000,-	665

**Předběžná kalkulace ceny:**

Konstrukce:	665 x 220	= 146 000,-	(sazba 220,- Kč za normohodinu)
Výroba:	2 936 x 350	= 1 027 250,-	(sazba 350,- Kč za normohodinu)
Materiál:		580 000,-	

**Celkové náklady:** 146 300 + 1 027 250 + 580 = 1 753 550,- Kč

Po zaokrouhlení vzhledem k určité rezervě je stanovena předběžná cena: **1 850 000,- Kč**

Faxovým sdělením je tato přibližná cena (bez DPH) sdělena zákazníkovi jako nabídka. V dalším průběhu dochází k upřesnění některých požadavků na technickou a kvalitativní stránku výrobku. Proto dochází ze strany Nářadovny k přehodnocení cenové nabídky, která se zvýší o **110 000,- Kč**. Celková cena nástrojů je stanovena na **1 960 000,- Kč + DPH**. Tato cenová nabídka je pak ze strany odběratele akceptována. Dochází tak k vystavení objednávky, která mimo jiné obsahuje platební podmínky:

- ü 30% po schválení konstrukce,
- ü 50 % po ukončení výroby nástrojů a předání měřicího protokolu,
- ü 20 % po převzetí nástrojů, včetně předávacího protokolu.

Na základě této objednávky je vyhotovena Smlouva o dílo. Právní vztahy z této smlouvy nebo související s ní se řídí Obchodním zákoníkem č. 513/1991 sb.

Automatizovaným **3D frézováním** lze obrábět nejnáročnější a **nejobtížnější geometrické tvary** obrobků **nejrůznějších materiálů**, od umělých pryskyřic pro modely a měřky, přes **grafit**, hliníkové slitiny, bronzy, křehké, **tvrdé**, kalené, **velmi pevné**, ale i **houževnaté** materiály.

#### q Vlastnosti obráběných materiálů HSC technologií

Zvláště **lisovací formy** a především **kovací zápustky** se **vyrábějí** z vysoce kvalitních **nástrojových ocelí**, jejichž **speciální složení** a **cílené tepelné zpracování** jim **zaručuje vysoké mechanické vlastnosti**, které však **zhoršují** jejich **obrobitelnost**.

Pro názornost bude vhodné uvést **příklad technologického postupu tepelného zpracování materiálu**, ze kterého se má vyrobit (**vyfrézovat**) kovací **zápustka**. Chemické složení a tepelné zpracování válcové tyče tvářené za tepla, budoucího zápustkového bloku, může např. probíhat následovně:

**Zápustková nástrojová ocel 19 663** dodávaná jako tyč (válcovaná za tepla) nebo jako výkovek (kovaný za tepla). Dle normy ČSN 41 9663 má Ni-Mo-Cr-V ocel hodnotu pevnosti **v tahu 1 275 MPa** pro **buchary**, zatímco zápustky pro **protlačování** mají hodnotu tahové pevnosti **1 595 MPa**.

Tab. 3.4.3 Chemickém složení zápustkové oceli

Chemické složení - rozbor tavby [%]								
C	Mn	Cr	Ni	Mo	V	P	S	Si
0.5	0.5	0.9	1.5	0.3	0.1	max	max	0.3
až								až
0.6	0.9	1.3	1.9	0.5	0.25	0.03	0.03	0.6

Ve stavu **žíhaném naměkko** dosahují oceli 19 663.3 **tvrdost** max. 225 **HB** a v **kaleném** stavu oceli 19 663.4 min. 52 **HRC**.

#### Charakteristika **zápustkové oceli**:

**Ni-Cr-Mo-V** ocel ke kalení v proudu vzduchu nebo v oleji s velkou prokalitelností. Má vysokou tvrdost po kalení, dobrou **odolnost proti popouštění**, dobrou **pevnost za tepla** a **houževnatost**. Dobře **odolává prudkým změnám teplot** a **tepelné únavě**. Je dobře **tvárná za tepla**.



Tabulka 3.4.4 Doporučené teploty pro tváření a tepelné zpracování

Způsob	Teplota	Postup
Kování	1 100 - 850°C	pomalou ochlazovat na vzduchu nebo lépe např. v suchém popelu
Žihání naměkko	680 - 700°C	několik hodin prohřát (dle velikosti kusu do 4 hodin) a ochlazovat v peci
Žihání ke snížení pnutí	600 - 650°C	1 až 2 hodiny prohřát a pomalu ochlazovat v peci
Kalení na vzduchu	870 - 900°C	větší a členitější nástroje
Kalení v oleji	840 - 870°C	ochladit v oleji asi na 100°C
Popouštění na vzduchu či v oleji	450 - 650°C	ochlazovat na vzduchu, stupeň popouštění se řídí tvrdostí a houževnatostí nástroje

#### Vhodnost použití:

**Nástroje pro tváření za tepla**, jakými jsou **zápustky** všech velikostí, zejména s pevností přes 1 275 MPa, **pro buchary a kovací lisy**, vložky zápuštěk, nástroje kovacích strojů, nástroje pro protlačování neželezných kovů, průtlačníky s pevností přes 1 595 MPa apod.

Jejich **zušlechťení** se provádí kalením a následným popouštěním na teplotu, při které **pevnost** oceli z kaleného stavu značně **poklesne**, ale **stoupne** tím **houževnatost**, tažnost a pevnost a **zhorší se obrobiteľnost**.

Teprve pak se **třískovým obráběním**, které začíná **hrubováním**, pokračuje **hrubováním zbytkového materiálu**, obráběním **načisto**, obráběním **zbytkového materiálu načisto** a obráběním **2–3D křivek** (tedy **rovinných a prostorových křivek**), **frézováním vybrání**, obráběním **tangentně ke křivce** a **obrobením** zbytkového materiálu **podél kontury**, vytváří postupným frézováním potřebný tvar kovacích zápuštěk.

#### q **Postupový řetězec**

**Efektivnost** výrobního postupu **vyžaduje** obsáhlou **globální znalost technologie** třískového vysokorychlostního obrábění. Pro reálnost splnění náročné zakázky v požadovaném čase je nezbytný výkonný CAD/CAM systém.

Zejména **při stavbě** nástrojů a **forem je prioritní vystihnout komplexně geometrie součástí** (polohy volného tvaru), které **nejsou** myslitelné ani **realizovatelné bez** podpory výkonné **výpočetní techniky**.

V zájmu **hospodárného obrábění** jde o snahu **zkracovat hlavní časy** s co možná **nejdelší trvanlivostí** řezného **nástroje**. Především z těchto důvodů musí být **strategii frézování** věnována zvláštní pozornost. Právě v této fázi technologie výroby je značný **optimalizační potenciál**, který, bude-li **správně využit**, může **šetřit nástroj i stroj**, ale i **finanční prostředky**.

Vedle vytváření ideálních podmínek pro použití (přísuvy, směr otáčení, úhel náběhu) platí, že **vhodnou volbou frézovacích drah** je možné docílit téměř **neměnného zatížení nástroje**, a to prostřednictvím **eliminace všech prudkých změn směru** (žádné trhavé pohyby).

Dále se jedná o snahu vytvořit tzv. **kontinuální obrábění** bez přerušení (žádné chody naprázdno). Těmto předpokladům vyhovuje **sousledné** (souhlasné) **frézování**.

**Hrubování** součástí formy má probíhat **výhradně v rovinách s konstantní Z** – souřadnicí (Z - osa vřetena stroje), tedy **na spirálovitých drahách** přizpůsobených obrysu (frézovací cykly pro vnitřní vybrání).

Velmi **důležité je zařízutí**, které se provádí ve tvaru kruhu (z vnějšku), resp. v diagonálním nebo spirálovitém zápichu (tzv. kruhová – Helix-interpolace) u uzavřených obrysů.

Při **obrábění načisto** by frézovací **dráhy** měly rovněž ležet **paralelně ke konečnému obrysu** (volné tvary) a **spirálovitě v rovinách**. V zájmu optimální drsnosti povrchu a přesnosti rozměrů musí být různé „partie“, jako obrys tvaru, vnitřní zaoblení a roviny, posuzovány, **optimalizovány a obráběny jednotlivě**.

#### □ Požadavky pro aplikaci vysokorychlostního obrábění

Pro realizaci těchto teoretických předpokladů a zákonitostí, **musí existovat odpovídající možnosti přístupu do CAD/CAM** – systémů. Při **obrábění frézami s kulovou hlavou** by mělo být usilováno o přistavení nástroje se sklonem cca  $15^\circ$  a o **obrábění v tažném řezu**, čímž se **zabrání řezání v ose** rotujícího nástroje, kde je řezná rychlost nulová.

**Další možnosti zlepšování** řezného procesu, přesnosti rozměrů a jakosti obrobeného povrchu **jsou součástí** probíhajícího intenzivního **výzkumu**. Mimo jiné se jedná o **automatické přizpůsobení se posuvu výpočtem aktuálního obráběného průřezu**, jakož i **automatickou kompenzaci deformace** pomocí **vypočtené prognózy chyb** obrysu.

Také nástroje pro HSC – obrábění se podstatně odlišují od konvenčních fréz. Jsou **koncipovány pro mnohem větší počty otáček**, a proto musí být „**absolutně symetrické**“ podle osy otáčení s **minimálními tolerancemi nevyváženosti** a na obvodové házení. **Geometrie břítu** musí **vyhovovat** změněné **tvorbě třísek**.

Nástroj musí vykazovat **vysokou tuhost**, ale mít dostatečně **velké komory** pro třísky, zvláště při obrábění lehkých kovů. **Drážky** musí být **ostřeny** tak, aby **nevznikaly vrubové účinky**.

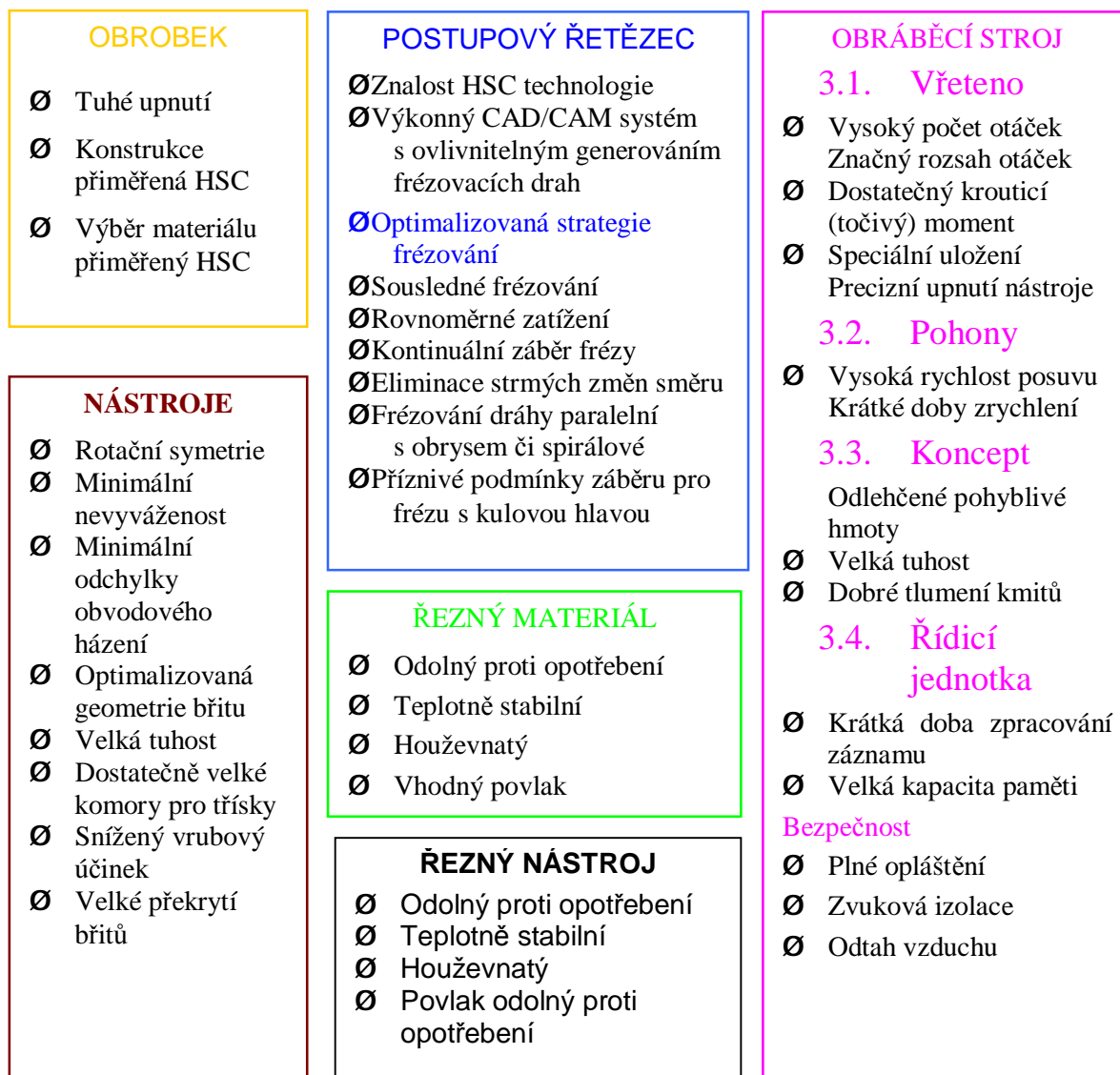
K zabezpečení **klidného chodu** je důležité zajistit vhodné **překrytí břitů**, což lze například realizovat **vysokým počtem břitů z nebo velkým úhlem sklonu** šroubovice  $\omega$ .

Základními vlastnostmi kvalitního řezného materiálu je dostatečná odolnost proti opotřebení, teplotní stabilita a značná houževnatost. Jeho povrch je chráněn vhodnou povrchovou úpravou, nejlépe povlakem naneseným metodou **PVD** (Physical Vapor Deposition).

Jedná se zde o **fyzikální vylučování** z parní fáze nebo **CVD** Chemikal Vapor Deposition – **chemickým vylučováním** z parní fáze. Všechny podstatné požadavky lze shrnout do následujícího schématu:

Prostřednictvím optimálního sladění všech souvisejících činností v daném výrobním prostředí a čase lze dosáhnout výše uvedených efektů, které vysokorychlostní obrábění na základě teoretických zákonitostí přímo nabízí. S vysokou pravděpodobností lze předpokládat, že se optimálního řešení, a tím i maximální efektivity, při uvažování všech souvisejících činností, zpravidla nepodaří dosáhnout. Neznamená to však, že je nesprávné o stanovování optimálních řezných parametrů permanentně usilovat.

POŽADAVKY NA SOUVISEJÍCÍ ČINNOSTI



Obr. 3.4.1 Požadavky na činnost související s procesem HSC



**Kontrolní otázka**

1. K čemu nutí současný globální trh přední i špičkové výrobce vlastních finálních výrobků?
2. Jak lze stávající objem výroby při současné celosvětové konkurenci udržet, ne-li dokonce rozšířit?
3. Jaké možnosti a povinnosti plynou z externí objednávky či zakázky a co je nutné před jejím uzavřením prověřit a posoudit?
4. Vyjmenujte všechny uvedené limitující faktory a charakterizujte je!

5. Čím jsme vždy při hledání cest, jak snížit výrobní náklady limitováni?
6. Co je nezbytné před přijmutím předem posoudit?
7. Co zaručí, v rámci daných možností, kompetentnost rozhodnutí o přijetí nebo odmítnutí zakázky?
8. Kým je zpracována organizační směrnice jakosti?
9. Co určuje směrnice - „Přezkoumání smlouvy“?
10. Co vstupuje a jakou formou do realizace obchodního případu?
11. Které úseky zaujímají své stanovisko v poptávkovém řízení?
12. Jakou odpovědnost v poptávkovém řízení nese obchodní úsek?
13. Jaké náklady obchodní úsek ve vlastním obchodním případě doplní v poptávkovém listě?
14. Co posuzuje v poptávkovém řízení a jakou odpovědnost má výrobní úsek?
15. Co posuzuje a stanovuje technický úsek?
16. V jakých jednotkách se provádí kalkulace spotřeby výrobního času?
17. Prostřednictvím čeho dochází k prvnímu kontaktu mezi oběma subjekty před realizací zakázky?
18. V souladu s čím musí být provedeno posouzení úplnosti poptávky, které je nezbytné k vystavení Poptávkového listu?
19. Na základě čeho se zaujímá stanovisko k možnosti realizace zakázky?
20. Kdo, resp. které subjekty zaujímají stanovisko k možnosti realizace zakázky?
21. V jakém případě je deklarována realizovatelnost zakázky?
22. Kdo uvádí nejbližší možný termín zhotovení zakázky?
23. Co je nezbytnou součástí fáze poptávkového řízení, která uvádí nejbližší možný termín zhotovení zakázky?
24. Z čeho vychází cena zakázky?
25. Na základě čeho se stanoví předběžný počet normohodin pro výrobu i pro konstrukci?
26. Z jakých podkladů vychází určení předběžného počtu normohodin?
27. Z jakých podkladů vychází přesné určení počtu normohodin?
28. Jaké tvary lze obrábět automatizovaným 3D frézováním?
29. Jaké materiály lze obrábět automatizovaným 3D frézováním?
30. Co určuje směrnice „Přezkoumání smlouvy“?
31. O jakou operaci třískového obrábění se jedná v uváděném příkladu postupu tepelného zpracování materiálu?
32. Jakou hodnotu pevnosti v tahu má zápusťková nástrojová ocel 19 663 dodávaná jako tyč (válcovaná za tepla) nebo jako výkovek (kováný za tepla) dle normy ČSN 41 9663 Ni-Mo-Cr-V.
33. Jakou hodnotu tvrdosti v HB dosahují oceli 19 663.3 ve stavu žíhaném naměkko?
34. Jakou hodnotu tvrdosti v HRC dosahují oceli 19 663.4 v kaleném stavu?
35. Jakými mechanickými vlastnostmi se vyznačuje zápusťková nástrojová ocel 19 663?
36. Jakými chemickými prvky je legována zápusťková nástrojová ocel 19 663?
37. Která z významných technologických vlastností se zhorší zušlechťováním?

38. Popište z jakých úseků se skládá operace třískového obrábění (frézování) kovací zápustky v námi uvedeném případě 2 - 3D obrábění na frézovacím CNC.
39. Co vyžaduje efektivnost výrobního postupu při aplikaci vysokorychlostního obrábění?
40. Co je zejména nezbytné pro reálnost splnění náročné zakázky v požadovaném čase?
41. Co je prioritní vystihnout zejména při stavbě nástrojů a forem?
42. V čem spočívá úspěch realizace hospodárneho obrábění?
43. Z jakých hlavních důvodů musí být strategii frézování věnována zvláštní pozornost?
44. Jaké klady přináší plné využití optimalizačního potenciálu?
45. Prostřednictvím čeho lze při třískovém obrábění (frézování) docílit téměř neměnné zatížení nástroje?
46. Co je skryto v pojmu „kontinuální obrábění“?
47. Jaká „strategie frézování“ kontinuálnímu druhu obrábění vyhovuje?
48. V jakých rovinách má výhradně probíhat hrubování součástí formy?
49. O jaké dráhy se jedná a čemu mají být přizpůsobeny?
50. Je důležité tzv. zaříznutí?
51. V jakých tvarech se zaříznutí provádí a u jakých obrysů?
52. Jak by měly frézovací dráhy ležet při obrábění načisto ke konečnému obrysu?
53. Jak by měly frézovací dráhy ležet při obrábění načisto v rovinách?
54. V zájmu čeho musí být různé „partie“ optimalizovány a obráběny jednotlivě?
55. Které partie musí být optimalizovány a obráběny jednotlivě?
56. Co musí existovat pro realizaci výše uvedených teoretických předpokladů a zákonitostí?
57. O co má být usilováno při obrábění frézami s kulovou hlavou?
58. Čemu se zabrání v případě splnění požadavků kladených na frézování s kulovou hlavou?
59. V čem spočívají další možnosti zlepšování diskutovaného řezného procesu?
60. V čem se nástroje určené pro HSC – obrábění podstatně odlišují od konvenčních fréz?
61. Jaká geometrická vlastnost je nezbytná pro rychle rotující řezné nástroje?
62. Jaká strukturální vlastnost je nezbytná pro rychle rotující řezné nástroje?
63. Co zejména musí vyhovovat na HSC nástroji, který byl vyvinut pro změněnou tvorbu třísek?
64. Jakými dalšími geometrickými a pevnostními vlastnostmi musí disponovat řezný nástroj vyvinutý a určený pro HSC frézování?
65. Co je zvláště vhodné pro zabezpečení klidného chodu frézy?
66. Jakými způsoby lze konstrukčně realizovat překrytí jednotlivých břitů frézy?
67. Jaká základní vlastnost je nezbytná pro kvalitní řezný materiál?
68. Čím je chráněn povrch řezného nástroje?
69. Na jaké bázi jsou současné povrchové povlaky řezných nástrojů?
70. Vysvětlíte zkratky PVD a CVD?
71. Vyjmenujte základní požadavky na související činnosti dle schématu obr. 3.4.1.

72. Vyjmenujte základní požadavky na související činnosti pro nástroj se zaměřením na jeho materiál.
73. Vyjmenujte základní požadavky na související činnosti pro obrobek.
74. Vyjmenujte základní požadavky na související činnosti pro řezný materiál.
75. Vyjmenujte základní požadavky na související činnosti pro řezný nástroj se zaměřením na jeho řeznou geometrii.
76. Vyjmenujte základní požadavky na související činnosti pro
77. Přibližte obsah pojmu „Postupový řetězec“.
78. V čem spočívá a co obsahuje optimalizovaná strategie frézování?
79. Jaké jsou současné požadavky vřeteno HSC obráběcího centra?
80. Co musí zejména splňovat pohony současného HSC centra?
81. Přibližte technický pojem - koncept obráběcího stroje.
82. Jaké jsou soudobé základní požadavky na řídicí jednotku HSC centra?
83. Je možné některých z výše uvedených požadavků na související činnosti obejít nebo vypustit?
84. Eliminace strmých změn směru spadá do které části postupového řetězce?
85. Vysoká rychlost posuvu spadá do které části postupového řetězce?
86. Optimalizovaná geometrie břítu spadá do které části postupového řetězce?
87. Požadavek odolnosti proti opotřebení spadá do které části postupového řetězce?
88. Nutnost sousledného frézování spadá do které části postupového řetězce?
89. Dostatečný točivý moment v širokém rozsahu spadá do které části postupového řetězce?
90. Odlehčení pohyblivé hmoty spadá do které části postupového řetězce?
91. Kontinuální záběr frézy spadá do které části postupového řetězce?
92. Výkonný CAD/CAM systém spadá do které části postupového řetězce?
93. Požadavek zvukové izolace spadá do které části postupového řetězce?
94. Teplotně stabilní požadavek spadá do které části postupového řetězce?
95. Konstrukce přiměřená HSC spadá do jaké části postupového řetězce?
96. Povlak odolný proti opotřebení spadá do které části postupového řetězce?
97. Krátké doby zrychlení spadají do které části postupového řetězce?
98. Čeho lze dosáhnout prostřednictvím optimálního sladění všech souvisejících činností v daném výrobním prostředí a čase?
99. Čeho lze s vysokou pravděpodobností, v souvislosti se souvisejícími činnostmi předpokládat?
100. Je nesprávné o stanovování optimálních řezných parametrů permanentně usilovat? Zdůvodněte Vaši kladnou či zápornou odpověď.



## Úkoly k řešení

1. Zpracujte tabulku matice odpovědnosti a spolupráce.
2. Stanovte předběžnou cenu externí zakázky dle Vámi zadaných vstupů.
3. Vypočítejte předběžný počet normohodin pro Vámi zadanou zakázku.
4. Zpracujte tabulku sledu operací pro Vámi zosnovanou zakázku.
5. Na jakou hodnotu zvýšíme nulovou řeznou rychlost  $v_c$ , která je při nenakloněné kulové fréze v jejím rotujícím středu, nakloníme-li ji o  $15^\circ$ . Průměr kulové frézy je  $D = 16$  mm a otáčky vřetene  $n = 4000$  min<sup>-1</sup>.



## Použitá a doporučená literatura k dalšímu studiu

1. BILÍK, O. *Obrábění I. (2.Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2002. 80 s. ISBN 80-248-0033-0.
2. BILÍK, O. *Obrábění II. (1.Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 1994. 132 s. ISBN 80-7078-228-5.
3. BILÍK, O. *Obrábění II. (2.Díl)*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2001. 118 s. ISBN 80-7078-994-1.
4. BRYCHTA, J. *Obrábění I. Návodů pro cvičení 1. část*. Ostrava: Vysoká škola báňská – TU Ostrava, 1998. 84 s. ISBN 80-7078-436-9.
5. BRYCHTA, J. *Obrábění I. Návodů pro cvičení 2. část*. Ostrava: Vysoká škola báňská – TU Ostrava, 1998. 120 s. ISBN 80-7078-470-9.
6. BRYCHTA, J. *Výrobní stroje obráběcí*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 2003. 150 s. ISBN 80-248-0237-6.
7. KOČMAN, K. *Speciální technologie obrábění*. Brno: PC-DIR Real, s.r.o., 1993. 213 s. ISBN 80-214-1187-2.
8. KOČMAN, K., PROKOP, K. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERN Brno, s.r.o., 2001. 274 s. ISBN 80-214-196-2.
9. KRÍŽ, R., VÁVRA, P. a kol. *Strojírenská příručka*. Praha: Scientia, spol. s r. o., 1996. 220 s. ISBN 80-7183-024-0.
10. TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie část 1*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2004. 112 s. ISBN 80-248-0672-X.
11. VIGNER, M., PŘÍKRYL, Z. a kol. *Obrábění*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1984. 808 s.
12. VLACH, B. a kol. *Technologie obrábění a montáží*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1990. 472 s. ISBN 80-03-00143-9.
13. HAVRILA, M., ZAJAC, J., BRYCHTA, J., JURKO, J. *Top trendy v obrábění 1. část – Obrábané materiály*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
14. JURKO, J., ZAJAC, J., ČEP, R., *Top trendy v obrábění 2. část – Nástrojové materiály*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
15. VASILKO, K., HAVRILA, M., NOVÁK – MARCINČIN, J., MÁDL, J., ZAJAC, J. *Top trendy v obrábění 3. část – Technológia obrábania*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
16. MONKA, P., PAULIKOVÁ, A. *Top trendy v obrábění 4. část – Upínanie, prípravky a meradlá*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2007. ISBN 80-968954-2-7.

17. PŘÍKRYL, Z., MUSÍLKOVÁ, R. *Teorie obrábění*. Praha : SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1971. 200 s.
18. HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-1cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-1cast.pdf)>.
19. HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 2. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. 94 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-2cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-2cast.pdf)>.
20. HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 3. část*. Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program "Strojírenství". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005. 57 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-3cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-3cast.pdf)>.
21. HUMÁR, A. *Výrobní technologie II* [online]. Studijní opory pro podporu samostudia v oboru "Strojírenská technologie" BS studijního programu "Strojírenství". VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2002. 84 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobníTechnologie\\_II.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobníTechnologie_II.pdf)>.
22. AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praxe*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
23. STEPHENSON, D. A., AGAPIOU, J. S. *Metal Cutting Theory and Practice*. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996. 905 s. ISBN 0-8247-9579-2.
24. VASILKO, K., NOVÁK – MARCINČIN, J., HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove, 2003. 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
25. PILC, J., STANČEKOVÁ, D. *Základy stavby obrábacích strojov*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2004. 110 s. ISBN 80-8070-281-0.



## CD-ROM

Informace o doplňujících animacích, videosekvencích apod., které si může student vyvolat z CD-ROMu připojeného k tomuto materiálu