

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**



**TECHNOLOGIE I**  
**TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 2. část**

**Studijní opory pro magisterskou formu studia  
Doc. Ing. Anton Humár, CSc.**



**2004**

## OBSAH

1. Vrtání, vyhrubování, vystružování, zahlubování .....	3
1.1. Vrtání .....	3
1.1.1. Průřez třísky .....	6
1.1.2. Řezné síly .....	7
1.1.3. Jednotkový strojní čas .....	8
1.1.4. Nástroje .....	8
1.1.5. Vrtačky .....	17
1.2. Vyhrubování .....	19
1.3. Vystružování .....	21
1.4. Zahlubování .....	24
2. Vyvrtávání .....	27
2.1. Nástroje .....	28
2.2. Obráběcí stroje .....	34
3. Hoblování a obrážení .....	35
3.1. Hoblování .....	36
3.2. Obrážení .....	39
4. Protahování a protlačování .....	42
4.1. Nástroje pro protahování a protlačování .....	43
4.2. Stroje pro protahování .....	45
5. Výroba závitů .....	46
5.1. Řezání závitů .....	46
5.2. Soustružení závitů .....	49
5.3. Frézování závitů .....	52
5.4. Broušení závitů .....	56
5.5. Tváření závitů .....	57
6. Výroba ozubení .....	59
6.1. Obrábění čelních ozubených kol .....	59
6.1.1. Frézování dělicím způsobem .....	59
6.1.2. Frézování odvalovacím způsobem .....	61
6.1.3. Obrážení hřebenovým nožem .....	67
6.1.4. Obrážení kotoučovým nožem .....	69
6.1.5. Protahování .....	71
6.1.6. Ševingování .....	71
6.1.7. Broušení .....	73
6.1.7.1. Broušení dělicím způsobem tvarovými kotouči .....	73
6.1.7.2. Broušení dělicím způsobem s odvalem boku zubu .....	74
6.1.7.3. Broušení odvalovacím způsobem .....	76
6.2. Obrábění kuželových kol .....	77
6.2.1. Kola s přímými a šikmými zuby .....	77
6.2.1.1. Frézování tvarovou frézou .....	77
6.2.1.2. Frézování nožovými hlavami .....	78
6.2.1.3. Obrážení podle šablony .....	79
6.2.1.4. Obrážení dvěma noži .....	79
6.2.1.5. Protahování .....	80
6.2.2. Kola se zakřivenými zuby .....	81
6.2.2.1. Způsob Gleason .....	81

6.2.2.2. Způsob Oerlikon .....	83
6.2.2.3. Způsob Klingelberg .....	83
6.3. Obrábění šneků a šnekových kol .....	85
7. Dělení materiálu .....	86
7.1. Dělení rozřezáváním .....	87
7.1.1. Dělení na rámových pilách .....	87
7.1.2. Dělení na kotoučových pilách .....	88
7.1.3. Dělení na pásových pilách .....	89
7.2. Dělení rozbrušovacím kotoučem .....	91
7.3. Dělení třecím kotoučem .....	91
7.4. Dělení stříháním a lámáním .....	91
7.5. Tepelné dělení .....	93
8. Použitá literatura .....	95

# 1. VRTÁNÍ, VYHRUBOVÁNÍ, VYSTRUŽOVÁNÍ, ZÁHLUBOVÁNÍ

Vrtání je výrobní metoda, kterou se zhotovují díry zplna, nebo zvětšují již předpracované díry (předvrtané, předlité, předlisované, předkované, atd.). Hlavní pohyb je rotační a vykonává ho obvykle nástroj (vrták), méně často obrobek. Osa vrtáku je zpravidla kolmá k obráběné ploše, na které vrták vstupuje do obráběného materiálu. Posuvový (vedlejší) pohyb, ve směru své osy, vykonává vrták.

Při vyhrubování, vystružování a zahlubování se využívají analogické pohyby nástroje pro dosažení vyšších kvalitativních parametrů obráběných děr (odchylky jmenovitého průměru, kruhovitost, válcovitost, struktura povrchu). Při zahlubování se provádí úprava tvarů konců děr a ploch k nim přilehlých.

Charakteristickou vlastností všech nástrojů na díry je, že řezná rychlost se podél hlavního ostří, ve směru od obvodu ke středu nástroje, zmenšuje (v ose nástroje dosahuje nulovou hodnotu). Za řeznou rychlost se proto považuje obvodová rychlost na jmenovitém (největším) průměru nástroje. Hodnoty řezné rychlosti  $v_c$ , posuvové rychlosti  $v_f$  a rychlosti řezného pohybu  $v_e$  se vyjádří na základě vztahů:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} \quad [\text{m min}^{-1}], \quad (1.1)$$

$$v_f = f \cdot n \quad [\text{mm min}^{-1}], \quad (1.2)$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} = 10^{-3} \cdot n \cdot \sqrt{(\pi \cdot D)^2 + f^2} \quad [\text{m min}^{-1}], \quad (1.3)$$

kde:  $D$  [mm] je průměr obráběné díry,  
 $n$  [min<sup>-1</sup>] jsou otáčky nástroje (případně obrobku),  
 $f$  [mm] je posuv nástroje na jednu otáčku.

Protože vrtáky a zejména výhrubníky, výstružníky a záhlubníky jsou vždy vícebřité nástroje, lze ve všech případech definovat i hodnotu posuvu na zub  $f_z$ :

$$f_z = \frac{f}{z} \quad [\text{mm}], \quad (1.4)$$

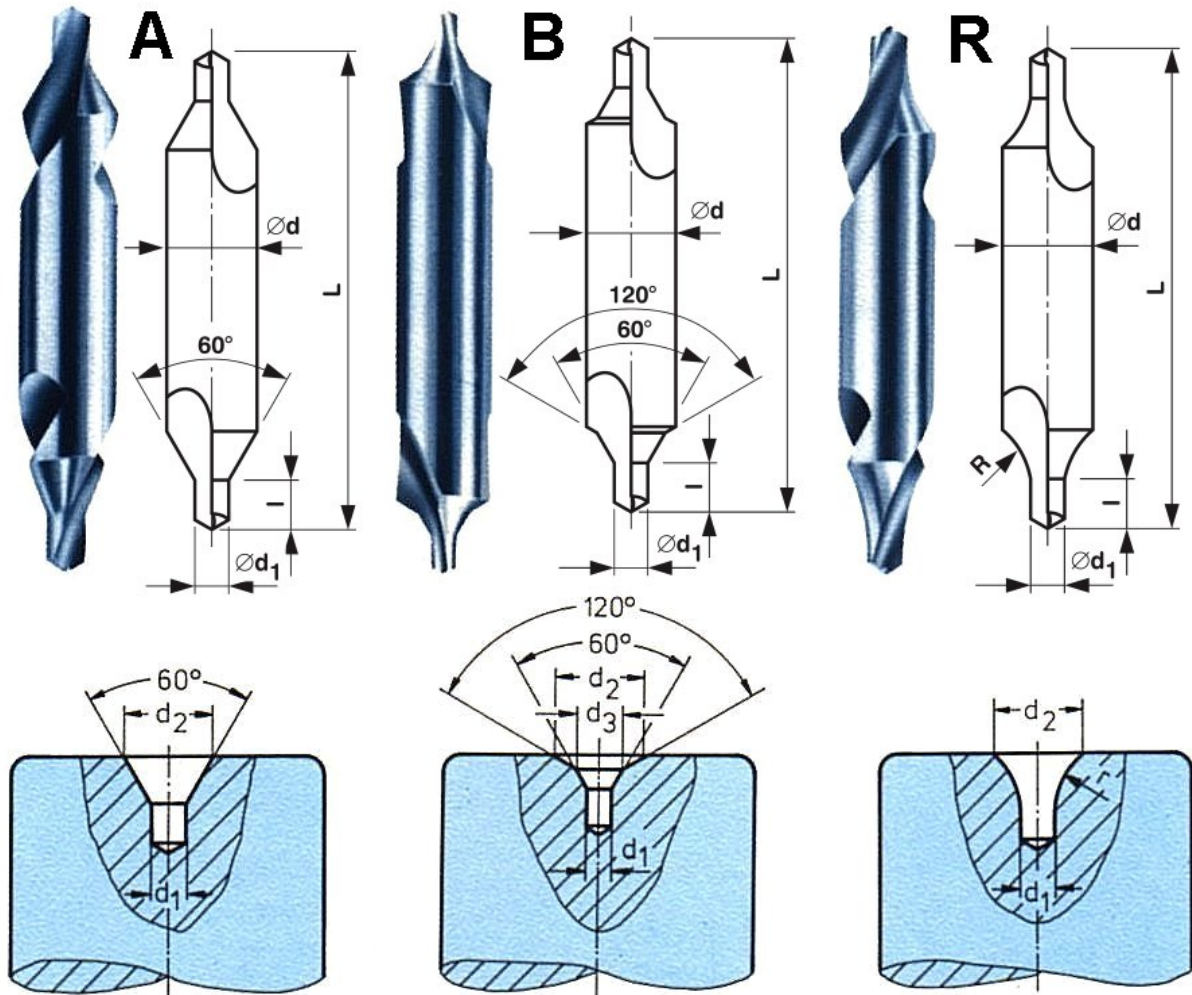
kde  $z$  [-] je počet zubů (břitů) nástroje.

## 1.1. VRTÁNÍ

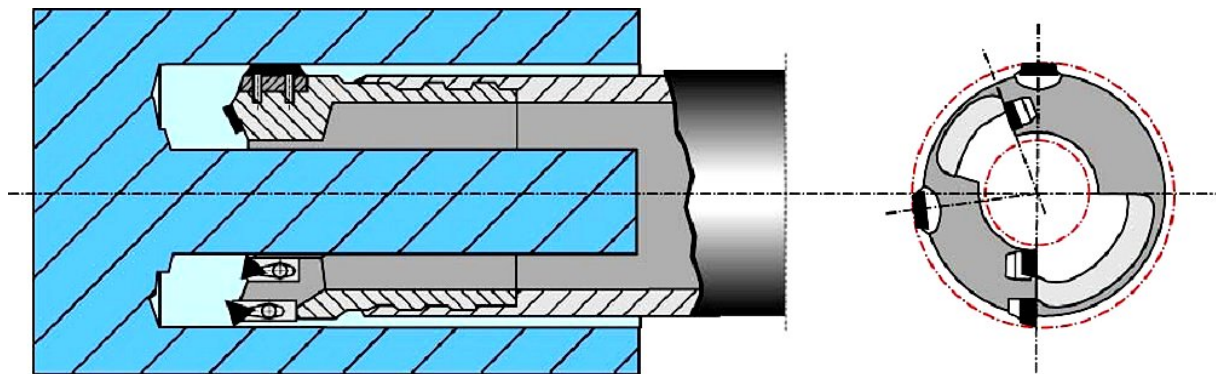
Podle technologie vrtání a druhu, konstrukce a geometrie použitého vrtáku lze vrtání rozdělit na:

- navrtávání začátku díry středícím vrtákem do plného materiálu - obr. 1.1,
- vrtání krátkých děr (poměr  $D/L=1/5 \div 1/10$ , kde  $D$  je průměr díry,  $L$  je délka díry) do plného materiálu; používají se vrtáky šroubovité, kopinaté, s vyměnitelnými špičkami a s vyměnitelnými břitovými destičkami,
- vrtání krátkých děr do předpracovaných děr; používají se stejné vrtáky jako v předchozím případě, výjimečně i vrtáky dělové a hlavňové,
- vrtání hlubokých děr (poměr  $D/L > 1/10$ ) do plného materiálu nebo předpracovaných děr; používají se vrtáky dělové, hlavňové, ejektorové, BTA, STS, u děr malých průměrů i vrtáky šroubovité,
- vrtání průchozích děr, zejména větších průměrů, „na jádro“, tj. odřezáváním obráběného materiálu ve tvaru mezikruží jednobřítým nebo vícebřítým korunkovým (trepanačním) vrtákem - obr. 1.2,

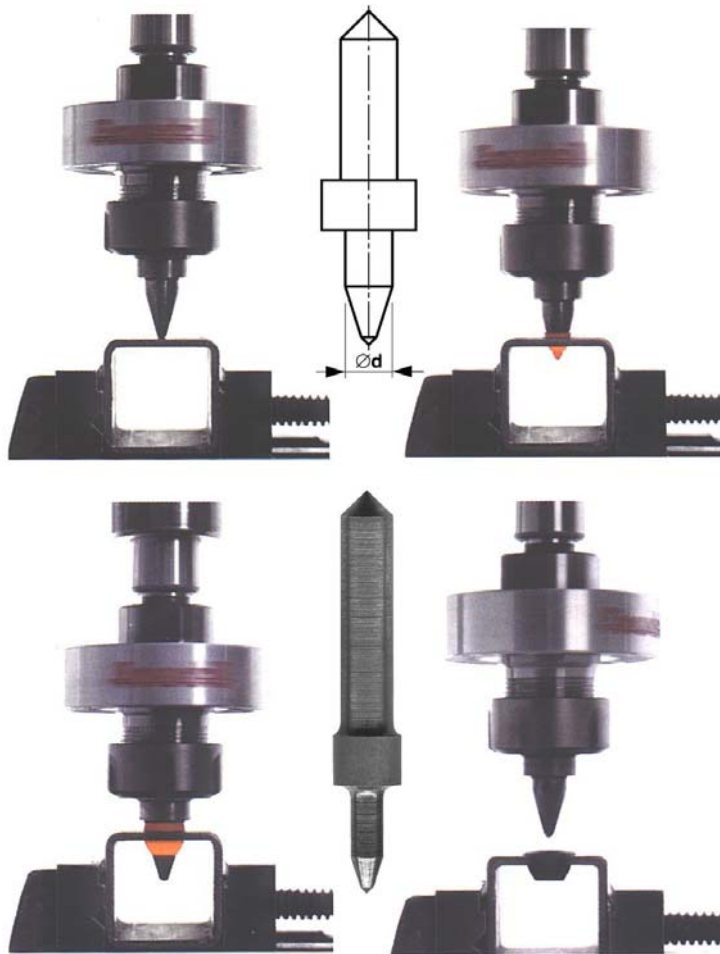
- speciální případy vrtání, např. vrtání děr v plechu (termální tvářecí vrták = hladký kuželový hrot ze slinutého karbidu - obr. 1.3, vrták do plechu pro široký rozsah průměrů - obr. 1.4a, odstupňovaný vrták do plechu - obr.1.4b), vrtání odstupňovaných děr (odstupňovaný vrták - obr. 1.5), vrtání díry se současným vystružováním, závitováním, zahlubováním (obr. 1.6) nebo hlazením (sdružené nástroje),
- vrtání děr v těžkoobrobitelných, kompozitních a nekovových materiálech (plastické hmoty, pryže, beton, kámen, cihly) pomocí vrtáků se speciální konstrukcí nebo geometrií.



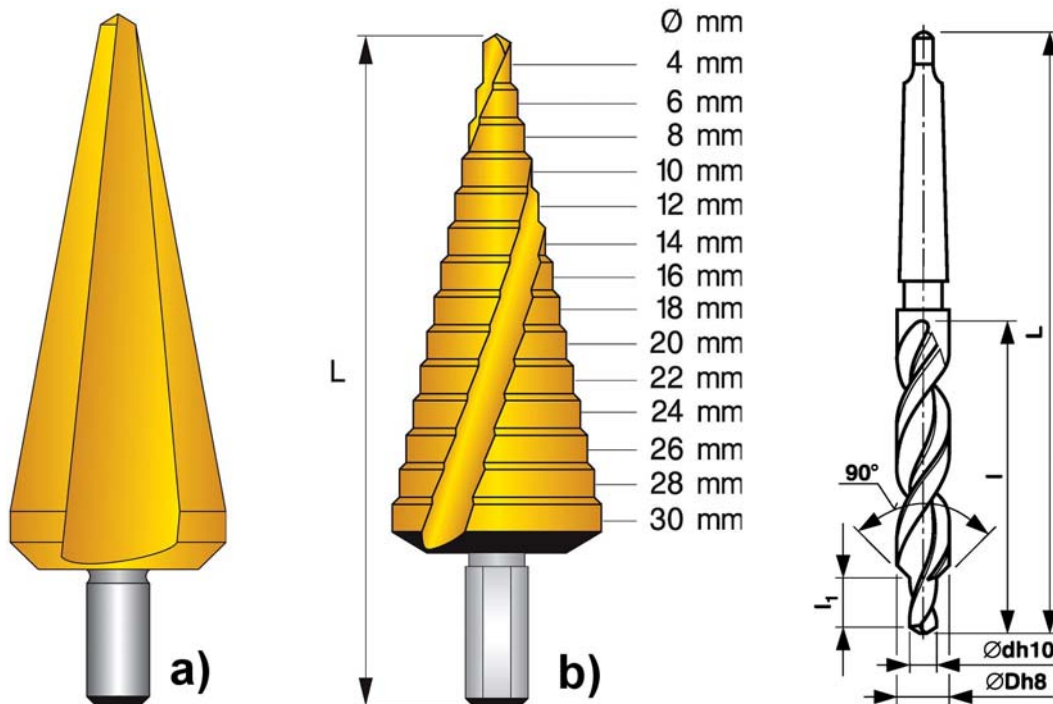
Obr. 1.1 Středící vrtáky



Obr. 1.2 Korunkový vrták

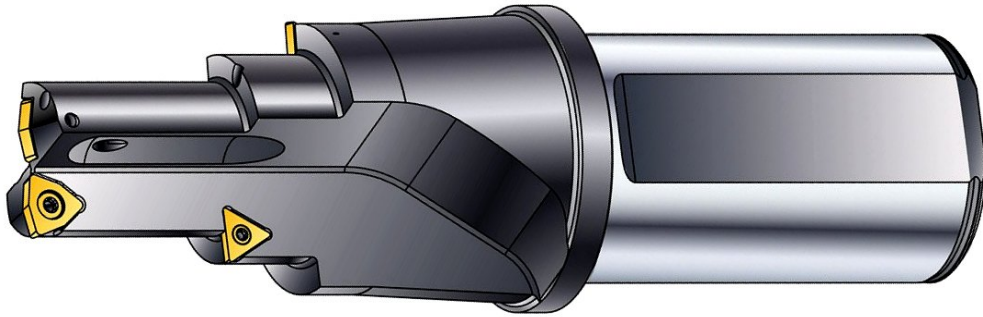


Obr. 1.3 Termální vrtání díry v tenkostěnném ocelovém profilu



Obr. 1.4 Vrtáky do plechu německé firmy Ruko  
a) širokorozsahový, b) odstupňovaný

Obr. 1.5 Odstupňovaný vrták



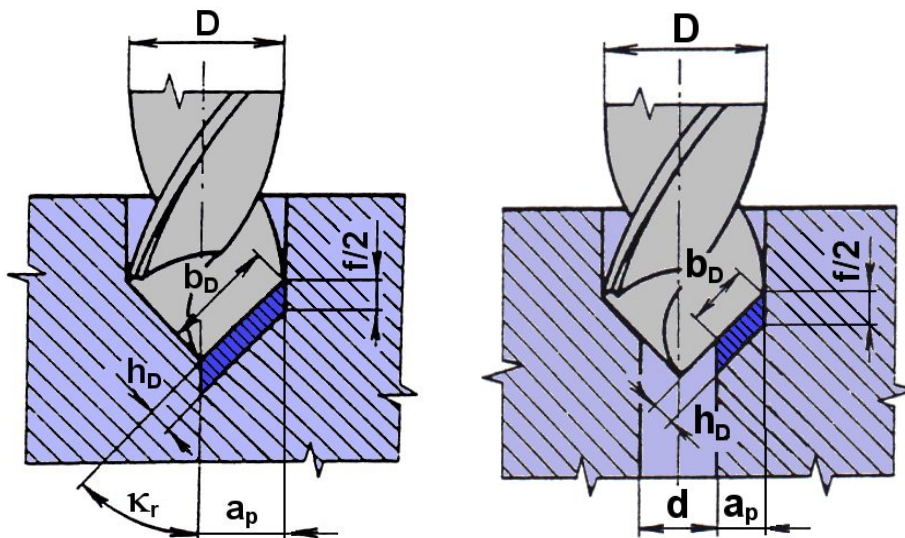
Obr. 1.6 Sdružený nástroj firmy Sandvik-Coromant pro vrtání a dvojité zahlubování

### 1.1.1. Průřez třísky

Parametry průřezu třísky pro základní případy vrtání jsou uvedeny na obrázku č.1.7, jmenovitý průřez třísky, odebíraný jedním břitem šroubovitého vrtáku, se vyjádří podle vztahu:

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f}{2} \quad [\text{mm}^2], \quad (1.5)$$

kde:  $b_D$  [mm] je jmenovitá šířka třísky,  
 $h_D$  [mm] je jmenovitá tloušťka třísky,  
 $a_p$  [mm] je šířka záběru ostří,  
 $f$  [mm] je posuv na otáčku.



Obr. 1.7 Průřez třísky při vrtání dvoubřítým šroubovitým vrtákem

Pro vrtání do plného materiálu je šířka záběru ostří  $a_p = D/2$ , pro vrtání do předpracované díry  $a_p = (D-d)/2$ . Po dosazení do (1.5) dostane rovnice pro výpočet průřezu třísky, odebírané jedním břitem nástroje při vrtání do plného materiálu, konečný tvar:

$$A_D = \frac{D \cdot f}{4} \quad [\text{mm}^2] \quad (1.6)$$

a při vrtání do předpracované díry konečný tvar:

$$A_D = \frac{(D - d) \cdot f}{4} \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (1.7)$$

Celkový průřez třísky při vrtání do plného materiálu se pro dvoubřitý nástroj vypočítá podle vztahu:

$$A_D = \frac{D \cdot f}{2} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (1.8)$$

a při vrtání do předpracované díry podle vztahu:

$$A_D = \frac{(D - d) \cdot f}{2} \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (1.9)$$

Jmenovité hodnoty parametrů průřezu třísky při vrtání šroubovým vrtákem se vyjádří pomocí následujících vztahů:

jmenovitá tloušťka třísky  $h_D = \frac{f}{2} \cdot \sin \kappa_r \text{ [mm]}, \quad (1.10)$

jmenovitá šířka třísky při vrtání do plného materiálu  $b_D = \frac{D}{2 \cdot \sin \kappa_r} \text{ [mm]}, \quad (1.11)$

jmenovitá šířka třísky při vrtání do předpracované díry  $b_D = \frac{D - d}{2 \cdot \sin \kappa_r} \text{ [mm]}. \quad (1.12)$

### 1.1.2. Řezné síly

Při vrtání standardním šroubovým nebo kopynatým vrtákem je materiál oddělován současně dvěma břity nástroje, symetricky postavenými vůči jeho ose. Výsledné síly jsou pak tvořeny součtem nebo rozdílem hodnot na obou břitech nástroje (obr. 1.8):

posuvová síla  $F_f = F_{f1} + F_{f2} \text{ [N]}, \quad (1.13)$

pasivní síla  $F_p = F_{p1} - F_{p2} \text{ [N]}, \quad (1.14)$

řezná síla  $F_c = F_{c1} + F_{c2} \text{ [N]}. \quad (1.15)$

Pokud je vrták správně a přesně naostřen, jsou síly na obou břitech shodné:

$F_{f1} = F_{f2} = F_f/2 \text{ [N]}, \quad (1.16)$

$F_{p1} = F_{p2} = F_p/2 \text{ [N]} \quad (1.17)$

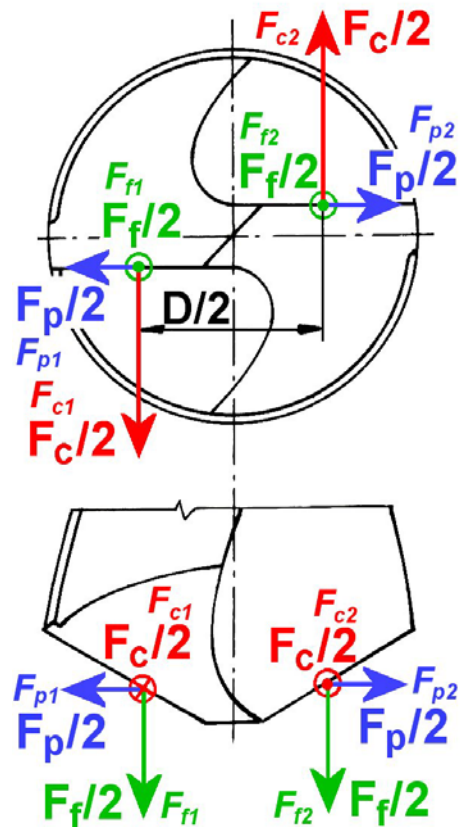
a proto  $F_p = 0$ ,

$F_{c1} = F_{c2} = F_c/2 \text{ [N]}. \quad (1.18)$

Podobně, jako u soustružení, lze i při vrtání stanovit jednotlivé síly (odpory) pro celý nástroj pomocí následujících empirických vztahů:

$F_f = C_{F_f} \cdot D^{x_{F_f}} \cdot f^{y_{F_f}} \text{ [N]}, \quad (1.19)$

$F_c = C_{F_c} \cdot D^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \text{ [N]}, \quad (1.20)$



Obr. 1.8 Řezné síly při vrtání



kde:  $C_{F_f}$ ,  $C_{F_c}$  [-] jsou konstanty, vyjadřující zejména vliv obráběného materiálu,

$x_{F_f}$ ,  $x_{F_c}$  [-] jsou exponenty, vyjadřující vliv průměru vrtáku,

$y_{F_f}$ ,  $y_{F_c}$  [-] jsou exponenty, vyjadřující vliv posuvu na otáčku,

$D$  [mm] je průměr vrtáku,

$f$  [mm] je posuv na otáčku.

Za předpokladu, že platí (1.18) a s využitím (1.20) lze pro výpočet krouticího momentu k ose vrtáku odvodit empirický vztah (1.21):

$$M_k = 2 \cdot \frac{F_c}{2} \cdot \frac{D}{4} = \frac{1}{4} \cdot F_c \cdot D = \frac{1}{4} \cdot C_{F_c} \cdot D^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \cdot D = \frac{1}{4} \cdot C_{F_c} \cdot D^{(x_{F_c} + 1)} \cdot f^{y_{F_c}},$$

pro zjednodušení  $\frac{1}{4} \cdot C_{F_c} = C_M$ ,  $x_{F_c} + 1 = x_M$ ,

$$M_k = C_M \cdot D^{x_M} \cdot f^{y_{F_c}} \text{ [N mm]}. \quad (1.21)$$

Řezný výkon při vrtání se určí ze vztahu:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{2 \cdot 60 \cdot 10^3} = \frac{F_c \cdot v_c}{1,2 \cdot 10^5} \text{ [kW]}, \quad (1.22)$$

kde:  $v_c$  [ $\text{m min}^{-1}$ ] je řezná rychlost, stanovená podle vztahu (1.1).

### 1.1.3. Jednotkový strojní čas

Jednotkový strojní čas při vrtání průchozí díry se vyjádří na základě obrázku č.1.9 pomocí vztahu:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \text{ [min]}, \quad (1.23)$$

kde:  $l_n$  [mm] je náběh vrtáku,

$l$  [mm] je délka vrtané díry,

$l_p$  [mm] je přeběh vrtáku,

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

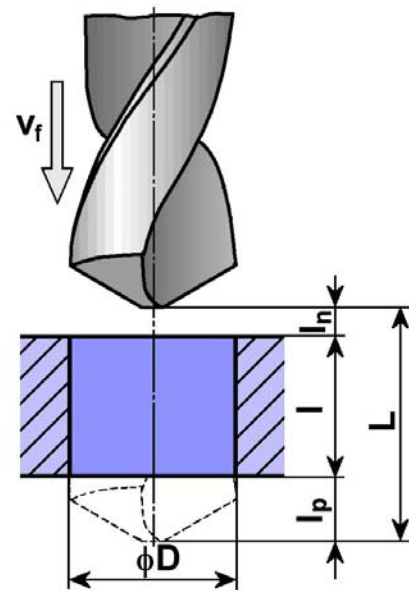
$n$  [ $\text{min}^{-1}$ ] jsou otáčky vrtáku,

$f$  [mm] je posuv na otáčku.

Pro standardní vrtáky s úhlem špičky  $2\kappa_r = 118^\circ$  bude

$$l_p = 0,5D \cdot \text{tg } 31^\circ + (0,5 \div 1,0) \cong 0,3D + (0,5 \div 1,0) \text{ [mm]}$$

a hodnota  $l_n = (0,5 \div 1,0)$  [mm].



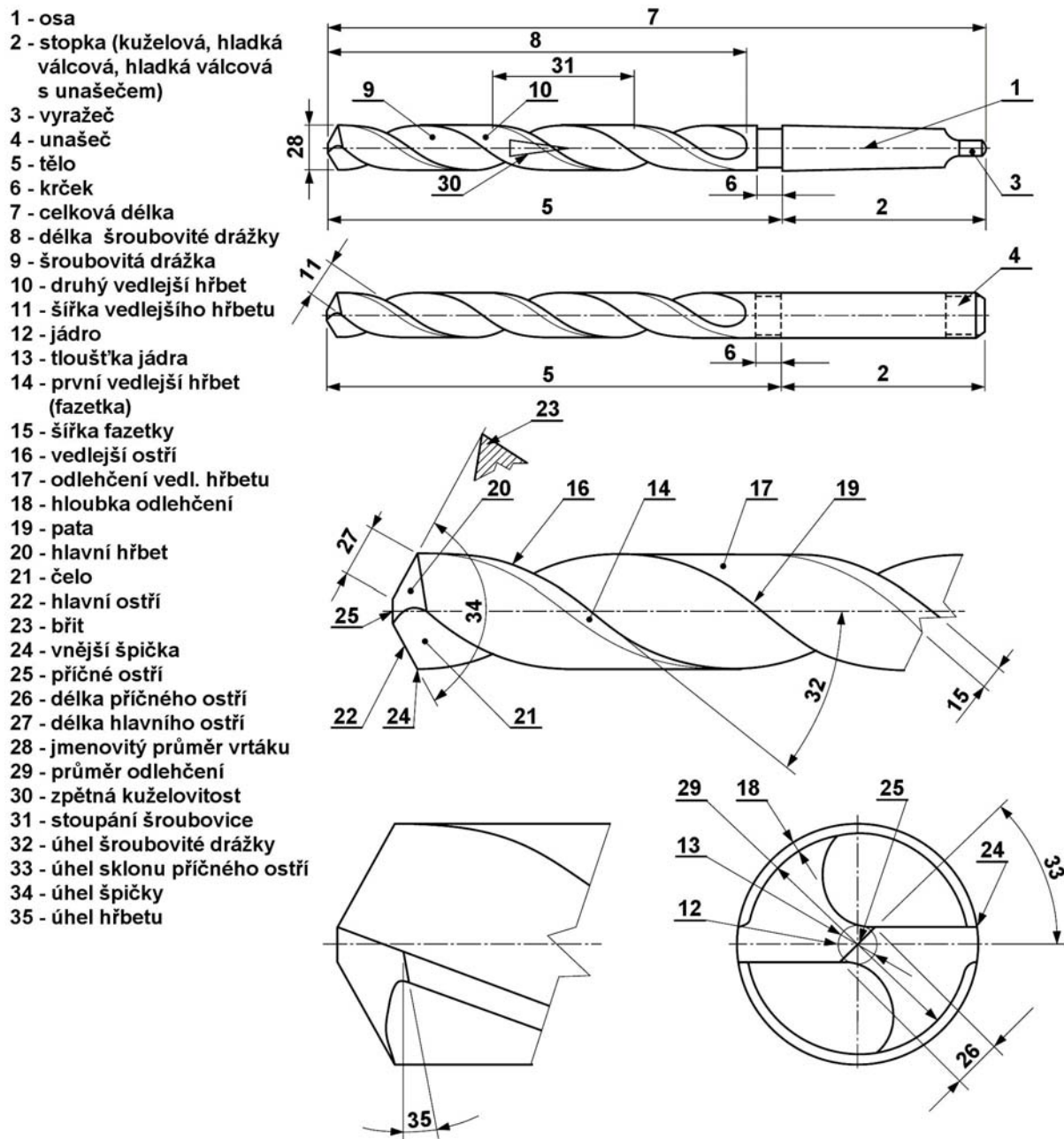
Obr. 1.9 Dráha vrtáku

### 1.1.4. Nástroje

Podle technologie vrtání a druhu, konstrukce a geometrie nástroje lze vrtáky rozdělit do několika hlavních skupin:

- středící vrtáky (obr. 1.1),
- šroubovitě vrtáky (nejčastěji používané, obr. 1.10, 1.12 až 1.14),
- kopinaté vrtáky (obr. 1.15),

- vrtáky s vyměnitelnou špičkou (obr. 1.16, 1.17),
- vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami (obr. 1.18, 1.19),
- korunkové vrtáky (obr. 1.2),
- dělové a hlavňové vrtáky (obr. 1.21),
- ejektorové vrtáky (obr. 1.24),
- BTA (Boring and Trepanning Association, obr. 1.28) nebo STS (Single Tube System, 1.29) vrtáky,
- vrtáky do plechu (obr. 1.3, 1.4),
- odstupňované vrtáky (obr. 1.5),
- speciální sdružené nástroje (obr. 1.6).



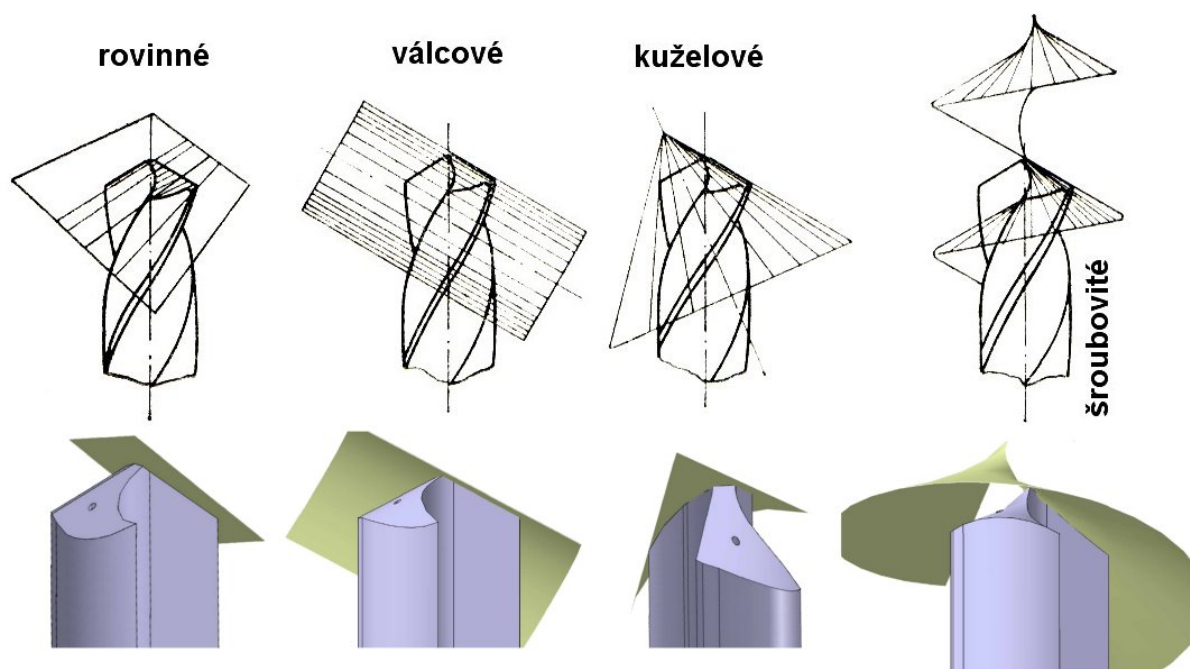
Obr. 1.10 Základní parametry šroubovitěho vrtáku

Nejčastěji používaným nástrojem pro vrtání krátkých děr je **šroubovitý vrták** (obr. 1.10), na jehož válcovitém těle jsou vytvořeny obvykle dvě protilehlé šroubovitě drážky pro odvod třísky. Vrtáky určené pro vrtání ocelí a litin běžné pevnosti a tvrdosti mají úhel stoupání šroubovice drážek  $27^\circ \pm 5^\circ$ , větší úhel ( $42^\circ \pm 5^\circ$ ) mají vrtáky pro vrtání materiálů s vysokou houževnatostí (např. měkké cementační oceli, slitiny hliníku bez přísady Si, termoplasty), menší úhel ( $12^\circ \pm 5^\circ$ ) vrtáky pro vrtání tvrdších materiálů, dávajících drobnou třísku (bronz, mosaz, slitiny hořčíku, tvrdá pryž, bakelit, skelný laminát, tvrzený papír, umakart, novodur, silon, polystyrén, plexisklo).

Po vytvoření drážek zůstane na vrtáku jádro o průměru 0,25 až 0,5x D, které zajišťuje jeho pevnost v kroucení a na vzpěr. Pro zmenšení tření vrtáku ve vrtané díře jsou jeho vedlejší hřbety odlehčeny na menší průměr (jmenovitý průměr je zachován pouze na úzké hřbetní fazetce) a tělo vrtáku se směrem ke stopce mírně kuželovitě zužuje. Úhel špičky u běžného šroubovitěho vrtáku, určeného pro vrtání běžných nelegovaných ocelí střední pevnosti a litin střední tvrdosti, dosahuje hodnoty  $\epsilon_r=2\kappa_r=118^\circ$ , pro vrtání těžkoobrobitelných materiálů  $140^\circ$ , pro vrtání plastů a tvrdých pryží  $90^\circ$ . Někdy se špička vrtáku vybrušuje pod dvojitým úhlem, např.  $90^\circ$  a  $120^\circ$  (zejména pro vrtání materiálu s horší obrobitelností), což snižuje opotřebení nástroje v důsledku snížení jeho tepelného namáhání, dochází i ke snížení posuvové síly.

Hlavní ostří vrtáku jsou spojena příčným ostřím, které vzhledem k nepříznivé geometrii břitu a pracovním podmínkám v daném místě nástroje výrazně zvyšuje krouticí moment a zejména posuvovou sílu. Proto jsou u většiny současných šroubovitěch vrtáků aplikovány různé úpravy příčného ostří (zkrácení pomocí podbroušení), nebo je nástroj konstruován tak, že příčné ostří je zcela odstraněno.

Šroubovitý vrták má poměrně složitou geometrii břitů, protože nástrojové úhly hřbetu i čela jsou podél hlavního ostří proměnné. Pokud má např. nástrojový ortogonální úhel čela v řezu vedeném na obvodu nástroje hodnotu  $\gamma_o=+20^\circ$ , v řezech směrem ke středu se tato hodnota zmenšuje a v ose nástroje může dosahovat nulové nebo dokonce záporné hodnoty. To je z hlediska procesu řezání velmi nevýhodné, zejména s přihlédnutím k nulové hodnotě řezné rychlosti v ose nástroje. Průběh úhlů hřbetu a čela podél hlavních ostří je ovlivněn způsobem podbroušení hlavních hřbetů, které může být realizováno podle kuželové, válcové, rovinné nebo rovinné plochy (obr. 1.11).

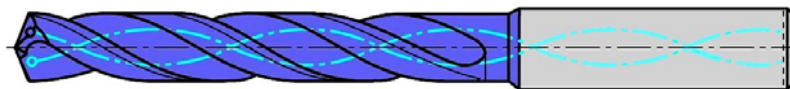


Obr. 1.11 Způsoby podbroušení hřbetních ploch šroubovitěch vrtáků

Šroubovitě vrtáky jsou nejčastěji vyráběny z rychlořezných ocelí, pro těžší podmínky obrábění jsou určeny vrtáky s pájenými SK břitovými destičkami a vrtáky z monolitních slinutých karbidů bez povlaků, nebo častěji s otěruvzdornými povlaky, většinou na bázi TiN (obr. 1.12). Mohou mít šroubovitě díry pro centrální přívod řezné kapaliny (obr. 1.13), vyrábějí se i v provedení se třemi břity (obr. 1.14).



Obr. 1.12 Monolitní SK vrták firmy Gühring s povlakem TiN



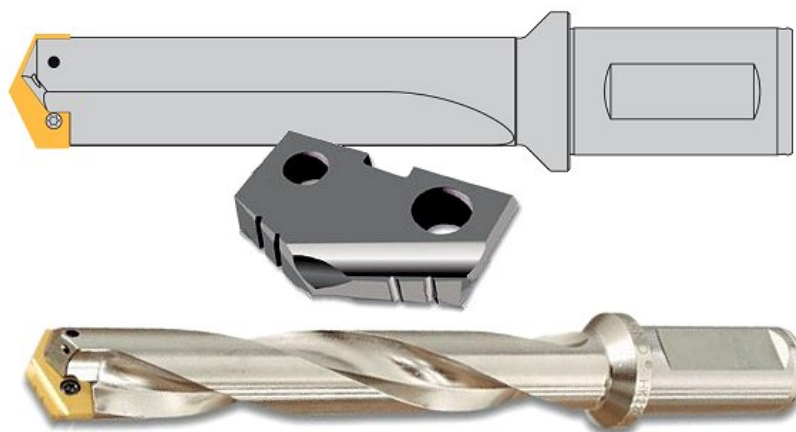
Obr. 1.13 Vrták firmy Klenk s centrálním přívodem řezné kapaliny



Obr. 1.14 Tříbřítý šroubovitý vrták

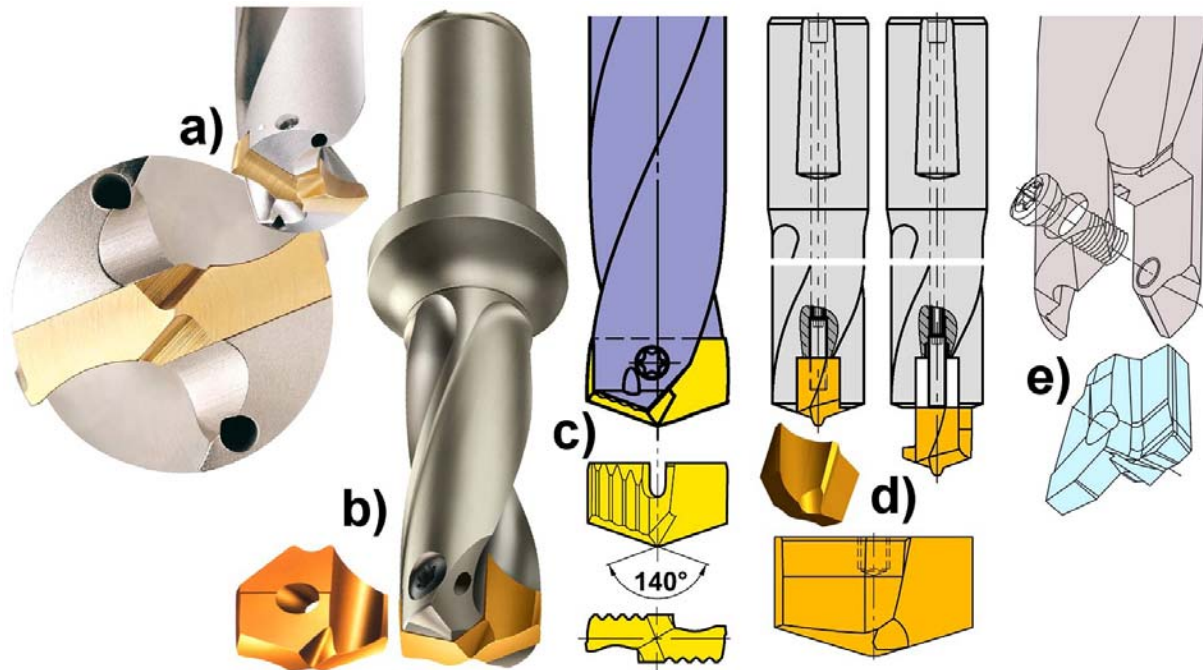
**Kopinaté vrtáky** (obr. 1.15) mají vysokou tuhost a umožňují bez předchozího navrtávání vrtat díry o průměru 10 až 128 mm (závisí na sortimentu daného výrobce), do poměru délky k průměru  $L/D=3/1$ . Většina současných kopinatých vrtáků umožňuje vnitřní přívod řezné kapaliny. Parametry drsnosti povrchu vyvrtané díry jsou horší než po vrtání šroubovitým vrtákem.

Vyměnitelné břitové destičky mají speciální tvar a mohou být vyrobeny z rychlořezných ocelí nebo slinutých karbidů (včetně povlakovaných). Obvykle mají nástrojový úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r=66^\circ$ , pro spolehlivé dělení odebírané třísky jsou na obou jejich hlavních hřbetech vybroušeny dělicí drážky. Pro snížení tření ve vrtané díře jsou na hlavních hřbetech destiček vytvořeny fazetky.

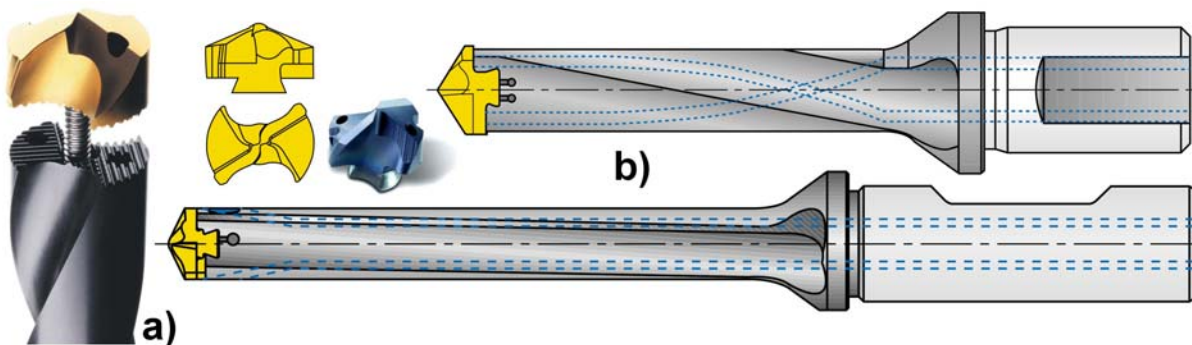


Obr. 1.15 Kopinaté vrtáky SHARK-Drill německé firmy Arno

**Vrtáky s vyměnitelnou špičkou** jsou vyráběny ve dvou základních konstrukčních provedeních - se špičkou ve formě břitové destičky (obr. 1.16) nebo hlavice (obr. 1.17). V některých případech umožňují centrální přívod řezné kapaliny přímo do místa řezu, špičky (destičky i hlavice) jsou vesměs vyráběny ze slinutých karbidů (většinou povlakovaných). Hlavice mají různou geometrii, podle obráběného materiálu a požadavků technologické operace, pro kterou jsou určeny.



Obr. 1.16 Vrtáky s vyměnitelnou destičkou: a) Gühring, b) Walter Xtra.tec, c) Mitsubishi TAW, d) Kennametal KSEM, e) Kyocera Magic-Drill Mini,



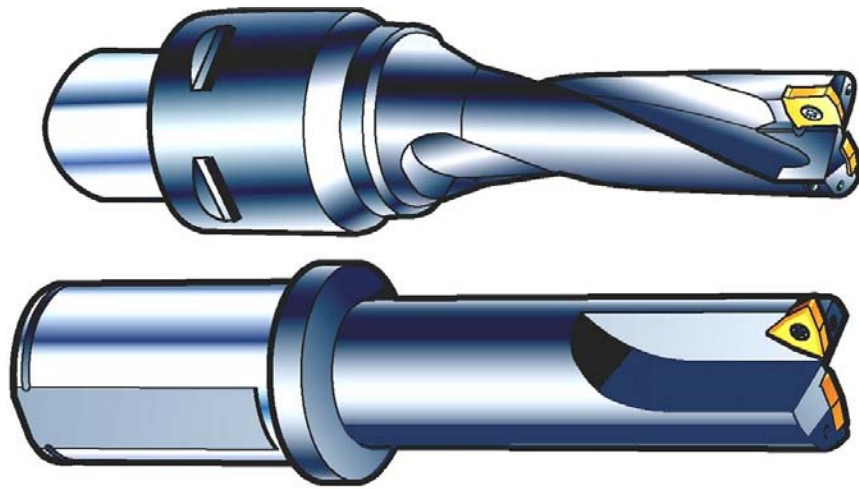
Obr. 1.17 Vrtáky s vyměnitelnou hlaví: a) Seco CrownLoc, b) Iscar ChamDrillJet

**Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami** (obr. 1.18, 1.19) mají několik břitových destiček ze slinutých karbidů (s pozitivní geometrií čela), upnutých v tělese držáků pomocí šroubů se zapuštěnou hlavou. Protože řezná rychlost podél hlavního ostří není u vrtáků konstantní, jsou obvodové destičky, které pracují s vyšší řeznou rychlostí, někdy vyrobeny z materiálu s vyšší odolností proti opotřebení (povlakovaný SK) a středové destičky, které pracují s nízkou řeznou rychlostí, z nepovlakovaného SK. U takovýchto nástrojů je pak trvanlivost obou typů destiček přibližně stejná a po jejím ukončení jsou současně vyměněny použité břity všech destiček.

Tvary používaných břitových destiček jsou velmi rozmanité, tak aby byly zlepšeny nepříznivé pracovní podmínky, které jsou vlastní vrtacím operacím (problémy s dělením třísky a jejím odvodem z místa řezu, tepelné a mechanické zatížení vrtáku, atd.). Někteří výrobci používají břitové destičky se čtyřmi břity, z nichž dva jsou využitelné při montáži destičky v obvodové poloze a dva ve středové poloze.

U nástrojů větších průměrů jsou břitové destičky upínány do tělesa nástroje prostřednictvím výměnných kazet, což umožňuje určitou změnu jmenovitého průměru beze změny

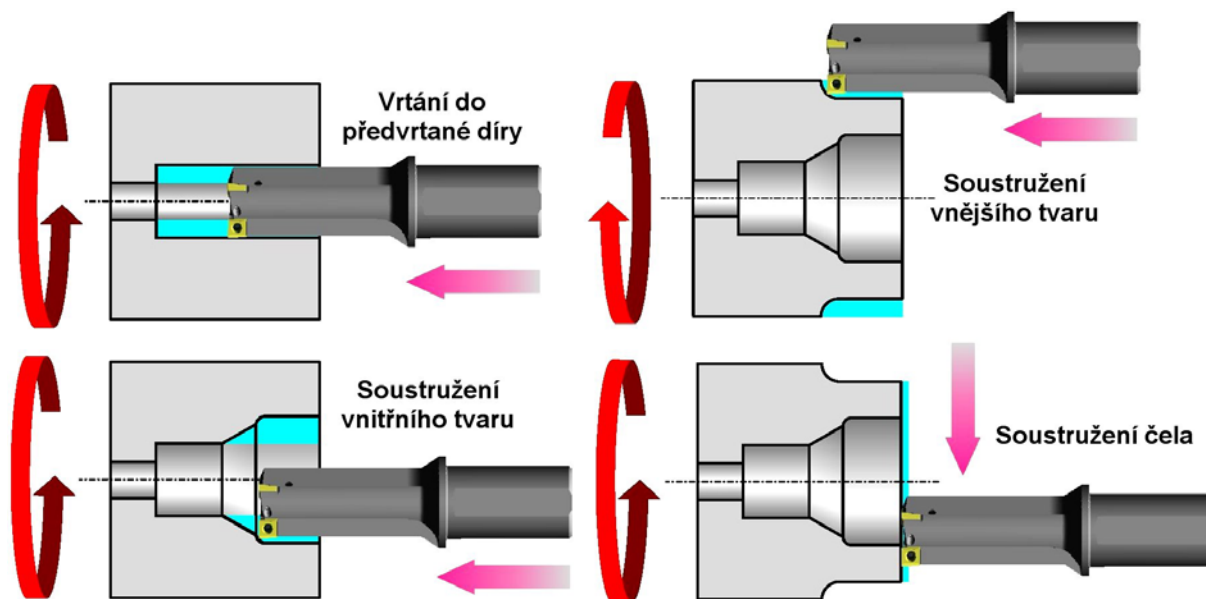
tělesa vrtáku. Prakticky všechny vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami jsou vybaveny centrálním přívodem řezné kapaliny, většina z nich může být mimo vrtání použita i pro soustružení vnitřních i vnějších válcových ploch a čelních rovinných ploch (obr. 1.20).



Obr. 1.18 Vrtáky firmy Sandvik-Coromant

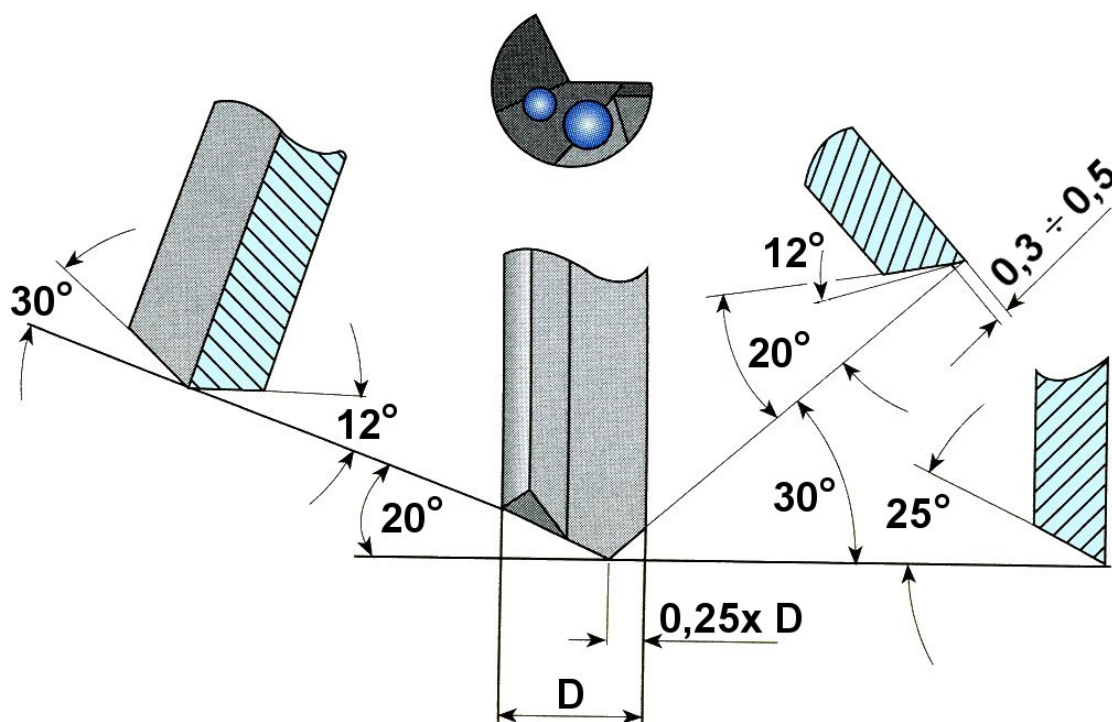


Obr. 1.19 Vrtáky firmy Komet

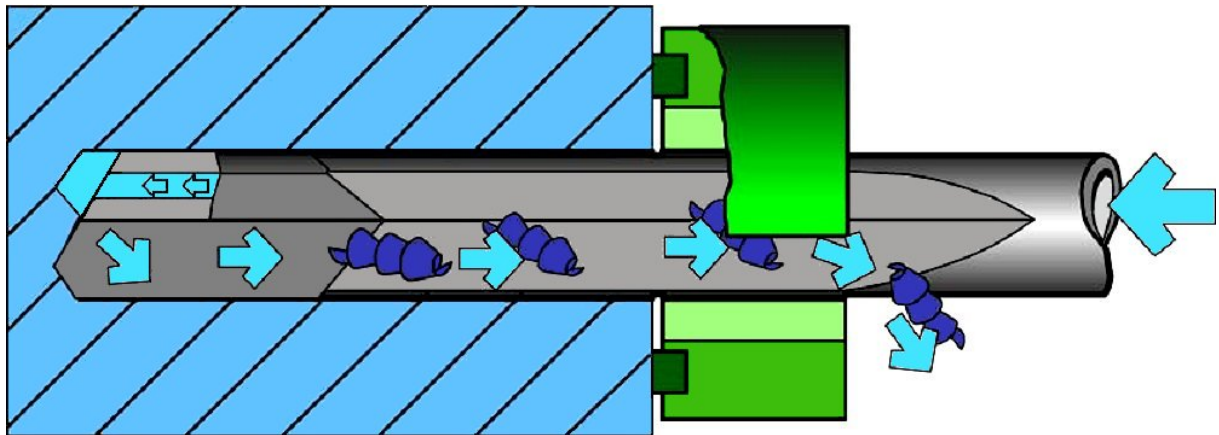


Obr. 1.20 Pracovní možnosti vrtáku s vyměnitelnými břitovými destičkami

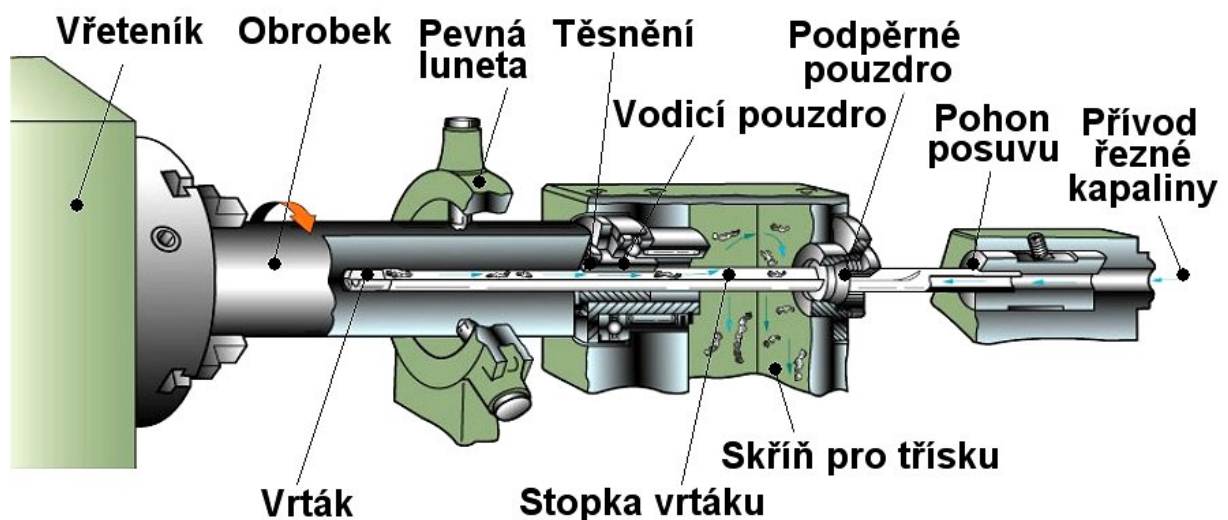
**Dělové a hlavňové vrtáky** se používají pro vrtání hlubokých děr. *Dělové vrtáky* se používají pro menší hloubky, protože nástroj se musí vždy po vyvrtání určité hloubky vytáhnout, aby se z díry odstranily třísky (vrták má geometrii, která nezajišťuje odvod třísek). *Hlavňové vrtáky* (obr. 1.21) jsou určeny pro vrtání přesnějších děr. Řezná část nástroje (z rychlořezné oceli nebo slinutého karbidu) je připájena na trubku nebo tyč potřebné délky. Někdy je řezná část tvořena připájenými břitovými destičkami, spolehlivé středění zajišťují vodítka, rovněž připájená k tělesu vrtáku. Řezná kapalina je přiváděna dírami v tělese vrtáku a zaručuje vyplavování vznikajících třísek (obr. 1.22). Pro vrtání pomocí dělových a hlavňových vrtáků se používají speciálně upravené soustruhy (obr. 1.23).



Obr. 1.21 Geometrie hlavňových vrtáků  $D=4\div 32$  mm firmy Iscar

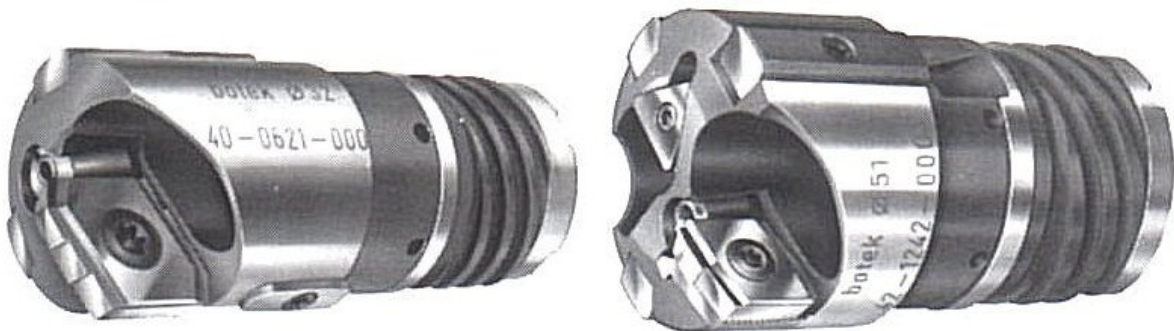


Obr. 1.22 Odvod třísky při vrtání hlavnovým vrtákem



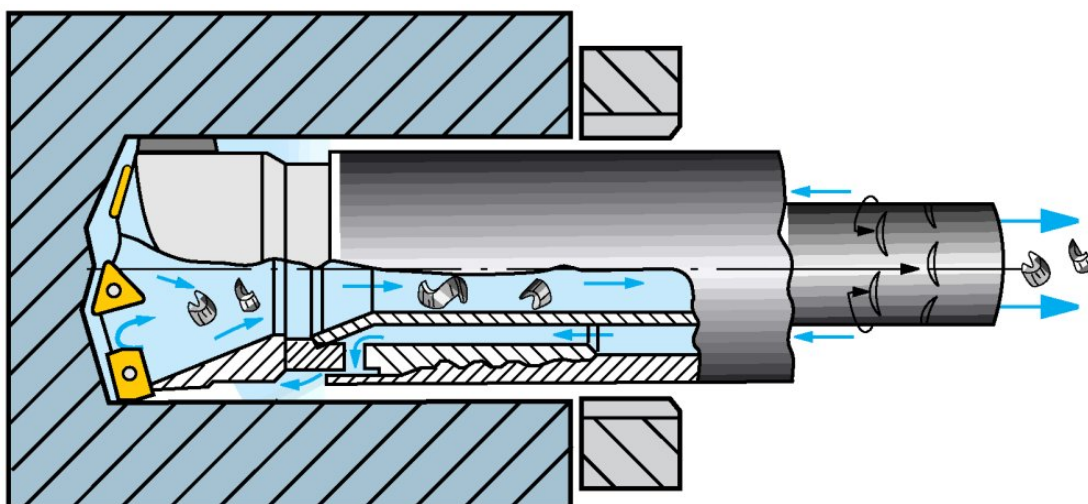
Obr. 1.23 Zařízení pro vrtání hlavnovým vrtákem

**Ejektorový vrták** se skládá z vrtací hlavice (obr. 1.24), která je našroubována do vnější vrtací trubky. Řezná kapalina je přiváděna k břitům nástroje mezikružím mezi vnější a vnitřní trubkou, přičemž její malé množství, odcházející štěrbinami v zadní části vnitřní trubky, způsobuje ejektorový efekt (nasávání kapaliny směrem od břitů vrtáku a strhávání vznikajících třísek - obr. 1.25). Pomocí ejektorových vrtáků lze vrtat díry o průměru 20 až 60 mm, v délce až 100x D (horizontálně) nebo 50x D (vertikálně). Systém může být aplikován na konvenčních obráběcích strojích (obr. 1.26), NC nebo CNC soustruzích, i na obráběcích centrech.

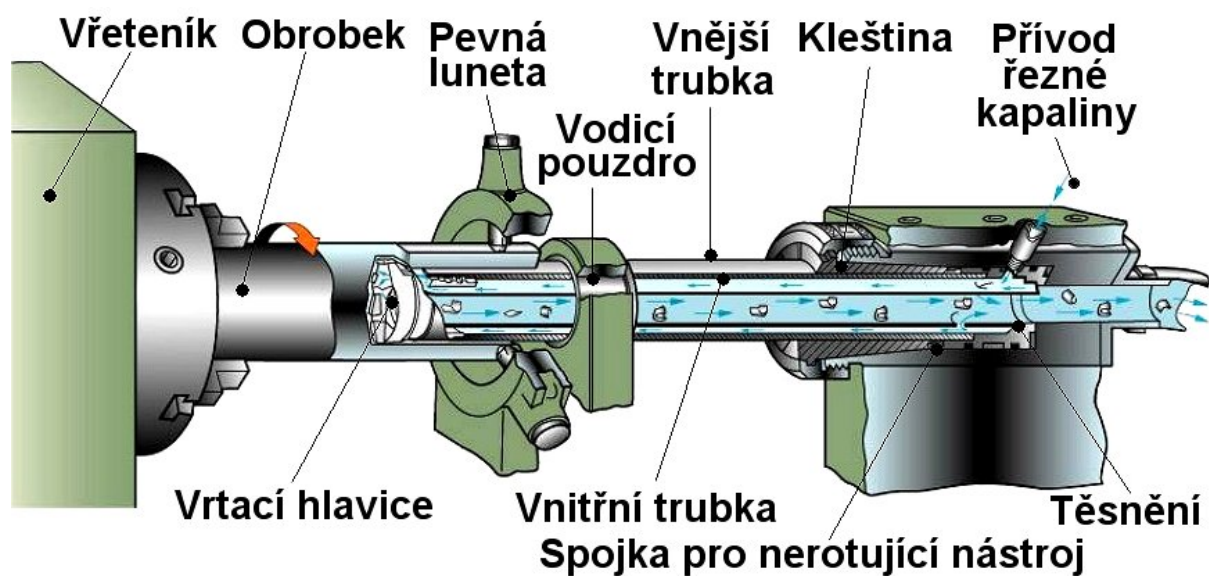


Obr. 1.24 Hlavice ejektorových vrtáků německé firmy Botek

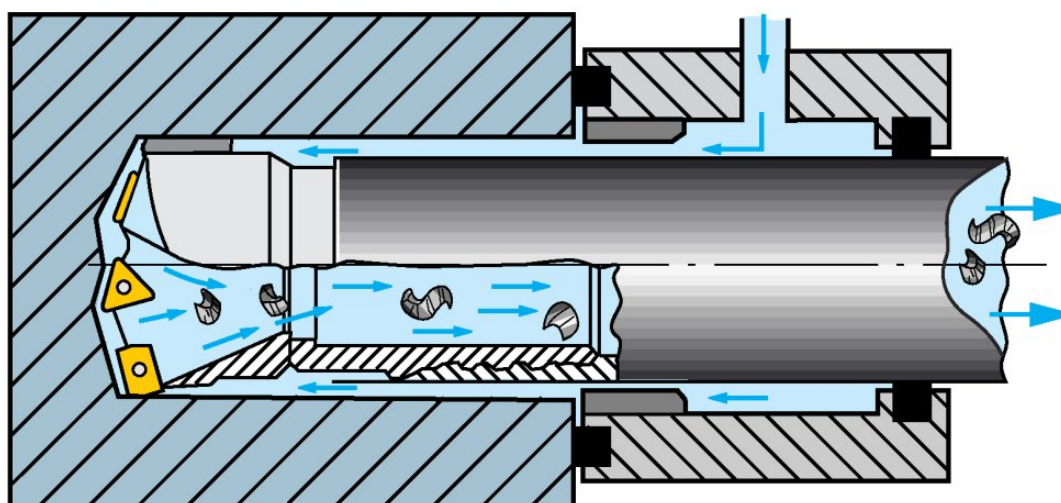




Obr. 1.25 Princip ejektorového vrtání

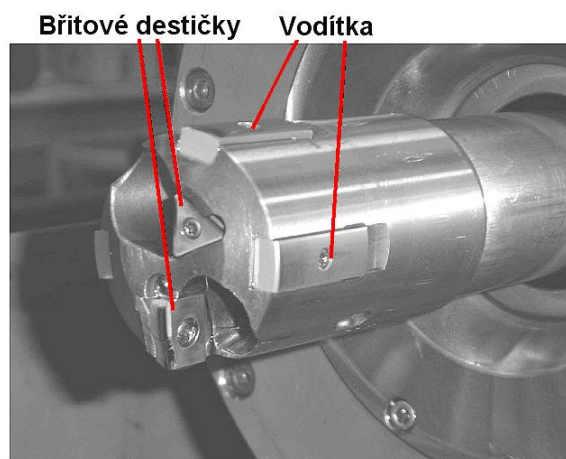


Obr. 1.26 Zařízení pro ejektorové vrtání



Obr. 1.27 Princip funkce BTA a STS vrtáku

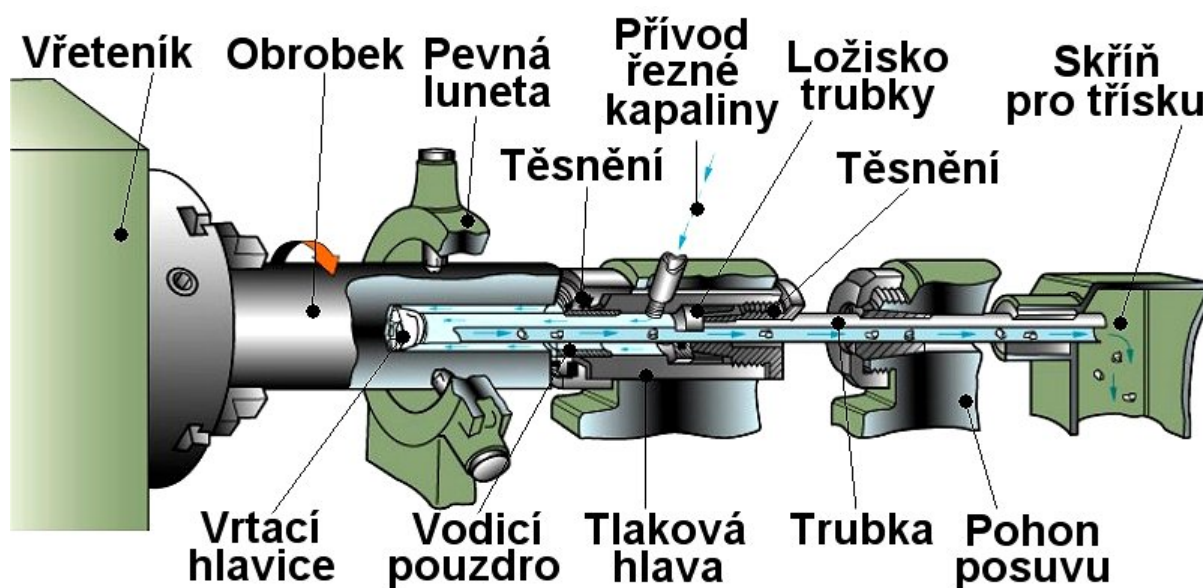
**BTA nebo STS vrtáky** umožňují vrtat do plného materiálu, předvrtané díry i metodou „na jádro“ a lze je použít pro větší rozsahy vrtaných průměrů než vrtáky ejektorové. Vrtací hlavice do plného materiálu jsou vyráběny až do průměru 180 mm, vrtací hlavice pro vrtání „na jádro“ v rozsahu průměrů 120 až 300 mm. Řezná kapalina je u tohoto typu vrtáků přiváděna mezerou mezi stěnou vrtané díry a trubkou vrtáku a spolu se vznikající třískou odváděna středem trubky (obr. 1.27). Proto musí být tlaková hlava pro přívod řezné kapaliny utěsněna z obou stran (obr. 1.30), těsnění se nachází i na čelní ploše obrobku, kde vrták vstupuje do obráběného materiálu.



Obr. 1.28 BTA vrták



Obr. 1.29 STS vrtací hlavice Corodril 800



Obr. 1.30 Zařízení pro STS vrtání

### 1.1.5. Vrtačky

Vrtání, ale také vyhrubování, vystružování a zahlubování se nejčastěji provádí na vrtačkách. V případě potřeby se uvedené metody realizují též na soustruzích, vodorovných vyvrtávačkách a obráběcích centrech.

Vrtačky se podle konstrukčního provedení člení na *ruční, stolní, sloupové, stojanové, otočné, vodorovné na hluboké díry a speciální*. Velikost vrtaček se posuzuje podle maximálního průměru díry, kterou lze na vrtačce vrtat zcela do oceli střední pevnosti.

**Stolní vrtačky** (obr. 1.31) mají velmi jednoduchou konstrukci. Vřeteník, který nese motor, je posuvný po krátkém sloupu, takže lze snadno nastavovat jeho výškovou polohu vzhledem k pracovnímu stolu. Otáčky vřeten se mění pomocí stupňovité řemenice, na které se ručně přemísťuje klínový řemen. Posuv vřeten s nástrojem je obvykle ruční. Stolní vrtačky se vyrábí ve velikostech V6, 10, 16 a 20, jako jednovřetenové nebo řadové, s uspořádáním vřeten v jedné řadě na společném stole.

**Sloupové vrtačky** (obr. 1.32) umožňují vertikální posuv vřeteníku i pracovního stolu po sloupu, který je jejich základním konstrukčním prvkem. Otáčky vřeten lze stupňovitě regulovat pomocí vestavěné převodovky, posuv vřeten je mechanický. Menší součásti se upínají na pracovní stůl, větší na základovou desku vrtačky. **Stojanové vrtačky** se od sloupových vrtaček liší tím, že pracovní stůl i vřeteník se výškově přesouvají po vedení stojanu, který má skříňovitý průřez.



Obr. 1.31 Stolní vrtačka



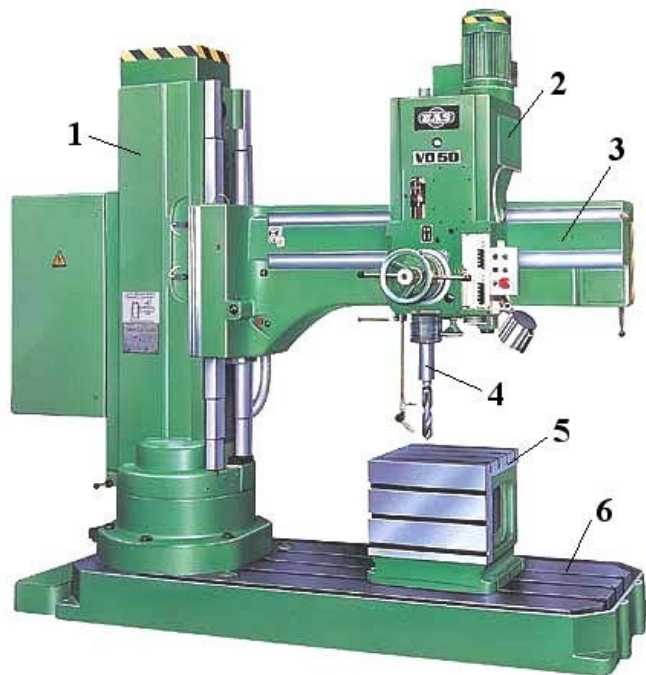
Obr. 1.32 Sloupová vrtačka

**Otočné vrtačky** se používají pro vrtání děr do těžších a rozměrnějších obrobků. Jejich charakteristickou součástí je rameno, na němž se po vedení pohybuje ve vodorovném směru pracovní vřeteník. Rameno se u většiny otočných vrtaček pohybuje svisle po vedení stojanu skříňovitého průřezu (obr. 1.33), který je otočně uložen na vnitřním sloupu. U některých pro-

vedení otočných vrtaček je rameno uloženo točně i suvně na přesně broušeném sloupu (obr. 1.34).

**Montážní vrtačky** jsou zvláštním provedením otočných vrtaček. Jsou přenosné a používají se v montážních dílnách. Obrobek se upíná na pevný pracovní stůl nebo stavitelnou kostku. Nastavení libovolného vyložení vřeteníku na rameni a možnost otáčení ramena v rozsahu 360° umožňuje provádět vrtací operace ve velkém prostoru kolem vrtačky.

**Speciální vrtačky** se využijí pro specializované vrtací operace. Patří sem vrtačky na hluboké díry, souřadnicové vrtačky, vícevřetenové vrtačky, stavebnicové vrtačky s vrtacími hlavami, apod.



Obr. 1.33 Otočná vrtačka: 1-stojan, 2-vřeteník, 3-rameno, 4-vřeteno, 5-upinací kostka, 6-základová deska



Obr. 1.34 Otočná vrtačka

## 1.2. VYHRUBOVÁNÍ

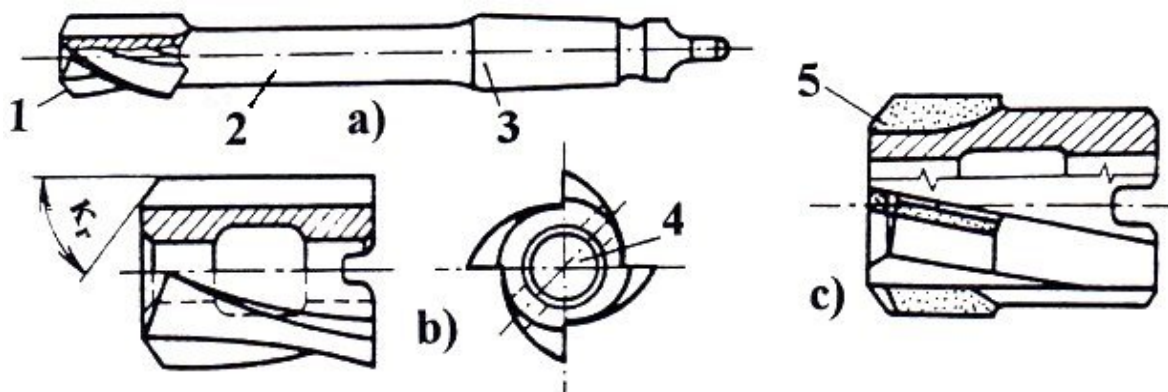
Protože vrtání je hrubovací operace, má vyvrtaná díra většinou špatné geometrické parametry (velká tolerance jmenovitého průměru, špatná kruhovitost i válcovitost, případně i vychýlení osy z požadovaného směru) a vysokou drsnost obrobeneho povrchu. Při vyšších požadavcích na výslednou kvalitu vyrobené díry je proto třeba použít další obráběcí operace a to vyhrubování a vystružování.

Díry do průměru 10 mm se pouze vystružují, větší díry se vyhrubují a pak vystružují. Je tedy zřejmé, že vyhrubování nikdy není konečnou obráběcí operací a vždy po něm musí následovat vystružování. Úkolem vyhrubování je zpřesnění geometrických parametrů obráběné díry, úkolem vystružování je komplexní výroba přesné díry s požadovanými geometrickými parametry a drsností povrchu obrobeneho plochy. Přídavky pro vyhrubování a vystružování závisí především na požadované kvalitě obrobeneho díry, ale i na druhu obráběného a nástrojového materiálu, konstrukci nástroje a dalších činitelích.

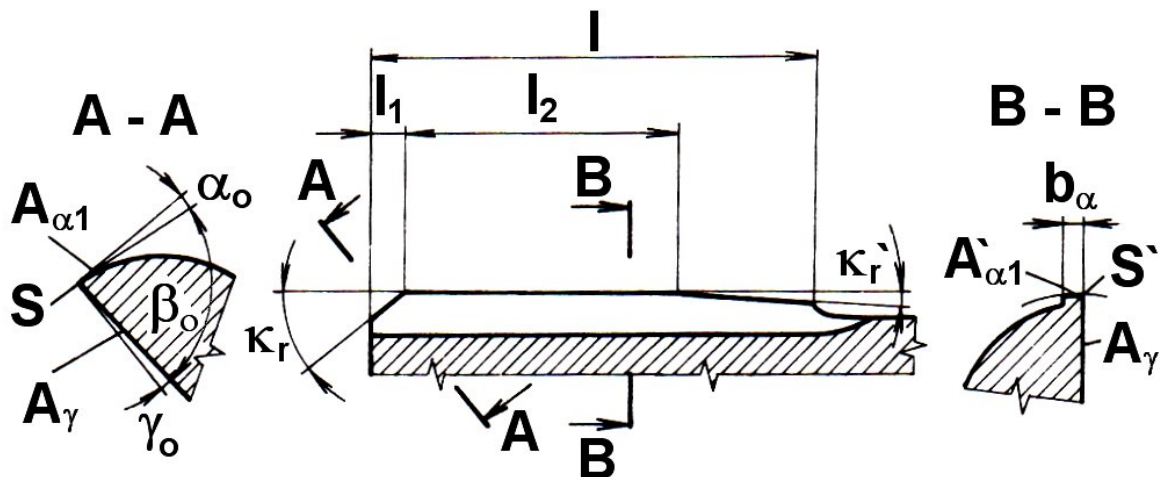
Jmenovité hodnoty průměrů vrtáků, výhručníků a výstružníků pro výrobu přesných děr různých průměrů jsou uvedeny v tabulce 1.1.

Tab. 1.1 Jmenovité průměry nástrojů pro výrobu přesných děr

Jmenovitý průměr [mm]			
Díra	Vrták	Výhručník	Výstružník
4	3,8	-	4
6	5,8	-	6
8	7,8	-	8
10	9,8	-	10
12	11,25	11,80	12
14	13,25	13,80	14
16	15,25	15,80	16
18	17,00	17,80	18
20	19,00	19,75	20
22	20,50	21,75	22
24	22,25	23,75	24
26	24,25	25,75	26
28	26,25	27,75	28
30	28,25	29,75	30



Obr. 1.35 Výhručníky: a) stopkový; b),c) nástrčné; 1-řezný kužel, 2-tělo, 3-upínací stopka, 4-upínací díra, 5-pájené břitové destičky ze slinutého karbidu



Obr. 1.36 Tvar a geometrie zubu výhručníku z rychlořezné oceli

Výhrubníky jsou vícebřité nástroje (obvykle mají čtyři břity, u větších průměrů 5 i více břitů), vyráběné ve dvou konstrukčních provedeních - jako stopkové (obr. 1.35a, do jmenovitého průměru  $D=32$  mm, kuželová stopka) a nástrčné (obr. 1.35b, 1.35c, od jmenovitého průměru  $D=24$  mm). Zuby jsou většinou frézované, v pravé šroubovici, nástrojovým materiálem jsou rychlořezné oceli 19 800 nebo 19 830. Stopkové výhrubníky mají tělo z kvalitní konstrukční oceli a z rychlořezné oceli je vyrobena pouze jejich řezná část, která je k tělu přivařena tupým svarem. Oba typy výhrubníků mohou mít připájené břity ze slinutých karbidů (v tomto případě je celé tělo nástroje vyrobeno z konstrukční oceli).

Doporučený tvar a geometrie zubu výhrubníku z rychlořezné oceli jsou uvedeny na obrázku 1.36, doporučené hodnoty příslušných nástrojových úhlů v tabulce 1.2. V závislosti na průměru nástroje se volí délka řezného kužele  $l_1=1\div 3$  mm, délka vodící části  $l_2=(0,75\div 0,80)l$  a šířka fazetky  $b_\alpha=1\div 3$  mm. U výhrubníků s břity ze slinutých karbidů má úhel sklonu šroubovice hodnotu  $\omega=10^\circ$ , nástrojový ortogonální úhel čela hodnotu  $\gamma_o=5^\circ$ . Ostatní parametry jsou stejné jako u výhrubníků z rychlořezných ocelí.

Tab. 1.2 Doporučená geometrie břitu výhrubníku z RO

Obráběný materiál	Úhel			
	$\omega$ [°]	$\alpha_o$ [°]	$\kappa_r$ [°]	$\kappa_r'$ [']
Oceli $R_m=600\div 800$ MPa	8 ÷ 12	8	60	2 ÷ 5
Oceli $R_m=800\div 1200$ MPa	0 ÷ 5	6		
Šedé litiny	6 ÷ 8	8	45	
Tvrzené litiny	0 ÷ 5	6		
Hliníkové slitiny	25 ÷ 30	10	60	

### 1.3. VYSTRUŽOVÁNÍ

Vystružování je dokončovací operace pro výrobu přesných děr s předepsanými geometrickými parametry a drsností povrchu obrobenej plochy. Přídavek na vystružování nesmí být příliš malý, protože nástroj by v tomto případě obráběný materiál neodřezával, ale pouze vytlačoval a vytvořená díra by neměla požadovaný kruhový průřez (vznikal by mnohohran), ani požadovanou drsnost povrchu. Navíc by docházelo k velmi rychlému opotřebení jednotlivých břitů výstružníku. V praxi se proto přídavek na průměr vystružované díry obvykle určuje podle vztahu:

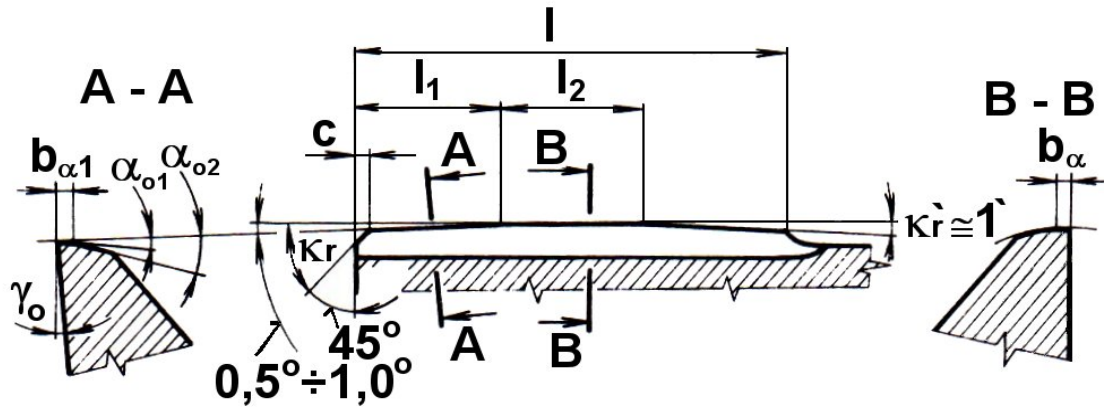
$$p = 0,1 + 0,005 \cdot D \text{ [mm]}, \quad (1.24)$$

kde:  $D$  [mm] je jmenovitý průměr vystružované díry.

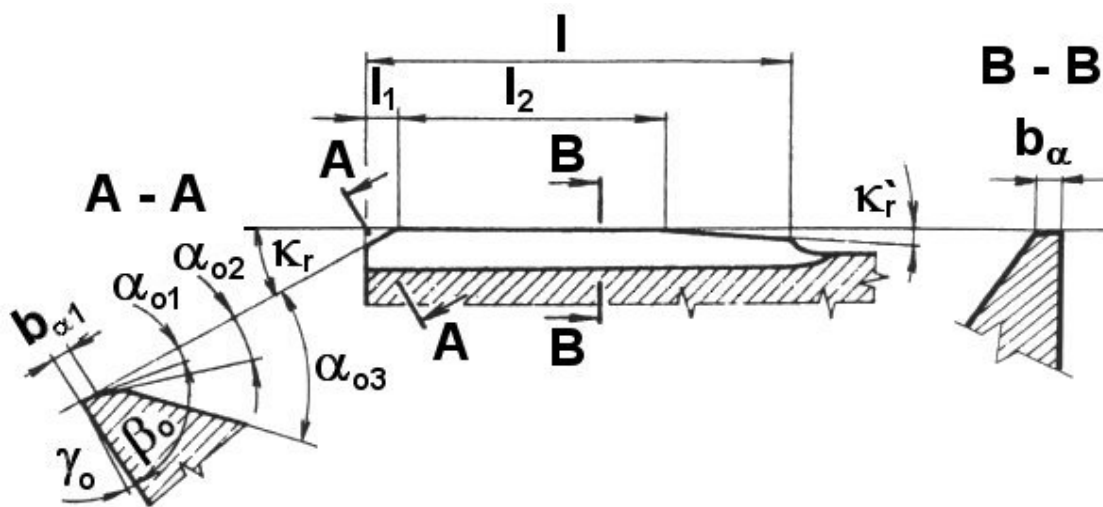
S malými hodnotami přídavku na vystružování souvisí i nutnost přesného broušení výstružníků tak, aby jejich břity byly co nejostřejší, s poloměrem zaoblení ostří menším než  $r_n=10$   $\mu\text{m}$ . Toho lze dosáhnout pečlivým broušením a lapováním břitů.

Výstružníky mají zuby přímé nebo ve šroubovici, s úhlem stoupání  $\omega=5^\circ\div 20^\circ$ . Pracovní část se podobně jako u výhrubníků skládá z řezného kužele a válcové části (obr. 1.37, 1.38). U výstružníků s přímými zuby se s výhodou používá nerovnoměrná rozteč zubů, která zabezpečuje dobrou kruhovitost díry a vysokou kvalitu jejího povrchu. Počet zubů výstružníku závisí na jeho průměru a pohybuje se v rozsahu od 4 do 18.

Podle způsobu práce lze výstružníky rozdělit na ruční a strojní, podle způsobu upínání na stopkové (válcová nebo kuželová stopka) a nástrčné - obr. 1.39 až 1.41.



Obr. 1.37 Tvar a geometrie zubu ručního výstružníku



Obr. 1.38 Tvar a geometrie zubu strojního výstružníku

Tab. 1.3 Doporučené hodnoty úhlů hřbetu a čela pro strojní výstružníky z RO

Obráběný materiál	$\alpha$ [°]	$\gamma$ [°]	Sklon zubů
Oceli $R_m=700$ MPa	5 ÷ 7	0	přímé zuby
Oceli $R_m=1000$ MPa	5 ÷ 6	3 ÷ 5	levá šroubovice, $\omega = 6^\circ$
Austenitické oceli		5 ÷ 6	pravá šroubovice, $\omega = 6^\circ$
Slitiny hliníku, tvářené	8 ÷ 10	8 ÷ 10	levá šroubovice, $\omega = 10^\circ$
Slitiny hliníku, slévárenské	10 ÷ 12	0	přímé zuby

Tab. 1.4 Doporučené hodnoty vybraných parametrů zubů strojních výstružníků z RO

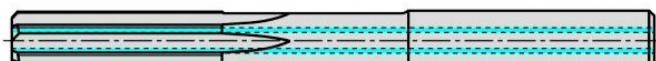
Průměr výstružníku	Rozměry [mm]				Uhly		
	$l_1$	$l_2$	$b_\alpha$	$b_{\alpha 1}$	$\alpha_{o1}$ [°]	$\alpha_{o2}$ [°]	$\kappa_r'$ [']
2 ÷ 3	0,3	0,75 x 1	0,1	0,15	8	25	1 ÷ 3
3,0 ÷ 5,5	0,5		0,2	0,25			
5,5 ÷ 8,0	0,8		0,3	0,35	7	16	
8 ÷ 30	1,0				6	12	
30 ÷ 60	1,5				5	10	
60 ÷ 125	2,0		0,4	0,40	4	8	
125 ÷ 200	2,5				3		



**Strojní výstružník s kuželovou stopkou a přímými zuby**



**Strojní výstružník s válcovou stopkou a přímými zuby**



**Strojní výstružník s vnitřním přívodem rezné kapaliny**



**Strojní kuželový loupací výstružník**



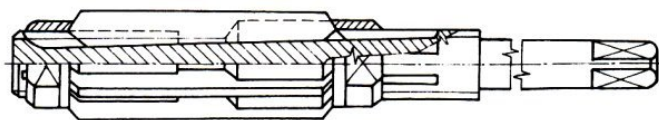
**Ruční výstružník s přímými zuby**



**Ruční kuželový výstružník s přímými zuby**



**Ruční kuželový výstružník se zuby ve šroubovici**



**Ruční stavitelný výstružník**



**Nástrčný výstružník s přímými zuby**



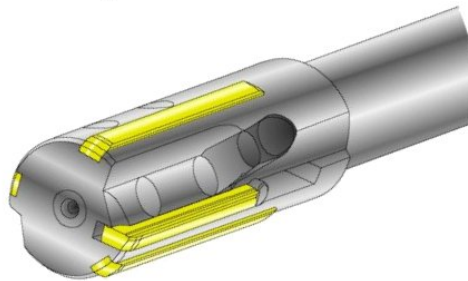
**Nástrčný výstružník se zuby ve šroubovici**



**Ruční rozpínací výstružník**



**Nástrčný výstružník HAM-Final s břity ze slinutého karbidu**



**Jednobřitý strojní výstružník**

*Obr. 1.39 Výstružníky*

**Ruční výstružníky** jsou vyráběny zpravidla s válcovou stopkou zakončenou čtyřhranem. Mají delší reznou část než strojní výstružníky.

**Strojní výstružníky** mají kuželovou nebo válcovou stopku, větší průměry jsou vyráběny v nástrčném provedení.

**Rozpínací výstružníky** mají duté těleso a v podélném směru jsou mezi jednotlivými zuby rozříznuté. Vtlačování kužele do kuželové díry v tělese se výstružník rozpíná a zvětšuje se tak průměr obalové kružnice zubů. Rozpínací výstružníky se s výhodou používají při opravách a renovaci strojních dílů.

**Stavitelné výstružníky** mají zuby posuvné v drážkách na kuželové ploše tělesa výstružníku. Posouváním zubů v jednom nebo ve druhém směru se průměr obalové kružnice zubů zvětšuje nebo zmenšuje.



**Jednobřité výstružníky** mají v tělese mechanicky upevněnu břitovou destičku ze slinutého karbidu a dvě až tři vodítka, rovněž ze slinutého karbidu.

**Loupací výstružníky** umožňují velmi produktivně vystružovat díry v rozsahu průměrů  $D=15\div 80$  mm řeznou rychlostí  $v_c=15\div 20$  m  $\text{min}^{-1}$  a posuvem na otáčku  $f = 0,4\div 1,0$  mm.



Obr. 1.40 Výstružníky švédské firmy Dormer

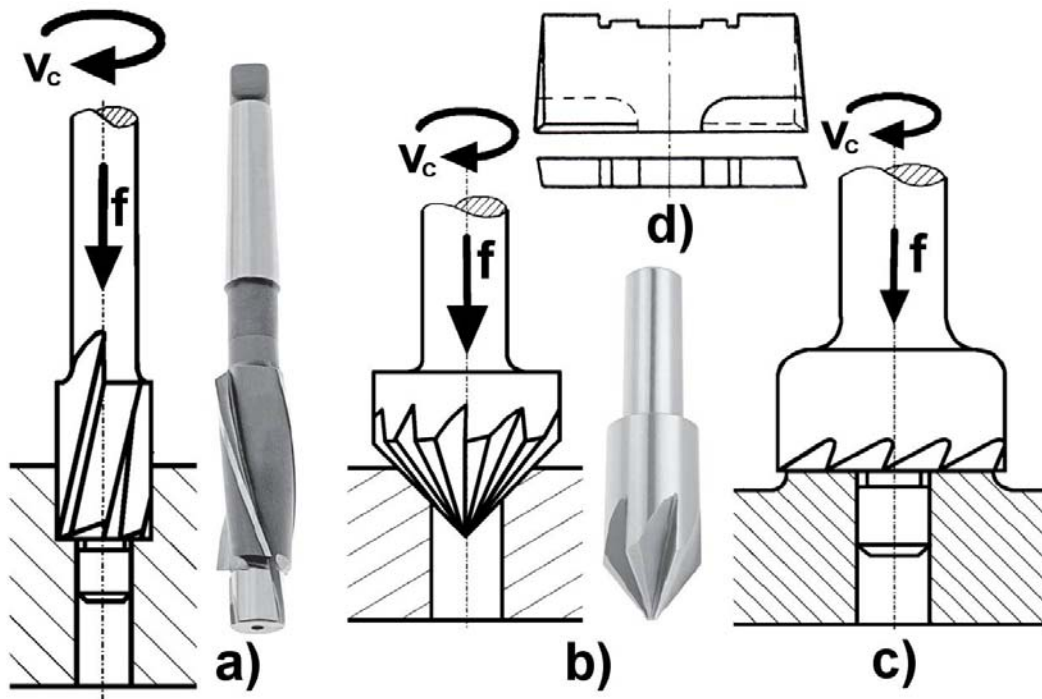


Obr. 1.41 Výstružníky německé firmy Dihart

## 1.4. ZAHLUBOVÁNÍ

Zahlubování slouží k obrobení souosého válcového (obr. 1.42a) nebo kuželového zahloubení děr (obr. 1.42b) pro válcové nebo kuželové hlavy zapuštěných šroubů. Za zahlubování se považuje i zarovnávaní čelní plochy (obr. 1.42c), kde lze použít i ploché dvoubřité záhlubníky (obr. 1.42d), upnuté ve vybrání tělesa nástroje. V souladu s uvedenou technologickou specifikací lze záhlubníky rozdělit na válcové (stopkové nebo nástrčné), kuželové a ploché. Válcové a ploché záhlubníky jsou vedeny v předvrtané díře vodícím čepem, kuželové záhlubníky mají samostředící efekt a proto vodící čep většinou nemají. Zuby záhlubníků (obvykle čtyři, u kuželových záhlubníků na zkosení hran  $6\div 10$ ) jsou vyrobeny frézováním nebo podsoustružením a mohou být přímé, nebo v pravé šroubovici. Řezná část záhlubníků je vyrobena z rychlořezné oceli, případně slinutého karbidu (bez povlaku i s otěruvzdornými povlaky), nebo ji tvoří vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů.

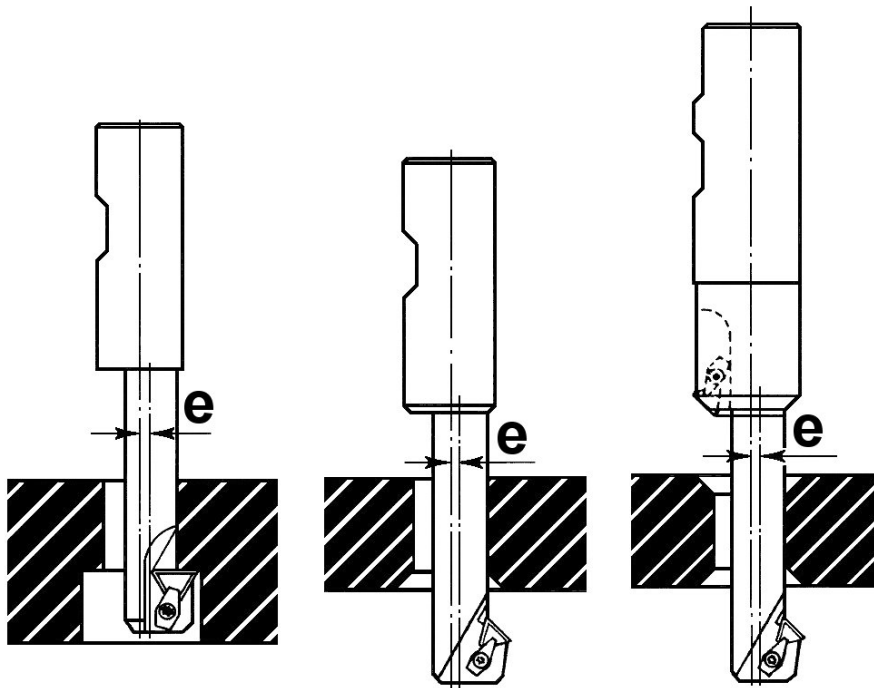
Pro zahlubování v nepřístupných místech (tzv. „zpětné“ zahlubování) jsou určeny speciální záhlubníky (na obr. 1.43 označeny šipkou), u nichž je těleso s řeznou částí umístěno vůči upinací stopce excentricky (hodnota  $e$  na obrázku 1.44). Po zasunutí nástroje do předvrtané díry dojde k přesunu obrobku ve směru kolmém k ose vřetena obráběcího stroje (o příslušnou hodnotu, maximálně  $e$ ) a po spuštění rotace vřetena je pomocí zpětného osového posuvu vytvořeno požadované zahloubení.



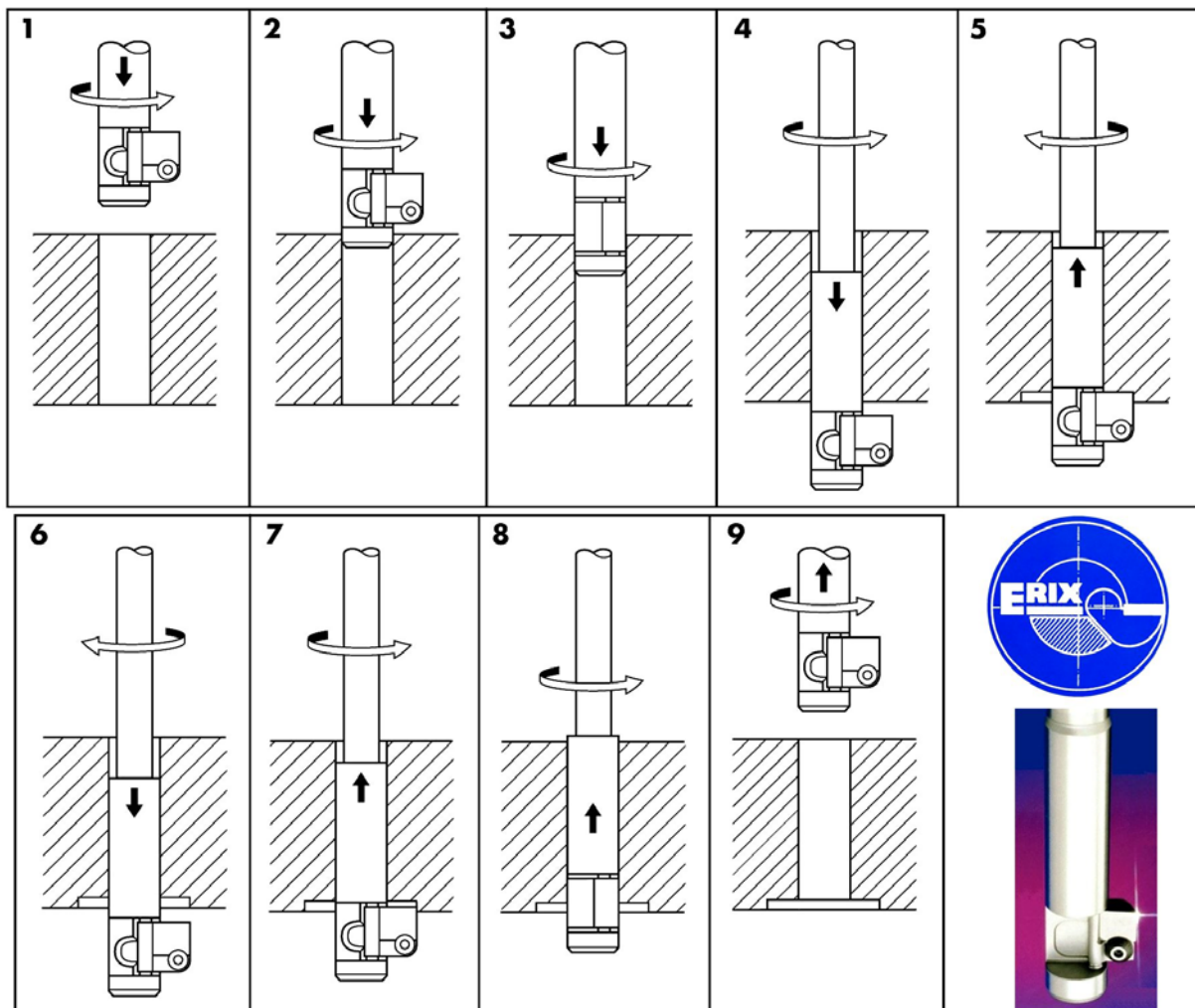
Obr. 1.42 Způsoby zahlubování a základní druhy záhlubníků



Obr. 1.43 Záhlubníky švédské firmy Granlund



Obr. 1.44 Zpětné zahlubování

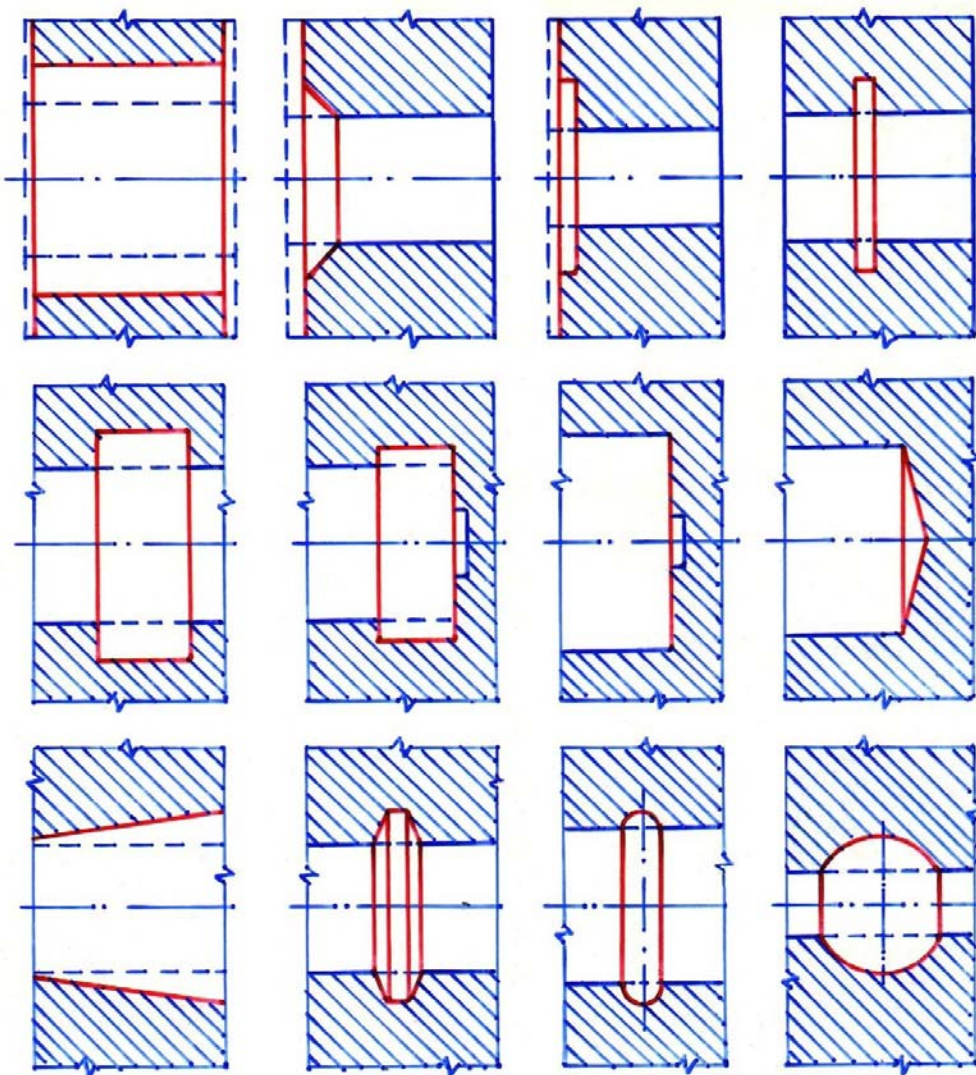


Obr. 1.45 Princip funkce zpětného záhlubníku švédské firmy Erix Tool

Zajímavou konstrukci má zpětný záhlubník švédské firmy Erix Tool (obr. 1.45), který využívá principu sklopného ramena s mechanicky upnutou vyměnitelnou břitovou destičkou ze slinutého karbidu. Při zasouvání do předvrtané díry rotuje nástroj levými otáčkami, což umožní automaticky sklopit rameno tak, aby řezná část nástroje prošla dírou do výchozí polohy. Zde se pomocí pravých otáček rameno automaticky vyklopí do pracovní polohy a při zpětném osovém posuvu může nástroj provést požadovanou zahlubovací operaci. Fixace v pracovní poloze je zajištěna tvarem opěrných ploch, proti kterým je rameno tlačeno vznikajícím řezným odporem. Po provedení operace se nástroj vrátí do výchozí polohy, otáčky se změny na levé, zpětným posuvem se rameno opět sklopí a nástroj lze z díry bez problémů vytáhnout.

## 2. VYVRTÁVÁNÍ

Vyvtávání je metoda obrábění, při níž se rozšiřují předlité, předkované, předlisované, předvrtané nebo jinými způsoby předpracované díry na požadovaný rozměr nebo tvar. Tato metoda se používá jak pro hrubování, tak pro práci na čisto.

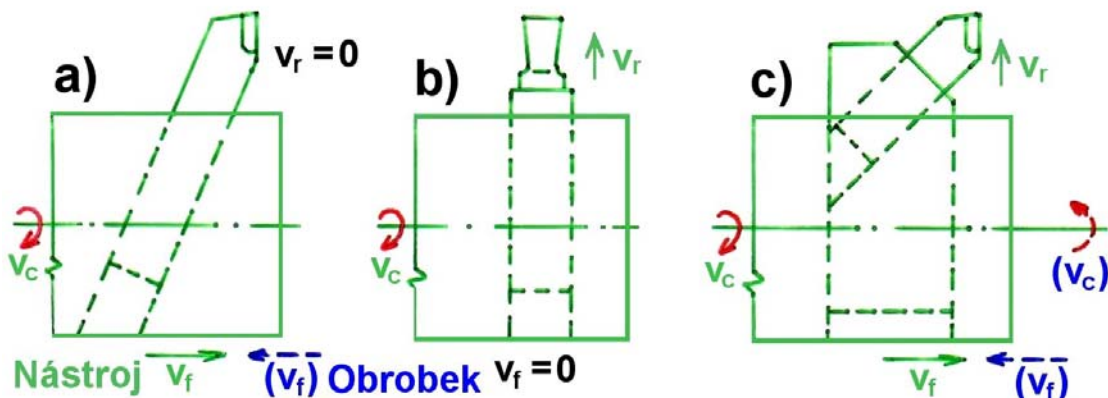


Obr. 2.1 Příklady ploch obráběných vyvtáváním

Při vyvrtávání se obrábí vyvrtávacími noži upevněnými ve vyvrtávacích tyčích nebo hlavách. Obráběné rotační plochy mají geometrický tvar válce, kužele, čelního mezikruží nebo rotační tvarové plochy (obr. 2.1). Vyvrtáváním lze též obrábět vnitřní zápichy a řezat vnitřní závity. U složitějších obrobků mohou být všechny uvedené tvarové prvky kombinovány v různém uspořádání na jedné nebo více osách rozložených v rovině nebo prostoru. Vyvrtávací stroje navíc v případě potřeby umožňují obrábět jmenované povrchy a plochy i ve vnějším provedení.

Kinematika vyvrtávání může být realizována na základě některého ze tří základních způsobů (obr. 2.2):

- Nástroj vykonává řezný pohyb  $v_c$ , vyvrtávací nůž je pevně uložen v nástroji a nástroj (nebo obrobek) koná podélný posuvový pohyb  $v_f$ . Radiální posuvový pohyb  $v_r$  je roven nule, nůž je vůči obrobku nastaven na konstantní hodnotu šířky záběru ostří  $a_p$ . Při této kinematice lze obrábět válcové plochy.
- Nástroj vykonává řezný pohyb  $v_c$ , vyvrtávací nůž se vysouvá z nástroje v radiálním směru plynule (rychlostí  $v_r$ ) nebo po přítržích (obvykle za jednu otáčku), podélný posuvový pohyb  $v_f$  je roven nule. Při této kinematice jsou obráběny zápichy.
- Nástroj nebo obrobek vykonávají hlavní pohyb  $v_c$  i podélný posuvový pohyb  $v_f$ , přičemž se nůž z nástroje plynule (rychlostí  $v_r$ ) nebo po přítržích vysouvá současně v radiálním směru. Při této kinematice jsou obráběny tvarové rotační plochy.



Obr. 2.2 Kinematika vyvrtávání

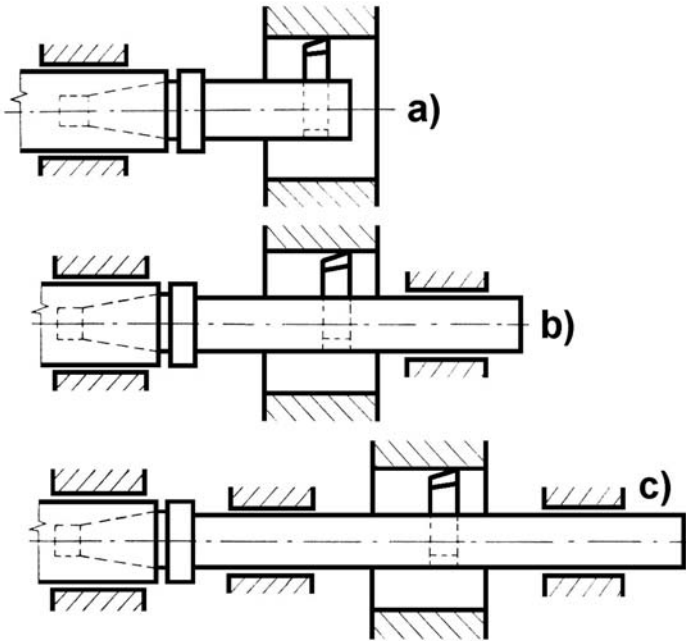
## 2.1. Nástroje

K běžným požadavkům vyvrtávacích operací patří možnost seřízení nástroje na předepsaný rozměr ještě před upnutím na obráběcí stroji. Řezná část nástroje se seřizuje pomocí základních dílenských měřidel (číselníkové úchylkoměry), nebo častěji na jednosouřadnicových nebo vícesouřadnicových seřizovacích přístrojích (mechanických - obr. 2.3, nebo optických). Nástroje pro vyvrtávání je možno klasifikovat z několika základních hledisek, podle:

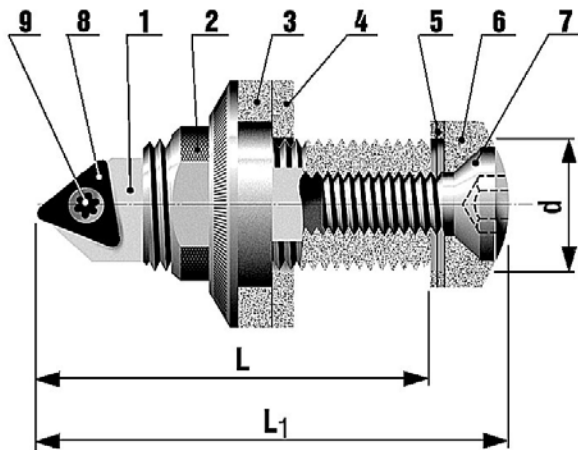
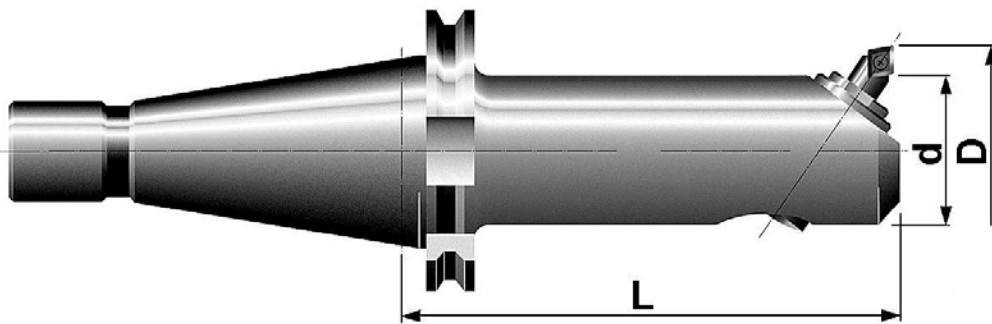
- upnutí - letmý vyvrtávací nástroj (obr. 2.4a), podepřený vyvrtávací nástroj (v jednom vodičím pouzdře - obr. 2.4b nebo ve dvou vodičích pouzdrech - obr. 2.4c),
- konstrukce - vyvrtávací tyče (obr. 2.5, 2.6, 2.7, 2.9), vyvrtávací hlavy (obr. 2.8),
- charakteru operace - hrubovací, dokončovací, pro jemné vyvrtávání,
- způsobu výměny - pro ruční výměnu, pro automatickou výměnu,
- počtu řezných částí - nástroje jednožobové, nástroje vícenožové (obr. 2.10),
- možnosti nastavení rozměru - s pevně nastaveným rozměrem, s možností axiálního nebo radiálního doladění rozměru.



Obr. 2.3 Seřizovací přístroj

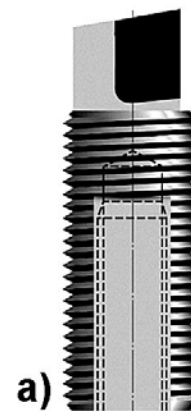
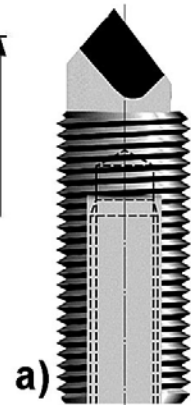
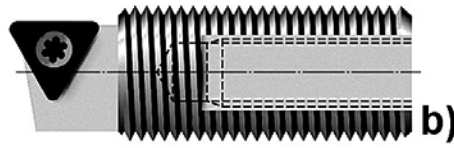
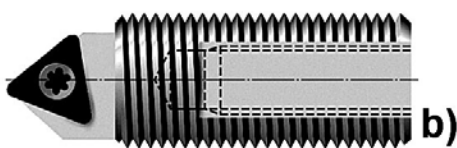


Obr. 2.4 Upnutí vyvrtávacích tyčí

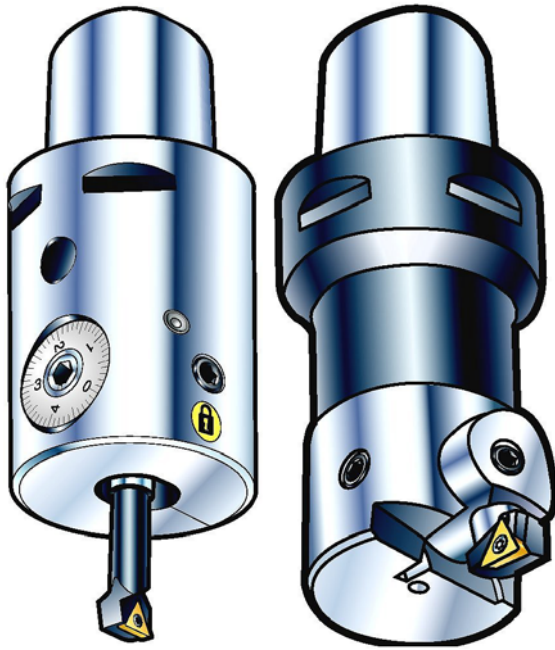


Nožová jednotka:

- 1 - nůž,
- 2 - matice,
- 3 - sedlo matice,
- 4 - tvarová vložka,
- 5 - pružná podložka,
- 6 - podložka,
- 7 - šroub,
- 8 - vyměnitelná destička
- 9 - upínací šroub



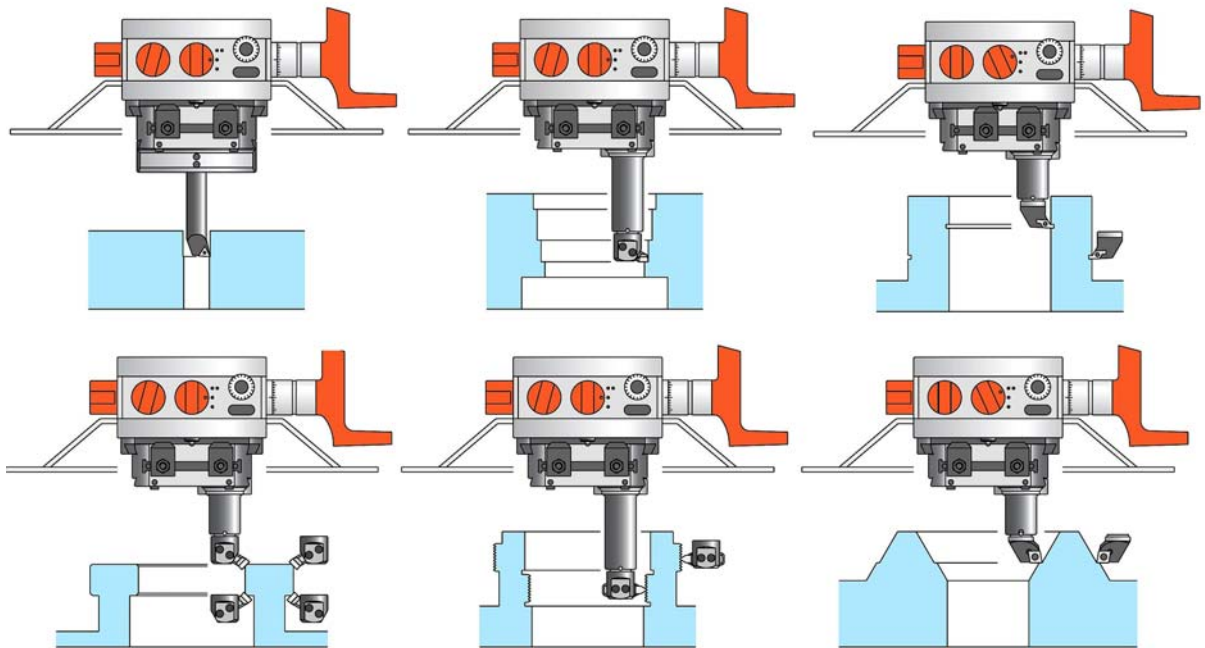
Obr. 2.5 Vyvrtávací tyč firmy M&V Vsetín  
 a) nože s pájenou břitovou destičkou ze slinutého karbidu  
 b) nože s vyměnitelnou břitovou destičkou ze slinutého karbidu



Obr. 2.6 Vyvrtávací tyče firmy Sandvik-Coromant



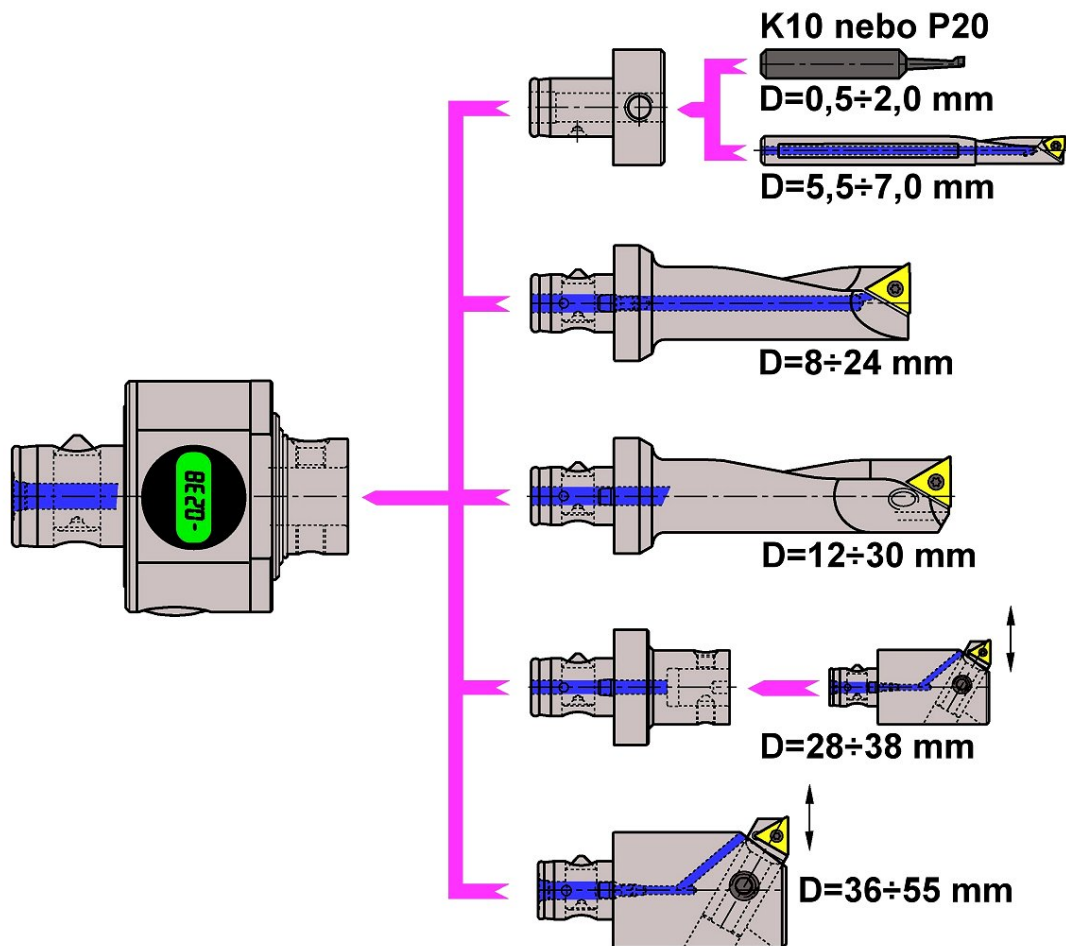
Obr. 2.7 vyvrtávací tyče firmy Kaiser



Obr. 2.8 Vyvrtávací hlava italské firmy d'Andrea a její pracovní možnosti

**Stavitelný držák M040** s digitální odečítáním (v milimetrech nebo palcích, rozsah seřízení -0,4 až +5,0 mm, rozlišení 0,001 mm) slouží firmě Komet jako základní konstrukční prvek modulárních vyvrtávacích nástrojů řady M04 00150 (obr. 2.9, rozsah obráběných průměrů  $D=0,5\div 55,0$  mm). Má vnitřní přívod řezné kapaliny (do tlaku 5 MPa), základní rozměry

$D \times L = 70 \times 62$  mm, hmotnost 1,1 kg a může se používat v rozsahu teplot  $+10^\circ$  až  $+40^\circ$ , při maximálních otáčkách  $n = 7000 \text{ min}^{-1}$ . Je hermeticky uzavřený proti vnikání prachu a kondenzaci vlhkosti z okolního prostředí. Display z tekutých krystalů je napájen lithiovou baterií, údaje mohou být zobrazeny absolutně nebo relativně. Nulová absolutní hodnota, kterou obsluha nemůže měnit, je nastavena při montáži držáku u výrobce a je vztažena k mechanické nulové poloze (osa vřetena obráběcího stroje). Relativní nulovou hodnotu lze nastavit v jakékoli seřízené pozici (seřizování se provádí prostřednictvím šroubu s vnitřním šestihranem).



Obr. 2.9 Modulární vyvrtávací nástroje řady M04 00150 firmy Komet

**Nástrojová řada M04 00150** zahrnuje vyvrtávací tyče různých konstrukcí, kterými lze obrábět díry v následujícím rozsahu průměrů:

- $D = 0,5 \div 2,0$  mm (s použitím redukčního pouzdra), miniaturní vyvrtávací tyče z monolitního nepovlakovaného slinutého karbidu K10, počet typorozměrů  $n_t = 7$ ,
- $D = 5,5 \div 7,0$  mm (s použitím redukčního pouzdra), vyvrtávací tyče s vnitřním přívodem řezné kapaliny a šroubem upínanými vyměnitelnými břitovými destičkami (tvar W, velikost 02 a 03, nepovlakované slinuté karbidy P25, P40 a K10, povlakované SK: CVD/TiCN-TiN),  $n_t = 2$ ,
- $D = 8 \div 24$  mm, vyvrtávací tyče s vnitřním přívodem řezné kapaliny a šroubem upínanými VBD (tvar T, velikost 06 a 09, nepovlakované slinuté karbidy P25 a K10, povlakované SK: CVD/TiCN-TiN, CVD/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CVD/TiCN- $\text{Al}_2\text{O}_3$ , PVD/TiCN-TiN, nepovlakované cermety, cermet s povlakem TiCN-TiN),  $n_t = 11$ ,
- $D = 12 \div 30$  mm, vyvrtávací tyče s vnitřním přívodem řezné kapaliny a šroubem upínanými VBD (tvar T, velikost 09, nástrojové materiály jako v předchozím případě),  $n_t = 6$ ,



- $D=28\div 38$  mm, (s použitím redukčního pouzdra), vyvrtávací tyče s vnitřním přívodem řezné kapaliny a VBD (tvar T, velikost 09, nástrojové materiály - viz výše) upínány pomocí šroubu ve stavitelné jednotce,  $n_f=1$ ,
- $D=36\div 55$  mm, vyvrtávací tyče s vnitřním přívodem řezné kapaliny a VBD (tvar T, velikost 09, nástrojové materiály - viz výše) upínány pomocí šroubu ve stavitelné jednotce,  $n_f=2$ .

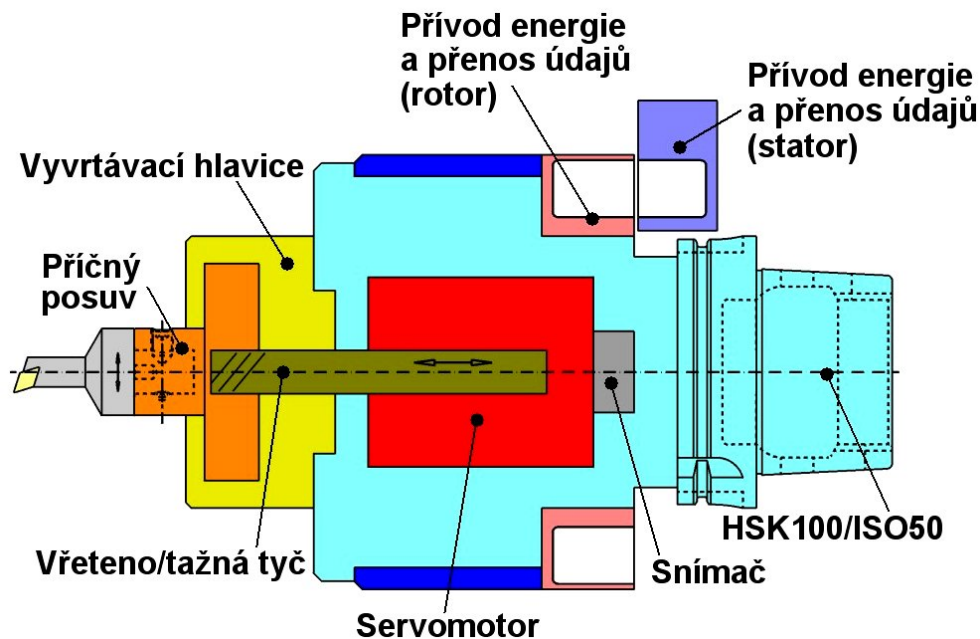
**Vyvrtávací nástroje CoroBore 820** firmy Sandvik-Coromant (obr. 2.10) jsou určeny pro hrubovací operace v rozsahu průměrů  $D=35\div 260$  mm, s vyvrtávanou délkou až  $4xD$ . Mají tři nezávisle seřiditelné břity (v axiálním i radiálním směru) a vnitřní přívod řezné kapaliny. V radiálním směru jsou držáky destiček hrubě seřizovány podle vyryté stupnice, jemné dolažení rozměru umožňuje seřizovací šroub. Seřízení v axiálním směru se provádí pomocí podložek o různé tloušťce, kterými se podkládají držáky destiček (jednotlivé držáky mohou být seřizeny na různou výšku, takže je možné aplikovat i stupňovité vyvrtávání). Nástroje mohou pracovat i jako jednobřité, kdy se volná místa bez držáků zakrývají speciálními kryty. Držáky destiček jsou dodávány ve dvou základních délkách a proto lze průměr každého nástroje seřizovat ve dvou odlišných rozmezech (např. nástroj velikosti E v rozsahu  $86\div 97$  mm nebo  $96\div 107$  mm).



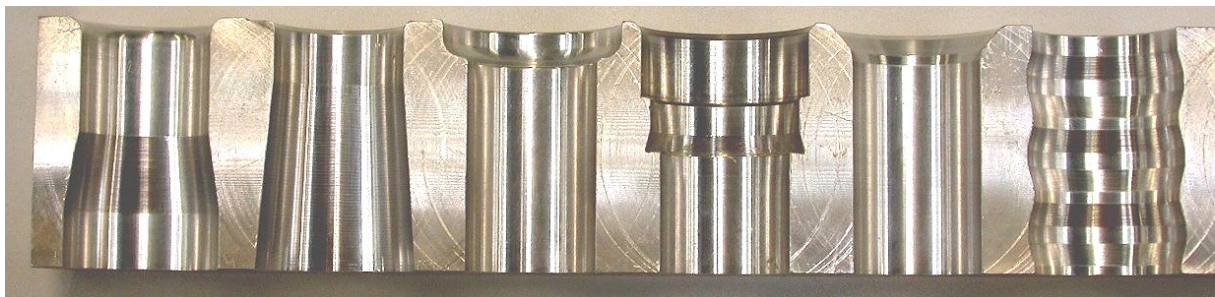
Obr. 2.10 Vyvrtávací nástroj CoroBore 820 firmy Sandvik-Coromant

Mechatronický nástrojový systém KomTronic<sup>®</sup> firmy Komet tvoří inteligentní nástroje pro vyvrtávání a obrábění vnitřních rotačních ploch, s kompenzací opotřebení břitu (systém M042) a možností výroby tvarových ploch ve vícenásobných operacích prováděných v rámci komplexních technologických procesů na obráběcích centrech a speciálních strojích (systém U-axis).

Termín „mechatronika“ (mechatronics - mechanical engineering, electronics) vznikl na konci 70. let minulého století v Japonsku. Původně popisoval náhradu mechanických komponent elektrickými, v některých definicích byl úzce spojován s robotikou. Za mechatronický je v současné době považován funkčně a prostorově integrovaný mechanicko elektrický systém s určitým stupněm inteligence a schopností nezávislé činnosti. Mechatronické nástrojové systémy pro obráběcí operace jsou charakterizovány kombinací vysoce přesné mechaniky, elektroniky a softwarového vybavení. Protože jsou v nich zabudovány potřebné snímače a ovladače, umožňují automatické seřizování nástroje i monitorování jeho funkce v průběhu řezného procesu.



Obr. 2.11 Princip mechatronického vyvrtávacího nástroje U-axis firmy Komet



Obr. 2.12 Vnitřní tvarové plochy obrobene nástrojem U-axis

**Vyvrtávací nástroje systému U-axis** (princip je uveden na obrázku č.2.11) umožňují dynamické seřizování v průběhu obráběcího procesu. Mají servomotor s bezkontaktním přívodem elektrické energie, který je napojen na NC řídicí systém obráběcího stroje a v souladu s programem ovládá mechanismy seřizovacích pohybů tak, že nástrojem lze provádět přímkovou nebo kruhovou interpolaci v rámci osy Z. Přenos veškerých potřebných dat mezi nástrojem a řídicím systémem je rovněž bezkontaktní. Při použití zakázkových nástrojových modulů a břitových destiček KOMET umožňují nástroje systému U-axis obrobít na frézovacích nebo vyvrtávacích centrech takové vnitřní tvarové plochy, které jsou jinak vyrobitelné pouze na soustruzích (obr. 2.12). Nahrazením frézovacích operací s kruhovou interpolací se navíc šetří čas a zvyšuje kvalitu povrchu obrobene plochy.

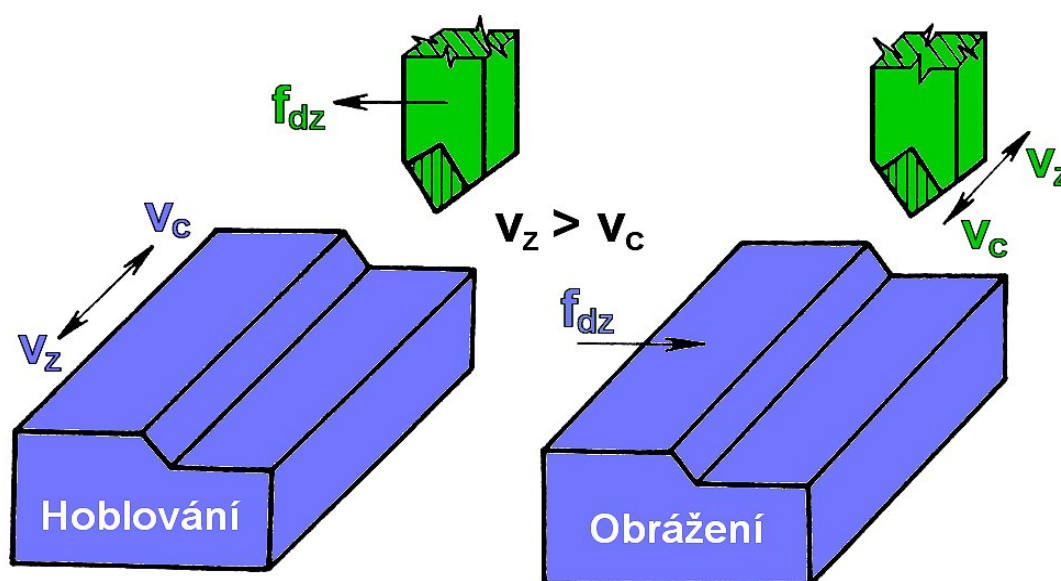


### 3. HOBLOVÁNÍ A OBRÁŽENÍ

**Hoblování** se používá pro obrábění dlouhých rovinných ploch jednobřítým nástrojem, přičemž tyto plochy mohou být vodorovné, svislé, nebo skloněné pod určitým úhlem vůči vodorovné rovině (např. při srážení hran tlustých plechů před svařováním). Vzhledem k nízkým hodnotám úběru obráběného materiálu (hmotnost stolu s upnutým obrobkem je vysoká, proto nelze použít vysoké řezné rychlosti) význam hoblování v současné době klesá a ve většině případů je nahrazováno frézováním.

**Obrážení** se rovněž používá pro obrábění rovinných ploch (vodorovných, šikmých i svislých) jednobřítým nástrojem, tyto plochy ale mají ve srovnání s hoblováním mnohem menší rozměry. Touto metodou lze navíc obrábět i vnitřní plochy (drážky v dírách, nerotační tvary, atd.), které lze jinak vyrobit pouze protahováním.

Kinematika řezného procesu je vyznačena na obrázku 3.1. Hlavní pohyb ( $v_c$ ) je přímočarý vratný, při hoblování jej vykonává obrobek, při obrážení nástroj. Posuvový pohyb ( $f_{dz}$ ) je přerušovaný, probíhá vždy na konci pracovního dvojzdvihu a je kolmý na směr hlavního pohybu. Nevýhodou obou dvou metod je zpětný pohyb ( $v_z$ , u hoblování jej vykonává obrobek, u obrážení nástroj), při kterém běží obráběcí stroj naprázdno (nástroj není v záběru a musí být od obrobenej plochy oddálen), což podstatně snižuje efektivnost obou obráběcích metod. Kvůli částečnému potlačení této nevýhody jsou hoblovky i obrážecíky konstruovány tak, aby rychlost zpětného pohybu  $v_z$  byla vyšší než rychlost řezného pohybu  $v_c$ .



Obr. 3.1 Kinematika řezného procesu při hoblování a obrážení

Jmenovitý průřez třísky  $A_D$  se pro hoblování a obrážení vyjádří ve tvaru:

$$A_D = a_p \cdot f_{dz} = h_D \cdot b_D \quad [\text{mm}^2], \quad (3.1)$$

kde:  $a_p$  [mm] je šířka záběru ostří,  
 $f_{dz}$  [mm] je posuv na dvojzdvih,  
 $h_D$  [mm] je jmenovitá tloušťka třísky,  
 $b_D$  [mm] je jmenovitá šířka třísky.

Řezné podmínky při hoblování a obrážení lze určit na základě doporučených podmínek pro soustružení, hodnota řezné rychlosti  $v_c$  se však snižuje o 10 až 30 %.

### 3.1. HOBLOVÁNÍ

Jednotkový strojní čas pro hoblování rovinné plochy se na základě poměrů na obrázku 3.2 stanoví podle vztahu:

$$t_{AS} = \frac{B}{f_{dz}} \cdot \left( \frac{L}{10^3 \cdot v_c} + \frac{L}{10^3 \cdot v_z} + t_r \right) [\text{min}], \quad (3.2)$$

kde:  $B$  [mm] je výpočtová šířka hoblování,  $B = b + b_n + b_p$ ,

$L$  [mm] je výpočtová délka hoblování,  $L = l + l_n + l_p$ ,

$b$  [mm] je šířka hoblované plochy,

$b_n$  [mm] je délka náběhu ve směru šířky hoblované plochy,

$b_p$  [mm] je délka přeběhu ve směru šířky hoblované plochy,

$l$  [mm] je délka hoblované plochy,

$l_n$  [mm] je délka náběhu ve směru délky hoblované plochy,

$l_p$  [mm] je délka přeběhu ve směru délky hoblované plochy,

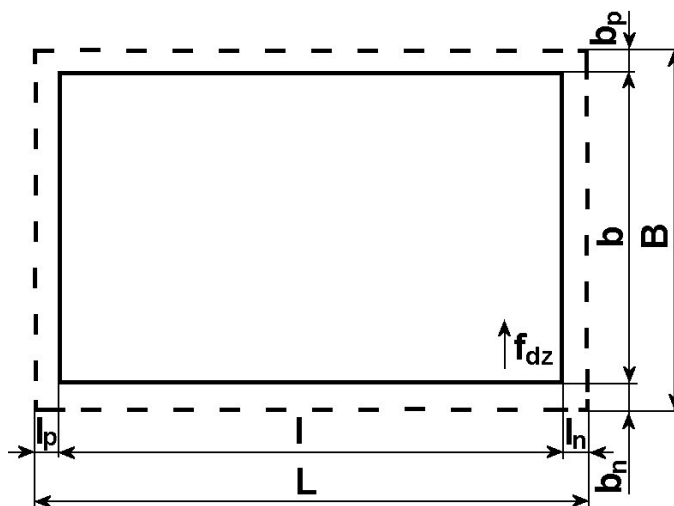
$f_{dz}$  [mm] je posuv na dvojzdvih,

$v_c$  [m min<sup>-1</sup>] je řezná rychlost,

$v_z$  [m min<sup>-1</sup>] je rychlost zpětného pohybu,

$t_r$  [min] je čas reverzace (v závislosti na velikosti hoblovacího stroje  $t_r=0,02 \div 0,08$  min).

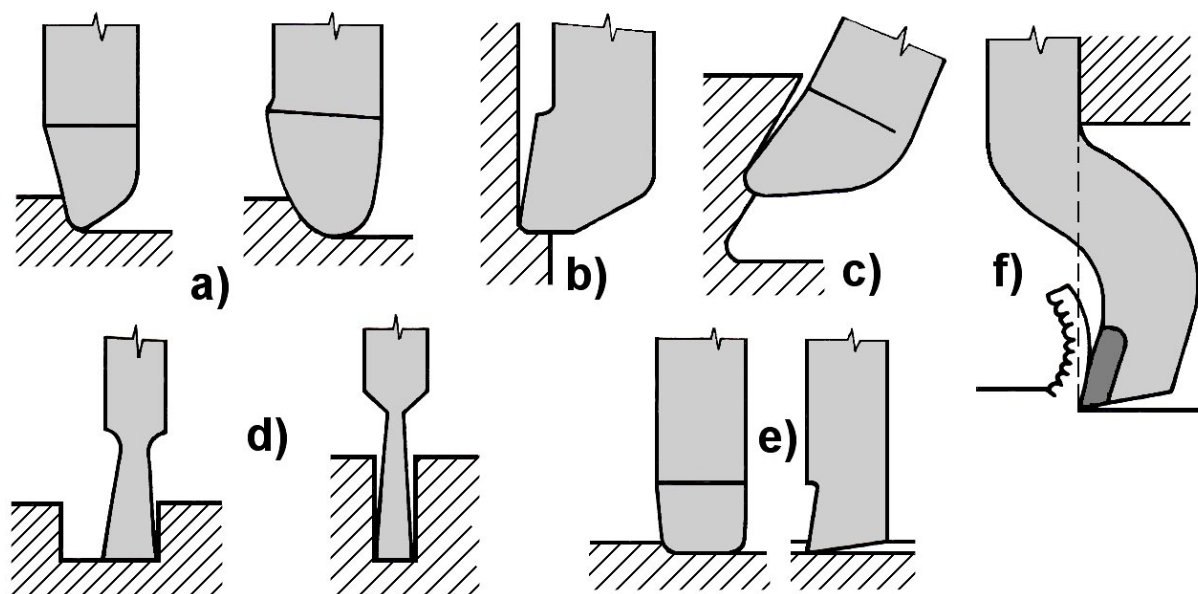
Ze vztahu 3.2 je zřejmé, že hodnota jednotkového strojního času při hoblování bude vždy velmi vysoká, což je způsobeno zejména zpětným pohybem obrobku na prázdno, při rychlosti  $v_z$ . Dalším faktorem, zvyšujícím  $t_{AS}$ , jsou nízké hodnoty posuvu na jeden dvojzdvih (volba  $f_{dz}$  je ovlivněna výkonem stroje, tuhostí stroje a nástroje, nástrojovým materiálem a vlastnostmi obráběného materiálu - tvrdostí, pevností a obrobitelností).



Obr. 3.2 Výchozí poměry pro výpočet času  $t_{AS}$  při hoblování

Základní typy hoblovacích nožů jsou uvedeny na obrázku 3.3., jejich geometrie je obdobná jako u soustružnických nožů. Nůž s prohnutým držákem (obr. 3.3f) zabraňuje „zaseknutí“ břitu do obrobené plochy při najetí na tvrdé místo. Pokud to umožňuje nožová hlava obráběcího stroje, lze pro hoblování přímo použít soustružnické nože.

Hoblovací nože jsou většinou vyrobeny z rychlořezných ocelí (v celistvém provedení), nebo mají těleso z konstrukční oceli, s připájenou nebo mechanicky upnutou břitovou destičkou ze slinutého karbidu. Nože s řeznou částí ze slinutých karbidů nemohou být ale při hoblování hospodárně využity (rychlost pohybu stolu je u starších hoblovek omezena hodnotou 30 m min<sup>-1</sup>, u novějších hodnotou 50 m min<sup>-1</sup>, pouze u nejmodernějších strojů lze nastavit až 120 m min<sup>-1</sup>). Vzhledem k rázovému namáhání nástroje je nástrojový úhel sklonu hlavního ostří  $\lambda_s$  u hoblovacích nožů většinou záporný, kvůli zpevnění břitu je na čele nože často vytvořena negativní fazetka.



Obr. 3.3 Základní typy hoblovacích nožů

a) uběrací, b) uběrací stranový, c) na šikmé plochy, d) drážkovací, e) hladicí, f) prohnutý

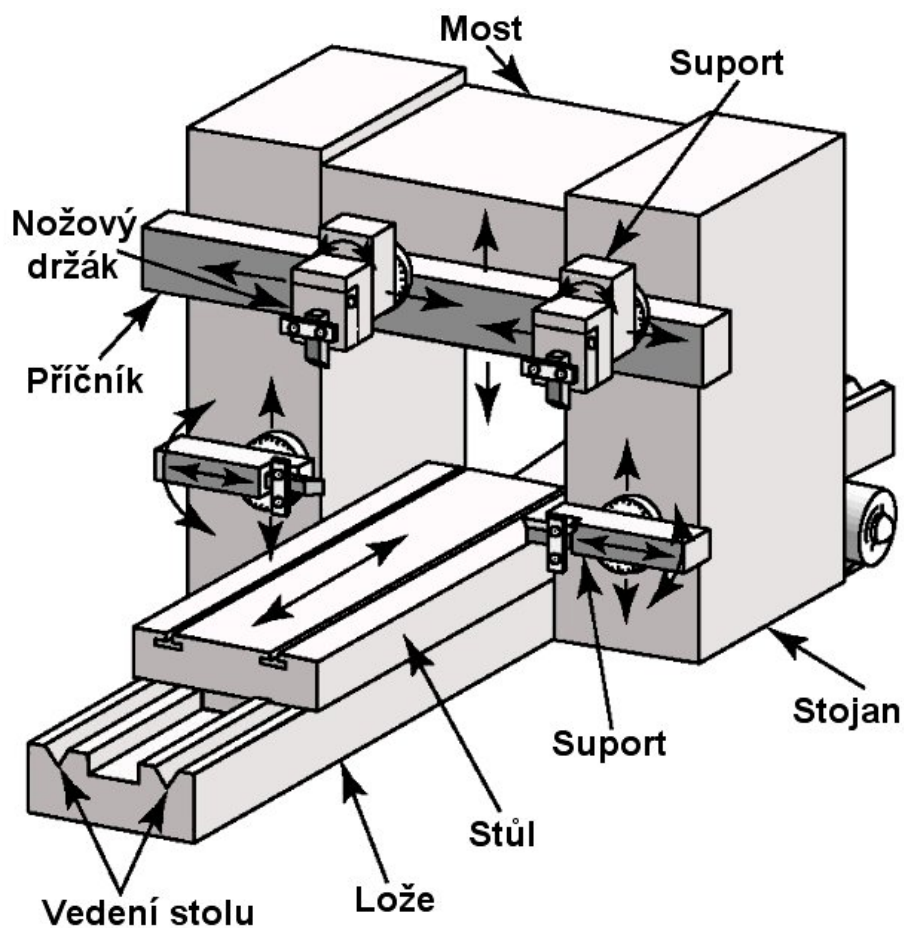
Obráběcí stroje pro hoblování (hoblovky) mají tyto základní části: stůl, lože, stojany, příčník a suporty (obr. 3.4). Pohon stolu je buď hydraulický nebo ozubeným hřebenem, do kterého zapadá hnací pastorek. Posuv suportů po stojanech a příčníku je odvozen od pohybových šroubů se samostatnými elektromotory, přísuv nástrojů je mechanický nebo ruční. Nožové saně suportů je možno naklápět na obě strany (až o 60°) čímž je dána možnost obrábět šikmé plochy. Pro obrábění tvarových ploch mohou být hoblovky vybaveny přidavným kopírovacím zařízením. Nožové držáky se při zpětném pohybu stolu mechanicky nebo hydraulicky odklápějí od základní desky suportu, takže nedochází ke styku hřbetu nástroje s obrobenou plochou (nástroj je tak chráněn proti dodatečnému opotřebení). Obrobky jsou na hoblovkách upínány pomocí různých typů upínek, podložek a podpěr, obdobně jako na frézkách.

Charakteristickým rozměrem hoblovek je šířka pracovního stolu, popř. maximální šířka obrobku, která projde mezi stojany hoblovky. Tímto číslem se označují i typy hoblovek, které se stavějí o šířkách stolu 800 až 4000 mm. Další charakteristickou veličinou hoblovek je délka pracovního stolu a maximální průtažná síla, která může být 20 000 až 120 000 N. Podle konstrukčního provedení lze hoblovky rozdělit na jedno stojanové, dvou stojanové a deskové.

**Jednostojanová hoblovka** má jeden stojan, po jehož vedení se posouvá příčník s jedním nebo dvěma suporty. Další suport je přímo na vedení stojanu. Za výhodu jedno stojanových hoblovek lze považovat skutečnost, že je na nich možné hoblovat rozměrnější obrobky, přesahující na jedné straně stůl. Nevýhodou tohoto uspořádání je menší tuhost příčníku.

**Dvou stojanová hoblovka** (obr. 3.4, 3.5) má dva stojany nahoře spojené mostem, což zvyšuje tuhost stroje. Má zpravidla dva suporty na příčníku a dva suporty stojanové. Kvůli lepšímu využití bývá někdy vybavena frézovacím nebo brousicím vřeteníkem.

**Desková hoblovka** má pevnou desku, na kterou se upíná obrobek, podélný posuvový pohyb vykonávají stojany s příčníkem a suporty. Upínací deska může být o polovinu kratší než je délka stolu u klasických hoblovek, negativním důsledkem konstrukce s pohyblivými stojany je nižší tuhost stroje. Nedokonalé vedení stojanů po loži navíc snižuje pracovní přesnost stroje. Pro obrábění vysokých obrobků se upínací deska zapouští do země (tzv. jámové provedení).



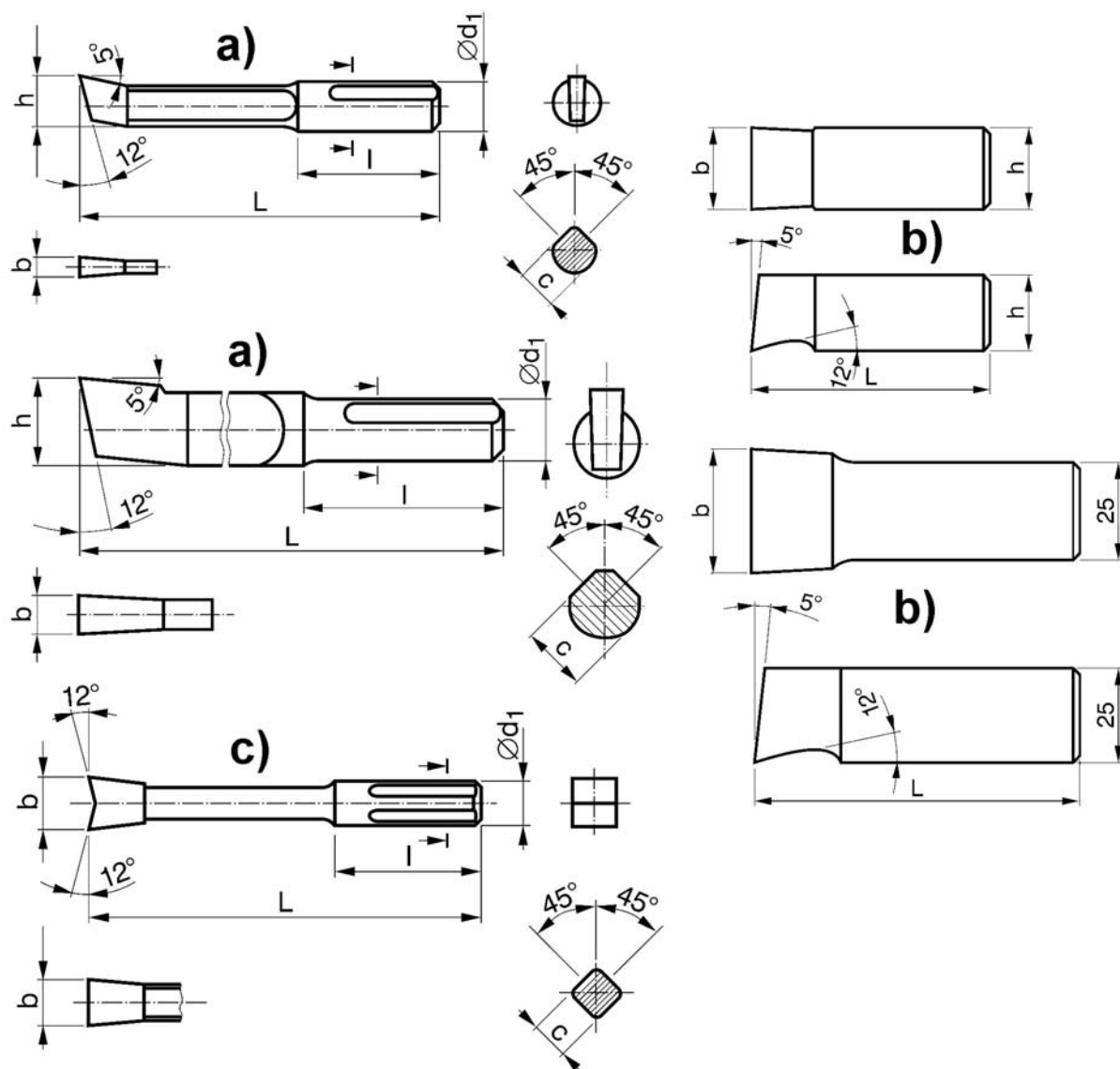
Obr. 3.4 Základní části dvoustojanové hoblovky



Obr. 3.5 Dvoustojanová hoblovka

### 3.2. OBRÁŽENÍ

Obrázeční nože jsou, podobně jako hoblovací nože, vyrobeny převážně z rychlořezných ocelí (v celistvém provedení), protože nože s řeznou částí ze slinutých karbidů nemohou být ani v tomto případě hospodárně využity. Nože pro vodorovné obrázečky (příklad je uveden na obrázku 3.6b) mají krátkou upinací část, geometrie řezné části je podobná jako u soustružnických nožů. Nože pro svislé obrázečky (příklady jsou uvedeny na obrázku 3.6a, 3.6c) mají delší stopku, tvar řezné části odpovídá požadované obrázeční operaci, geometrie řezné části je obdobná jako u soustružnických nožů.



Obr. 3.6 Obrázeční nože  
a) drážkovací, b) drážkovací příčný, c) dvoubřitý

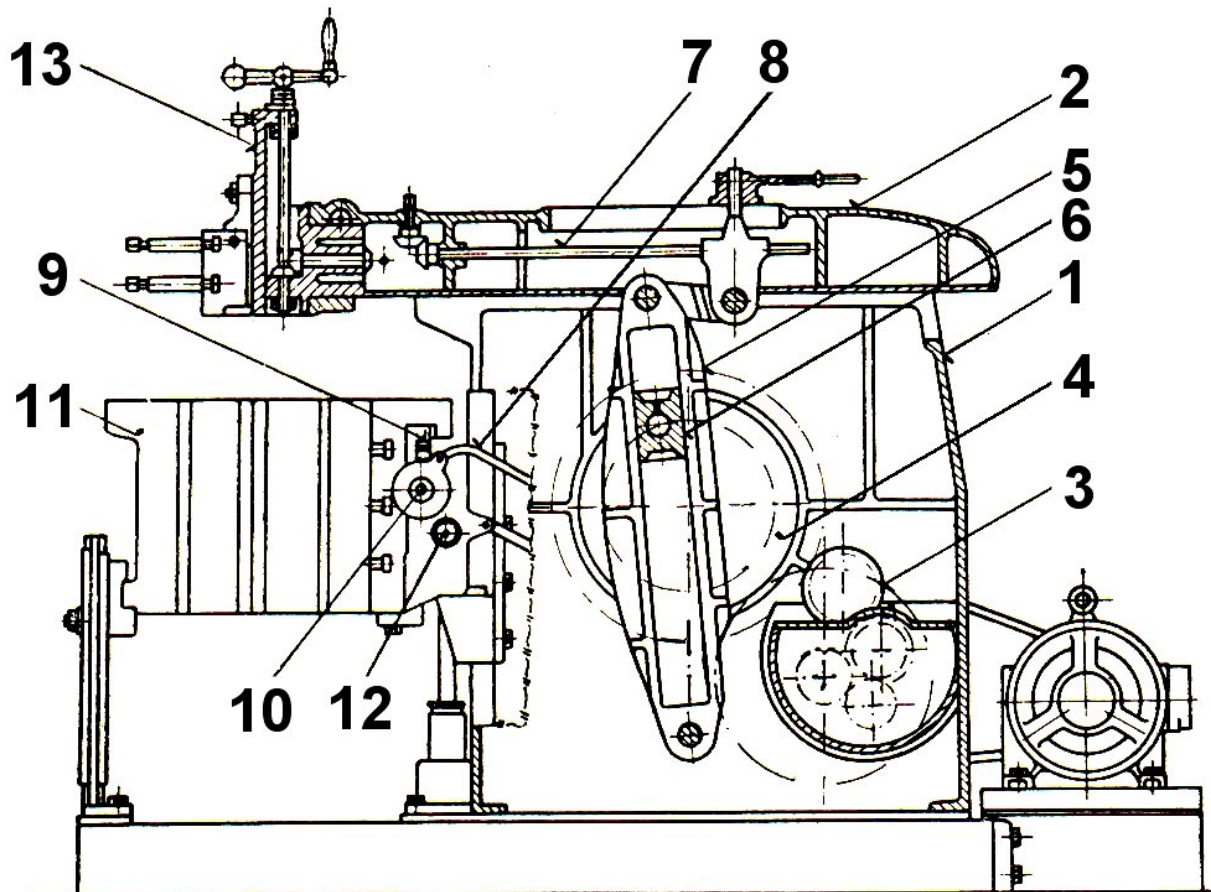
Obrázeční stroje (obrázečky) lze na základě konstrukčně technologické koncepce rozdělit na vodorovné a svislé.

**Vodorovná obrázečka** (obr. 3.7, 3.8) je charakterizovaná vodorovným pohybem smykadla s nástrojem. Pohon smykadla je mechanický nebo hydraulický, posuvový pohyb stolu (na němž je upnut obrobek) je odvozen od pohybového šroubu přes rohatku a západku. Ruč-



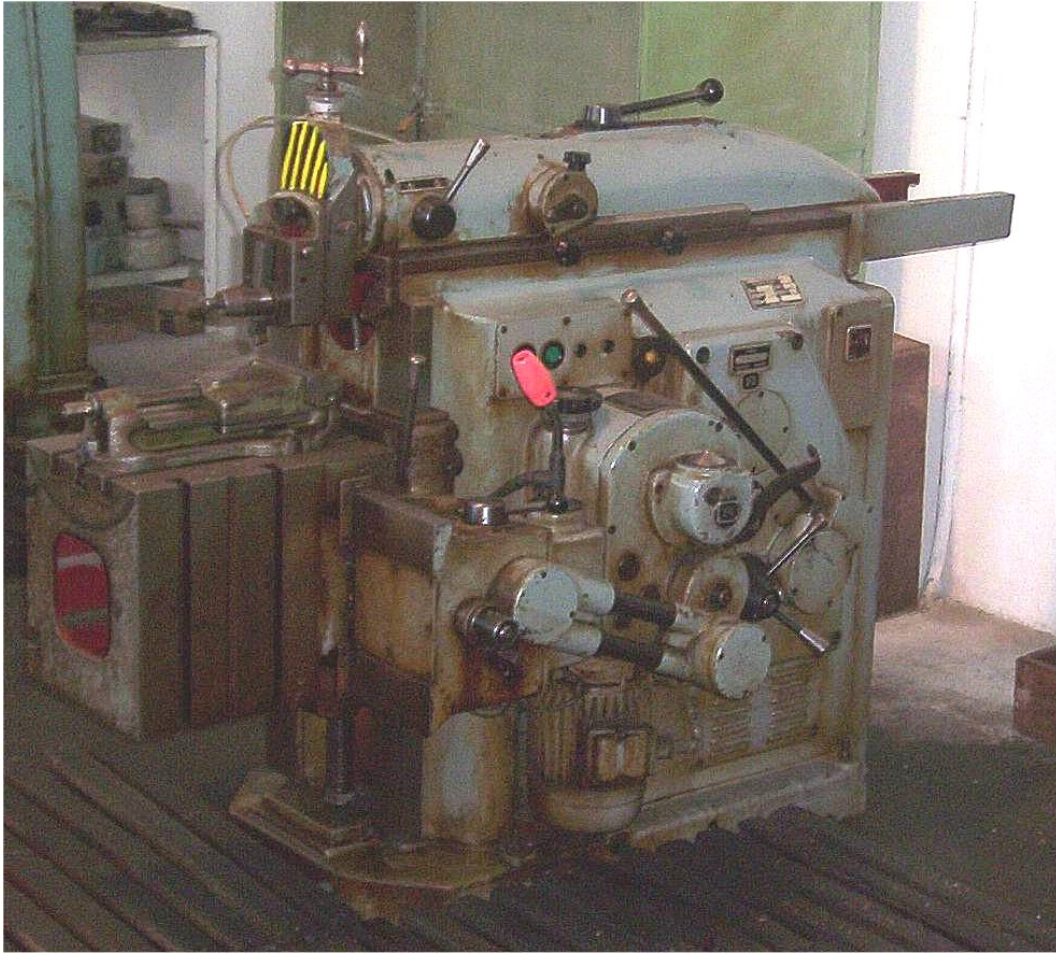
ním posuvem naklápěcích nožových saní je možno obrábět krátké svislé nebo šikmé plochy. Pro obrábění velkých obrobků se používají obrážedky s příčně posuvným smykadlem, což znamená, že smykadlo koná hlavní řezný pohyb i příčný posuvový pohyb a obrobek je nehybný. Vzhledem k nízké produktivitě se dnes vodorovné obrážedky uplatňují pouze v opravnách, nářadovných a pomocných provozech. Jejich výhodou je, že na nich lze jednoduchým nástrojem obrábět i součásti složitého tvaru.

**Svislá obrážedka** (obr. 3.9, 3.10) je charakterizovaná svislým pohybem smykadla s nástrojem. Slouží především pro obrábění vnějších a zejména vnitřních tvarových ploch a svislých rovinných ploch. Menší stroje jsou vybaveny výškově přestavitelnou konzolou, na níž je podélný, příčný a otočný stůl. Délka zdvihu smykadla se dá měnit výstředností klikového mechanismu. Větší svislé obrážedky mají rovněž podélný, příčný a otočný stůl. Délka zdvihu smykadla se u nich také mění výstředností klikového mechanismu, vzdálenost smykadla od pracovního stolu se ale nastavuje změnou polohy smykadla ve svislém směru (stůl není výškově přestavitelný). Smykadla lze u některých typů svislých obrážedek natočit kolem osy kolmé k vedení stojanu (až o 30° na obě strany) a mimoto vyklonit směrem od stojanu (o 10° až 15°). Všechny pohyby obrobku upnutého na pracovním stole svislé obrážedky mohou být ruční nebo strojní, velikost stroje je dána největší délkou zdvihu smykadla.

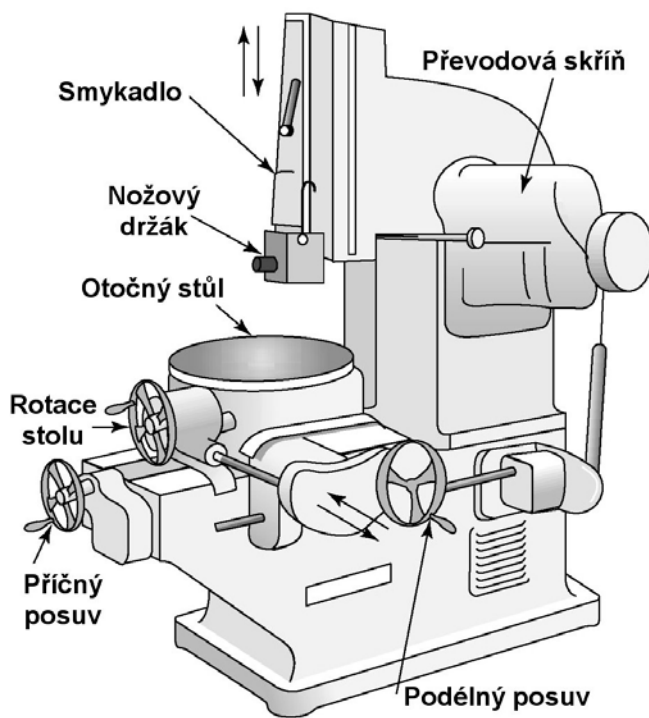


Obr. 3.7 Vodorovná obrážedka - schéma

- 1 - stojan, 2 - smykadlo, 3 - hnací kolo, 4 - kulisa, 5 - výkyvné rameno, 6 - kámen,  
 7 - šroub pro nastavování podélné polohy smykadla vůči pracovnímu stolu,  
 8 - páka pro pohon příčného posuvu pracovního stolu, 9 - západka,  
 10 - šroub příčného posuvu pracovního stolu, 11 - pracovní stůl  
 12 - šroub pro ruční výškové nastavení pracovního stolu, 13 - nožový suport



Obr. 3.8 Vodorovná obrázečka



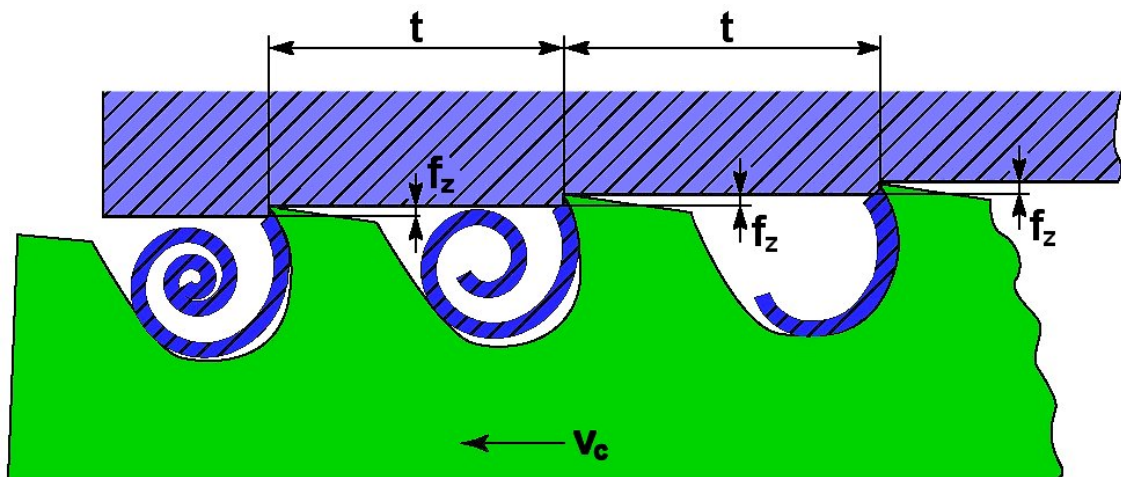
Obr. 3.9 Schéma svislé obrázečky



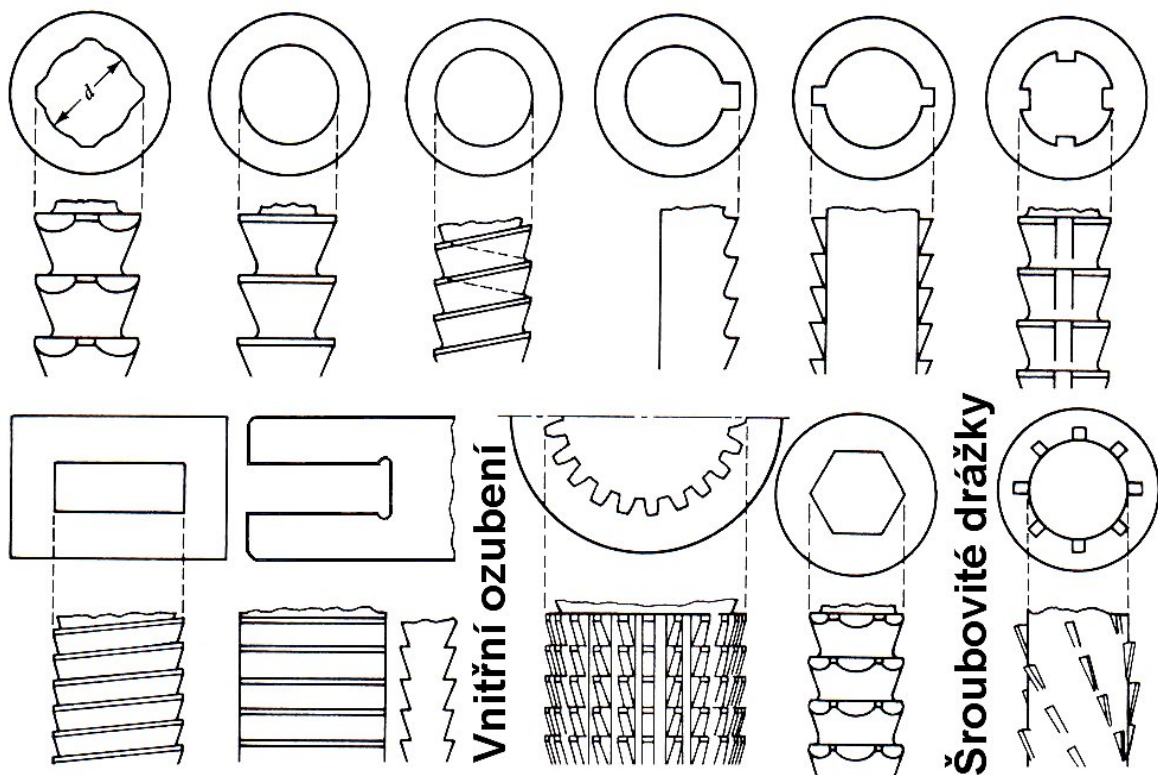
Obr. 3.10 Svislá obrázečka

## 4. PROTAHOVÁNÍ A PROTLAČOVÁNÍ

Protahování i protlačování patří k dokončovacím obráběcím procesům, při němž jsou vysoce produktivním způsobem obráběny tvarové díry (protahování a protlačování vnitřní) nebo vnější, převážně tvarové plochy (protahování a protlačování vnější). Obrobek je zpravidla nehybný a nástroj koná přímočarý pohyb - při protahování je tažen, při protlačování tlačěn (protlačovací nástroje jsou vzhledem k namáhání na vzpěr mnohem kratší než protahovací). Krátké jednotkové strojní časy i vedlejší časy (jednoduché upínání obrobků) jsou hlavním faktorem velmi vysoké produktivity protahování i protlačování. Kvůli velmi složitým a drahým nástrojům lze oba obráběcí procesy hospodárně využít pouze ve velkosériové a hromadné výrobě.



Obr. 4.1 Princip protahování a protlačování



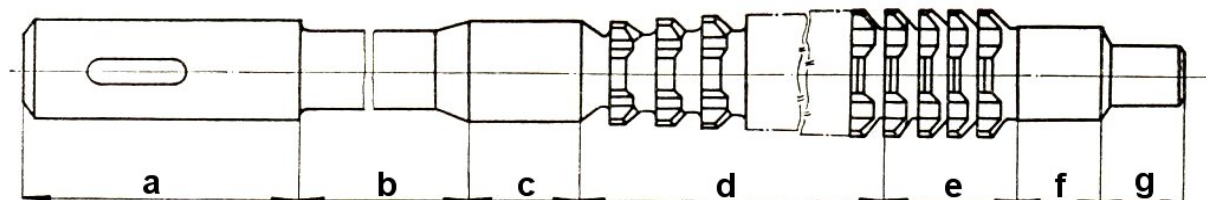
Obr. 4.2 Příklad obráběných tvarů

Podstatou protahování i protlačování je postupný záběr jednotlivých po sobě následujících zubů nástroje do obráběného materiálu (obr. 4.1), a to při relativním pohybu nástroje vůči obrobku řeznou rychlostí  $v_c$  [ $\text{m min}^{-1}$ ]. V záběru je vždy současně tolik zubů protahovacího trnu, kolikrát se jejich rozteč  $t$  opakuje na délku obráběné plochy  $L$ .

Při vnitřním obrábění je výchozí díra obvykle předvrtána a konečný požadovaný tvar a drsnost povrchu obrobené plochy jsou vytvořeny protahovacím nebo protlačovacím trnem. Upinací část protahovacího trnu se prostrčí předvrtanou dírou (průměr díry je obvykle totožný s průměrem vodících částí nástroje), upne do tažného zařízení protahovačky a poté následuje vlastní operace protahování. Tvar obráběné díry se postupně mění z kruhového průřezu na takový tvar, který je vytvořen na nástroji (obr. 4.2). Výchozí tvar díry nemusí být kruhový, díra dokonce ani nemusí být obrobena. Kvůli zefektivnění výroby lze protahovat díry (nebo i vnější plochy) přímo na polotovaru, kde jsou výchozí plochy pouze předlity, předkovány, předlisovány, nebo jen velmi hrubě obrobeny. V těchto případech pak nástroj v jednom zdvihu přední částí hrubuje a teprve další částí obrábí díru nebo vnější plochu načisto. U obrobků s velkým přídavkem na protahování, kde by protahovací trn musel být příliš dlouhý, je řešen jako sadový a potřebný počet řezacích zubů se rozdělí na dva až tři nástroje.

#### **4.1. Nástroje pro protahování a protlačování**

Nástroje pro protahování - **protahovací trny** - mají zuby řezací, kalibrovací a při vyšších nárocích na drsnost obrobené plochy ještě hladicí (obr. 4.3). Trny s delším záběrem břitů, nebo trny pro vnější protahování mají většinou na řezacích zubech vybroušeny drážky. Tříška se tím dělí a lépe utváří, nástroj pracuje klidněji, zlepšuje se jakost obrobeného povrchu a snižuje objemový součinitel třísky. Protahovací trny jsou namáhány téměř výhradně tahovým napětím a bývají dlouhé až 2000 mm. Krček nástroje má nejmenší průměr, aby se nástroj při přetížení porušil právě v tomto místě a ne mezi zuby řezné nebo kalibrovací části.



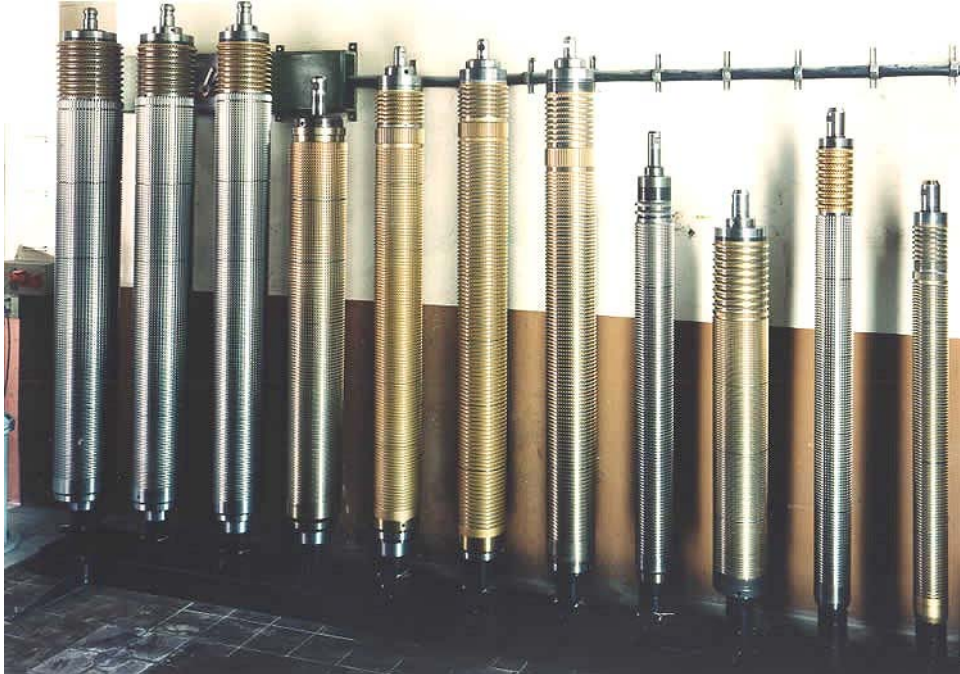
**a - upinací část, b - krček, c - přední vedení, d - řezná část, e - kalibrovací část  
f - zadní vedení, g - čep pro lunetu**

*Obr. 4.3 Konstrukce protahovacího trnu*

**Protlačovací trny** jsou s ohledem na namáhání na vzpěr kratší (250 až 500 mm, jejich výroba, údržba i ostření jsou ve srovnání s protahovacími trny levnější), takže pro výrobu plochy požadovaného tvaru a drsnosti povrchu je třeba použít více nástrojů. Proto je protlačování z hlediska produktivity obrábění méně výhodné. Na druhé straně lze za výhodu považovat skutečnost, že protlačování může být prováděno na různých typech pomaluběžných lisů, narozdíl od protahování, kde jsou potřebné protahovací stroje.

Při konstrukci protahovacích i protlačovacích trnů hraje důležitou roli proces tvoření třísky. Drobná tříška zaplňuje celou zubovou mezeru, plynulá tříška se svinuje do spirály a proto zaplňuje pouze část zubové mezery. Pokud nástroj dále pokračuje v obrábění, plynulá tříška je stlačována a zaplní i zbylou část mezery. Uvedené pěchování třísky a její tření o obrobenou plochu způsobí prudký nárůst teploty a řezného odporu, což v konečném důsledku

může vést k poškození nástroje. Proto musí mít rozteč zubů i zubová mezera odpovídající velikost, stanovenou na základě objemu, který zaujme vznikající tříska. Při volbě rozteče zubů je třeba mít na paměti skutečnost, že při malých hodnotách je současně v záběru větší počet zubů (narůstá tažná síla) a naopak.



*Obr. 4.4 Protahovací trny*



*Obr. 4.5 Protahovací trny*

Protahovací i protlačovací trny jsou vyráběny z rychlořezných ocelí, nebo i ze slitinových ocelí, pro zvýšení trvanlivosti mohou být na funkční plochy zubů nanášeny tvrdé otěruvzdorné povlaky (převážně TiN). Další zvýšení trvanlivosti nástrojů přináší používané řezné kapaliny (řepkový olej, minerální oleje s různými chemickými přísadami), které navíc

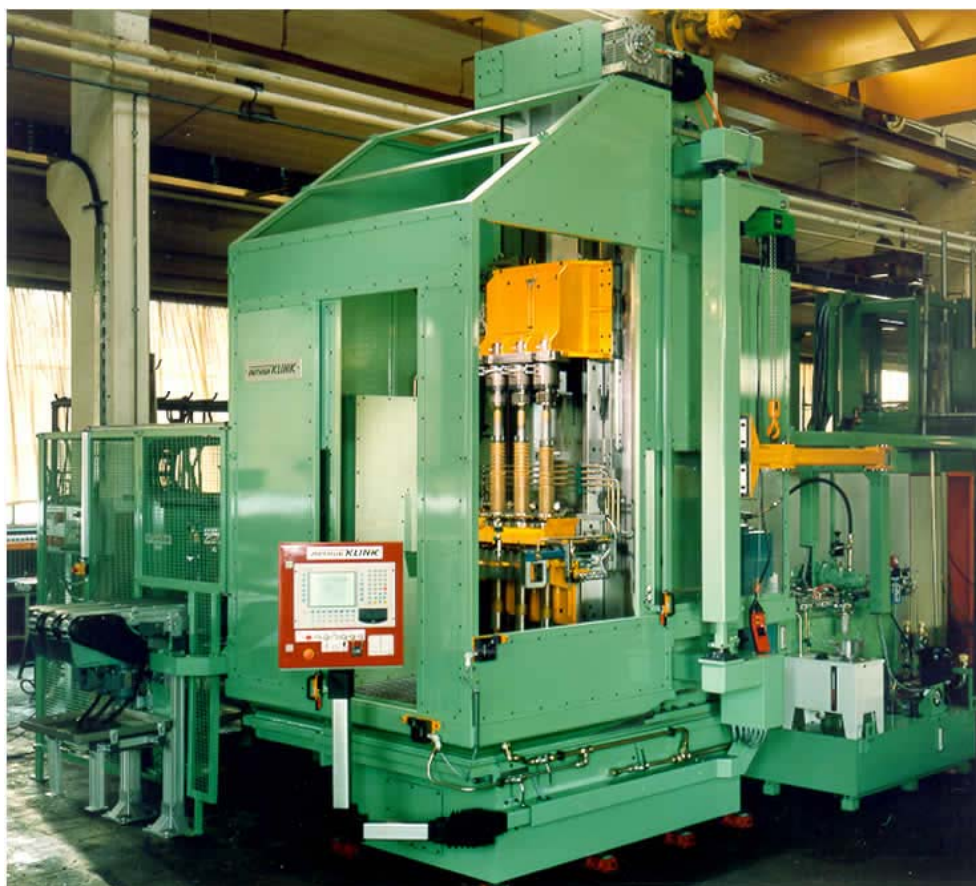
výrazně ovlivňují přesnost rozměrů a drsnost povrchu obrobených ploch (ve větší míře než u jiných metod obrábění). Doporučené hodnoty řezných podmínek pro protahování vybraných profilů nástroji z rychlořezné oceli jsou uvedeny v tabulce 4.1.

Tab. 4.1 Doporučené řezné podmínky pro protahování nástroji z rychlořezné oceli

Obráběné plochy	Obráběný materiál					
	Oceli		Litiny		Hliník	
	$v_c$	$f_z$	$v_c$	$f_z$	$v_c$	$f_z$
	[m min <sup>-1</sup> ]	[mm]	[m min <sup>-1</sup> ]	[mm]	[m min <sup>-1</sup> ]	[mm]
Drážkové náboje	5 ÷ 15	0,02 ÷ 0,12	3 ÷ 12	0,03 ÷ 0,15	10 ÷ 35	0,02 ÷ 0,07
Drážky klínů a per	2 ÷ 15	0,03 ÷ 0,15	2 ÷ 10	0,04 ÷ 0,15	---	---
Díry kruhové a hranaté	3 ÷ 12	0,02 ÷ 0,08	2 ÷ 15	0,03 ÷ 0,10	5 ÷ 30	0,02 ÷ 0,05
Vnější plochy	8 ÷ 30	0,04 ÷ 0,15	5 ÷ 20	0,05 ÷ 0,20	10 ÷ 50	0,05 ÷ 0,12

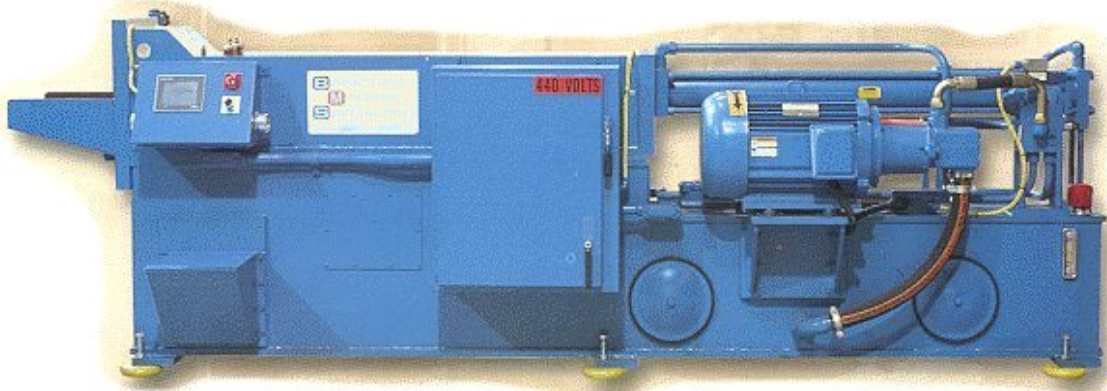
## 4.2. Stroje pro protahování

Protahovací stroje - *protahovačky* - jsou řešeny jako svislé (obr. 4.6) nebo vodorovné (obr. 4.7), oba typy se používají pro vnitřní i vnější protahování. Vodorovná protahovačka je oproti svislé (při stejné délce zdvihu a průtažné síle) levnější, její nevýhodou je, že vlastní hmotnost nástroje nepříznivě ovlivňuje přesnost výroby (nástroj se prohýbá) a že zabírá větší půdorysnou plochu. Některé typy svislých protahovaček jsou konstruovány pro současné použití několika nástrojů. Velikost a rozsah využití protahovacích strojů závisí na jejich průtažné síle, která se pohybuje v rozsahu 20 000 N až 600 000 N.



Obr. 4.6 Svislá protahovačka

Pohyb nástrojů je u protahovaček menších rozměrů vyvozen elektromechanicky (pastorek - ozubený hřeben, pohybový šroub - matice), u větších protahovaček hydraulicky. Výhodou hydraulického pohonu je klidný chod, snadná a plynulá regulace rychlosti pohybu a stálá kontrola průtažné síly. Elektromechanický pohon se používá v případech, kdy je třeba eliminovat kmitání nástroje.



Obr. 4.7 Vodorovná protahovačka

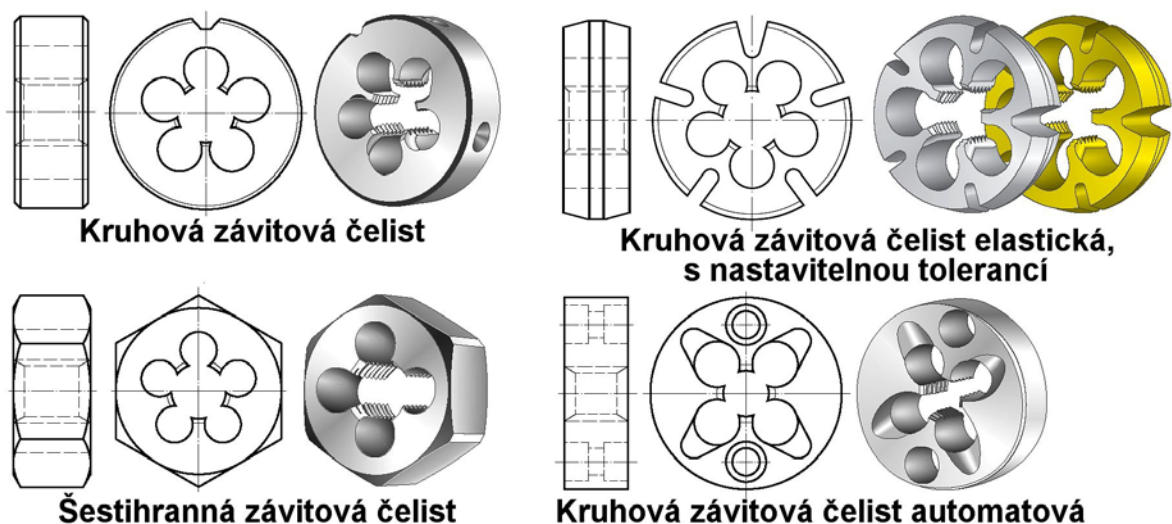
## 5. VÝROBA ZÁVITŮ

Závity představují významné konstrukčně - technologické prvky řady součástí, které plní různé spojovací nebo pohybové funkce ve strojírenských výrobcích. Přesnost a jakost závitů má přitom často rozhodující vliv na správnou a spolehlivou funkci výrobku. Závity se řezou pomocí závitníků, závitových čelistí a závitových hlav, obrábějí se soustružením a frézováním, přesné závity jsou broušeny nebo lapovány. Z technologického hlediska lze výrobu závitů rozdělit obrábění vnějších a vnitřních závitů.

### 5.1. ŘEZÁNÍ ZÁVITŮ

Pro ruční i strojní řezání vnějších závitů se používají různé druhy závitových čelistí (obr. 5.1, mimo zobrazených existují ještě čelisti pro závitové hlavy - obr. 5.3) vyrobené z rychlořezných ocelí - RO (bez, i s otěruvzdornými povlaky, např. TiN). Při řezání závitů se závitové čelisti otáčejí kolem osy (hlavní pohyb) a v souladu se stoupáním řezaného závitu (vedlejší pohyb) automaticky posouvají ve směru osy. Postupným odebíráním třísky je pak vytvářen závit předepsaného profilu a rozměru. Závitovými čelistmi lze řezat závity metrické (standardní, jemné, trapézové), unifikované hrubé i jemné závity UNC (podle normy ASME-B1.1), Whitworthovy závity (trubkové podle DIN-ISO 228, kuželové podle DIN 2999, BSW a BSF podle normy BS 84), kuželové a válcové závity podle DIN 477, oblé závity, i další typy závitů (záleží na sortimentu výrobce čelistí).

**Kruhové závitové čelisti** se vyrábějí pro pravý i levý závit, mají řezný kužel na obou čelních plochách a jsou vhodné i pro řezání závitů na soustruzích. Při ručním řezání závitů menších průměrů má výchozí polotovar tvar válce odpovídajícího průměru, od průměru závitu 30 mm je vhodné závit předřezat na soustruhu a čelisti použít pouze pro dořezání závitu. Kruhové závitové čelisti jsou přitom upínány do vratidel (obr. 5.2). Z ekonomického hlediska se doporučuje řezat závit jednou stranou čelisti až do otupení a až potom čelist obrátit a použít druhý řezný kužel.

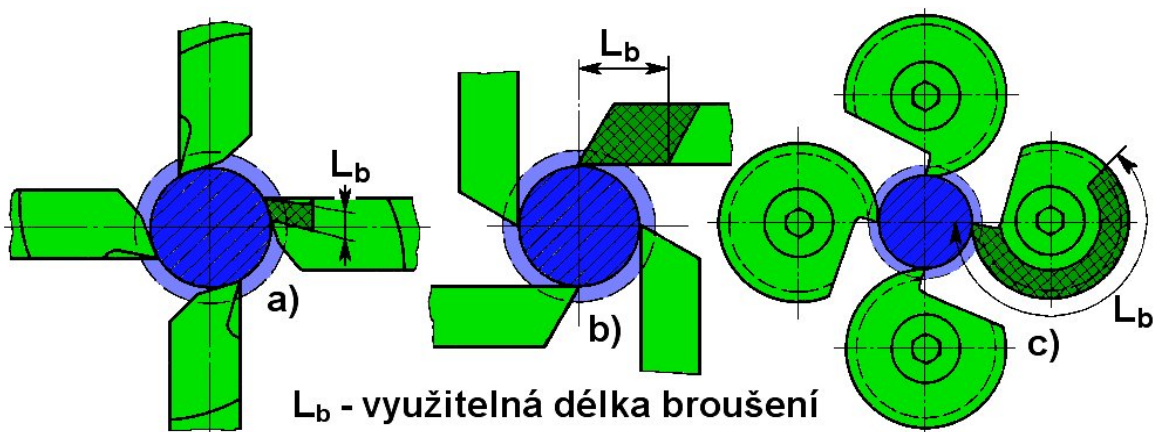


Obr. 5.1 Závitové čelisti



Obr. 5.2 Vratidla pro kruhové závitové čelisti

Pro strojní řezání závitů na soustruzích se využívají **automatové závitové čelisti** (obr. 5.1) nebo vysoce produktivní **závitové hlavy** s radiálními (obr. 5.3a) nebo tangenciálními čelistmi (obr. 5.3b), případně kotoučovými noži (obr. 5.3c) z RO. Tangenciální čelisti i kotoučové nože jsou hřebínkové (břit je vytvořen řadou za sebou umístěných závitových profilů). První profily jsou seříznuté, proto lze závit vyříznout najednou, bez radiálního přísuvu.



Obr. 5.3 Princip nožových hlav

a - radiální čelisti, b - tangenciální čelisti, c - kotoučové nože

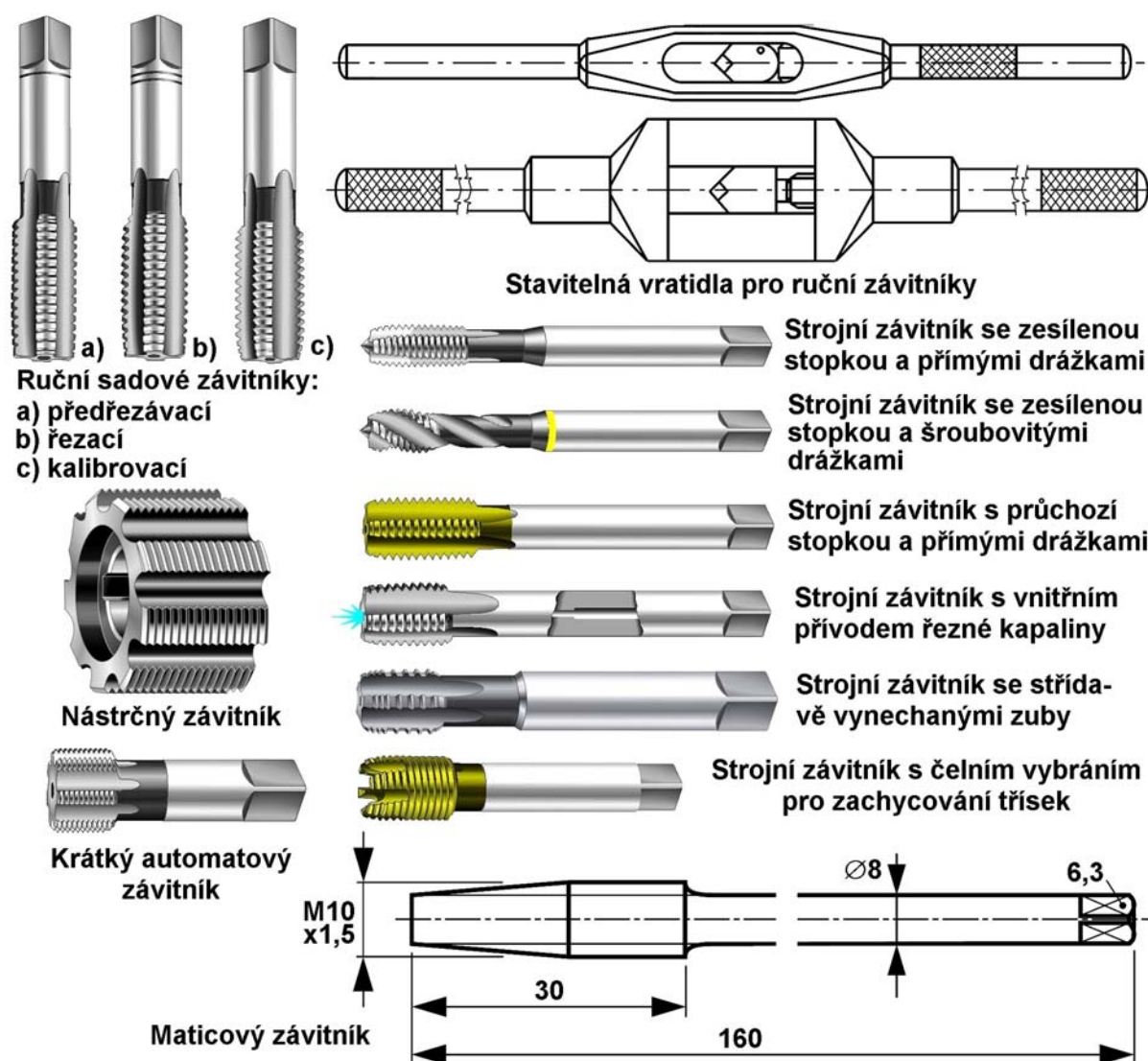
**Čelisti radiální hlavy** se ustavují na požadovaný průměr stavěcími šrouby a natáčecí objímkou podle kalibru nebo vzorového šroubu. Hlavy s radiálními čelistmi jsou vyráběny do velikosti závitů M60.



**Čelisti tangenciální hlavy** jsou uloženy ve výkyvném držáku a posuvně upnuty v rybinové drážce, což usnadňuje jejich axiální přestavitelnost. Hlavy s tangenciálními čelistmi jsou vyráběny do velikosti závitu M64.

**Závitové hlavy s kotoučovými noži** mají menší průměr než hlavy s radiálními nebo tangenciálními čelistmi, jsou výrobně jednodušší a nože vykazují v důsledku možnosti vysokého počtu ostření dlouhou životnost.

Čelisti (nože) musejí být axiálně přesazeny o podíl stoupání řezaného závitu, podle jejich počtu v závitové hlavě. Posuv závitových hlav je buď nucený, nebo se čelisti (nože) zařezávají do obrobku a automaticky posouvají podle stoupání řezaného závitu. Před začátkem operace je třeba zkontrolovat souosost hlavy a obráběného polotovaru, aby se vyloučila možnost poškození hlavy, ze stejného důvodu musí mít polotovar kuželové sražení. Po vyříznutí požadované délky závitu se čelisti nebo nože automaticky rozevrou, což přispívá ke zvýšení kvality vyrobeného závitu, protože odpadá zpětný pohyb nástroje.

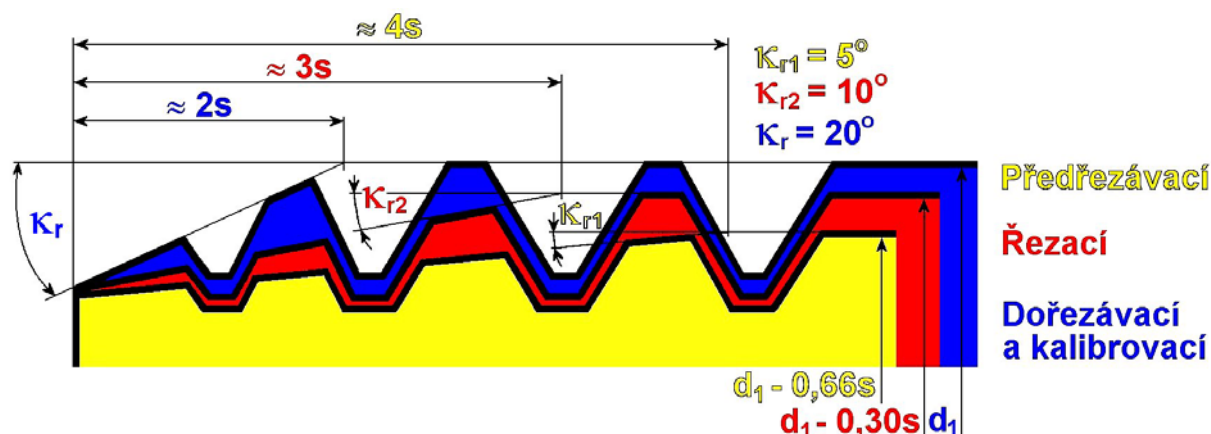


Obr. 5.4 Ruční a strojní závitníky

Pro ruční i strojní řezání vnitřních závitů se používají **závitníky** (obr. 5.4), které jsou vyráběny z rychlořezných ocelí nebo slinutých karbidů (v obou případech buď bez povlaků,

nebo s otěruvzdornými povlaky různých typů). Závitník je v podstatě šroub (s náběhovým kuzelem), na němž jsou vytvořeny břity pomocí jedné až osmi přímých nebo šroubovitých drážek. Výběr vhodného typu závitníku (velikost, tvar, úprava řezné části) závisí především na vlastnostech obráběného materiálu.

Pro ruční řezání jsou nejvýhodnější **sadové závitníky** - sada obsahuje dva až tři nástroje. První závitník daný závit předřeže, druhý řeže a třetí jej dořezává a kalibruje (obr. 5.5). Ruční závitníky jsou upínány do vratidel různé konstrukce.



Obr. 5.5 Profil ručních sadových závitníků

Pro strojní řezání se obvykle používá jeden závitník s kratším řezným kuzelem a přímými nebo šroubovitými drážkami, které jsou průběžné nebo neprůběžné. Závitníky s neprůběžnými drážkami snesou vyšší namáhání a proto se používají pro řezání závitů do materiálu o vyšší pevnosti. Do závitu M60 se používají závitníky se stopkou, která může být krátká (závitník snese větší namáhání na krut), dlouhá, průchozí nebo zesílená (pro závity do M10). Pro větší průměry závitů (M52 až M100) se používají nástrčné závitníky. Při strojním řezání jsou závitníky upínány do závitových hlav (s osovým vyrovnáním nebo reverzních), které zamezují poškození závitníku a umožňují okamžitou změnu směru otáčení závitníku po vyřezání závitu předepsané délky.

Pro ruční i strojní výrobu matic se používají **maticové závitníky**, které se vyznačují dlouhým řezným kuzelem, relativně krátkou závitovou částí a průchozí stopkou. Po vyřezání závitu matice není nutná reverzace závitníku, protože má dlouhou stopku, která pojme určitý počet matic (další výhodou dlouhé stopky je, že závitník nemusí být často uvolňován). Závitníky pro automatické stroje mají zahnutou stopku, po které odchází hotové matice.

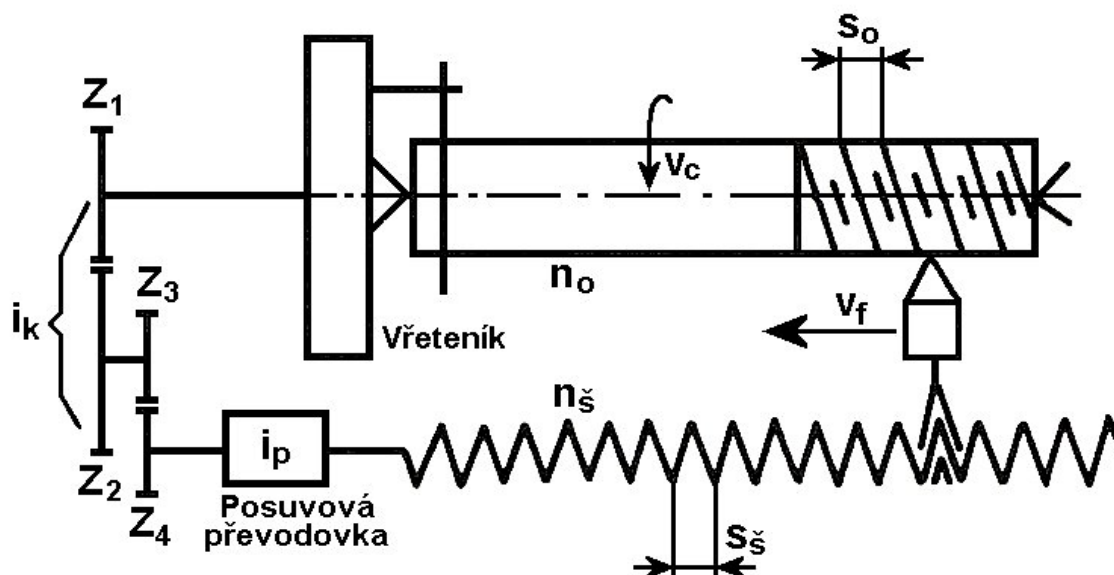
## 5.2. SOUSTRUŽENÍ ZÁVITŮ

Závity se soustruží na univerzálních, revolverových, poloautomatických, automatických a různých speciálních soustružnických strojích. Posuv nástroje na otáčku obrobku je roven stoupání soustruženého závitu. Pro kinematiku soustružení závitu na hrotovém univerzálním soustruhu platí (obr. 5.6):

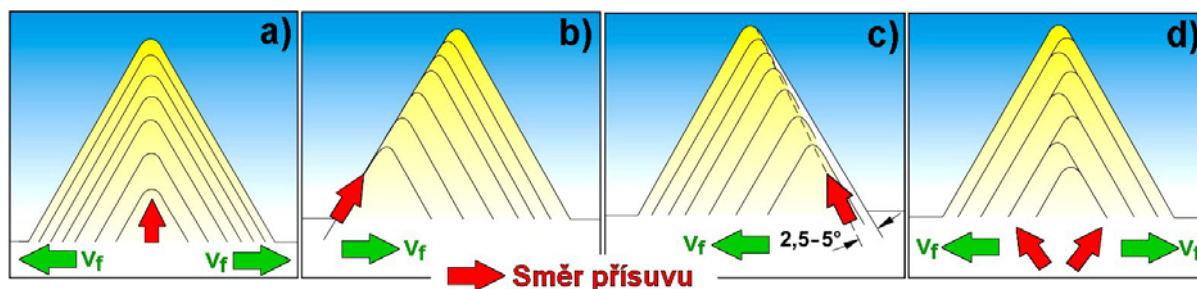
$$v_f = n_o \cdot s_o = n_s \cdot s_s \quad (5.1)$$

$$i = \frac{n_s}{n_o} = \frac{s_o}{s_s} = i_p \cdot i_k = i_p \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} \quad [-], \quad (5.2)$$

kde:  $v_f$  [ $\text{mm min}^{-1}$ ] je posuvová rychlost,  
 $n_o$  [ $\text{min}^{-1}$ ] jsou otáčky obrobku,  
 $n_s$  [ $\text{min}^{-1}$ ] jsou otáčky vodicího šroubu,  
 $s_o$  [mm] je stoupání závitu obrobku,  
 $s_s$  [ $\text{mm min}^{-1}$ ] je stoupání závitu vodicího šroubu,  
 $i$  [-] je celkový převod,  
 $i_p$  [-] je převod posuvové převodovky,  
 $i_k$  [-] je převod výměnnými ozubenými koly  $z_1$  až  $z_4$ .



Obr. 5.6 Kinematika soustružení závitu na univerzálním hrotovém soustruhu



Obr. 5.7 Způsoby postupného soustružení závitu  
a) radiální přísuv, b) boční přísuv, c) boční přísuv s odklonem, d) střídavý přísuv

Pro soustružení vnějších závitu se používají speciální **závitové nože**, jejichž profil je odvozen od profilu daného závitu. Starší typy nožů jsou celistvé (vyrobené obvykle z rychlořezné oceli, případně z konstrukční oceli, s připájenou břitovou destičkou ze slinutého karbidu) a mohou být jednodřívové (**radiální** nebo kotoučové) nebo hřbívkové (**prizmatické** nebo **kotoučové**). Jednodřívovým nožem se závit řeže postupně na několik záběrů (obr. 5.7), u hřbívkových nožů jsou první profily zkoseny, takže umožňují vyřezat závit na jeden záběr.

Při postupném řezání se nejčastěji využívá **radiální přísuv** (obr. 5.7a, kolmo na osu rotace obrobku), kdy dochází k rovnoměrnému úběru obráběného materiálu na obou bocích profilu závitu. Tento způsob je vhodný pro výrobu závitu s menším stoupáním ( $s < 1,5 \text{ mm}$ ), k

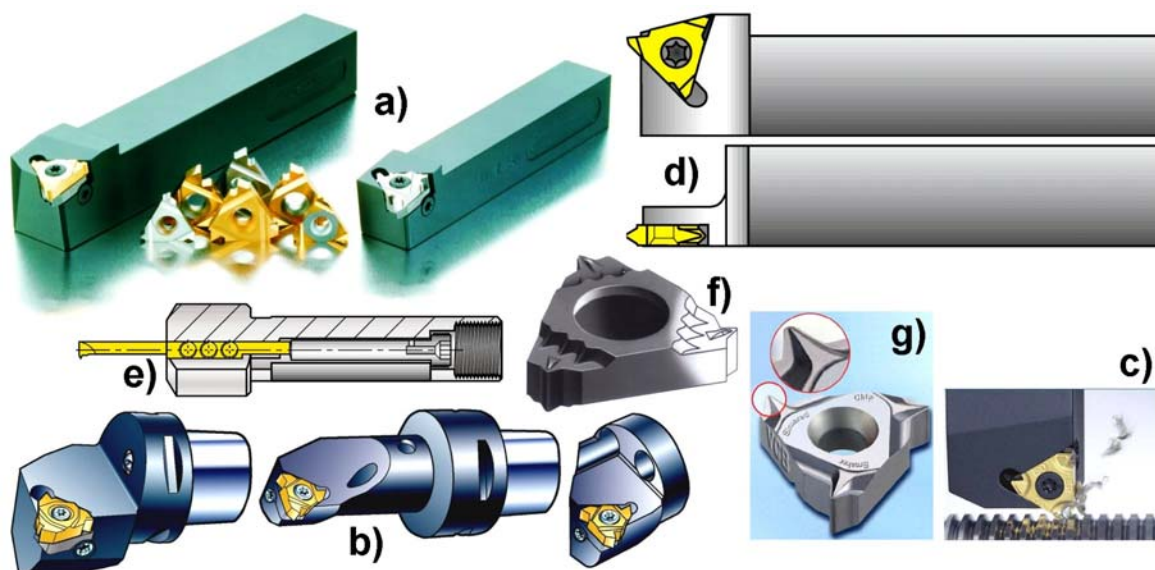
jeho výhodám patří příznivá tvorba třísky, rovnoměrné opotřebení břitu nástroje, k nevýhodám náchylnost ke vzniku kmitání u závitů s větším stoupáním. Používá se zejména pro obráběné materiály, které tvoří krátkou třísku a pro materiály se sklonem ke zpevňování za studena (např. oceli s nízkým obsahem uhlíku a korozivzdorné oceli).

**Boční přísuv** (obr. 5.7b) snižuje tepelné zatížení špičky nástroje (a tím i opotřebení), tvořená tříska je dobře tvarována a odváděna z místa řezu. Používá se pro řezání závitů s větším stoupáním ( $s > 1,5$  mm) a trapézové závitě. Nevýhodou je tření pravého břitu nástroje o pravý bok obráběného profilu a následné nepravidelné opotřebení břitu nástroje a zhoršení jakosti povrchu na pravém boku vytvářeného závitového profilu.

**Boční přísuv s odklonem**  $3^\circ$  až  $5^\circ$  (obr. 5.7c) eliminuje tření na boku profilu, které vzniká při soustružení závitu s bočním přísuvem.

**Střídavý přísuv** (obr. 5.7d) je doporučován pro soustružení závitů s velkým stoupáním v materiálech, které tvoří dlouhou, špatně utvářenou třísku. Výhodou je rovnoměrné rozdělení úběru materiálu na pravý a levý břit nástroje (rovnoměrnější opotřebení), nevýhodou vyšší nároky na programování obráběcího stroje.

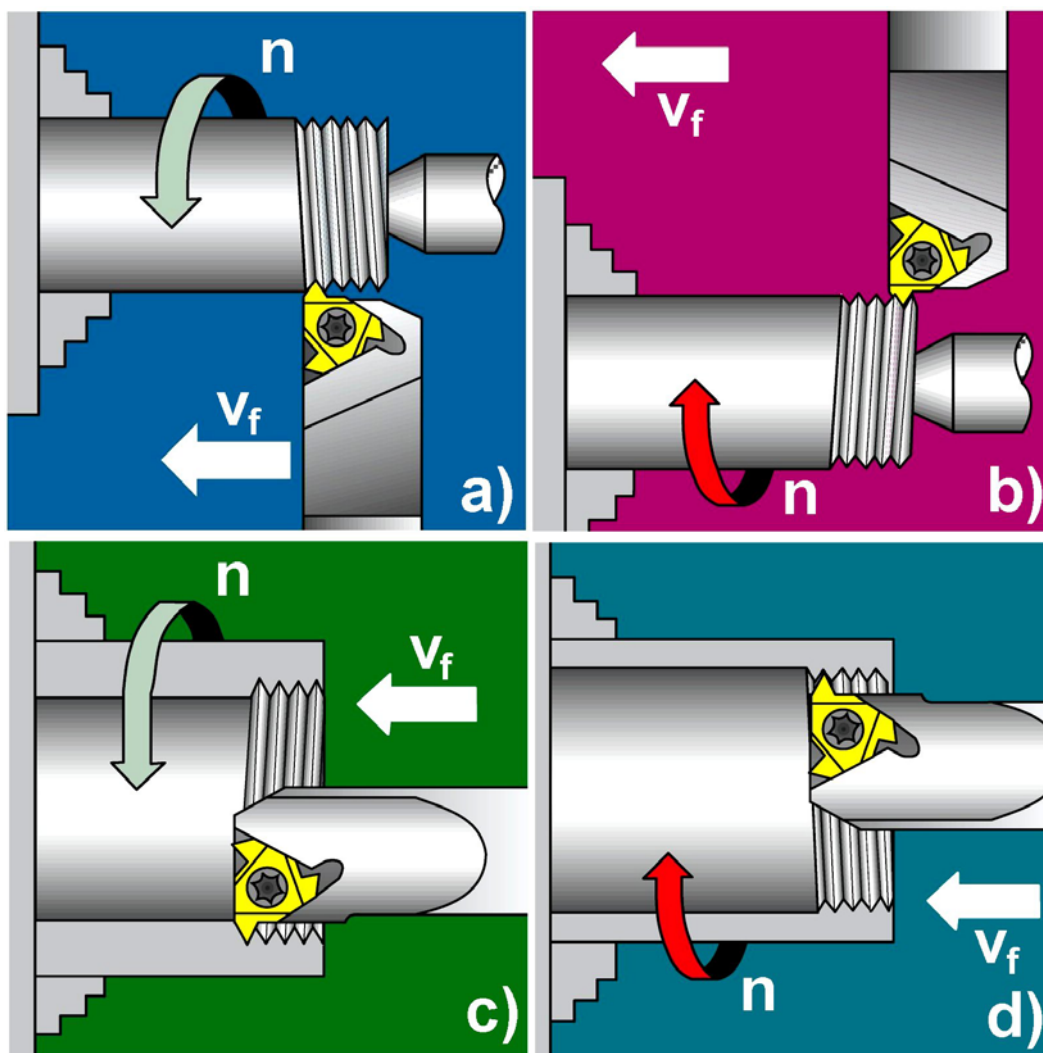
U všech jmenovaných způsobů soustružení závitů se doporučuje provést poslední, dokončovací záběr radiálním přísuvem (zejména z důvodu snížení drsnosti povrchu vyřezaného závitu).



Obr. 5.8 Nástroje pro soustružení závitů

a) radiální nože firmy Widia pro vnější závitě, b) hlavice pro vnější závitě firmy Sandvik - Coromant, c) radiální nůž pro vnější závitě firmy Iscar, d) radiální nůž pro vnější závitě firmy Vargus, e) radiální nůž pro vnitřní závitě malých průměrů firmy Vargus, f) závitová destička s utvařečem (firma Toshiba Tungaloy), g) závitová destička s utvařečem (firma Vargus)

V současné době používané **radiální závitové soustružnické nože** mají těleso z konstrukční oceli a mechanicky upínaný nůž ze slinutého karbidu (pro soustružení vnitřních závitů malého průměru), nebo častěji vyměnitelnou břitovou destičku ze slinutého karbidu - obrázek 5.8. Jsou určeny pro řezání vnějších i vnitřních pravých nebo levých závitů (obr. 5.9). Speciální tvar a geometrie břitových destiček, spolu s číslicovým řízením obráběcího stroje, umožňují všechny způsoby výroby závitů podle obrázku 5.7.



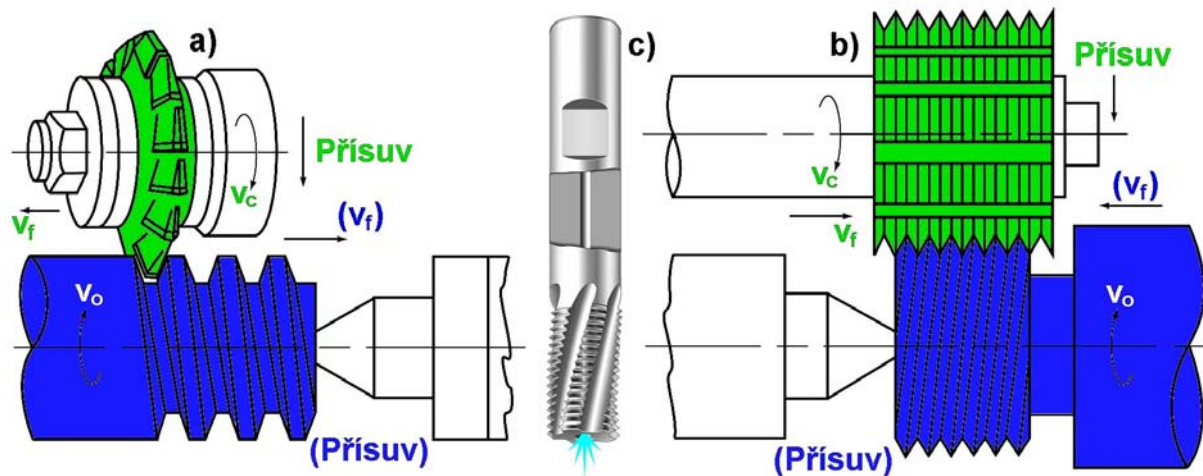
Obr. 5.9 Soustružení závitů radiálním nožem s vyměnitelnou břitovou destičkou  
 a) vnější pravý závit, b) vnější levý závit, c) vnitřní pravý závit, d) vnitřní levý závit

### 5.3. FRÉZOVÁNÍ ZÁVITŮ

Metody frézování závitů korespondují s kinematikou obráběcího procesu a použitým nástrojem (obr. 5.10, 5.12, 5.14 a 5.16). **Závitové kotoučové frézy** (vyrobené obvykle z rychlořezných ocelí) - obr. 5.10a - jsou jednodřívové nástroje, které se používají pro frézování dlouhých vnějších závitů (např. pohybové šrouby s lichoběžníkovým závitem). Fréza má profil závitové mezery a je vykloněna pod úhlem stoupání závitů. Za jednu otáčku obrobku se fréza nebo obrobek posune o délku stoupání závitů. K frézování dlouhých pohybových šroubů se používají speciální frézovací stroje, kratší šrouby lze frézovat i na univerzálních konzolových frézkách, s využitím dělicího přístroje.

**Hřebenové válcové závitové frézy** jsou vyráběny jako nástrčné (většinou z rychlořezných ocelí, obr. 10b) nebo stopkové (monolitní, z nepovlakovaných nebo povlakovaných sli nutých karbidů, obr. 10c). Jejich válcová plocha je tvořena závitovým profilem, přerušeným přímými nebo šroubovitými drážkami. Vyřízení celého závitů se provede na 1,25 až 1,5 otáčky obrobku, malopřůměrové nástroje lze použít i na výrobu vnitřních závitů. Fréza i obrobek konají rotační pohyb kolem své osy a současně se musí posouvat relativně proti sobě ve

směru osy, o jedno stoupání frézovaného závitu na jednu otáčku obrobku. Při aplikacích na CNC frézkách s možností programování kruhové interpolace je zavit vyroben planetovým pohybem nástroje při jeho současném osovém posuvu.



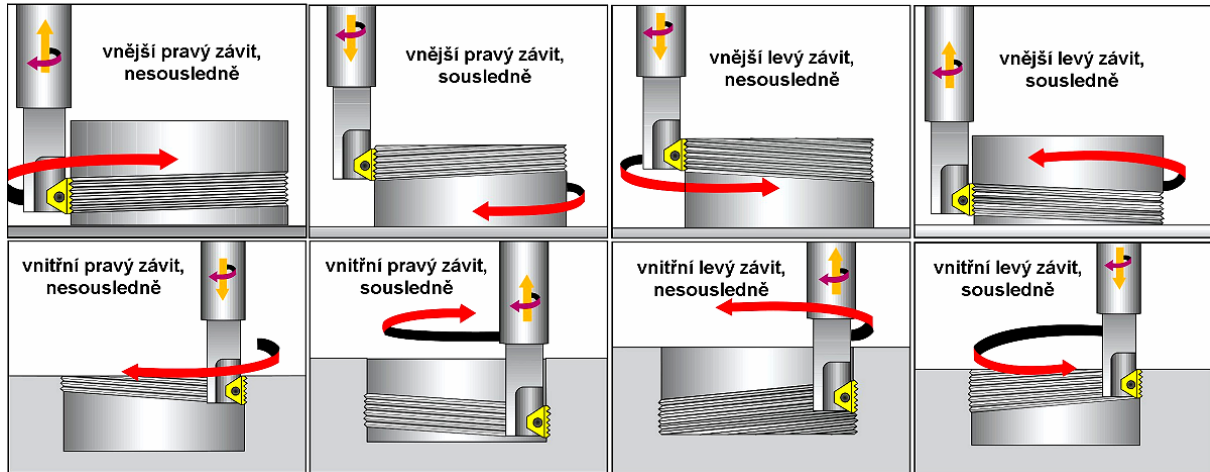
Obr. 5.10 Metody frézování závitů: a) kotoučová fréza, b) hřebenová válcová nástrčná fréza, c) hřebenová válcová stopková fréza s vnitřním přívodem řezné kapaliny



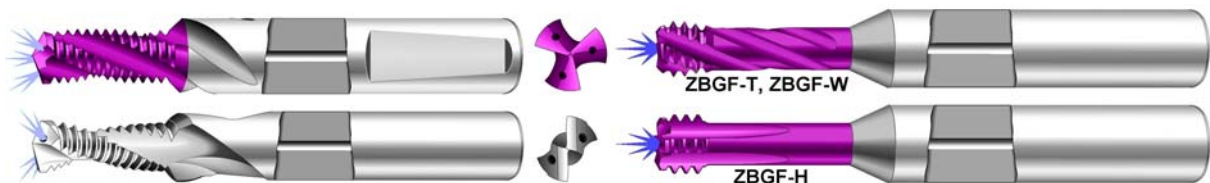
Obr. 5.11 Stopkové závitové frézy firmy Widia s vyměnitelnými břitovými destičkami

**Stopkové závitové frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami** (obr. 5.11) umožňují velmi produktivním způsobem frézovat dlouhé vnější i vnitřní pravé nebo levé závit - obr. 5.12 (u vnitřního závitu musí být průměr frézy menší než 2/3 průměru řezaného závitu). Fréza s mechanicky upnutou VBD z nepovlakovaného nebo povlakovaného slinutého karbidu (destička má hřebenovitý tvar s profilem odpovídajícího závitu) provádí planetový rotační pohyb (rotuje kolem své vlastní osy a současně kolem osy obráběného závitu) a současně se relativně posouvá vzhledem k ose obrobku, o jedno stoupání závitu na jednu otáčku obrobku. V případě řezání delšího závitu se uvedená operace několikrát opakuje, s osovým posunutím o

odpovídající délku závitu (závisí na délce břitové destičky). Nástrojem s jedinou břitovou destičkou lze tedy vyrábět závity v určitém rozsahu průměrů a délek, omezujícími faktory jsou pouze stoupání závitu dané destičky a nutnost použití CNC obráběcího stroje, jehož číselkové řízení umožňuje provádět kruhovou interpolaci.



Obr. 5.12 Možné technologie výroby závitů pomocí frézy s VBD

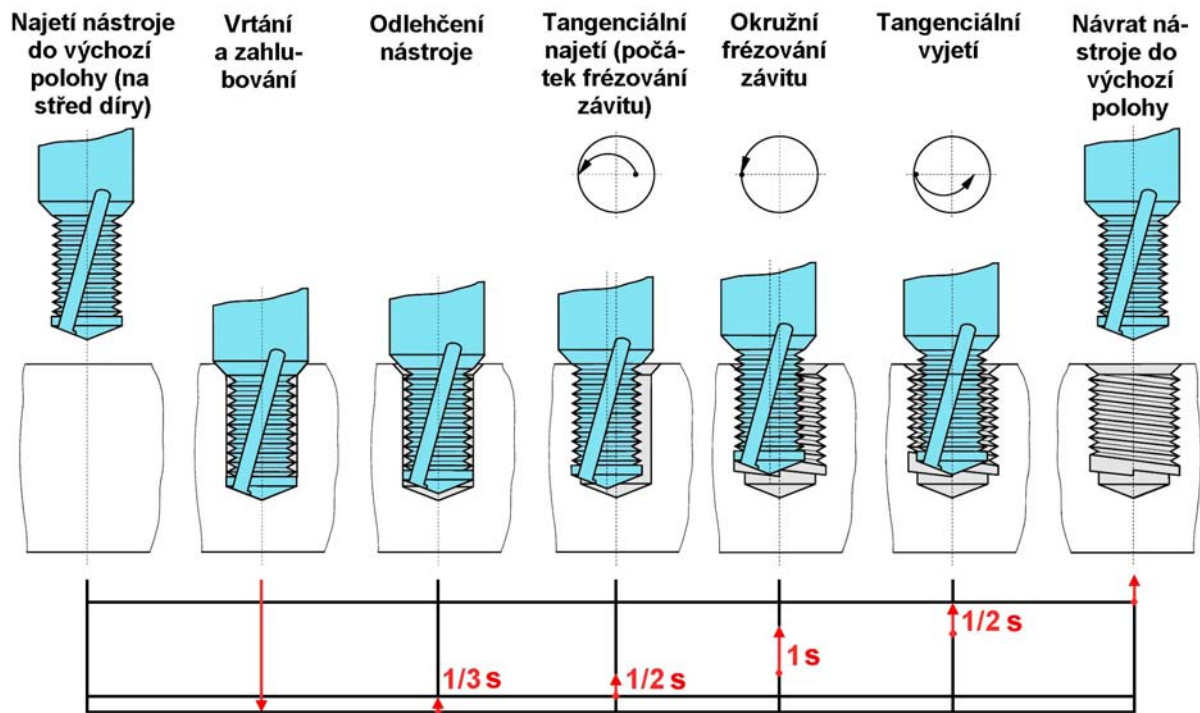


Obr. 5.13 Monolitní SK vrtací závitové frézy BGF firmy Emuge-Franken

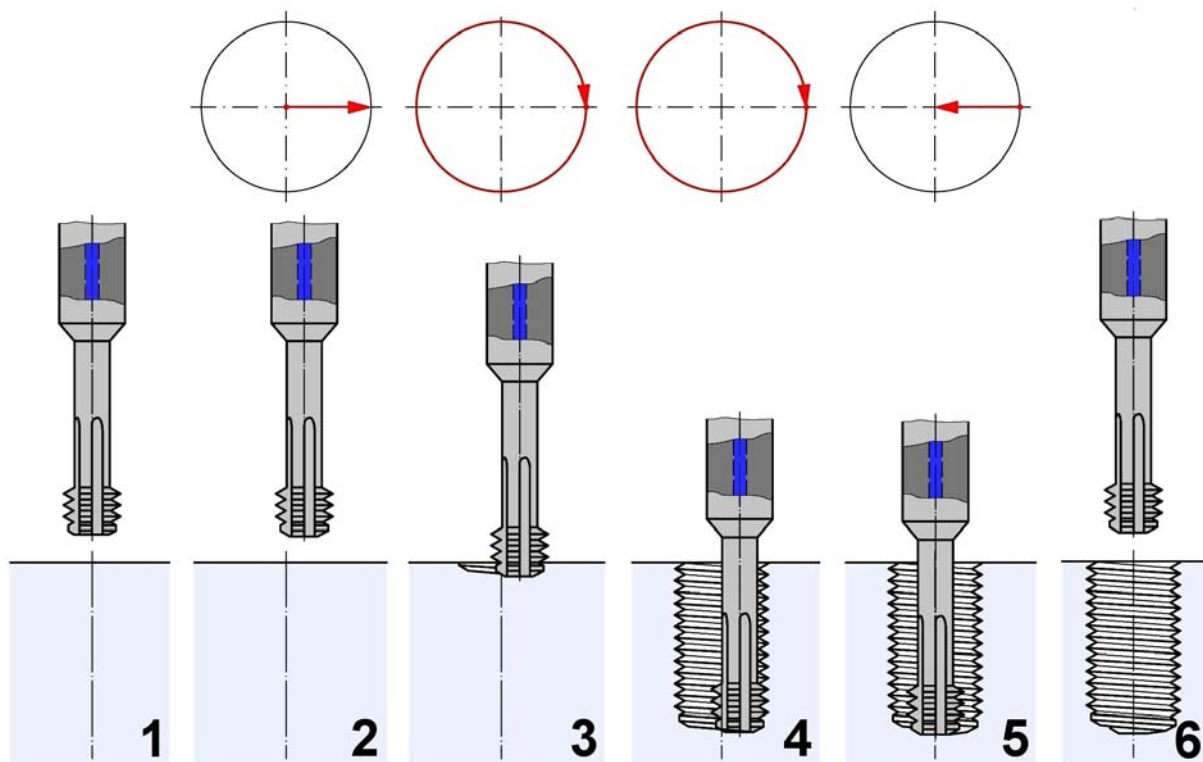
Obr. 5.15 Monolitní SK vrtací závitové frézy ZBGF firmy Emuge-Franken

Monolitní **vrtací závitové frézy BGF** firmy Emuge-Franken (vyráběné z nepovlakovaných i povlakovaných slinutých karbidů, obr. 5.13) pro frézování vnitřních závitů umožňují provést v průběhu jednoho pracovního cyklu tři různé operace bez výměny nástroje (vrtání díry, sražení hrany a frézování závitu - obr. 5.14). Tím se ušetří náklady na vrták i záhlubník a také čas potřebný na výměnu těchto nástrojů. Frézy BGF mají vnitřní přívod řezné kapaliny a jsou vyráběny v provedení se dvěma nebo třemi šroubovitými drážkami (např. pro metrický závit v základních rozměrech M4, M5, M6, M8, M10, M12, M14 a M16). Oblast použití - obrábění materiálů, které tvoří krátkou drobnou třísku, jako jsou šedé litiny, hliník a jeho slitiny a umělohmotné materiály.

Monolitní **vrtací závitové frézy řady ZBGF** firmy Emuge-Franken pro výrobu vnitřních závitů (vyráběné z povlakovaných slinutých karbidů, obr. 5.15) frézují závit pomocí kruhové interpolace do plného materiálu, bez předchozího vyvrtání díry (obr. 5.16). Mají vnitřní přívod řezné kapaliny a jsou vyráběny v provedení se třemi nebo čtyřmi přímými nebo šroubovitými drážkami, pro závity M6 a M7 (stoupání  $s = 1,0$  mm), M8 až M10 ( $s = 1,25$ ), M10 až M12 ( $s = 1,5$ ) a M12 x 1,75. Slouží pro obrábění kalených materiálů (až do tvrdosti 62 HRC), litin, ocelí (včetně korozivzdorných), hliníku a jeho slitin, titanu a umělohmotných materiálů. Oba typy vrtacích závitových fréz vyžadují použití CNC frézky s možností programování pomocí kruhové interpolace.



Obr. 5.14 Cyklus frézování závitu frézou BGF



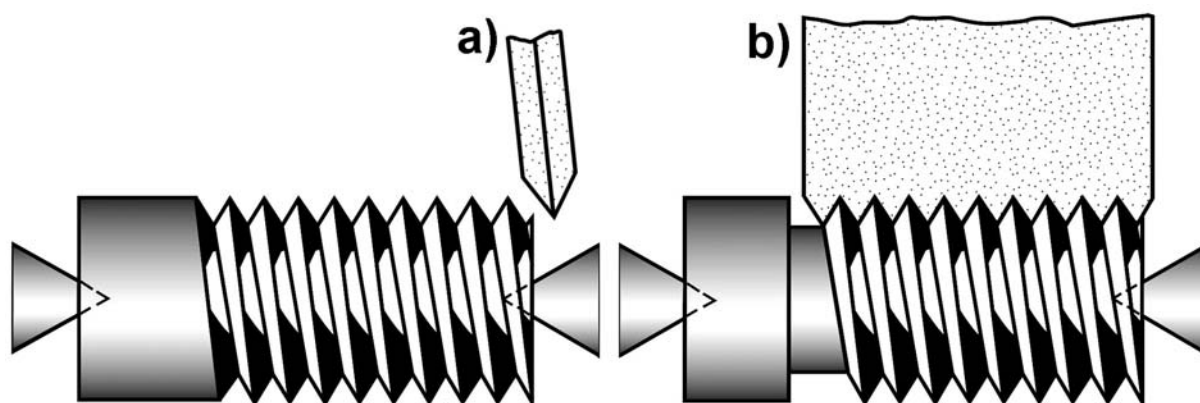
- 1 - Najetí nástroje do výchozí polohy (na střed díry)  
 2 - Stranové najetí do počátečního bodu  
 3, 4 - Frézování závitu  
 5 - Stranové vyjetí  
 6 - Návrat nástroje do výchozí polohy (případně sražení hrany)

Obr. 5.16 Cyklus frézování závitu frézou ZBGF



## 5.4 BROUŠENÍ ZÁVITŮ

Broušení vnějších závitů se používá pro přesné šrouby, u kterých jsou kladeny vysoké požadavky na parametry drsnosti povrchu, profil a stoupání závitu. Vnější závit se nejčastěji brousí na speciálních závitových bruskách jednodílným (obr. 5.17a) nebo hřebenovým kotoučem (obr. 5.17b). Před vlastním broušením jsou kotouče tvarovány a ohrnovány, jednodílné kotouče pomocí diamantových ohrnováčů, hřebenové kotouče pomocí tvarovacích kladek.



Obr. 5.17 Broušení vnějších závitů  
a) jednodílný kotouč, b) hřebenový kotouč

**Jednodílný broušící kotouč** je při broušení vykloněn o úhel stoupání závitu, nastaven na plnou hloubku závitu a jeho otáčky odpovídají požadované řezné rychlosti  $v_c$  při daném průměru kotouče. Obrobek se otáčí a posouvá v axiálním směru o délku stoupání závitu na jednu otáčku obrobku. Tímto způsobem jsou broušeny závitové nástroje a měřidla, upnuté mezi hroty), dosahuje se však malé produktivity.

**Hřebenový broušící kotouč** má na svém obvodu několik negativních profilů závitu. Rotuje požadovanými otáčkami (podle hodnoty  $v_c$ ) a je nastaven rovnoběžně s osou obrobku. Při zapichovacím broušení je kotouč o 2 až 3 rozteče širší než je délka závitu, postupně se k obrobku přisouvá v radiálním směru, na plnou hloubku profilu závitu. Obrobek se přitom otáčí a posouvá v axiálním směru o jednu rozteč závitu na jednu otáčku. Jemné závitové s roztečí menší než 1 mm lze brousit hřebenovými kotouči zcela, bez předchozího obrábění. Vyšší produktivity lze dosáhnout při použití hřebenového kotouče, který je na obvodu zkosen tak, že až čtvrtý nebo pátý profil odpovídá plnému profilu závitu. Brousí se průběžně, kotouč se nastaví na plnou hloubku závitu a záběr je realizován axiálním posuvem obrobku, který se na jednu otáčku posune o jedno stoupání závitu. Pro usnadnění profilování kotouče a umožnění vydatnějšího chlazení jsou při broušení závitů s jemným stoupáním používány hřebenové kotouče s vynechávaným profilem.

Závitové nástroje na svornících bez osazení nebo hlav lze brousit na bezhrotých bruskách. Broušící kotouč má na svém obvodu negativní profil závitu, podávací kotouč je hladký a je nastaven jako při běžném bezhrotém broušení průběžnou metodou.

Vnitřní závitové nástroje se brousí obdobně jako závitové nástroje vnější, musí se ale použít kotouče malých průměrů. Nastavení kotouče do předřezaného závitu je ve srovnání s vnějším broušením obtížné. Jednodílnými kotouči se brousí jen nejpřesnější závitové nástroje na měřidlech od průměru 25 mm. Zapichovacího způsobu broušení hřebenovým kotoučem se používá na jemné závitové nástroje délky do 20 mm. Ostatní vnitřní závitové nástroje jsou broušeny podélným způsobem.

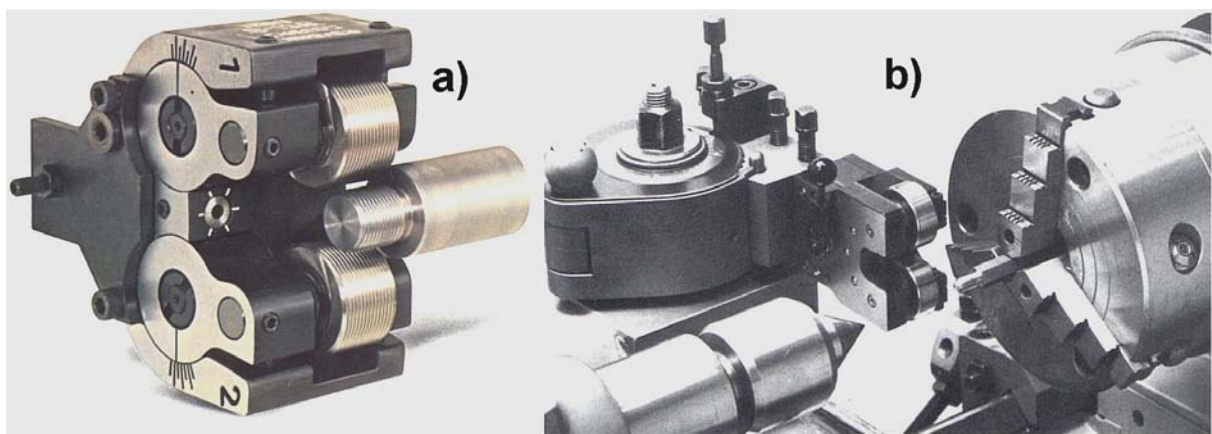
## 5.5. TVÁŘENÍ ZÁVITŮ

Nejproduktivnějším způsobem výroby vnějších závitů je válcování, při kterém nedochází k úběru obráběného materiálu ve formě třísky, ale k jeho plastické deformaci. Deformovaný materiál se zpevňuje a na rozdíl od výroby závitu obráběním není poškozena vnitřní struktura materiálu, protože jednotlivá vlákna nejsou přerušena (viz obr. 5.20). Proto jsou tvářené závity schopny přenášet větší silová zatížení, jejich nevýhodou je však zhoršená tvarová přesnost, především na vrcholcích a v prohlubních profilu.

Podstata válcování spočívá ve vytlačování závitu na svorníku pomocí plochých nebo kotoučových čelistí, které mají tvar profilu vyráběného závitu. Protože při vnikání válcovacího nástroje do materiálu dochází ke zvětšování výchozího průměru polotovaru, musí být jeho hodnota menší, než je jmenovitý vnější průměr válcovaného závitu. Přesné dodržení doporučeného rozměru polotovaru (platí i pro průměr předvrtané díry pro vnitřní závit) je při tváření závitu vždy velmi důležité a rozhodující měrou ovlivňuje kvalitu tvářeného závitu (tvar, rozměry a jejich úchytky, drsnost povrchu), i trvanlivost použitého nástroje.

Při válcování závitu *plochými čelistmi* je polotovar podáván mezi dvě kalené čelisti (pro každé stoupání se používá jiná dvojice), z nichž horní je pohyblivá. Závit je vyválcován při jednom zdvihu horní čelisti, součást přitom vykoná přibližně 2 otáčky. Rozměrové odchylky jsou při tomto způsobu válcování poměrně vysoké, metoda je vhodná zejména pro výrobu běžných spojovacích šroubů.

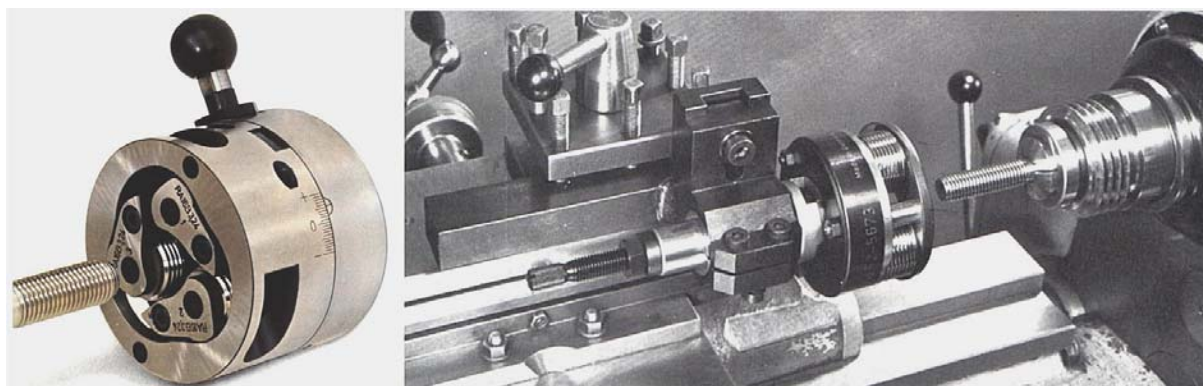
Válcování závitu pomocí *kotoučových čelistí* se používá častěji a může být realizováno radiálním nebo axiálním způsobem. Při *radiálním způsobu* (obr. 5.18) se používají dva kotouče (délka vyráběného závitu je omezena jejich šířkou), na kterých je vytvořen negativní profilu válcovaného závitu. Oba kotouče jsou poháněny, otáčejí se ve stejném smyslu a přibližují k polotovaru, závit je vytvořen během několika jeho otáček. Pro tento způsob výroby závitů jsou používány speciální stroje, které umožňují válcovat šrouby s normálním a plochým závitem, případně i jiné profily. Pokud je třeba válcovat delší závity, využívá se axiální pohyb obrobku.



Obr. 5.18 Radiální způsob válcování závitu  
a) hlava s kotoučovými čelistmi, b) sestava stroj - nástroj - součást

Při *axiálním způsobu* (obr. 5.19) je závit tvářen pomocí tří volně otočných kotoučů (vzájemně přesazených o 1/3 stoupání závitu), jejichž osy jsou buď mimoběžné, skloněné k ose polotovaru o úhel stoupání závitu, nebo jsou s ní rovnoběžné. Všechny tři kotouče mají na svém obvodu vytvořen negativní profilu závitu v uzavřených okruzích, náběhové plochy jsou

kuželovitě sražený (stejně sražení má i polotovár). Při válcování se vzájemná poloha kotoučů nemění, polotovár se otáčí a je vtahován mezi válcovací kotouče. K válcování závitů axiálním způsobem lze využít revolverové a automatické soustruhy.

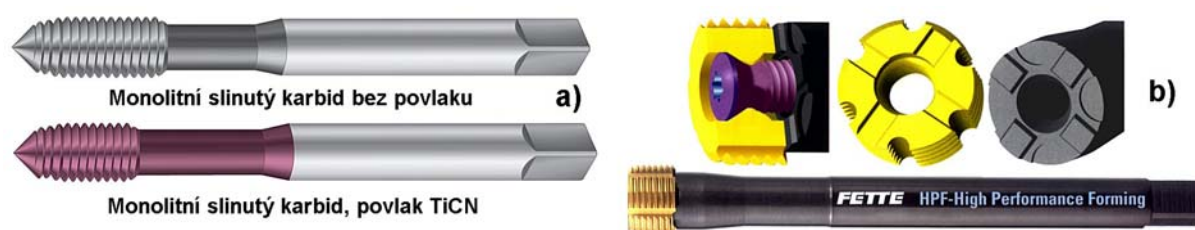


Obr. 5.19 Axiální způsob válcování závitu  
a) hlava s kotoučovými čelistmi, b) sestava stroj - nástroj - součást

Vnitřní závitů jsou vyráběny pomocí tvářecích závitníků, které pracují na principu plastické deformace předvrtané díry (obr. 5.20b). Deformovaný materiál se zpevňuje a není narušena jeho vnitřní struktura, což podstatně zvyšuje pevnost, spolehlivost a životnost závitu.



Obr. 5.20 Rozdíly při výrobě vnitřního závitu: a) řezací závitník, b) tvářecí závitník



Obr. 5.21 Tvářecí závitníky  
a) závitníky Record Druck firmy Emuge-Franken, b) závitník HPF firmy LMT-Fette

**Tvářecí závitníky** jsou velmi často vyráběny jako monolitní, z nepovlakovaných a povlakovaných slinutých karbidů (obr. 5.21a), nebo mají konstrukci s vyměnitelnou hlavicí (obr. 5.21b). Závitníky HPF (High Performance Forming) firmy LMT-Fette, mají ocelové těleso a přesně broušenou vyměnitelnou hlavicí z povlakovaného slinutého karbidu. Stabilní a přesné spojení tělesa a hlavice je zajištěno prostřednictvím unašeče základního tělesa (čtyřhranné

výstupky, které zapadají do odpovídajících drážek hlavice) a centrální kuželové díry hlavice, oba díly (těleso a hlavice) jsou spojeny šroubem. Ocelová stopka je v důsledku své vyšší torzní tuhosti schopna přenést velké kroučící momenty, slinutý karbid, ze kterého je vyrobena hlavice, je optimalizován pro proces tváření závitů (superjemnozrnný otěruvzdorný substrát, PVD povlak TiCN Plus). Tato kombinace umožňuje vysoké výkony tváření (délka závitů až 3xD, včetně závitů ve slepých dírách) a vylučuje možnost poškození nástroje lomem, který se často vyskytuje u monolitních tvářecích závitníků.

## 6. VÝROBA OZUBENÍ

Výroba ozubení patří mezi velmi důležité ale také velmi složité technologické procesy. Složitost obrábění ozubených kol souvisí s tím, jak je nutno splnit teoretické poznatky plynoucí z teoremu odvalu a teoremu obtisku nástrojových ploch pro dosažení správného záběru vyrobeného ozubení. Kvůli vyrovnání nepřesností ozubených kol i jejich uložení v převodové skříně a deformací spojených s přenosem kroučícího momentu jsou zuby kol při výrobě modifikovány (podélná a výšková úprava plochy boku zubů). Tyto úpravy sice snižují hlučnost a zvyšují životnost ozubení, na druhé straně ale kladou zvýšené nároky na jejich výrobu. Přesnost vyrobeného ozubení je ovlivněna zejména kinematikou obráběcího procesu, použitým nástrojem, typem a technickým stavem obráběcího stroje, volbou technologických základen, způsobem upnutí obrobku a řezným prostředím.

Výrobu ozubení lze podle druhu ozubeného kola rozdělit na obrábění čelních kol s přímými, šikmými a šípovými zuby, šneků, šnekových kol a kuželových kol s přímými, šikmými nebo zakřivenými zuby. V uvedeném pořadí roste technologická náročnost obrábění jednotlivých druhů ozubení.

### 6.1. OBRÁBĚNÍ ČELNÍCH OZUBENÝCH KOL

Ozubení čelních kol se obrábí frézováním, obrážením a protahováním, pro dokončování se používá ševingování (u kol bez tepelného zpracování) nebo broušení (u kol s kalenými zuby). Výběr některé z uvedených technologií závisí na počtu vyráběných ozubených kol, velikosti a typu kola (samostatné kolo nebo soukolí), umístění zubů (vnější nebo vnitřní ozubení) a jejich tvaru (přímé, šikmé, šípové).

#### 6.1.1. Frézování dělicím způsobem

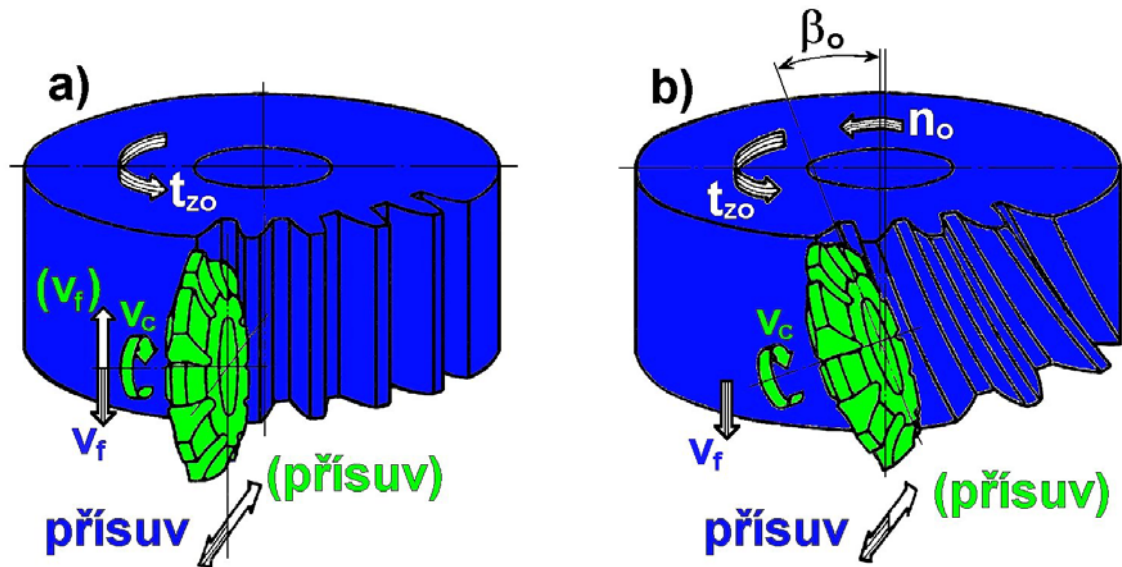
Při frézování dělicím způsobem (obr. 6.1) se obrobí jedna zubová mezera, poté se obrobek upnutý v dělicím přístroji pootočí o jednu zubovou rozteč ( $t_{z0}$ ) a frézuje se další zubová mezera. Tímto způsobem se čelní ozubená kola frézují zejména v kusové výrobě. K nevýhodám dělicího způsobu frézování patří malá přesnost a nízká výrobnost způsobená tím, že proces obrábění není plynulý. Mezi výhody patří jednoduchost, nízká cena nástroje a možnost použití běžných obráběcích strojů - univerzálních, případně speciálních frézek.

Čelní ozubená kola s přímými zuby se frézují *kotoučovou* (obr. 6.2a, 6.14) nebo *čepovou (stopkovou) modulovou frézou* (obr. 6.2b), profil frézy odpovídá profilu zubové mezery. Protože tvar profilu zubové mezery je pro určitý modul závislý na počtu zubů obráběného kola, teoreticky by pro každý modul a počet frézovaných zubů byla zapotřebí samostatná fréza odpovídajícího tvaru. To by ale znamenalo neúnosné rozšíření sortimentu nástrojů, pod-

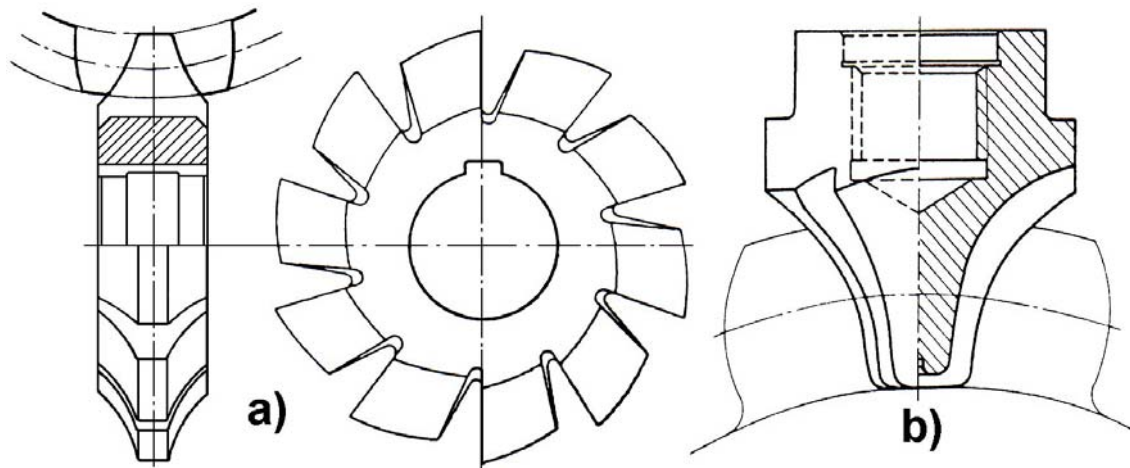
statné snížení efektivnosti výroby a zvýšení provozních nákladů. Proto se v praxi používá jeden nástroj s daným modulem vždy pro určitý rozsah zubů a všechny modulové frézy jsou dodávány v sadách, které obsahují 8 (viz tabulku 6.1), 15 nebo 26 členů pro příslušný modul (závisí na požadavcích přesnosti obráběného ozubení). Kotoučové modulové frézy jsou vyráběny pro moduly  $m=0,2$  až 16 mm.

Tab. 6.1 Rozložení počtu zubů pro osmičlennou sadu kotoučových fréz

Číslo frézy	1	2	3	4	5	6	7	8
Pro počet zubů	12÷13	14÷16	17÷20	21÷25	26÷34	35÷54	55÷134	135÷

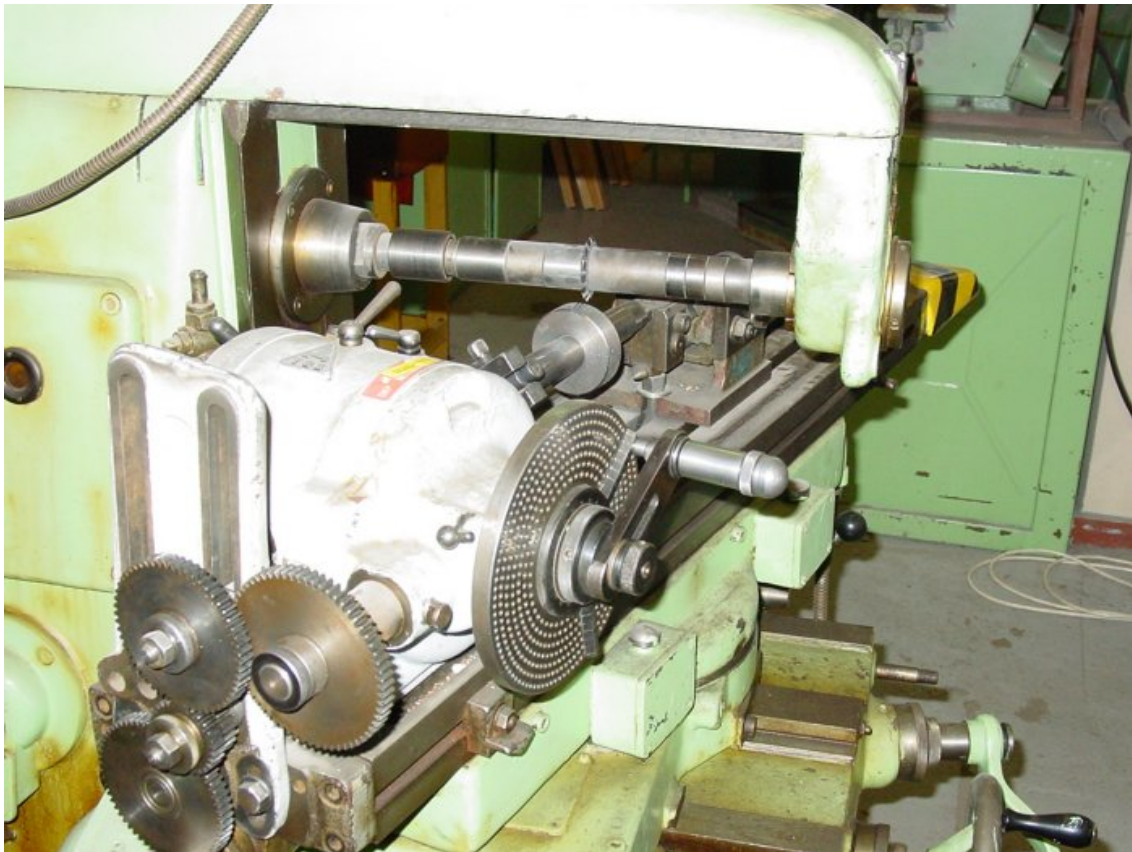


Obr. 6.1 Frézování čelního ozubení dělicím způsobem kotoučovou frézou  
a) přímé zuby, b) šikmé zuby



Obr. 6.2 Modulové frézy: a) kotoučová, b) čepová (stopková)

Při frézování šikmých zubů kotoučovou modulovou frézou je pracovní stůl stroje s upnutým obrobkem natočen vzhledem k ose vřetena o úhel sklonu zubů  $\beta_o$  (obr. 6.1b, 6.3). Zuby se pak vytvoří kombinací podélného posuvu stolu ( $v_f$ ) a rotačního pohybu obrobku ( $n_o$ ), který je odvozen od posuvového šroubu stolu. Frézování šikmého ozubení čepovou frézou je analogické, ale pracovní stůl se nenatáčí. Čepovými modulovými frézami lze frézovat i šípové ozubení.



Obr. 6.3 Frézování čelního ozubeného kola se šikmými zuby kotoučovou modulovou frézou

Pro výkonné hrubování ozubených kol větších modulů ( $m=12$  až  $20$  mm) se používají hrubovací kotoučové frézy s odstupňovaným profilem a frézy se vsazenými noži z rychlořezných ocelí (až do  $m=45$  mm) nebo břitovými destičkami ze slinutých karbidů (až do  $m=50$  mm). Čepové modulové frézy pro hrubování ozubení s modulem  $m>30$  mm mají lichoběžníkový profil a břity ve šroubovici, proto mohou být v tomto případě použity větší posuvové rychlosti. Čepové frézy se používají zejména při výrobě ozubení s velkými moduly ( $m=20$  až  $75$  mm), kde by odvalovací frézy i odpovídající obráběcí stroje byly příliš nákladné.

### **6.1.2. Frézování odvalovacím způsobem**

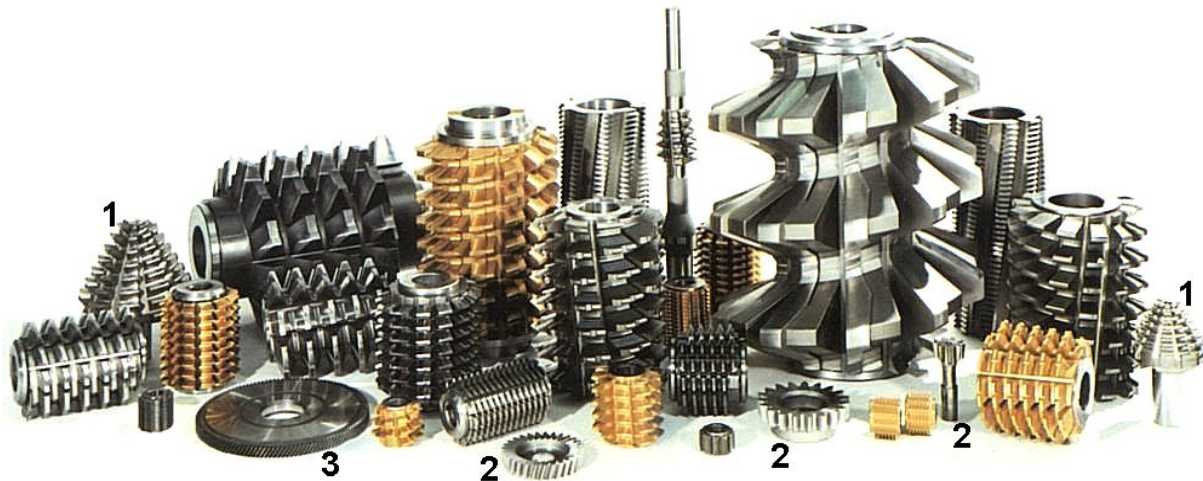
Odvalovací frézování je založeno na principu záběru válcového šneku (nástroj) s ozubeným kolem (obrobek). Nástrojem je **odvalovací fréza** (obr. 6.4, 6.14), která má tvar evolventního šneku, jehož profil je v normální rovině tvořen základním hřebenem. Spirála šneku je přerušena drážkami, které vytvářejí na základním hřebenu čelní plochy břitů (zubů) nástroje. Hlava a boky zubů jsou podbroušeny nebo podsoustruženy, aby byly na hlavním hřbetu i vedlejších hřbetech vytvořeny požadované úhly hřbetu.

Řezný pohyb je vyvozen rotací frézy ( $n$ ), obrobek rotuje otáčkami  $n_0$  tak, že se za jednu otáčku frézy pootočí o jednu zubovou rozteč, čímž se plynule frézují všechny zuby. Aby se vytvořilo ozubení po celé šířce frézovaného kola, musí se fréza současně pohybovat ve směru obráběných zubů rychlostí  $v_f$  (obr. 6.5). Smysl posuvu frézy se může shodovat se smyslem její rotace (nesousledné frézování), nebo může být opačný (sousledné frézování). Boky zubů se vytvářejí jako obalové plochy jednotlivých poloh nástroje (obr. 6.6). Jednou odvalovací frézou lze obrábět ozubená kola stejného modulu s libovolným počtem a sklonem zubů.

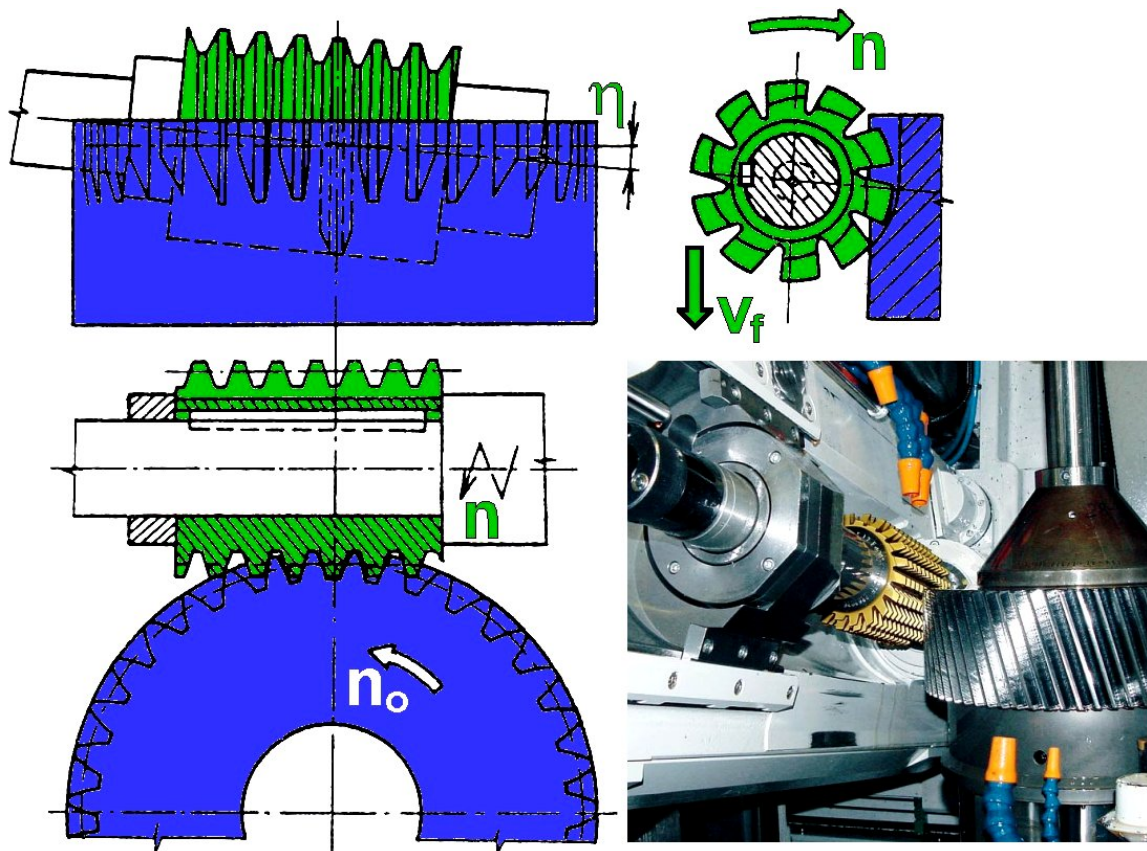
Kinematika řezného pohybu vychází z podmínky:

$$\frac{n_o}{n} = \frac{z}{z_o} \quad [-], \quad (6.1)$$

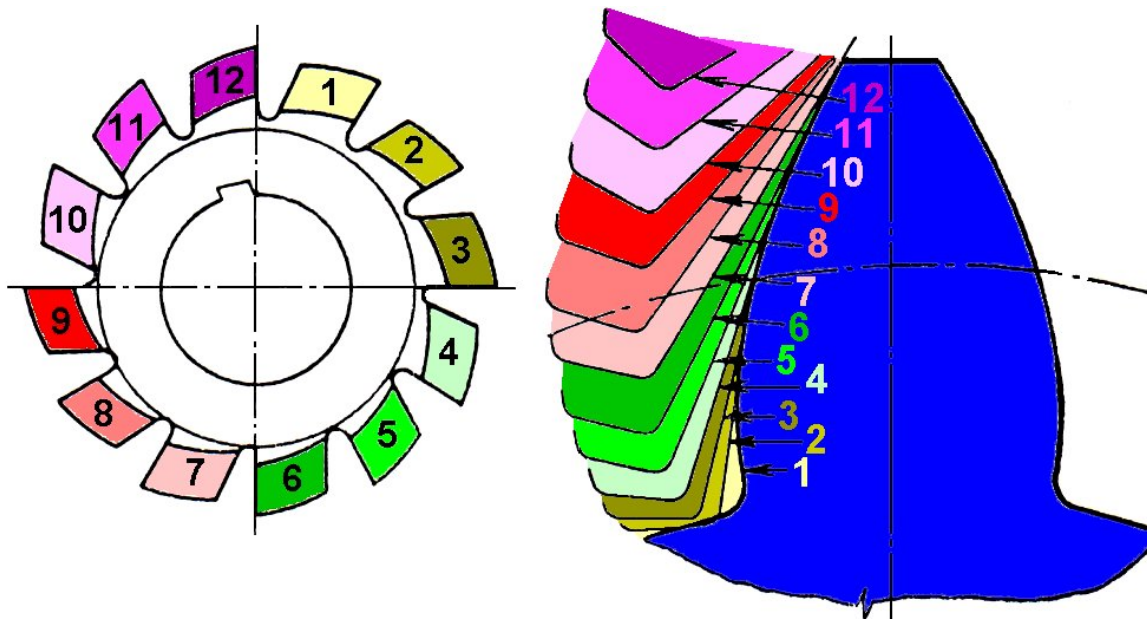
kde:  $n_o$  [ $\text{min}^{-1}$ ] jsou otáčky obráběného kola,  
 $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ] jsou otáčky odvalovací frézy,  
 $z_o$  [-] je počet zubů obráběného kola,  
 $z$  [-] je počet chodů odvalovací frézy.



Obr. 6.4 Nástroje na výrobu ozubení: 1 - frézy Klingelnberg, 2 - obrážecí nože Fellows, 3 - ševingovací kolo, ostatní nástroje - odvalovací frézy



Obr. 6.5 Kinematika pohybů při odvalovacím frézování čelního ozubení



Obr. 6.6 Princip vytvoření evolventy při odvalovacím frézování

Při frézování kol s přímými zuby se odvalovací fréza natáčí k rovině kolmé k ose kola o úhel nastavení  $\eta$  (obr. 6.5, 6.7), který je roven stoupání šroubovice  $\omega$  odvalovací frézy. Smysl natočení závisí na tom, zda jde o frézu pravochoudou nebo levochoudou. Při obrábění kol se šikmými zuby je úhel nastavení odvalovací frézy:

$$\eta = \beta_0 \pm \omega \quad [^\circ], \quad (6.2)$$

kde:  $\beta_0$   $[^\circ]$  je úhel sklonu zubů obráběného kola,  
 $\omega$   $[^\circ]$  je úhel stoupání odvalovací frézy.

Obráběcí kolo musí konat urychlený otáčivý pohyb, čehož se dosahuje diferenciálním převodem. Znaménko **plus** ve vztahu (6.2) se použije v případech, kdy se pravochodé (levochodé) kolo frézuje levochodým (pravochodým) nástrojem. Znaménko **minus** ve vztahu (6.2) se uplatní při frézování pravochodé (levochodé) kola pravochodým (levochodým) nástrojem. Pro ilustraci jsou všechny uvedené kombinace (včetně frézování ozubených kol s přímými zuby) dokumentovány na obrázku 6.7.

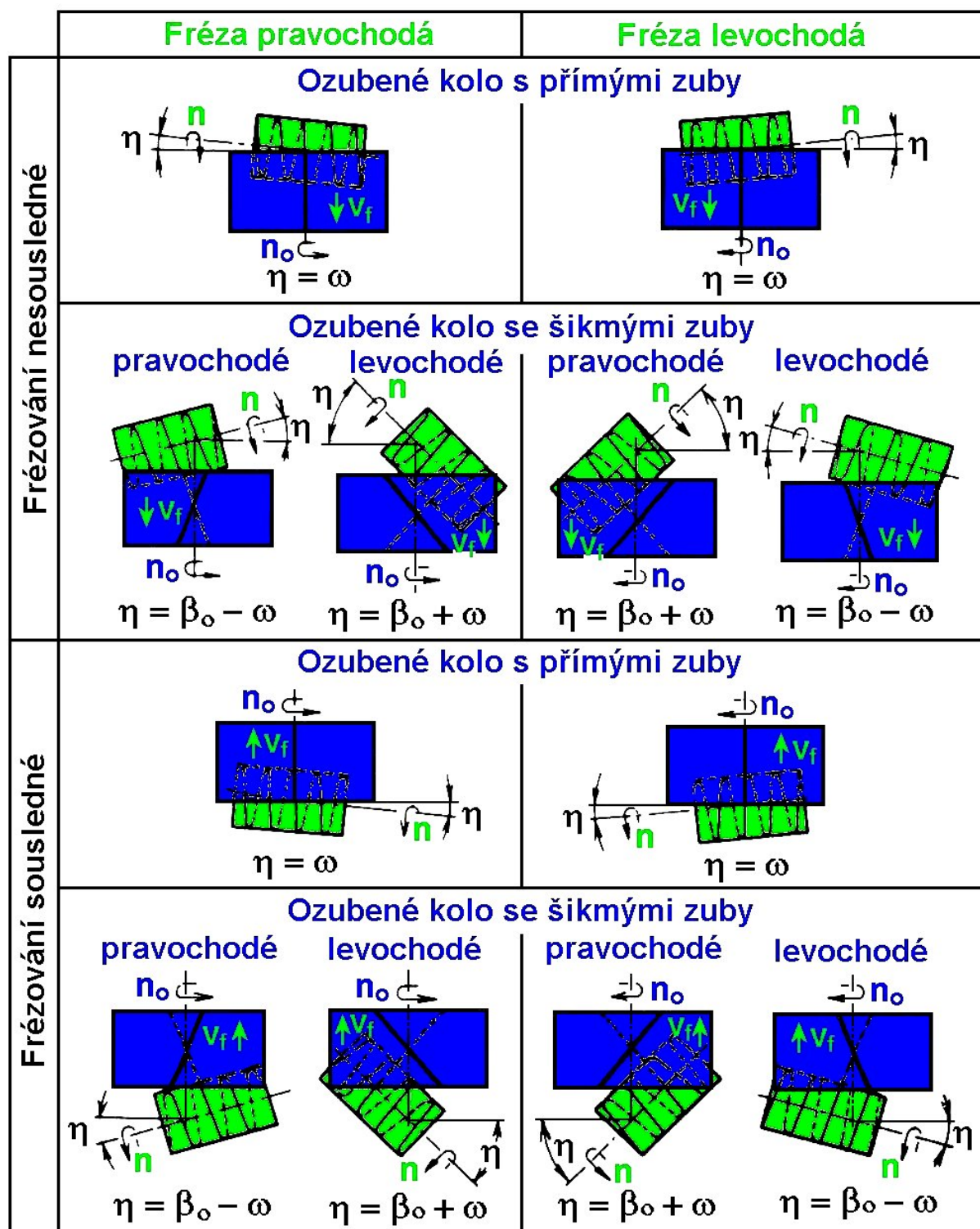
Břity odvalovacích fréz jsou zatíženy nerovnoměrně, protože při frézování je v záběru pouze několik zubů. Moderní odvalovací frézky jsou z uvedeného důvodu vybaveny automatickým krokováním frézy (anglicky „shifting“), které vždy po určitém počtu vyrobených kol přesune frézu o potřebnou hodnotu ve směru její osy. Aplikací této technologie frézování lze zvýšit trvanlivost nástroje o 50 až 70%. Některé typy odvalovacích frézek umožňují diagonální frézování, při kterém koná fréza malý osový pohyb, v závislosti na přídavném pootočení obrobku.

Frézování odvalovacím způsobem se provádí na odvalovacích frézkách, které jsou zpravidla vybaveny zařízením pro práci v automatickém cyklu. Mimo odvalovacího frézování vnějšího ozubení čelních ozubených kol je na nich možno obrábět také řetězová kola a šneková kola. Odvalovacím způsobem lze na těchto frézkách také frézovat drážkové hřídele. Některé odvalovací frézky jsou vybaveny různými typy CNC řídicích systémů.

Odvalovací frézka - viz obrázek 6.8 - se skládá z lože (1), na němž je otočný stůl (2) pro upínání obrobků. Ozubená kola malých průměrů jsou upínána na trn, který je svým volným koncem veden v opěrném ložisku (3) posuvném po vedení opěrného stojanu (4). Vřete-



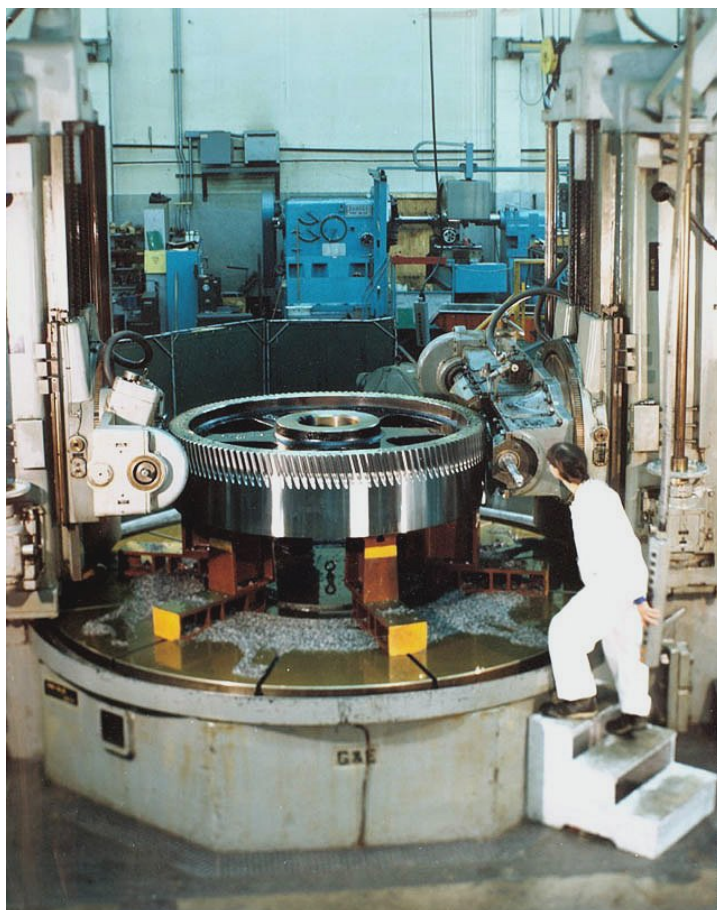
ník (5) s upínacím trnem (6) pro odvalovací frézu koná posuvový pohyb podél osy obrobku (rychlostí  $v_f$ ) a lze jej natáčet podle dané kombinace nástroj - obrobek (úhel  $\eta$  na obrázku 6.7).



Obr. 6.7 Vyklonění vřeteníku při odvalovacím frézování ozubených kol

Odvalovací frézování patří k velmi produktivním způsobům obrábění ozubených kol, složitý systém nastavování a řízení potřebných pohybů obráběcího stroje (obr. 6.9) však klade vysoké nároky na kvalifikaci a zkušenost obsluhujícího pracovníka.





*Obr. 6.10 Velkopřůměrová odvalovací frézka se dvěma vřeteníky*



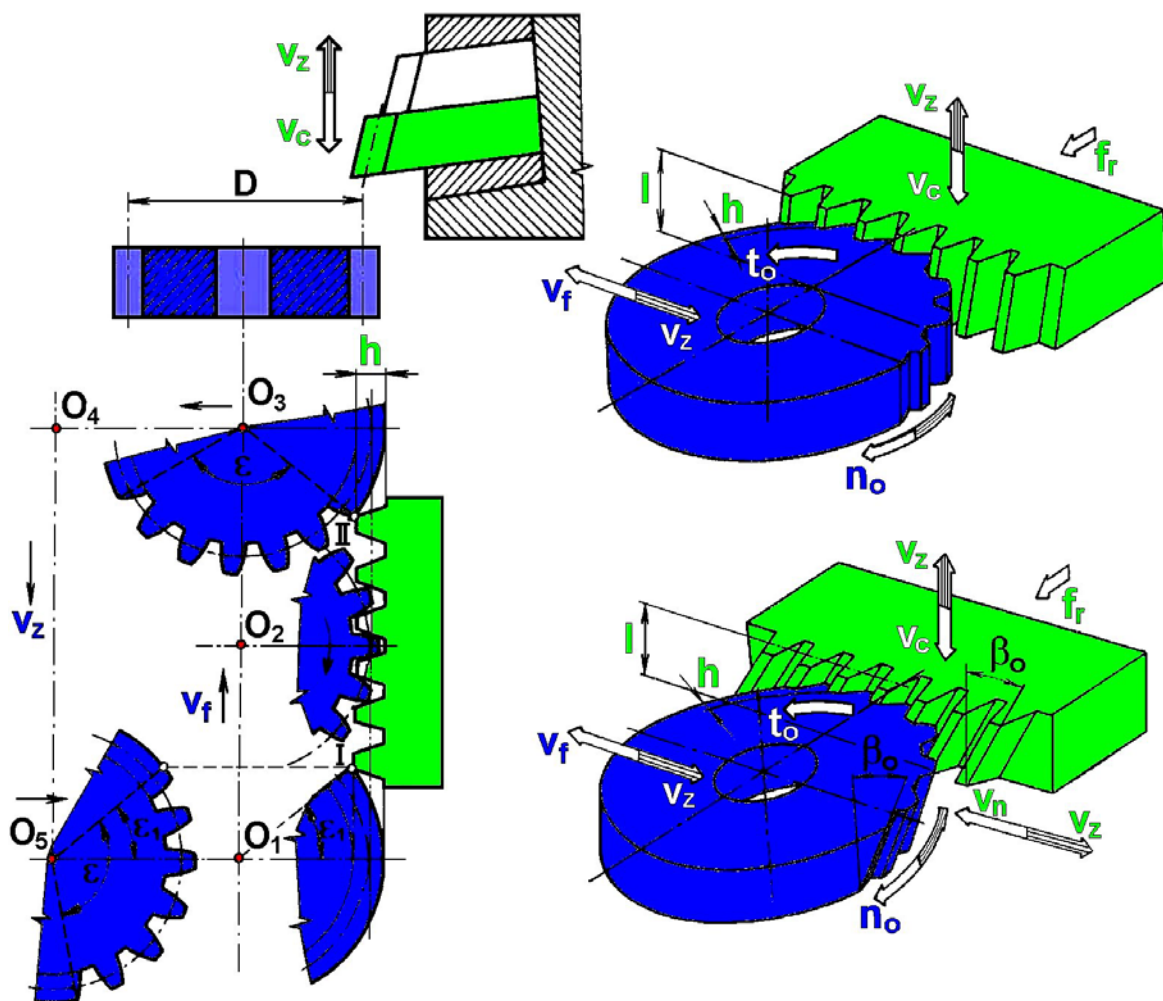
*Obr. 6.11 Odvalovací frézka s CNC řízením*

### 6.1.3. Obrázení hřebenovým nožem

Obrázení ozubení čelních ozubených kol hřebenovým nožem je založeno na principu záběru ozubeného hřebene (nástroj) s ozubeným kolem (obrobek). Nástroj je v radiálním směru nastaven na hloubku zubu  $h$  a koná přímočarý vratný pohyb ( $l$  - délka zdvihu,  $v_c$  - střední hodnota řezné rychlosti,  $v_z$  - střední hodnota rychlosti zpětného pohybu). Odvalování je dosaženo složením otáčivého ( $n_o$ ) a posuvového pohybu ( $v_f$ ) obrobku, u šikmého ozubení obrázeného nástrojem se šikmými zuby navíc ještě dodatečným posuvem nástroje  $v_n$ ,  $v_z$  - obr. 6.12. Po obrobení části ozubení v segmentu na kruhové výseči s úhlem  $\varepsilon$  (poloha  $O_3$ ) dojde k odsunutí obrobku od nástroje, jeho přesunutí do polohy  $O_5$ , kde se nastaví na úhel  $\varepsilon_1$  a znovu přisune k nástroji do výchozí polohy  $O_1$ . Tímto způsobem se při postupném obrábění jednotlivých segmentů vyrobí kompletní ozubení.

Na obráběcích strojích lze jedním nástrojem daného modulu vyrábět kola s libovolným počtem zubů, s přímými i šikmými zuby (obr. 6.13). Pokud má nástroj přímé zuby (což je obvyklý případ) a ozubené kolo zuby šikmé, probíhá obrázení se smykadlem vykloněným o úhel sklonu zubů obrobku ( $\beta_o$ ). Šípové ozubení se obrábí na strojích, které jsou vybaveny dvěma protiběžnými smykadly.

Obrázení hřebenovým nožem je charakterizováno zejména relativně levným nástrojem, poměrně vysokými náklady na obráběcí stroj a dlouhými výrobními časy. Uvedený způsob obrábění je v provozních podmínkách označován jako systém **Maag**.

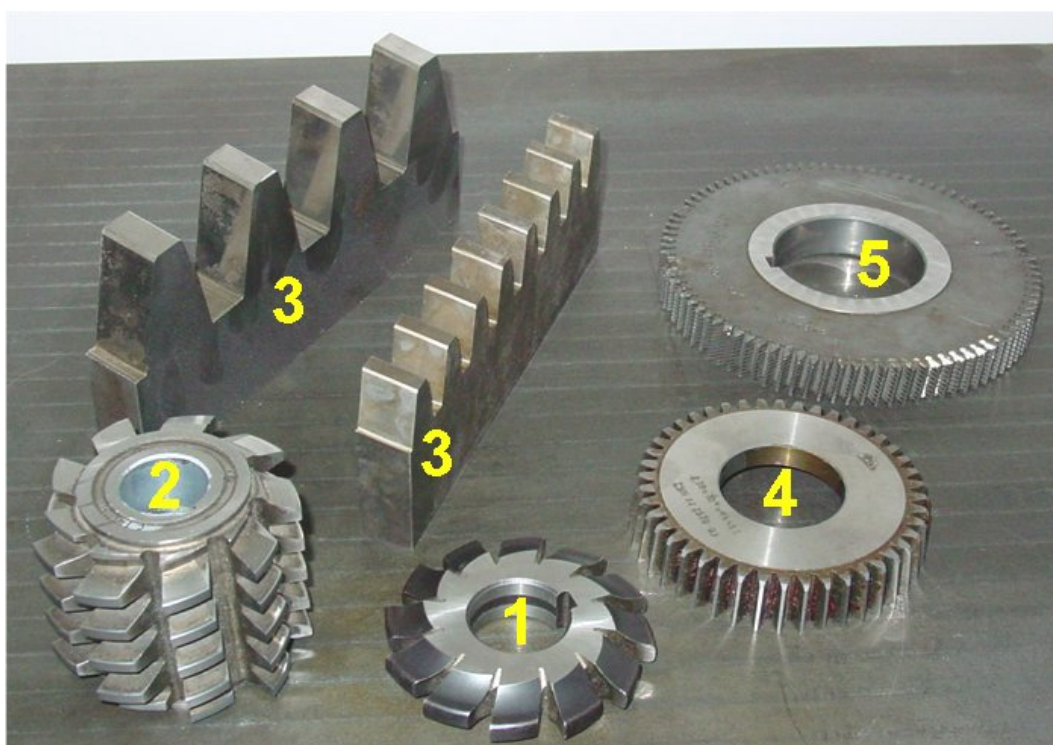


Obr. 6.12 Kinematika pohybů při obrázení čelního ozubení metodou Maag



*Obr. 6.13 Obrážecí stroje Maag*

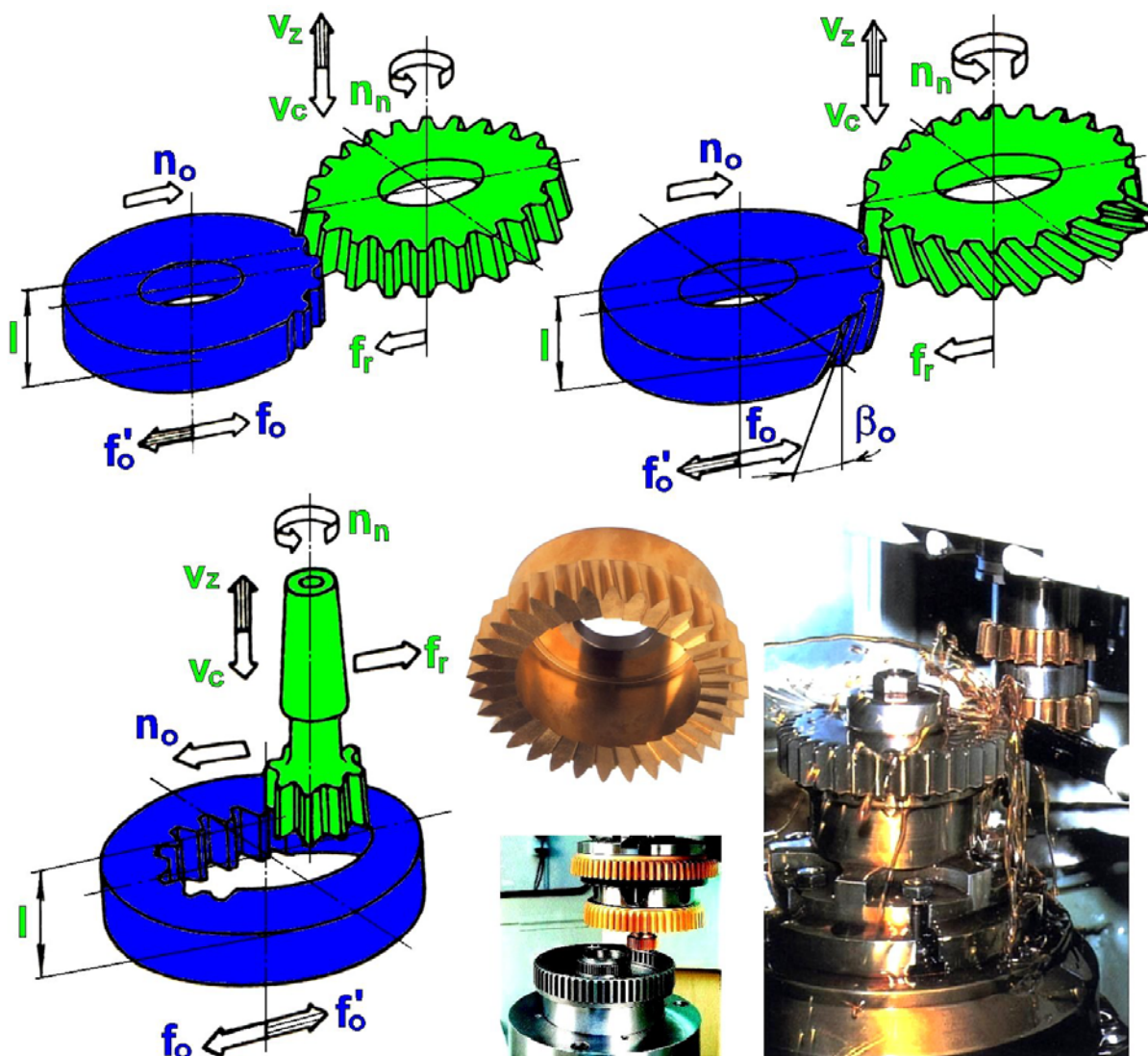
Hřebenové obrážecí nože (obr. 6.14) jsou z nástrojů na výrobu ozubení nejjednodušší (z hlediska tvaru, geometrie, výroby i ostření) a nejpřesnější, což se výrazně projevuje na vysoké přesnosti jimi vyráběných ozubených kol. Při použití speciálních nástrojů lze na strojích Maag vyrábět i různě profilované součásti a pomocí doplňkového zařízení i vnitřní hřebenová ozubení.



*Obr. 6.14 Nástroje na výrobu ozubení: 1 - kotoučová fréza, 2 - odvalovací fréza, 3 - hřebenové nože Maag, 4 - kotoučový nůž Fellows, 5 - ševingovací kolo*

#### 6.1.4. Obrázení kotoučovým nožem

Obrázení kotoučovým nožem je založeno na principu záběru dvou ozubených kol bez vůle, tzn., že při obrázení se nástroj i obrobek po sobě odvalují tak, jako by spolu zabírala dvě čelní ozubená kola - obr. 6.15. Nástroj, upnutý ve smykadle, koná přímočarý vratný pohyb ve směru své osy ( $l$  - délka zdvihu,  $v_c$  - střední hodnota řezné rychlosti,  $v_z$  - střední hodnota rychlosti zpětného pohybu) a rotuje otáčkami  $n_n$ , obráběné kolo rotuje otáčkami  $n_o$ . Uvedenou kombinací rotačních a translačních pohybů je vytvořen výslední evolventní profil zubů obráběného kola jako obálka evolventních boků zubů nástroje. Při zpětném pohybu se obrobek oddaluje od nástroje, aby se břity netřely o obrobenou plochu (toho lze dosáhnout radiálním nebo šikmým odskokem -  $f_o'$ ).



Obr. 6.15 Kinematika pohybů při obrázení čelního ozubení metodou Fellows

Obrábecí kotoučové nože (6.4, 6.14, 6.15) jsou vyráběny z rychlořezných ocelí jako stopkové nebo nástrčné a v podstatě se jedná o spojitě korigovaná ozubená kola, jejichž zuby vytvářejí nástrojové břity (čelo na čele zubu, hlavní hřbet na hlavě zubu, vedlejší hřbety na bocích zubu). Kotoučovými noži lze obrábět i vnitřní ozubení a v důsledku krátkého náběhu i přeběhu nástroje se tato metoda uplatňuje též při výrobě dvojkol. Šikmé ozubení se obrábí



### 6.1.5. Protahování

Pro výrobu ozubení vnějších i vnitřních čelních kol lze ve velkosériové a hromadné výrobě s výhodou použít protahování. Nástrojem je **protahovací trn**, který může být vyroben z rychlořezné oceli jako celistvý, nebo má těleso ze zušlechtnuté konstrukční oceli, na němž jsou upevněny zubové segmenty např. z RO.

Vnější ozubení se vyrábí dělicím způsobem, kdy po protažení jedné zubové mezery se dělicí přístroj s upnutým obrobkem pootočí o jednu zubovou rozteč a celý cyklus se zopakuje. Mimo plochých protahovacích trnů lze pro výrobu vnějšího ozubení použít i kruhové protahovací nástroje (viz kap. 6.2.1.5). Vnitřní ozubení se protahuje najednou, nástrojem válcového tvaru, který má po obvodu rozmístěny břity ve tvaru zubových mezer obráběného kola (obr. 4.2). Ve všech případech má nástroj v kalibrovací části přesný tvar zubové mezery (zubových mezer) vyráběného kola.

Pro každý průměr, modul, popř. tvar zubu je zapotřebí zvláštní nástroj (týká se vnějšího i vnitřního ozubení), který je velmi nákladný. Proto je protahování vhodné pouze pro velkosériovou a hromadnou výrobu, což platí pro vnější, ale zvláště pro vnitřní ozubení. Přesnost vyrobeného ozubení je přímo závislá na přesnosti výroby protahovacího nástroje.

### 6.1.6. Ševingování

Ševingování se používá pro dokončování čelních ozubených kol (zejména nekalených), kdy se z boků zubů odebírají jemné třísky, čímž se zlepšuje profil zubů, zvyšuje jakost jejich povrchu a snižují úchytky v zubových roztečích. Nástrojem je přesné, modifikované ozubené kolo se šikmými zuby (úhel stoupání šroubovice  $\beta_n$ , v některých případech ozubený hřeben nebo šnek), břity jsou vytvořeny drážkami na bocích zubů (obr. 6.4, 6.14, 6.18). Záběr ševingovacího kola (hnací kolo) s obráběným kolem (hnané, bržděné kolo) lze modelovat jako záběr šroubového válcového soukolí (obr. 6.19), pro které platí kinematické závislosti šroubového pohybu. Jedno z kol vykonává navíc vratný posuvový pohyb (u menších kol to je obráběné kolo, u větších ševingovací kolo).



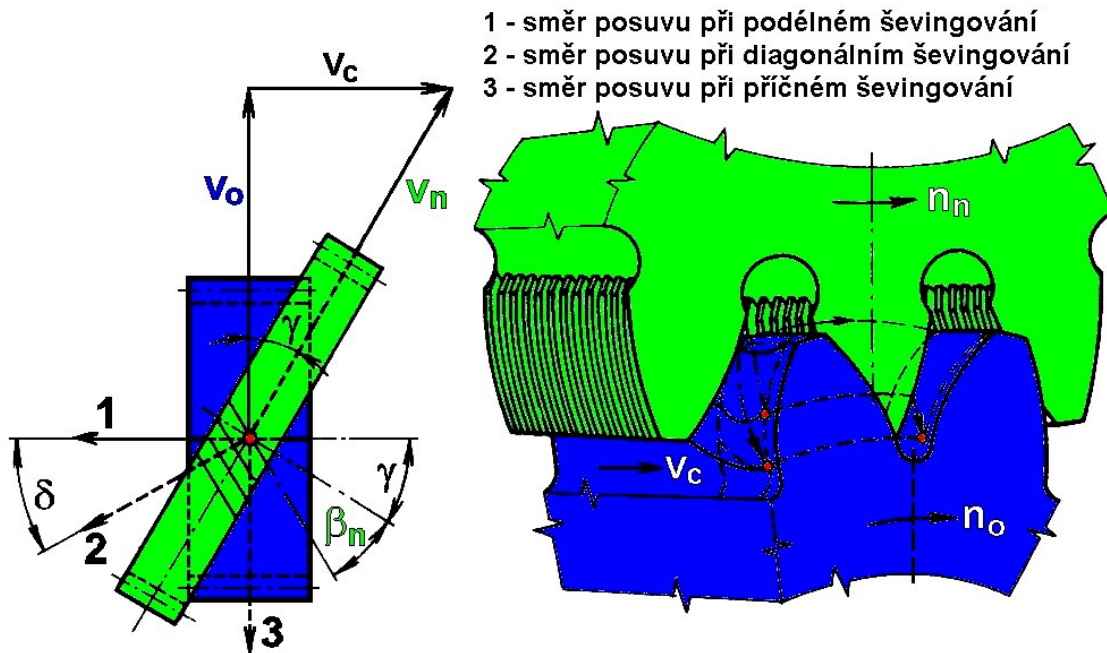
Obr. 6.18 Ševingovací kola

V závislosti na kinematických poměrech ševingovacího procesu se rozlišuje ševingování podélné (posuvový pohyb je rovnoběžný s osou obráběného kola), diagonální (osa obráběného kola svírá se směrem posuvového pohybu úhel  $\delta$ ,  $0^\circ < \delta < 45^\circ$ ), diagonálně příčné ( $45^\circ < \delta < 90^\circ$ ), příčné ( $\delta = 90^\circ$ ) a zapichovací (nástroj koná radiální posuv).

Nástroj i obrobek při ševingování rotují obvodovou rychlostí 80 až 120 m min<sup>-1</sup> (hodnoty  $v_n$  a  $v_o$  musí však být rozdílné), rychlost ševingování ( $v_c$ ) dosahuje až 30 m min<sup>-1</sup>. Hod-



noty radiálního posuvu se při podélném švingování pohybují v rozsahu 0,015 až 0,045 mm na jeden dvojdvih stolu, podélný posuv v rozsahu 0,2 až 0,5 mm na jednu otáčku obrobku. Odebírané přídavky na bocích zubů dosahují velikosti 0,04 až 0,10 mm.

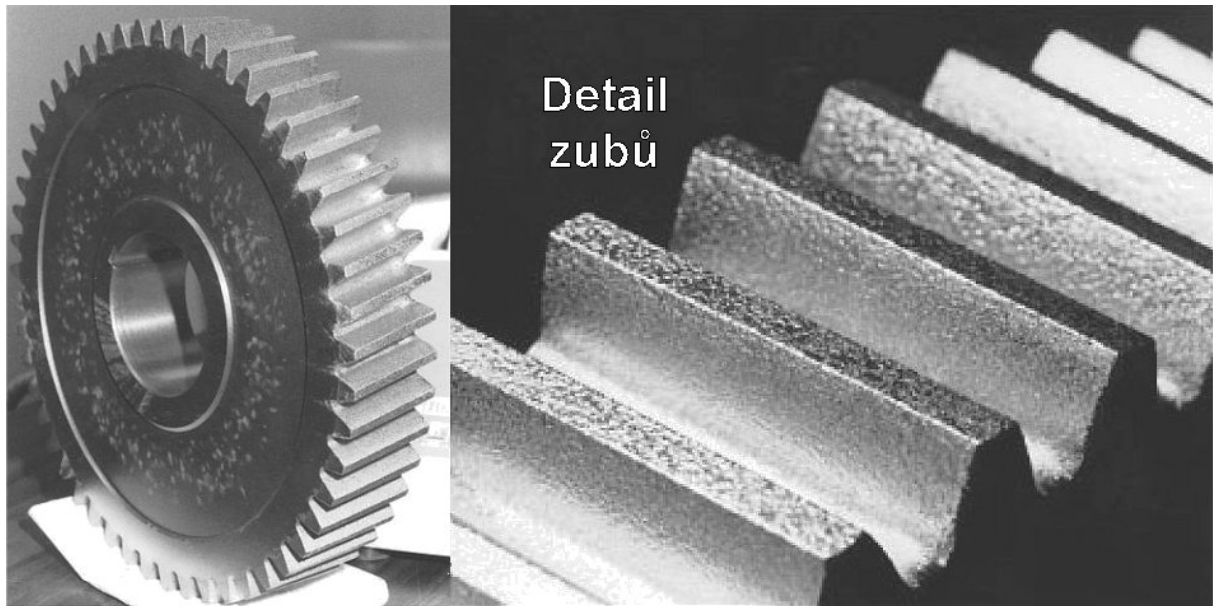


Obr. 6.19 Princip podélného švingování



Obr. 6.20 Švingovací stroj

Na stejném principu jako ševingování je založeno i **honování ozubených kol**, které bývá někdy též označováno jako „brousicí ševingování“. Používá se výhradně u kalených kol a to pro zlepšení tvaru zubů, snížení drsnosti jejich funkčních povrchů nebo k odstranění malých úchylek po tepelném zpracování, případně menších poškození na zubech, vzniklých při manipulaci. Provádí se na stejných strojích jako ševingování (výjimečně i na speciálních strojích), nástrojem může být ozubené kolo vyrobené ze směsi plastu a brusiva nebo ocelové ozubené kolo, jehož zuby jsou pokryty tenkou vrstvou diamantového brusiva, vázaného pryskyřičným nebo kovovým pojivem (obr. 6.21).



Obr. 6.21 Nástroj s diamantovým brusivem pro honování ozubených kol

### **6.1.7. Broušení**

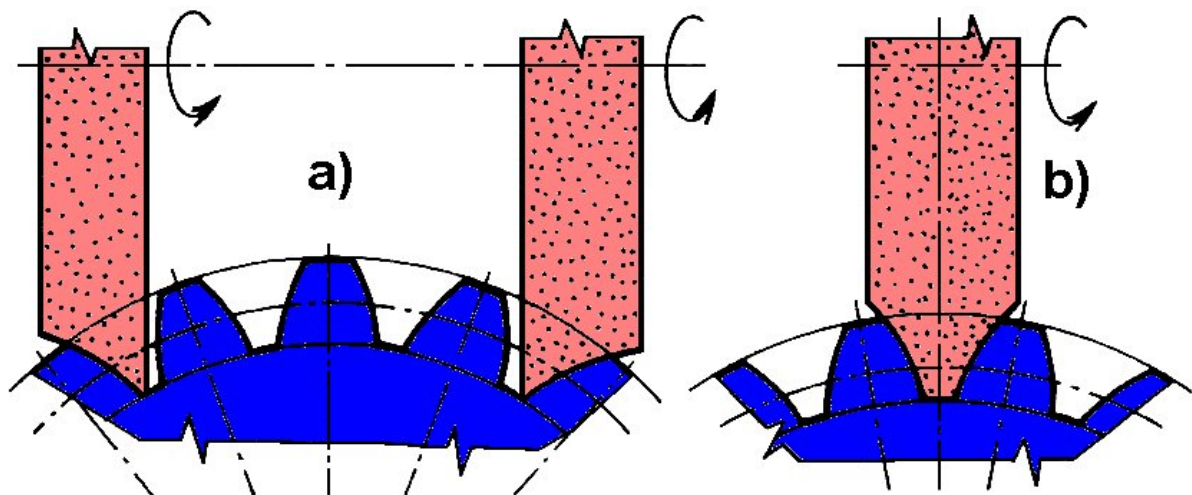
Broušením se odstraňují nepřesnosti po předchozím obrábění a deformace po tepelném zpracování ozubených kol. Ozubená kola se brousí dělicím způsobem tvarovými kotouči, dělicím způsobem s odvalem boku zubu a odvalovacím způsobem.

#### **6.1.7.1. Broušení dělicím způsobem tvarovými kotouči**

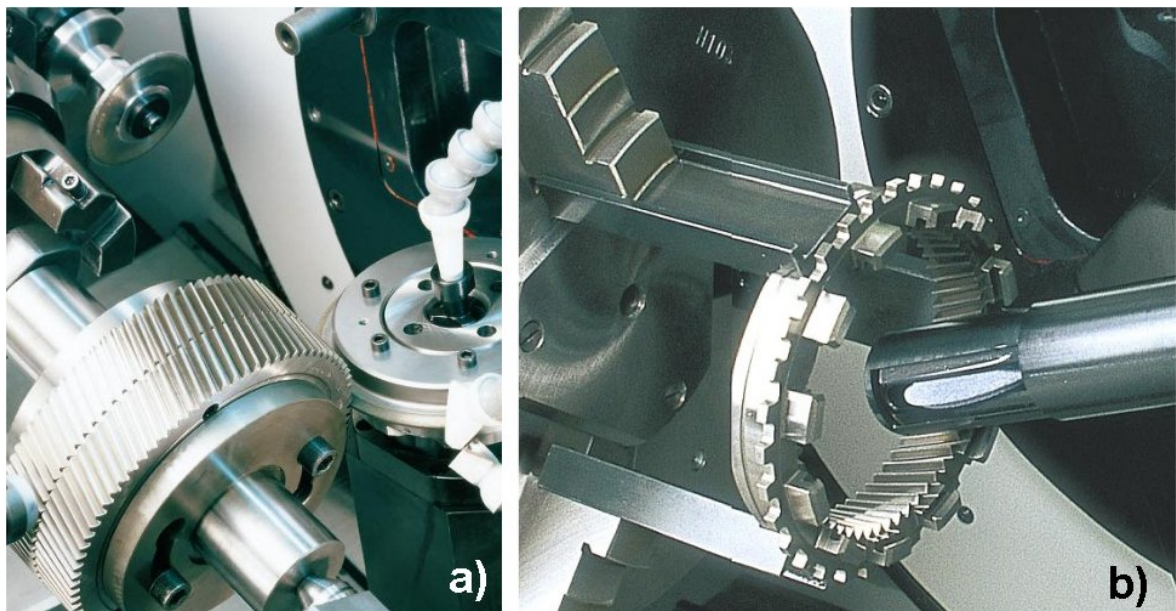
Broušení se provádí brousicími kotouči s tvarem jednoho boku zubu, kterými se brousí odpovídající boky všech zubů kola (jedním kotoučem levé boky, druhým kotoučem pravé boky), nebo kotoučem s tvarem zubní mezery, který brousí oba boky současně - obr. 6.22. Po vybroušení boku zubu nebo zubové mezery se obrobek upnutý v dělicím zařízení automaticky pootočí o jednu zubovou rozteč.

Profily brousicích kotoučů se orovnávacím diamantovým orovnávačem podle zvětšené šablony nebo pomocí speciálního tvarovacího zařízení, u kterého je profil kotouče vytvořen z geometrického hlediska zcela přesně.

Uvedený způsob broušení ozubených kol je vysoce produktivní, k jeho nevýhodám ale patří nižší přesnost (závisí na přesnosti dělení a přesnosti profilu brousicího kotouče) a vyšší provozní náklady (pro každý počet zubů, modul a úhel záběru je třeba mít k dispozici odpovídající šablony a dělicí kotouče).



Obr. 6.22 Broušení čelních ozubených kol dělicím způsobem: a) dva kotouče s profilem ve tvaru boku zubu, b) jeden kotouč s profilem ve tvaru zubové mezery

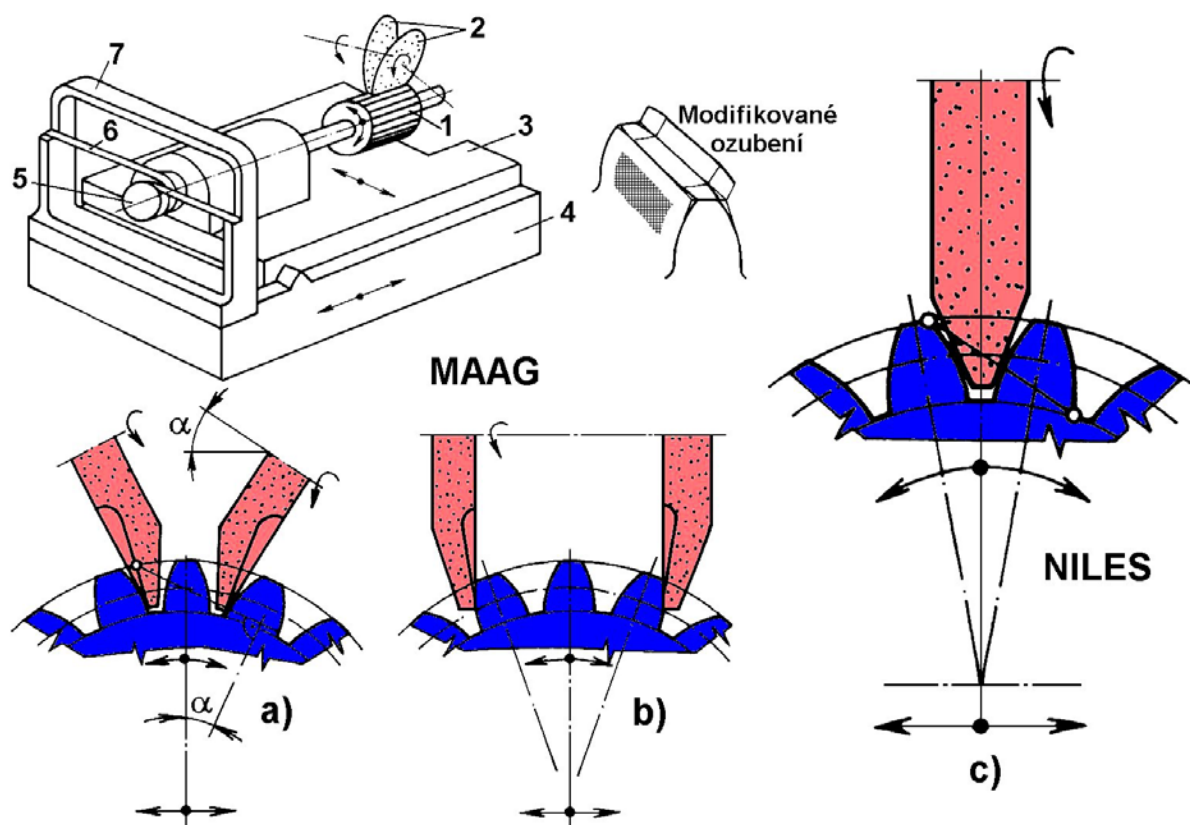


Obr. 6.23 Broušení čelních ozubených kol se šikmými zuby dělicím způsobem pomocí kotouče s profilem ve tvaru zubové mezery: a) vnější ozubení, b) vnitřní ozubení

#### 6.1.7.2. Broušení dělicím způsobem s odvalem boku zubu

Broušení čelního ozubení dělicím způsobem s odvalem boku zubu se v závislosti na konstrukčním uspořádání brusek realizuje pro případ, kdy se broušený zub odvaluje po dvou (systém *Maag*) nebo po jednom broušicím kotouči (systém *Niles*) - viz obrázek 6.24.

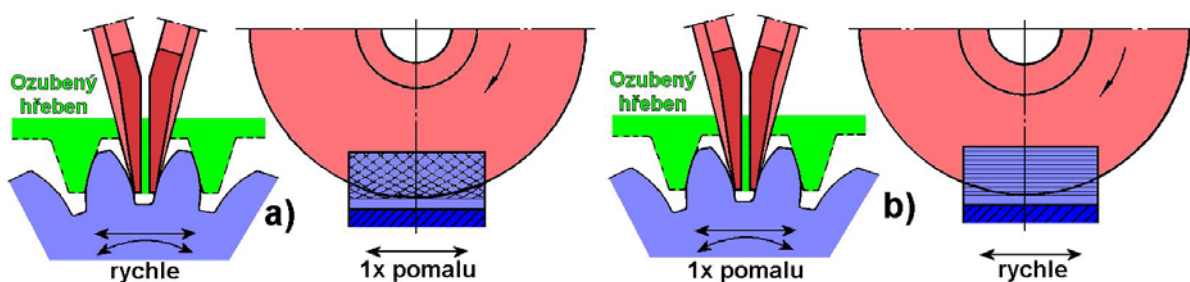
U systému *Maag* je odvalovací pohyb vytvářen superpozicí příčného a rotačního pohybu obrobku. Otáčení obrobku se dosahuje odvinováním ocelových pásů z kotouče (nebo kruhového segmentu), jehož poloměr je roven poloměru základní kružnice broušeného kola, zmenšeného o tloušťku odvinovaných pásů. Střídavým pohybem příčného suportu je zajištěno postupné odvalování a broušení zubové mezery. Kromě toho koná podélný suport pohyb ve směru osy kola, čímž je dosaženo obroušení zubu po celé délce zubu. Po dokončení jedné zubové mezery se broušené kolo pootočí o jednu rozteč a cyklus se opakuje.



Obr. 6.24 Broušení čelního ozubení s odvalem boku zubu

a) broušení Maag pomocí kotoučů skloněných pod úhlem záběru, b) broušení Maag kolmo postavenými kotouči, c) broušení Niles, 1- obrobek, 2- brousící kotouče, 3- příčný suport, 4- podélný suport, 5- odvalovací kotouč, 6- ocelový pás, 7- stojan odvalovacího zařízení

Brousit lze pomocí kotoučů skloněných pod úhlem záběru  $\alpha$  (obr. 6.24a) nebo kolmo postavenými kotouči (obr. 6.24b). Skloněné kotouče umožňují použití dvou pracovních postupů - broušení hranou (obr. 6.25a) nebo plochou kotouče (obr. 6.25b, při broušení plochou kotouče je jeho podélná osa mírně vykloněna vůči podélné ose boku zubu). Druhý postup je produktivnější a dosahuje se při něm vyšší jakosti povrchu boků zubů. Při broušení ozubených kol s modulem větším než 9 mm pracují oba kotouče v jedné zubové mezeře (obr. 6.25, brousící kotouče představují boky zubu pomyslného ozubeného hřebene), u menších modulů pracuje každý kotouč v jiné zubové mezeře (obr. 6.24a). Po každém cyklu jsou brousící kotouče automaticky orovnány a nastaveny do správné polohy. Při broušení ozubených kol se šikmými zuby se vřeteník s brousícími kotouči natočí vzhledem k ose ozubeného kola pod úhlem sklonu zubů.



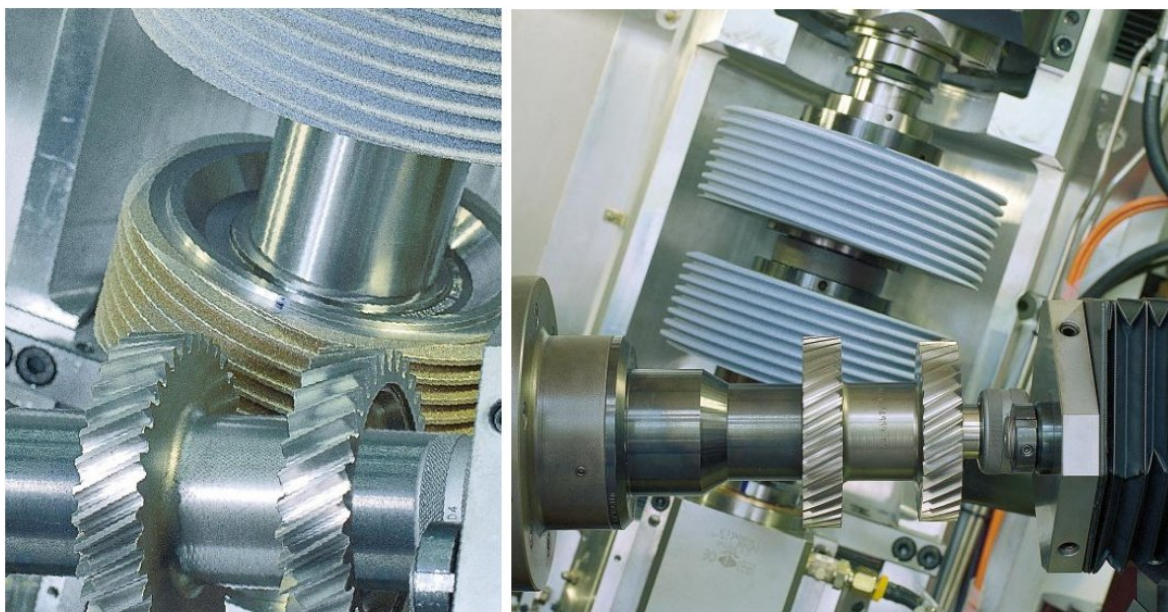
Obr. 6.25 Broušení Maag pomocí skloněných kotoučů  
a) hranou kotouče, b) plochou kotouče

Při broušení kolmo postavenými kotouči vytvářejí pracovní plochy kotoučů rovnoběžné plochy dvou zubů pomyslného hřebene s úhlem záběru nula stupňů. Brousicí kotouč se dotýká boku zubu v jediném bodě, takže dokončený povrch zubu nemá křížový výbrus, ale podélné rovnoběžné stopy, jak je tomu v případě, kdy skloněné kotouče brousí plochou (obr. 6.25b). Pomocí zvláštního zařízení lze při tomto způsobu broušení upravit (modifikovat) zuby výškově i podélně (obr. 6.24). Úprava evolventy na hlavě a patě, tj. modifikace profilu, se uskutečňuje tak, že se obrysová křivka profilu odsune za evolventu v místech hlavy a paty, a tím se omezuje dotyk hlavy zubů jednoho kola se zuby druhého kola. Úpravou po délce zubu se odsune obrysová čára na obou koncích zubu, takže zub dostane soudečkovitý tvar, který zabraňuje nosnému styku na hranách zubu.

Schéma odvalování boku zubu po jednom brousicím kotouči, jehož profil se shoduje s profilem zubu ozubeného hřebenu - **system Niles** - je uvedeno na obrázku 6.24c. Brousicí kotouč se otáčí a vykonává přímočarý vratný pohyb ve směru osy broušeného kola. Odvalovací pohyb v obou smyslech vzniká otáčením broušeného kola kolem jeho osy, při současném posuvu ve směru osy brousicího kotouče. Brousí se postupně od paty k hlavě zubu bok po bok, dělicí pohyb vykonává obráběné ozubené kolo. Při broušení ozubených kol se šikmými zuby se vykloní smykadlo s brousicím kotoučem o úhel sklonu zubů.

### **6.1.7.3. Broušení odvalovacím způsobem**

Největšího výkonu při broušení ozubení lze dosáhnout odvalovacím broušením pomocí brousicího kotouče, který má tvar šneku - systém **Reishauer** - obr. 6.26. Tento způsob je podobný odvalovacímu frézování, přičemž odvalovací fréza je nahrazena jednochodým nebo dvouchodým brousicím šnekem, který nekonečným počtem obálkových profilů svého závitu vytváří požadovaný profil broušeného ozubení. Používá se zejména pro ozubení malých modulů, u kol s modulem menším než 3 mm je možno brousit do plného materiálu. Základní podmínkou tohoto způsobu je zcela synchronní běh nástroje a obrobku, rozhodujícím faktorem pro parametry přesnosti broušeného ozubení je tvarování brousicího kotouče z hlediska jeho profilu a stoupání. Brousicí kotouč má průměr 350 až 400 mm a značná pozornost se musí věnovat jeho vyvážení, jak statickému tak také dynamickému.



Obr. 6.26 Odvalovací broušení ozubených kol



*Obr. 6.27 Bruska pro odvalovací broušení ozubených kol*

## **6.2. OBRÁBĚNÍ KUŽELOVÝCH KOL**

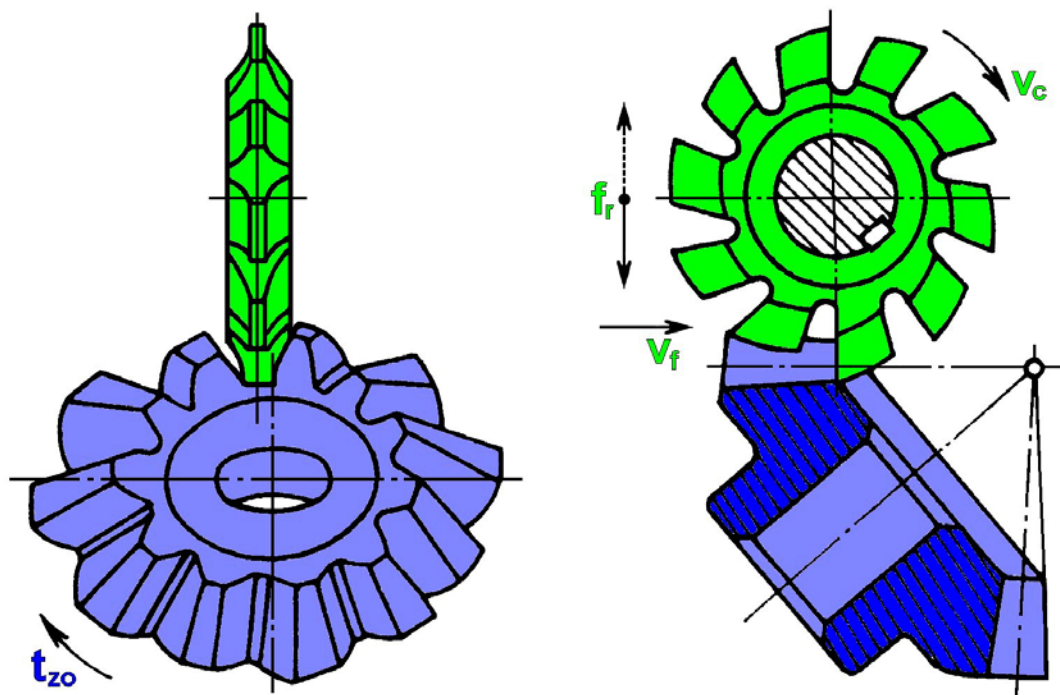
### **6.2.1. Kola s přímými a šikmými zuby**

Kuželová ozubení s přímými zuby lze obrábět frézováním tvarovou kotoučovou nebo čepovou frézou, obrážením podle šablony, obrážením dvěma noži, frézováním dvěma nožovými hlavami a protahováním.

#### **6.2.1.1. Frézování tvarovou frézou**

Frézování tvarovou frézou (kotoučovou nebo stopkovou) se provádí na univerzálních frézkách dělicím způsobem (po obrobení jedné zubové mezery se ozubené kol pootočí o jednu rozteč a postup se opakuje). Tento způsob se používá pro výrobu kuželových kol s malou přesností a k hrubování kol před dokončením odvalovacími způsoby (při hrubování kotoučovou frézou se obrábí každý bok zubu zvlášť). Tvarovou frézou nelze vyrobit teoreticky správné kuželové ozubení, protože nástroj není schopen lineárně zmenšovat modul ozubení směrem k vrcholu kužele obráběného kola.

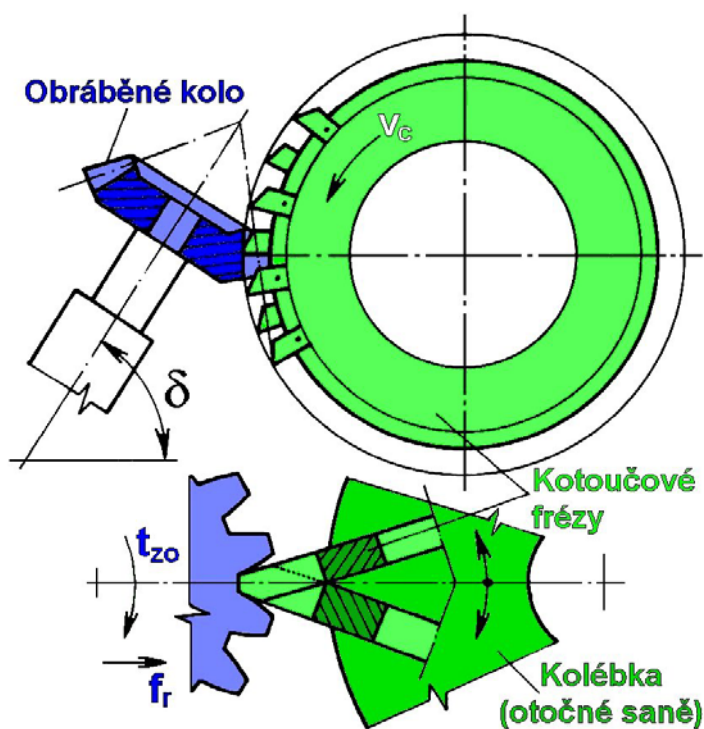
Kotoučovou frézou (obr. 6.28) se vyrábějí ozubená kola s přímými a šikmými zuby, čepovou frézou lze navíc vyrábět i ozubení se šipovými a zakřivenými zuby (v tomto případě se obráběné kolo musí současně natáčet kolem své osy). Čepové frézy se používají pro výrobu ozubení větších modulů (až do hodnoty 50 mm).



Obr. 6.28 Frézování ozubení kuželového kola kotoučovou tvarovou frézou

### 6.2.1.2. Frézování nožovými hlavami

U této metody, která se používá při výrobě kol menších a středních rozměrů (modul  $m=0,3$  až 10 mm), jsou nástroji dvě kotoučové nožové hlavy (pravá a levá) se vsazenými břity, které se v zubové mezeře překrývají (obr. 6.29). Princip práce spočívá v odvalování vyráběného ozubení po plochém základním kole, jehož zuby jsou tvořeny vnějšími břity dvou frézovacích hlav. Odvalování je zajištěno natáčením kolébky nebo odvalováním frézovacích hlav a natáčením obrobku. Zubová mezera je tedy vytvořena zapichováním a odvalováním, bez podélného posuvového pohybu frézovacích hlav. Ozubení se frézuje dělicím způsobem, obrobek vykoná radiální posuv na hloubku zubu (zapichování), potom následuje frézování boku zubu odvalem. Zuby mají soudečkový tvar, zubové mezery mají tvar kruhového oblouku.



Obr. 6.29 Frézování ozubení kuželového kola pomocí dvou kotoučových nožových hlav

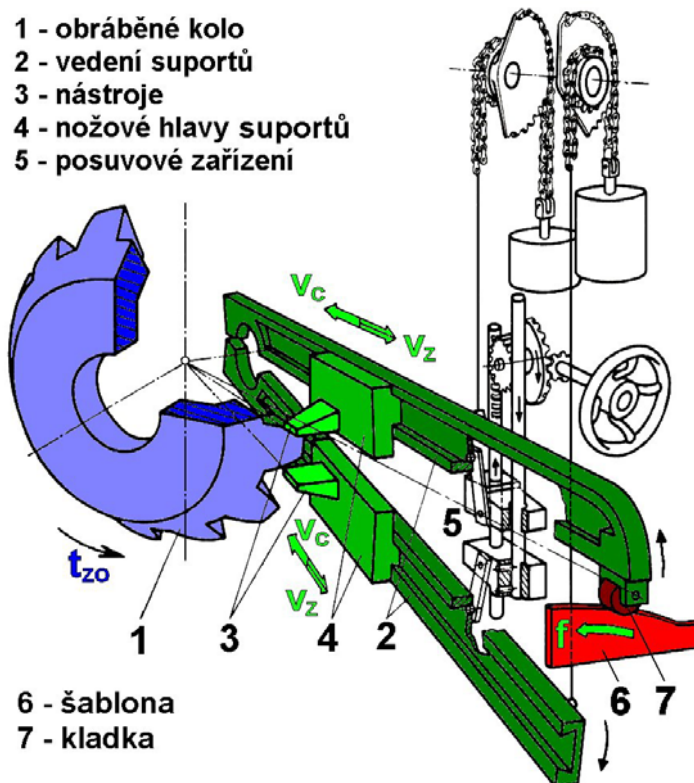
### 6.2.1.3. Obrázení podle šablony

Obrázení kuželového ozubení podle šablony se používá při výrobě přesnějších kol s většími moduly. Pro stejný počet zubů kol s různými moduly stačí jedna šablona, která má tvar zvětšeného boku zubu na vzdálenost 1500 mm od vrcholu kužele obráběného kola. Kinematické schéma obrážecích suportů je uvedeno na obrázku 6.30. Obráběné kolo (1) se upíná na hřídel dělicího přístroje, po vyrobení jednoho zubu se pootočí o jednu rozteč. Obrážecí nože (3), upevněné v nožových hlavách suportů (4), se přímočarým vratným pohybem ( $v_c$  - do řezu,  $v_z$  - zpětný pohyb) pohybují po vedeních suportů (2) a po každém dvojzdvihu se pomocí vačky posuvového zařízení (5) posunou o hodnotu  $f$ . Polohu nástroje, nutnou pro obrobení boku zubu určuje kopírovací kladka (7), umístěná na konci vedení suportu, která se odvaluje po šabloně (6) - na obrázku 6.30 znázorněno pouze pro jeden bok zubu.

K výhodám tohoto způsobu obrábění patří možnost výroby přesného kuželového ozubení, u kterého se modul zubů zmenšuje směrem k vrcholu kužele obráběného kola. K nevýhodám patří nízká jakost povrchu vyrobených zubů (nástroje obrábějí pouze svými špičkami) a menší produktivita.

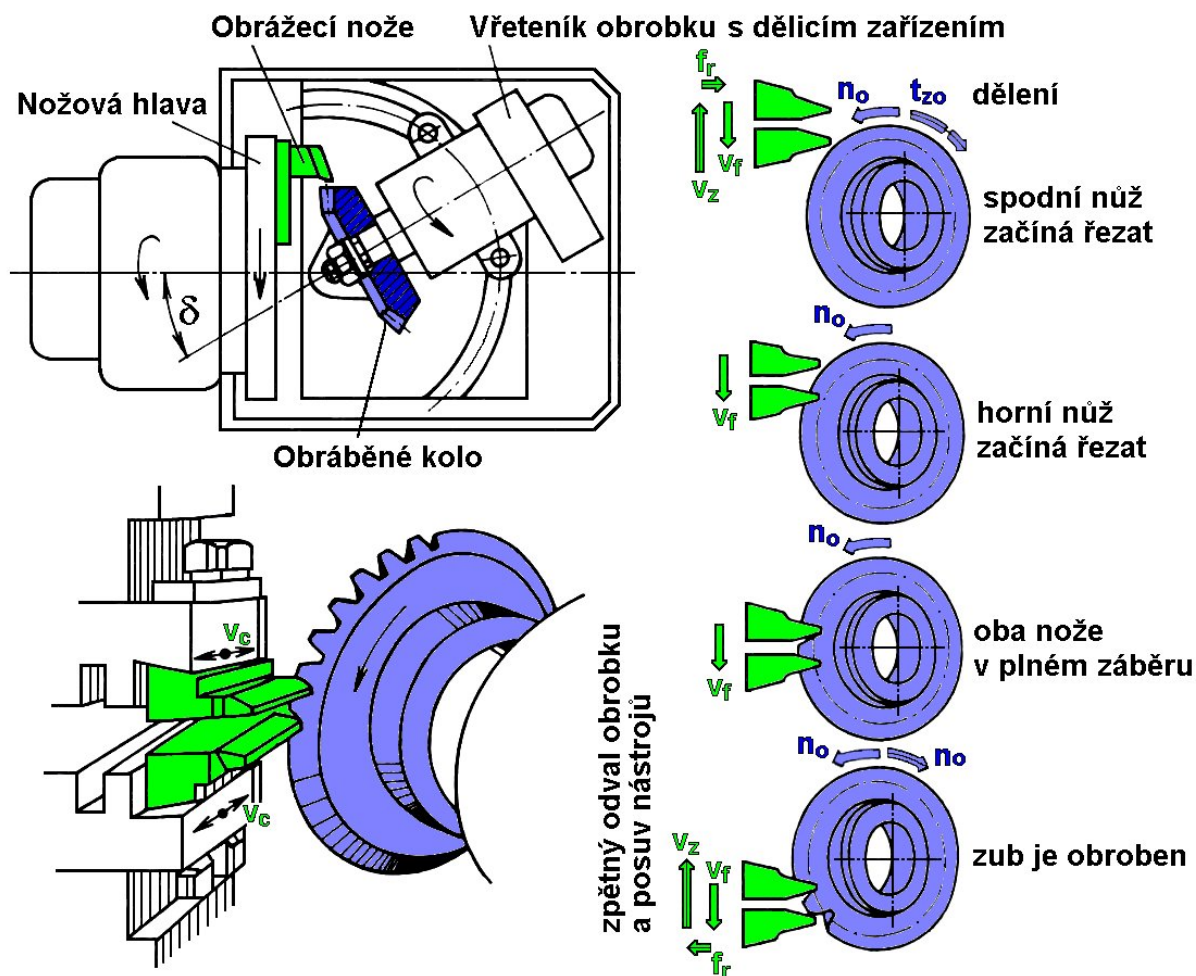
### 6.2.1.4. Obrázení dvěma noži

Při obrázení dvěma noži jde o způsob výroby s odvalem boku zubu - obr. 6.31. Nože lichoběžníkového profilu, upnuté v otočné hlavě, konají řezný pohyb ( $v_c$ ) ve směru povrchových přímk boků zubů. Jejich ostří představují zubovou mezeru pomyslného plochého základního kola (kuželové kolo s úhlem roztečného kužele  $\delta = 90^\circ$ ), se kterým je obráběné kolo v záběru. Boky vyráběných zubů ve tvaru evolventy jsou vytvořeny jako obálka postupných poloh břitů nástrojů při záběru obráběného a základního kola ( $n_o$  - rotace obráběného kola,  $v_f$  - posuvový pohyb nožů odvozený z rotace nožové hlavy). Po obrobení jednoho zubu (každý nůž obrábí jeden bok) se nožová hlava i obrobek vrátí do výchozí polohy a obrobek se dělicím zařízením pootočí o jednu rozteč. Tímto způsobem se hrubují nebo dokončují ozubená kola do hodnoty modulu  $m = 20$  mm a průměru 1200 mm. Na některých typech strojů lze obrázením dvěma noži vyrábět kuželová kola se šikmými zuby, s výškově i podélně modifikovaným profilem.



Obr. 6.30 Kinematické schéma obrázení ozubení kuželového kola podle šablony

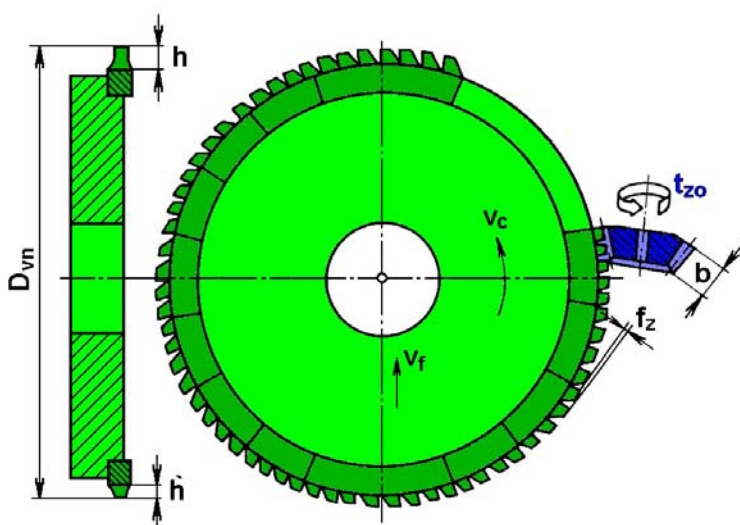




Obr. 6.31 Odvalovací obrážení ozubení kuželového kola dvěma noži

### 6.2.1.5. Protahování

Tento způsob výroby ozubení kuželových kol s přímými zuby (obr. 6.32) se uplatňuje ve velkosériové a hromadné výrobě, zejména v automobilovém průmyslu. Nástrojem je vodorovně upnutý kotoučový nástroj (protahovák) o průměru 450 až 600 mm, který má na svém obvodu mechanicky upevněné segmenty s jednotlivými břity odstupňovanými ve tvaru zubové mezery. Profily břitů jsou vytvořeny kruhovými oblouky, kterými je nahrazeno evolventní zakřivení boku zubu, velikost pro-



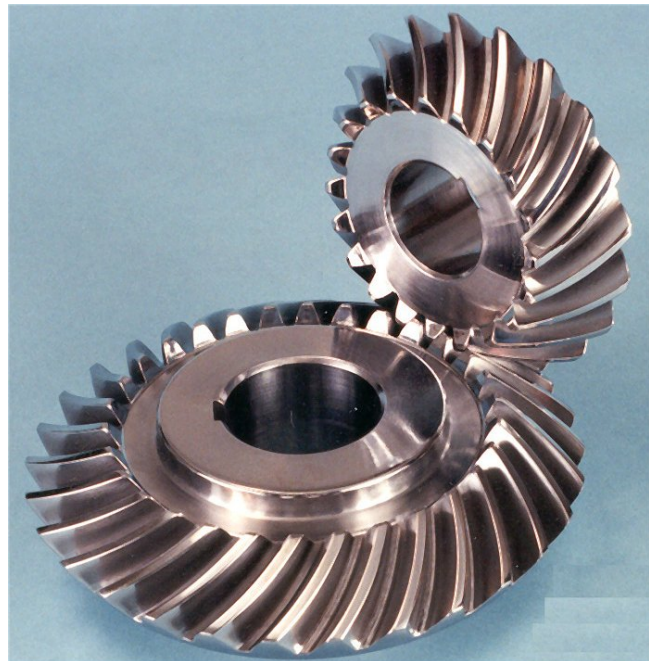
Obr. 6.32 Protahování ozubení kuželového kola

filu jednotlivých břitů se po obvodě nástroje postupně zvětšuje. Nástroj koná rotační pohyb a posouvá se podél zubu od menšího profilu k většímu, při průchodu části s vynechanými břity je obrobek pomocí dělicího zařízení otočen o jednu zubovou mezeru. Protahování je velmi produktivním způsobem výroby, vzhledem k velmi krátkým časům potřebným pro obrobení jedné zubové mezery (řádově v sekundách).

### **6.2.2. Kola se zakřivenými zuby**

Obrábění ozubení kuželových kol se zakřivenými zuby (obr. 6.33) se provádí odvalovacím frézováním těmito způsoby:

- **Gleason** - kruhově zakřivené zuby (ozubení Zerol, Hypoid),
- **Oerlikon** - zuby zakřivené podle prodloužené epicykloidy (eloidní ozubení),
- **Klingelnberg** - zuby zakřivené podle prodloužené evolventy (paloidní ozubení) nebo epicykloidy (cyklopaloidní ozubení).

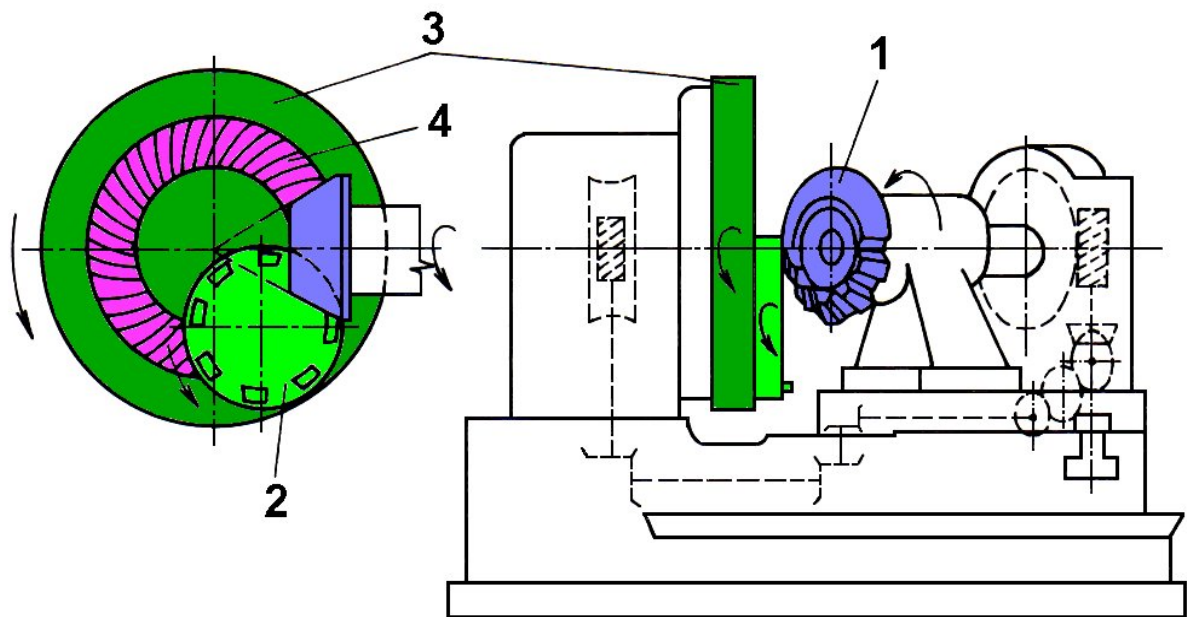


*Obr. 6.33 Kuželová ozubená kola se zakřivenými zuby*

#### **6.2.2.1. Způsob Gleason**

Metoda Gleason je charakterizována jako odvalovací frézování kuželových kol dělicím způsobem pomocí čelní nožové hlavy (obr. 6.34). Princip obrábění vyplývá z dvoubokého záběru (odvalu) pomyslného plochého základního kola (4) s obráběným ozubeným kolem (1). Základní kolo je tvořeno unášecí deskou (3), na níž je upnuta frézovací hlava (2). Nože frézovací hlavy mají lichoběžníkový profil a jsou uspořádány obvykle za sebou, s vystřídáním vnějšími a vnitřními břity. Řezná rychlost, která není vázána na ostatní pracovní pohyby, je určena rotací frézovací hlavy.

Na začátku práce se obrobek přisune radiálně na hloubku zubové mezery, poté jsou automaticky zapnuty odvalovací pohyby. Unášecí deska i nástroj se otáčejí úhlovými rychlostmi, které jsou dány převodovým poměrem záběru základního a obráběného kola. Protože břity nástroje tvoří zub základního kola, obrobí vnější a vnitřní boky zubové mezery obráběného kola. Úhel odvalovacího pohybu musí být tak velký, aby se odvalila celá zubová mezerka. Potom se obrobek odsune od nástroje, změní se smysl otáčení unášecí desky a dojde k jejímu odvalení do výchozí polohy. Obráběné kolo se odvalí do polohy, která se liší o jednu úhlovou rozteč proti odvalu unášecí desky. Tím se uskuteční dělení na další zubovou mezeru, zapne se přísuv a celý cyklus se opakuje, dokud nejsou vyrobeny všechny zubové mezery obráběného kuželového kola.



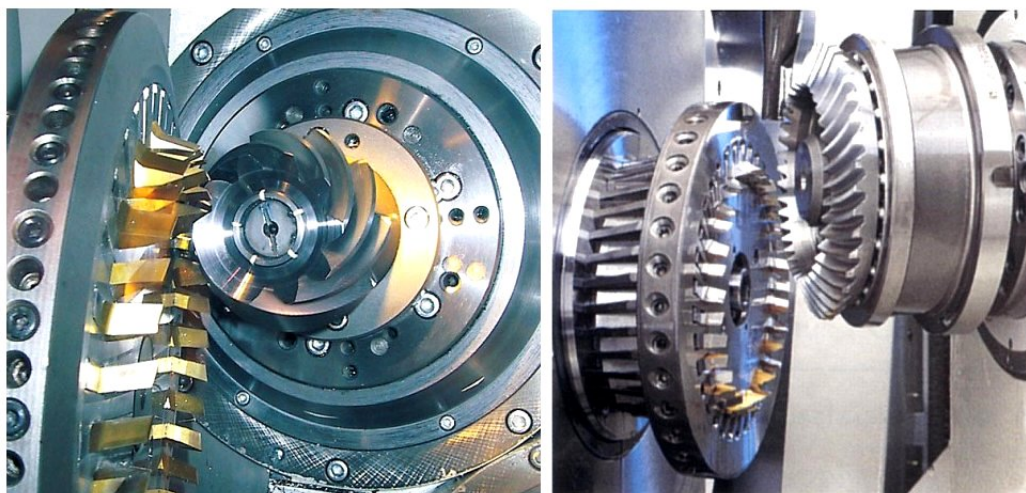
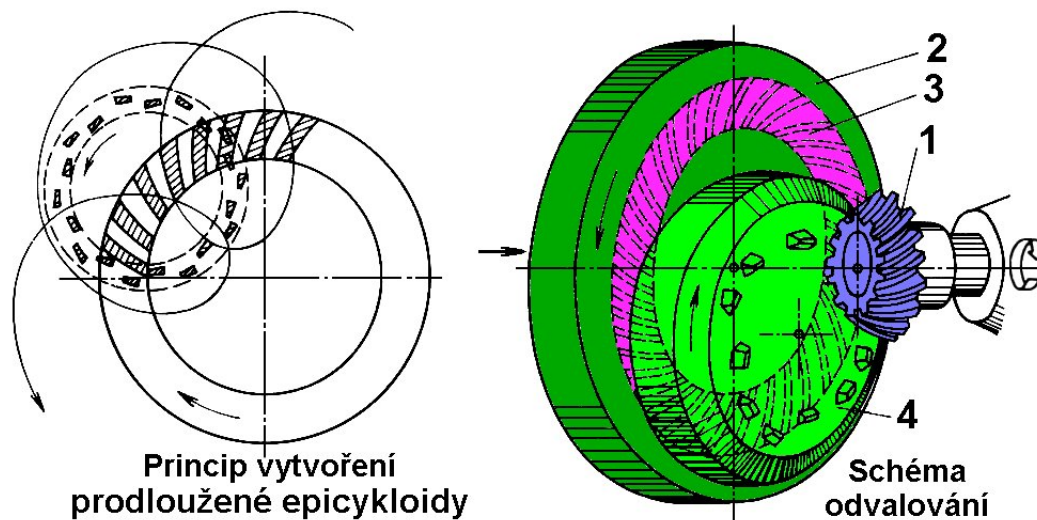
Obr. 6.34 Frézování ozubení kuželových kol se zakřivenými zuby způsobem Gleason  
 1 - obráběné kolo, 2 - nožová hlava, 3 - unášecí deska, 4 - pomyslné základní kolo



Obr. 6.35 Obráběcí stroj na výrobu kuželových kol s hypoidním ozubením

### 6.2.2.2. Způsob Oerlikon

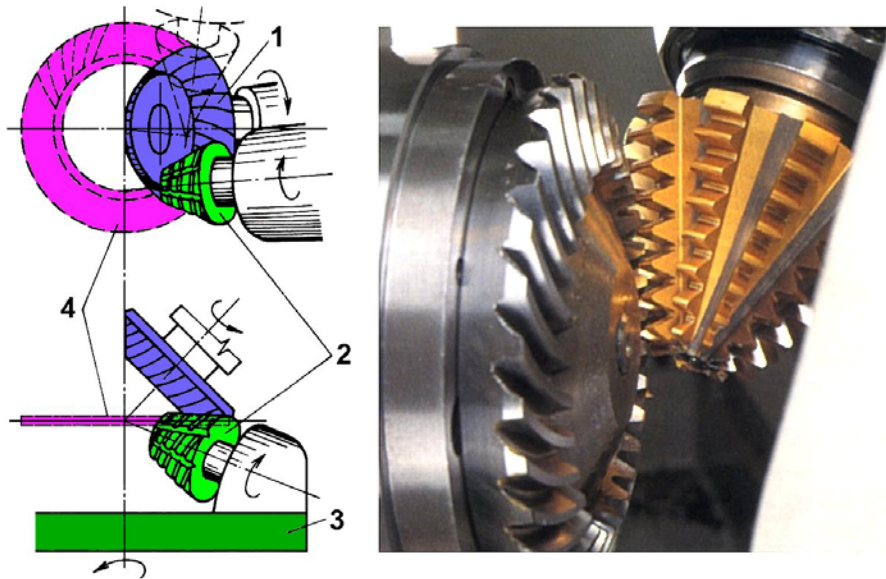
Jedná se o odvalovací frézování čelní nožovou hlavou (obr. 6.36), která vytváří boky zubů obráběného kola plynulým odvalem (to znamená, že nejsou zapotřebí dělicí pohyby jako v případě metody Gleason). Kuželové ozubení vzniká kombinací tří na sobě navzájem závislých pohybů - rotačním pohybem nožové hlavy, rotačnímu pohybem obrobku, který je současně dělicím pohybem a natačením unášecí desky, na níž je výstředně upnuta čelní nožová hlava. Jednotlivé břity čelní nožové hlavy (s přímkovým ostrím) jsou uspořádány po skupinách tak, že tvoří části samostatných spirál.



Obr. 6.36 Frézování ozubení kuželových kol se zakřivenými zuby způsobem Oerlikon  
1 - obráběné kol, 2 - unášecí deska, 3 - pomyslné základní kolo, 4 - nožová hlava

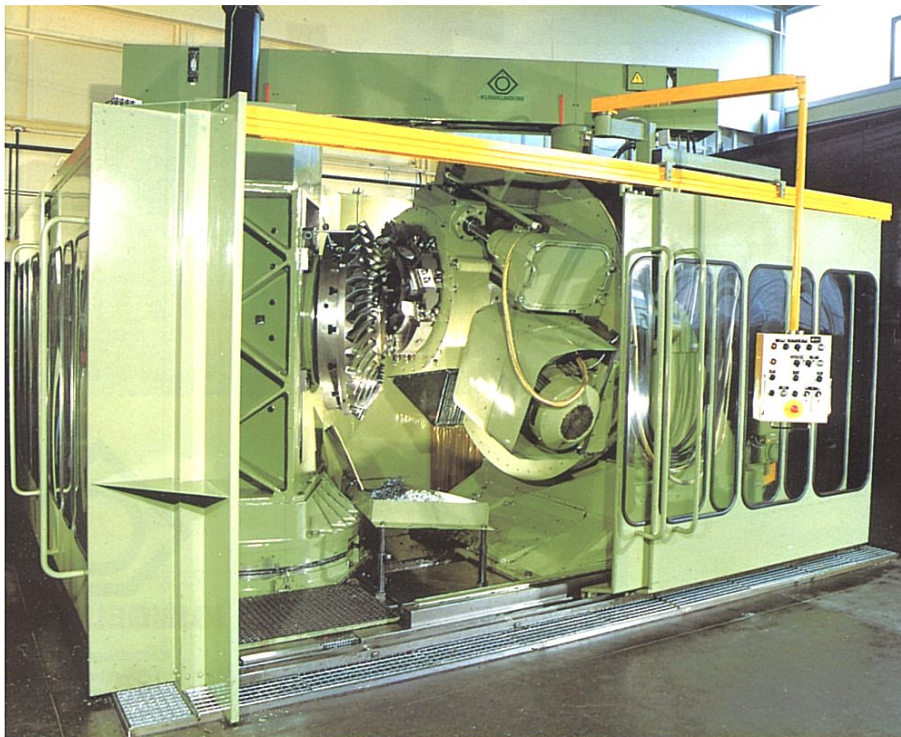
### 6.2.2.3 Způsob Klingelberg

Kuželová kola s paloidním ozubením se u metody Klingelberg vyrábějí odvalovacím frézováním pomocí kuželové frézy, která vytváří boky zubů obráběného kola plynulým odvalem (obr. 6.37). Podobně jako u způsobu Oerlikon jsou zubové mezery obráběného kola vytvářeny kombinací tří pohybů - rotačního pohybu frézy, rotačního pohybu obrobku a odvalovacího pohybu frézy na unášecí desce. Tento způsob je vhodný pro kusovou a malosériovou výrobu.



Obr. 6.37 Frézování kuželových kol s paloidním ozubením metodou Klingelnberg  
 1- obráběné kolo, 2- kuželová odvalovací fréza, 3- unášecí deska, 4- pomyslné základní kolo

Kuželová kola s cyklopaloidním ozubením jsou vyráběna odvalovacím frézováním čelní nožovou hlavou na stejném principu jako u metody Oerlikon. Rozdíl spočívá v konstrukci nožové hlavy, která je dvoudílná a uspořádaná tak, že všechny vnější nože jsou v jedné části a vnitřní nože v druhé části hlavy. Obě části se mohou vzájemně posouvat, což umožňuje vnitřním i vnějším nožům vytvářet křivky s různými poloměry křivosti. Tím vzniká požadované zakřivení s podélnou modifikací tvaru zubu. Je to velmi produktivní způsob výroby kuželových kol menších a středních modulů do průměru až 850 mm.

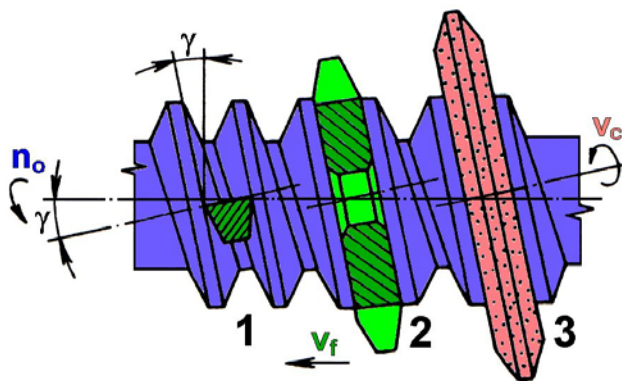


Obr. 6.38 Obráběcí stroj Klingelnberg AMK 1602 pro výrobu kuželových kol s cyklopaloidním ozubením

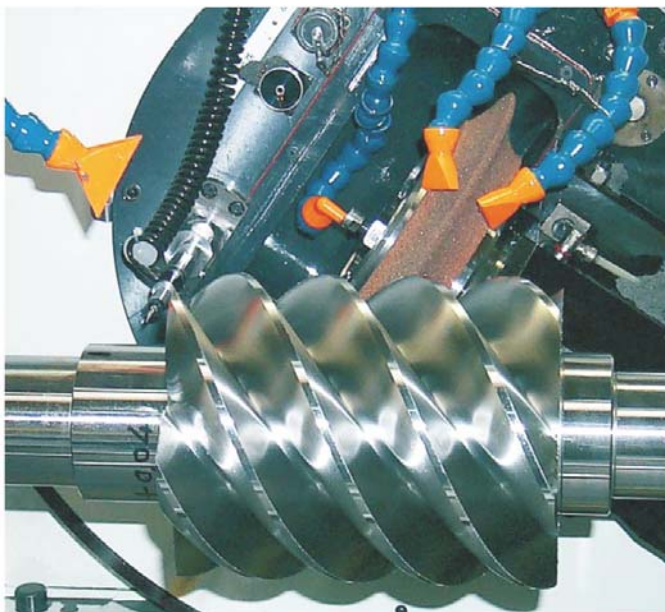
### 6.3. OBRÁBĚNÍ ŠNEKŮ A ŠNEKOVÝCH KOL

Válcové šneky jsou vyráběny soustružením a frézováním, k dokončování je využíváno broušení (obr. 6.39). Soustružení se provádí tvarovým nožem na univerzálních soustruzích a používá se hlavně pro šneky malých modulů, při malém počtu vyráběných kusů. U velkých modulů je tento způsob využíván jen při větších úhlech stoupání  $\gamma$  a při konečné úpravě předfrézovaných šneků. Pro zvýšení účinnosti broušení jsou závity šneku rovněž předfrézovány a konečný tvar je vybroušen profilovým kotoučem na speciálních broušicích strojích (obr. 6.40). Frézováním jsou šneky vyráběny na univerzálních nebo odvalovacích frézách (obr. 6.41), jako nástroje jsou používány kotoučové nebo čepové přímoboké nebo tvarové frézy.

Globoidní šneky jsou obráženy tvarovými noži upnutými v nožové hlavě, nebo se frézují čepovou frézou. Nožová hlava nebo fréza je upnuta na otáčivém suportu tak, že přímky proložené břity nožů nebo frézy jsou tečnami k tvořící kružnici.



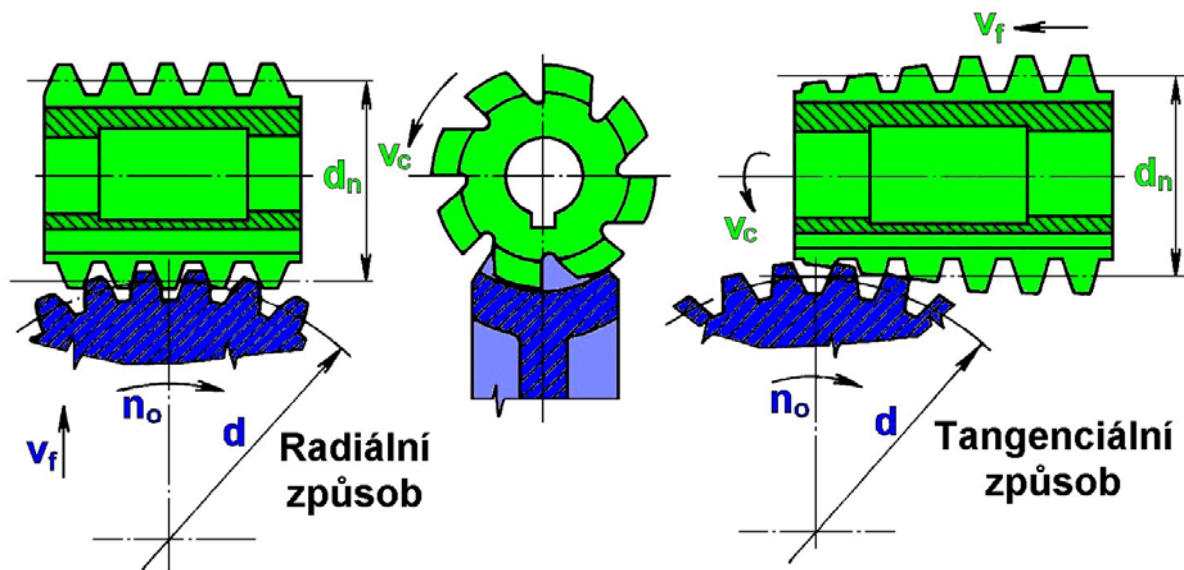
Obr. 6.39 Schéma výroby válcového šneku  
1- soustružení tvarovým nožem, 2 - frézování kotoučovou frézou, 3 - broušení tvarovým kotoučem



Obr. 6.40 Broušení válcového šneku



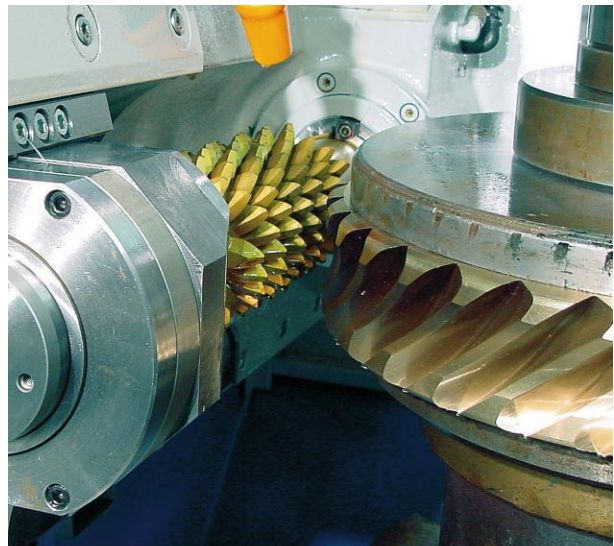
Obr. 6.41 Odvalovací frézování válcového šneku



Obr. 6.42 Odvalovací frézování šnekových kol

Šneková kola se vyrábějí frézováním na univerzálních nebo odvalovacích frézkách. Na univerzální frézce se kolo předfrézuje tvarovou kotoučovou frézou a dokončuje šnekovou frézou, která má rozměry šneku vyráběného soukolí. Při frézování na odvalovacích frézkách (nástrojem je odvalovací fréza, která má tvar a rozměry shodné se spoluzabírajícím šnekem) lze šneková kola vyrábět následujícími způsoby (obr. 6.42):

- **radiálním**, při kterém se obráběné kolo posouvá proti nástroji (tento způsob se používá při výrobě šnekových kol s úhlem stoupání  $6^\circ$  až  $8^\circ$ ),
- **tangenciálním**, kdy se odvalovací fréza s náběhovým kuželem posouvá ve směru tečném k roztečné kružnici kola (tento způsob výroby je přesnější),
- **radiálně tangenciálním**, kdy se radiálním posuvem hrubuje a tangenciálním obrábí na čisto (místo odvalovací frézy lze jako nástroj použít tvarový nůž).



Obr. 6.43 Odvalovací frézování šnekového kola

## 7. 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 polotovárů, a to např. při odstraňování otřepů, švů, výronků, nálitků nebo ztracených hlav, někdy i při oddělování několika součástí vyrobených těmito metodami najednou. Dělení je třeba použít i při výrobě součástí

z desek, pásů nebo jiných rozměrnějších polotovarů. K nejpoužívanějším metodám dělení materiálu patří:

- dělení rozřezáváním (pilový list, pilový kotouč, pilový pás),
- dělení rozbrušovací 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.).

## **7.1. DĚLENÍ ROZŘEZÁVÁNÍM**

Rozřezávání na rámových, kotoučových nebo pásových pilách patří k nejužívanějším metodám dělení materiálů, vybrané technologické parametry jednotlivých typů strojních pil jsou uvedeny v tabulce č.7.1.

Tab. 7.1 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

*Pozn.: Tmavší pozadí vyjadřuje nepříznivější hodnotu daného parametru*

### **7.1.1. Dělení na rámových pilách**

Z tabulky 7.1 je zřejmé, že dělení materiálu na rámových pilách (obr. 7.1) 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 operativnost, která je daná především jednoduchostí obsluhy, snadnou výměnou pilového listu, nízkou poruchovostí a nízkými náklady na opravu stroje (vyplývají z jeho jednoduché 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 (např. střídavě vpravo a vlevo).

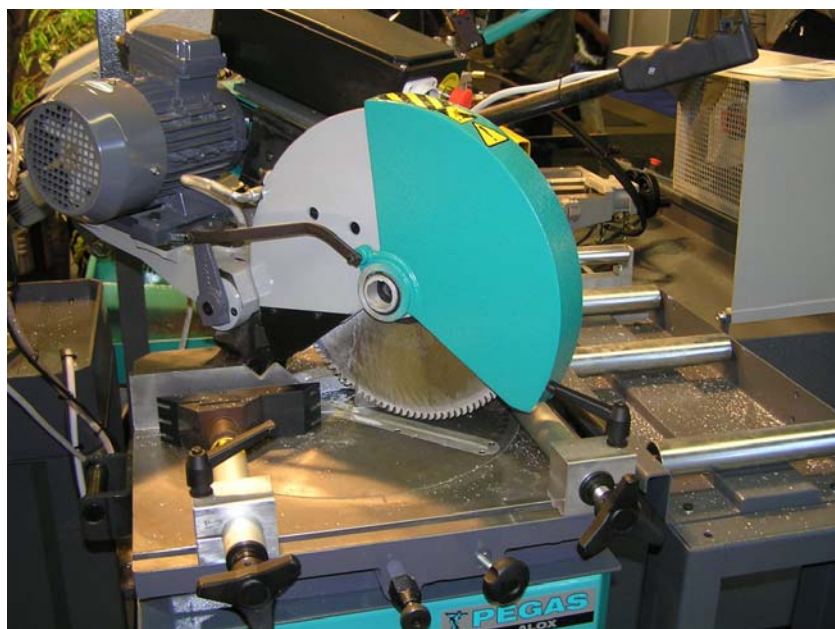




*Obr. 7.1 Rámová pila*

### **7.1.2. Dělení na kotoučových pilách**

Hlavními přednostmi dělení na kotoučových pilách (obr. 7.2) jsou poměrně vysoká univerzálnost použití a produktivita, vysoká kvalita řezné plochy (vysoká přesnost řezné spáry a nízká drsnost povrchu obrobenej plochy) a vysoká životnost pilového kotouče.



*Obr. 7.2 Kotoučová pila Pegas*

Vzhledem k charakteru práce a kinematické pohybu (řezný, posuvový a výsledný) lze tuto metodu dělení materiálu považovat prakticky za frézovací operaci (válcové frézování), která využívá jemnozubý nástroj malé tloušťky a velkého průměru. Stejně jako válcové frézo-

vání, může být tedy i řezání kotoučovou pilou charakterizováno jako sousledné nebo nesousledné. Řezný pohyb vykonává nástroj (pilový kotouč) a lze jej vyjádřit hodnotou jeho obvodové rychlosti  $v_c$  [ $m \cdot min^{-1}$ ]. Posuvový 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). Tato hodnota je směrodatná pro volbu posuvového pohybu, protože jiné parametry, používané pro jeho vyjádření ( $f_o$  a  $v_f$ ) jsou závislé na počtu zubů nástroje a jeho otáčkách (tím i na řezné rychlosti a průměru nástroje):

- posuv na otáčku  $f_o = f_z \cdot z$  (dráha [mm], o kterou se relativně vůči sobě posunou nástroj a obrobek po dobu jedné otáčky nástroje;  $z$  [-] je počet zubů nástroje),
- $v_f = f_o \cdot n = f_z \cdot z \cdot n$  (rychlost posuvu [ $mm \cdot min^{-1}$ ];  $n$  [ $min^{-1}$ ] jsou otáčky nástroje).

Tab.7.2 Doporučené řezné podmínky pro kotoučové pily STARK

Obráběný materiál	Řezná rychlost $v$ [ $m \cdot min^{-1}$ ]	Posuv na zub $f_z$ [mm]
Oceli, $R_m < 500$ MPa	30 ÷ 50	0,02 ÷ 0,04
Oceli $R_m < 800$ MPa	20 ÷ 40	0,02 ÷ 0,03
Oceli $R_m < 1200$ MPa	15 ÷ 25	0,01 ÷ 0,02
Korozivzdorné oceli	10 ÷ 20	0,01 ÷ 0,02
Šedé litiny	30 ÷ 50	0,03 ÷ 0,04
Měď a bronz	200 ÷ 300	0,03 ÷ 0,05
Slitiny Al, plný průřez	600 ÷ 900	0,04 ÷ 0,09
Slitiny Al, profily	1000 ÷ 1600	0,03 ÷ 0,07
Mosazi	400 ÷ 600	0,03 ÷ 0,05
Umělé hmoty	60 ÷ 150	0,04 ÷ 0,08

### 7.1.3. 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, k nevýhodám lze zařadit zejména vyšší cenu nástroje - pilového pásu. Při použití speciálního stroje lze touto metodou provádět i tvarové řezy. Dělení na pásových pilách (obr. 7.3) se v současné době velmi intenzivně rozvíjí a podíl dané metody na celkovém objemu děleného materiálu v průmyslové výrobě prudce roste.

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:

- Pásky z pružné uhlíkové oceli - pro obecné případy dělení snadno obrobitelných slitin na bázi železa; vhodné též pro dělení dřeva a neželezných slitin vysokými řeznými rychlostmi.
- Pásky z tvrdé uhlíkové oceli - ušlechtilá uhlíková ocel, speciálně tepelně zpracovaná na vysokou pevnost v tahu a odolnost proti opotřebení. Pásky z tohoto materiálu mohou být napínány vyšší silou pro zajištění větší přesnosti řezu.
- Bimetalové pásky - pás z houževnaté pružinové oceli je svařen (obvykle ve vakuu, pomocí elektronového paprsku) s pásem z rychlořezné oceli, ve kterém jsou pak vyfrézovány zuby

s požadovaným tvarem a roztečí. Tato kombinace zaručuje vysokou tvrdost řezné části (zubů) při zachování vysoké houževnatosti vlastního pásu, čímž lze dosáhnout nejvyšších možných řezných výkonů; vhodné zejména pro přerušovaný řez (trubky, profily).

- Pásky z pružné oceli s pájenými zuby ze slinutého karbidu (druh K podle ISO) - určeny pro dělení tvrdých materiálů (až 65 HRC), šedých litin, korozivzdorných ocelí, titanových slitin, plastů vyztužených uhlíkovými vlákny, mramoru, atd.



Obr. 7.3 Pásové pily Pegas

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 po celou dobu řezu pouze v případě, že vedlejší pohyb (posuv pásu do řezu) je vyvozován zařízením, konstruovaným na principu mechanických převodů. U převážné většiny pásových pil je však pilový pás posouván do řezu hydraulicky (příp. pomocí závaží a pákového mechanismu) a proto se hodnota  $f_z$  v průběhu řezu může měnit podle toho, jaká je okamžitá délka záběru pásu (závisí na průřezu děleného materiálu - nejmarkantněji u kruhových profilů - nebo na poloze listu vůči tomuto materiálu). Pokud je přitlačná síla, kterou vyvozuje hydraulický (nebo pákový) mechanismus po celou dobu řezu konstantní, je posuv listu do záběru v počáteční fázi řezu rychlejší (malá délka záběru  $l \Rightarrow$  malý počet zubů v záběru  $\Rightarrow$  malý řezný odpor ve směru posuvu pásu), potom je postupně zpomalován (délka záběru roste) a po dosažení maximální hodnoty délky záběru znovu zrychlován ( $l$  postupně klesá). Popsané změny rychlosti posuvu pásu v průběhu řezání však nejsou příliš velké a při správné volbě výchozí hodnoty  $f_z$  nemají negativní vliv na proces řezání (způsobují pouze mírné prodloužení doby řezání), ani na kvalitu řezné plochy.

Při řezání na pásových pilách je třeba velkou pozornost věnovat volbě pilového pásu (rozměry, materiál, typ zubů, zubová rozteč), nastavení řezných podmínek (rychlost pásu = řezná rychlost, posuv do záběru, druh řezné kapaliny a její množství) a správné činnosti všech součástí a systémů stroje (svěrák pro upnutí obrobku, stav a opotřebení hnacího a vodícího kotouče, napnutí pásu, poloha vodících ramen a vodítek, stěrače třísek, atd.). Jenom tak lze dosáhnout velkých řezných výkonů, při dodržení všech předepsaných požadavků na kvalitu řezné plochy.

## **7.2. 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 ale např. 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,  $v_c = 60 \text{ m s}^{-1}$ ) nebo pryskyřice (pro dělení těžkoobrobitelných materiálů nebo vyšší řezné rychlosti, až do  $120 \text{ m s}^{-1}$ ). Pryskyřičné kotouče mohou být nevyztužené (do průměru 500 mm), nebo vyztužené sklotextilem (nad  $\varnothing 500 \text{ mm}$ ).

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.

## **7.3. DĚLENÍ TŘECÍM KOTOUČEM**

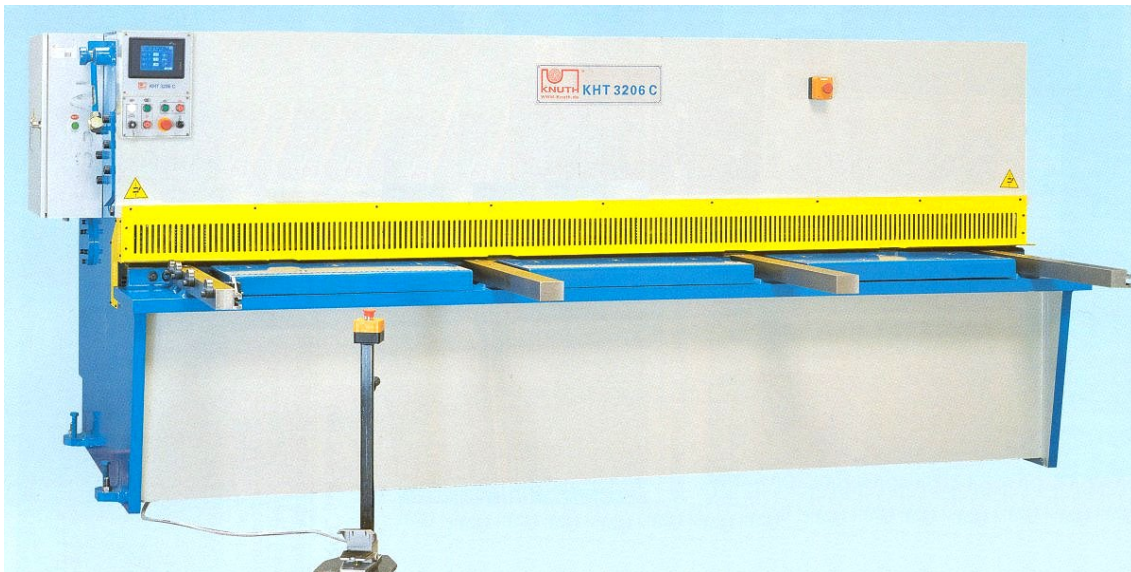
Je to metoda, podobná metodě dělení rozbrušovacím kotoučem, nástroj ale v tomto případě nemusí nutně mít tvar kotouče, používají se i pilové pásy nebo dráty.

Kotouče nebo pásy pro frikční řezání mají nízké zuby, obvykle s úhlem čela  $\gamma_o = +30^\circ$  a úhlem hřbetu  $\alpha_o = 10^\circ$  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 ( $v_c = 60\div 150 \text{ m s}^{-1}$ ) 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).

## **7.4. DĚLENÍ STŘÍHÁNÍM A LÁMÁNÍM**

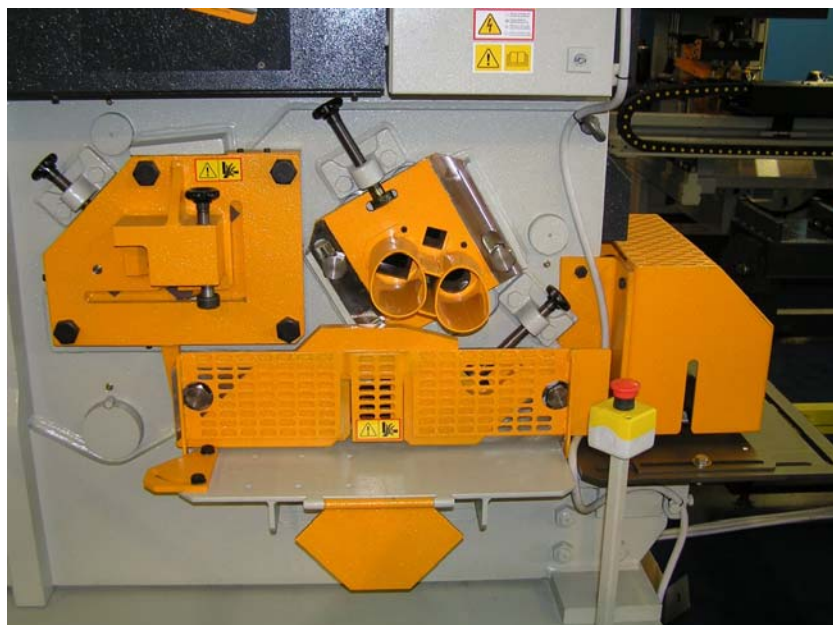
Stříhání a lámání patří k nejproduktivnějším metodám dělení polotovarů v kovárnách a válcovnách. Stříhání se používá pro dělení plechů, pásů tyčí a profilů. Provádí se za studena, u málo plastických ocelí za tepla (nelegované oceli až  $300^\circ\text{C}$ , slitinové oceli až  $650^\circ\text{C}$ ).



Obr. 7.4 Tabulové nůžky Knuth (pro plechy tloušťky max. 6 mm a šířky max. 3200 mm )

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. 7.4). Nůžkami se rovněž dělí tyče do průměru 50 mm a profily s maximálním průřezem až 2500 mm<sup>2</sup>. 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), u materiálů s pevností v tahu  $R_m > 600$  MPa, do průměru polotovaru  $d = 300$  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 krátké kusy ( $l_{\min} = 0,8d$ ), podle vzhladu lomové plochy lze navíc provádět kontrolu jakosti děleného materiálu.



Obr. 7.5 Detail hydraulického lisu Ficep pro děrování a stříhání (max. síla 400 kN, pracovní možnosti pro stříhání: plechy do tloušťky 10 mm, L profily 80x80x8 mm, kruhové profily  $d = 38$  mm, čtvercové profily 35x35 mm)

## 7.5. 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 -  $C_2H_2$ ), která je založena na spalování ohřátého materiálu v místě řezu, řezání se provádí ručně nebo na speciálních strojích (obr. 7.6). Podmínkou řezatelnosti je, aby zápalná teplota materiálu byla menší než je jeho teplota tavení. Tato metoda je vhodná pro dělení nelegovaných ocelí do tloušťek až 500 mm, je velmi produktivní a umožňuje i tvarové řezy. Slitínové 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. 7.6 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.

## 8. POUŽITÁ LITERATURA

1. *Catalog - pages 17-134*. Vargus Ltd. Nahariya. Israel. [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.vargus.co.il/site/public.asp?num=10>>
2. *D'Andrea General Catalogue 2004*. D'ANDREA S.P.A. Milan. Italy. [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.dandrea.com/ing/home.html>>.
3. *EMUGE Gewindeschneidtechnik Spanntechnik. Werkzeugkatalog 120*. EMUGE-Werk Richard Glimpel - Fabrik für Präzisionswerkzeuge KG. Lauf. BRD. ZK3001MS. 45T042001 Wy-1A. 694 s.
4. HAUSER, J. a kolektiv. *Obrábanie kovov*. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry. Edícia strojárkej literatúry. 1960. 56/III-4 302 05 61. 467 s.
5. HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Technologie frézování. *MM Průmyslové spektrum - Speciální vydání*, Zář 2004. ISSN 1212-2572. s.26-50.
6. HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Technologie vrtání. *MM Průmyslové spektrum - Speciální vydání*, Zář 2004. ISSN 1212-2572. s.52-62.
7. HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Technologie vyvrtávání. *MM Průmyslové spektrum - Speciální vydání*, Zář 2004. ISSN 1212-2572. s.64-68.
8. *Katalog*. STIM ZET, a. s., Vsetín. [online]. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.stimzetvsetin.cz/stim\\_z.pdf](http://www.stimzetvsetin.cz/stim_z.pdf)>.
9. KOČMAN, K., PROKOP, J. *Analýza technologických parametrů řezání tyčového materiálu na pásových pilách*. Výzkumná zpráva. VUT-FS, Ústav strojírenské technologie, Brno 1996.
10. KOČMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
11. KRÍŽ, R., VÁVRA, P. a kolektiv. *Strojírenská příručka, 7. svazek*. Praha: SCIENTIA, s.r.o., pedagogické nakladatelství. 1996. ISBN 80-7183-024-0. 216 s.
12. *Obrázcí nože*. M&V s.r.o., Vsetín. [online]. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.mav.cz/pdf/soustruzeni/soustr\\_01.pdf](http://www.mav.cz/pdf/soustruzeni/soustr_01.pdf)>.
13. *Precision Boring Head, 112.118*. BIG KAISER PRECISION TOOLING INC. Elk Grove Village. Illinois. USA. [online]. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.bigkaiser.com/kpt\\_pdfs/112118cat.pdf](http://www.bigkaiser.com/kpt_pdfs/112118cat.pdf)>.
14. *Příručka obrábění - Optimální volba a použití nástrojů PRAMET DIADUR*. Pramet Tools, a.s., Šumperk. PRIR 0398-CZ. 198 s.
15. ŘÍČKA, J. a BULLA, V. *Technologie obrábění a montáže*. Skriptum VUT-FS Brno. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury. 1985. 279 s.
16. SCHMIDT, E. a kol. *Příručka řezných nástrojů*. 2., doplněné vydání. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, Redakce báňské a strojírenské literatury. 1974. L13-E1-IV-41/22384/VIII. 580 s.
17. SCHNEIDER, G. *Cutting Tools Applications*. George Schneider, Jr. Farmington Hills. Michigan. USA. ISBN 0-615-12191-8. 243 pp.
18. *Thread Milling Handbook*. Vargus Ltd. Nahariya. Israel. [online]. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.vargus.co.il/site/varDEX-pdf/Hand\\_Book\\_mm.pdf](http://www.vargus.co.il/site/varDEX-pdf/Hand_Book_mm.pdf)>
19. VIGNER, M., PŘIKRYL, L. a kolektiv. *Obrábění*. První vydání. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, Redakce báňské a strojírenské literatury. 1984. L13-E1-V-41/22658. 808 s.
20. VLACH B. a kolektiv. *Technologie obrábění a montáže*. První vydání. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, Redakce strojírenské a metalurgické literatury. 1990. L13-C3-V-31/28936. 472 s.
21. *Vyvrtávací tyče*. M&V s.r.o., Vsetín. [online]. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.mav.cz/pdf/upinaci\\_n/upinn\\_01.pdf](http://www.mav.cz/pdf/upinaci_n/upinn_01.pdf)>.