

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA FAKULTA STROJNÍ



TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ

3 Vrtání

doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D.

Ostrava 2013

© doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D., Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3012-4



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

1	VRTÁNÍ	3
1.1	Vrtání.....	4
1.2	Výpočet průřezu třísky	8
1.3	Síla řezání a její složky.....	9
1.4	Jednotkový strojní čas	10
1.5	Nástroje - vrtáky.....	10
1.6	Vyhrubování	17
1.7	Vystružování.....	19
1.8	Zahlubování	21
1.9	Stroje – vrtačky	23
1.10	Vyvrtávání.....	24
1.11	Nástroje	25
2	KONTROLNÍ OTÁZKY.....	28
3	PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM.	29
4	POUŽITÁ LITERATURA	30



1 VRTÁNÍ



OBSAH KAPITOLY:

Vrtání

Síla řezání a její složky Jednotkový strojní čas

Nástroje – vrtáky

Vyhrubování

Vystružování

Zahlubování

Stroje – vrtačky

Nástroje – vrtáky

Vyvrtávání



MOTIVACE:

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



1.1 VRTÁNÍ

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



Audio 1.1 Vrtání



Při samotném obrábění je osa vrtáku nejčastěji kolmá k obráběné ploše.

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

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

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.38)$$

$$v_f = f \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.39)$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.40)$$

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

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

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

D – průměr obráběné díry (maximální průměr ostří nástroje) [mm]

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

f – posuv nástroje na jednu otáčku [mm]

Hodnotu posuvu na zub lze určit ze vztahu:

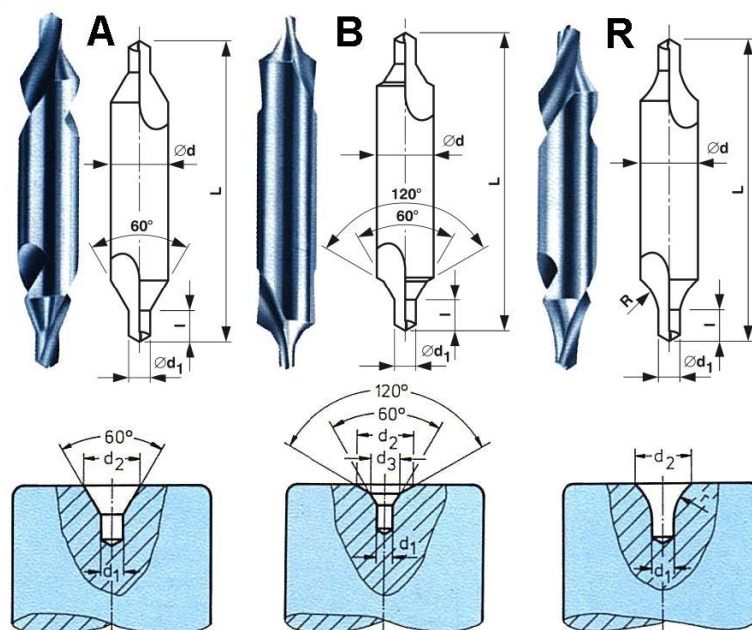
$$f_z = \frac{f}{z} \quad [\text{mm}] \quad (1.41)$$

z – počet zubů (břitů) nástroje [-]

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

- Navrtávání začátku díry středícím vrtákem do plného materiálu obr. 1.63.



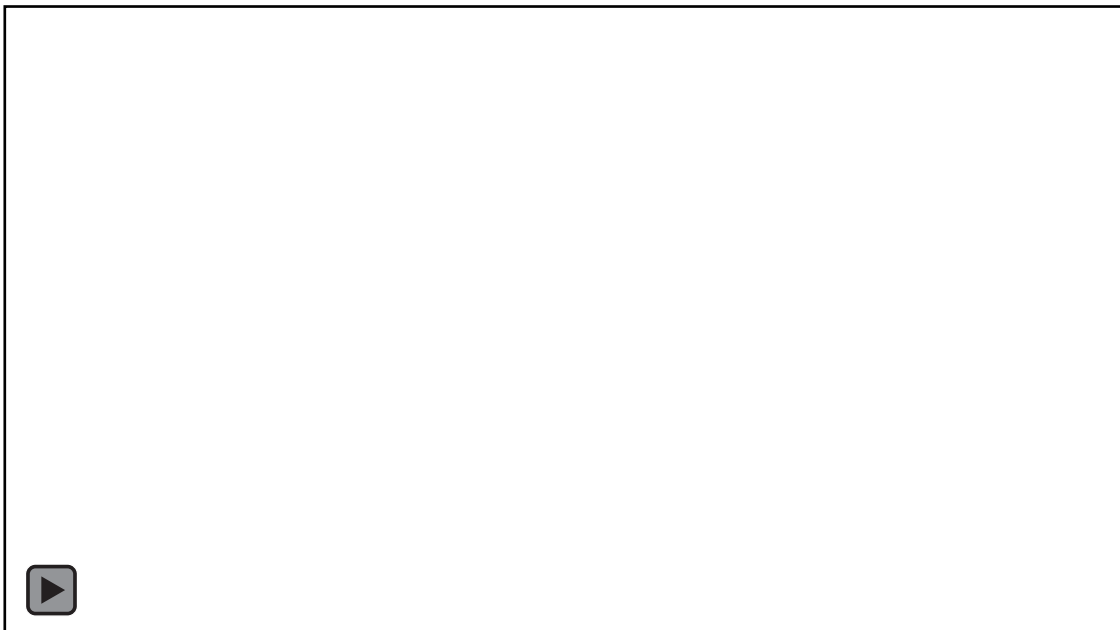


Obr. 1.63 Středicí vrtáky



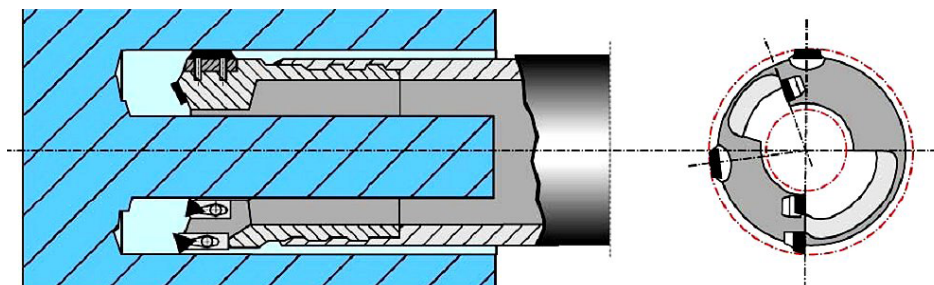
Animace 1.1 Středicí důlek

- Vrtání krátkých děr, kde poměr $D/L = 1/5 \div 1/10$ (D – průměr díry, L – délka díry) do plného materiálu. K těmto operacím se využívají vrtáky šroubovitě, kopinatě, s vyměnitelnými špičkami a s vyměnitelnými břitovými destičkami.



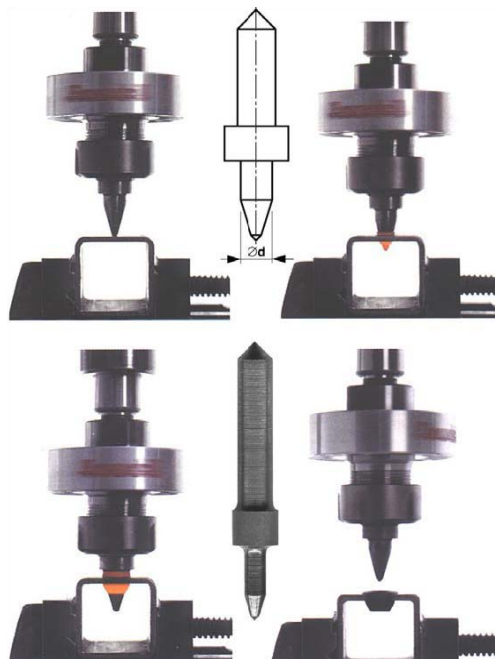
Animace 1.2 Vyvrtávání vrtákem

- K vrtání děr do předpracovaných otvorů se používají stejné nástroje jako při vrtání krátkých děr do plného materiálu. Výjimečně se využívají dělové (hlavňové) vrtáky.
- K vrtání hlubokých děr, kde je poměr $L/D > 1/10$, se do plného nebo předpracovaného materiálu používají vrtáky dělové (hlavňové), ejektorové, BTA, STS. Při vrtání děr malých průměrů se mohou použít vrtáky šroubovitě.
- Vrtání „na jádro” – jedná se o odřezávání obráběného materiálu ve tvaru mezikruží jednobřítým nebo vícebřítým korunkovým (trepanačním) vrátkem (obr. 1.64). Používá se pro vrtání průchozích děr převážně větších průměrů.

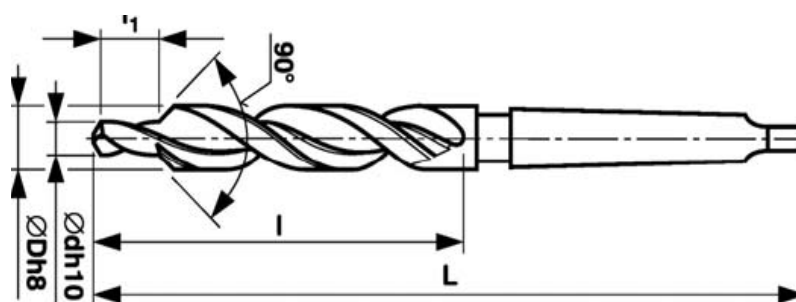


1.64 Korunkový vrták

- Speciální druhy vrtání, např. vrtání děr do plechu termálním tvářecím vrtákem (obr. 1.65), vrtání odstupňovaných děr odstupňovaným vrtákem (obr. 1.66), vrtání díry se současným vystružováním, závitováním, zahlubováním (obr. 1.67) nebo hlazením sdruženými nástroji.



Obr. 1.65 Termální vrtání díry v tenkostěnném ocelovém profilu



Obr. 1.66 Odstupňovaný vrták



Obr. 1.67 Sdružený nástroj pro vrtání a dvojité zahlubování



Animace 1.3 Vrtání - sražení hrany

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

1.2 VÝPOČET PRŮŘEZU TŘÍSKY

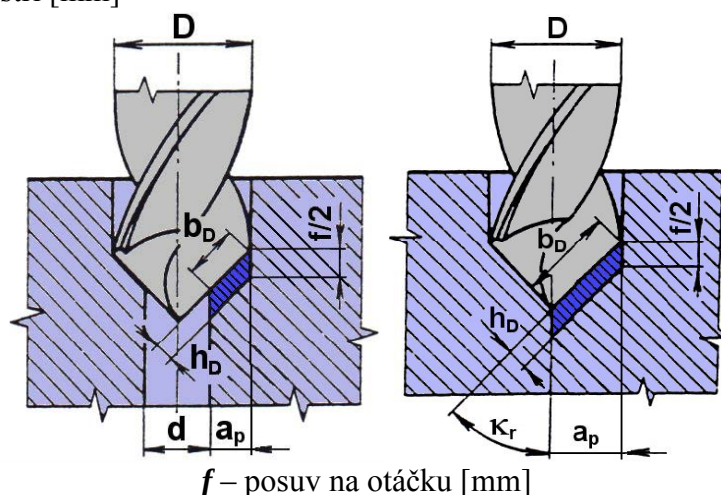
Při výpočtu **průřezu třísky** A_D pro vrtání do plného materiálu a při zvětšování předvrtané díry vycházíme z parametrů uvedených na obr. 1.68, kdy je tříska odebrána jedním břitem šroubovitého vrtáku.

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f}{2} \quad [\text{mm}^2] \quad (1.42)$$

b_D – jmenovitá šířka třísky [mm]

h_D – jmenovitá tloušťka třísky [mm]

a_p – šířka záběru ostří [mm]



Obr. 1.68 Průřez třísky při vrtání dvoubřitým šroubovitým vrtákem

Šířka záběru při vrtání do plného materiálu je $a_p = D/2$, pro vrtání do předpracované díry (předvrtané, přelité, přelisované apod.) $a_p = (D - d) / 2$. Na základě těchto skutečností můžeme



vyjádřit vztah pro výpočet průřezu třísky jedním břitem nástroje při vrtání do plného materiálu:

$$A_D = \frac{D \cdot f}{4} \quad [\text{mm}^2] \quad (1.43)$$

Při vrtání do předpracované díry vypadá vztah takto:

$$A_D = \frac{(D-d) \cdot f}{4} \quad [\text{mm}^2] \quad (1.44)$$

Pro dvoubřitý nástroj se celkový průřez třísky při vrtání do plného materiálu vypočítá ze vztahu:

$$A_D = \frac{D \cdot f}{2} \quad [\text{mm}^2] \quad (1.45)$$

Při vrtání do předpracované díry:

$$A_D = \frac{(D-d) \cdot f}{2} \quad [\text{mm}^2] \quad (1.46)$$

Výpočty parametrů průřezu třísky při obrábění šroubovým vrtákem:

- jmenovitá šířka třísky při vrtání do plného materiálu

$$b_D = \frac{D}{2 \cdot \sin \kappa_r} \quad [\text{mm}], \quad (1.47)$$

- jmenovitá šířka třísky při vrtání do předpracované díry

$$b_D = \frac{D-d}{2 \cdot \sin \kappa_r} \quad [\text{mm}], \quad (1.48)$$

- jmenovitá tloušťka třísky

$$h_D = \frac{f}{2} \cdot \sin \kappa_r \quad [\text{mm}], \quad (1.49)$$

1.3 SÍLA ŘEZÁNÍ A JEJÍ SLOŽKY

Aby mohl vrták překonat odpor vznikající při obrábění, musí na něj působit síla řezání a její složky. Standardní šroubovitý nebo kopinatý vrták mají 2 břity, které jsou symetricky postaveny vůči jeho ose. Pro získání výsledné síly řezání musíme uvažovat složky působící na obou břitech nástroje (obr. 1.69).

Posuvová složka síly vrtání:

$$F_f = F_{f1} + F_{f2} \quad [\text{N}] \quad (1.50)$$

Pasivní složka síly vrtání:

$$F_p = F_{p1} + F_{p2} \quad [\text{N}] \quad (1.51)$$

Řezná složka síly vrtání:

$$F_c = F_{c1} + F_{c2} \quad [\text{N}] \quad (1.52)$$

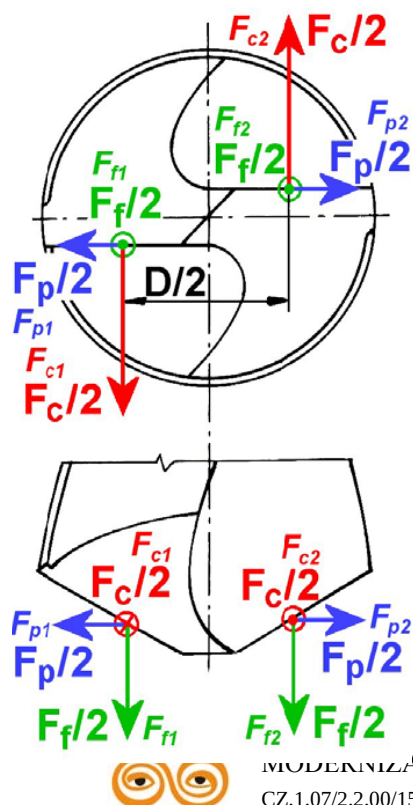
Při správném a přesném naostření jsou síly na obou břitech stejné:

$$F_{f1} = F_{f2} = F_f / 2 \quad [\text{N}] \quad (1.53)$$

$$F_{p1} = F_{p2} = F_p / 2 \quad [\text{N}] \quad (1.54)$$

$$F_p \text{ je tedy } 0 \quad 1.1$$

$$F_{c1} = F_{c2} = F_c / 2 \quad [\text{N}] \quad (1.55)$$



Obr. 1.69 Složky síly řezání při vrtání

Při vrtání, stejně jako při soustružení, lze stanovit jednotlivé složky síly vrtání pro celý nástroj pomocí empirických vztahů:

$$F_f = C_{Ff} \cdot D^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}} \quad [\text{N}] \quad (1.56)$$

$$F_c = C_{Fc} \cdot D^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \quad [\text{N}] \quad (1.57)$$

C_{Ff} , C_{Fc} – konstanty vyjadřující zejména vliv obráběného materiálu [-]

x_{Ff} , x_{Fc} – exponenty vyjadřující vliv průměru vrtáku [-]

y_{Ff} , y_{Fc} – exponenty vyjadřující vliv posuvu na otáčku [-]

D – průměr vrtáku [mm]

f – posuv na otáčku [mm]

Pro výpočet krouticího momentu využijeme vztahy 1.55 a 1.57 a získáme tak vztah (1.58).

$$M_k = 2 \cdot \frac{F_c}{2} \cdot \frac{D}{4} = \frac{1}{4} \cdot F_c \cdot D = \frac{1}{4} \cdot C_{Fc} \cdot D^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \cdot D = \frac{1}{4} \cdot C_{Fc} \cdot D^{(x_{Fc}+1)} \cdot f^{y_{Fc}} \quad (1.58)$$

Pro zjednodušení: $\frac{1}{4} \cdot C_{Fc} = C_M$, $x_{Fc} + 1 = x_M$

$$M_k = C_M \cdot D^{x_M} \cdot f^{y_{Fc}} \quad [\text{Nmm}] \quad (1.59)$$

Pro zjištění řezného výkonu při vrtání existuje vztah:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{2 \cdot 60 \cdot 1000} = \frac{F_c \cdot v_c}{1,2 \cdot 10^5} \quad [\text{kW}] \quad (1.60)$$

v_c – řezná rychlost stanovená podle vztahu (1.38) [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

1.4 JEDNOTKOVÝ STROJNÍ ČAS

Vyjádření vztahu jednotkového strojního času při vrtání průchozí díry na základě obr. 1.70:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \quad [\text{min}] \quad (1.61)$$

l_n – náběh vrtáku [mm]

l – délka vrtané díry [mm]

l_p – přeběh vrtáku [mm]

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

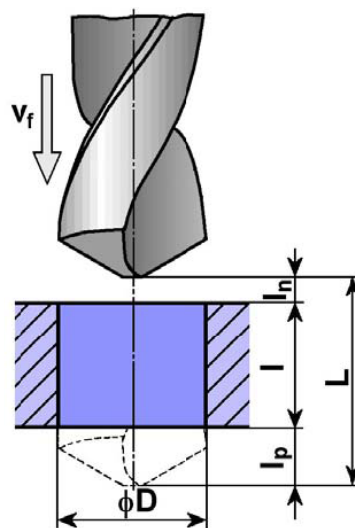
n – otáčky vrtáku [min^{-1}]

f – posuv na otáčku [mm]

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

$$l_p = 0,5D \cdot \lg 31^{1,0} + (0,5 \div 1,0) \cong 0,3D + (0,5 \div 1,0) \quad [\text{mm}] \quad (1.62)$$

Obr. 1.70 Dráha vrtáku



1.5 NÁSTROJE - VRTÁKY

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

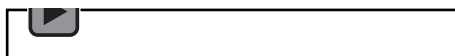
Středicí vrtáky (obr. 1.68), nebo jinak nazývané vrtáky na středící dűlky, slouží k navrtávání začátku díry do plného materiálu. Velmi často jsou používány k navrtávání středícího otvoru pro uchycení materiálu do soustruhu (koníku).



Šroubovitě vrtáky (obr. 1.76) jsou nejčastějším nástrojem pro vrtání krátkých děr. Mají na válcovém těle vytvořeny dvě protilehlé šroubové drážky, které nám slouží k odvodu třísky, ale např. i k přivedu procesní kapaliny do místa řezu.



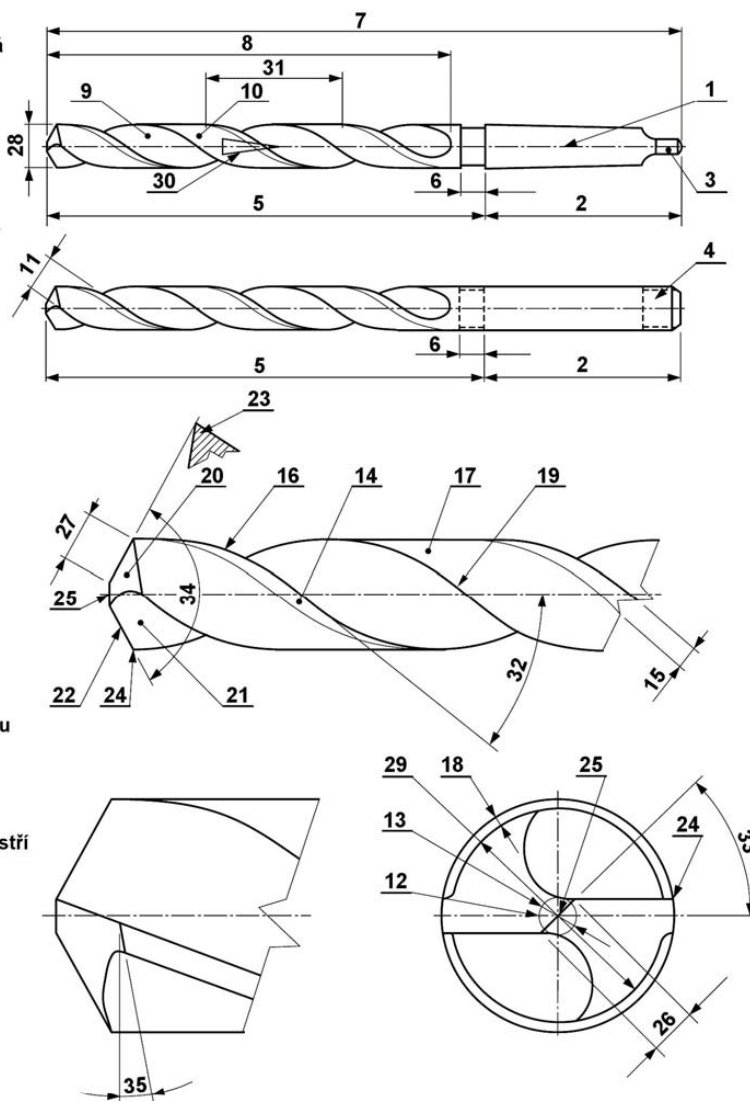
Audio 1.2 Dělení vrtáků



Úhel stoupání šroubovice je pro vrtáky určené k vrtání ocelí a litin běžných pevností a tvrdostí $27^\circ \pm 5^\circ$. Pro vyvrtávání materiálů s vysokou houževnatostí (měkké oceli, slitiny hliníku, termoplasty) mají vrtáky větší úhel ($42^\circ \pm 5^\circ$). Úhel $12^\circ \pm 5^\circ$ mají vrtáky pro vrtání tvrdších materiálů (bronz, mosaz, tvrdá pryž, plexisklo).

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

- 1 - osa
- 2 - stopka (kuželová, hladká
válnová, hladká válková
s unašečem)
- 3 - vyražec
- 4 - unašeč
- 5 - tělo
- 6 - krček
- 7 - celková délka
- 8 - délka šroubovitě drážky
- 9 - šroubovitá drážka
- 10 - druhý vedlejší hřbet
- 11 - šířka vedlejšího hřbetu
- 12 - jádro
- 13 - tloušťka jádra
- 14 - první vedlejší hřbet
(fazetka)
- 15 - šířka fazetky
- 16 - vedlejší ostří
- 17 - odlehčení vedl. hřbetu
- 18 - hloubka odlehčení
- 19 - pata
- 20 - hlavní hřbet
- 21 - čelo
- 22 - hlavní ostří
- 23 - břit
- 24 - vnější špička
- 25 - příčné ostří
- 26 - délka příčného ostří
- 27 - délka hlavního ostří
- 28 - jmenovitý průměr vrtáku
- 29 - průměr odlehčení
- 30 - zpětná kuželovitost
- 31 - stoupání šroubovice
- 32 - úhel šroubovitě drážky
- 33 - úhel sklonu příčného ostří
- 34 - úhel špičky
- 35 - úhel hřbetu



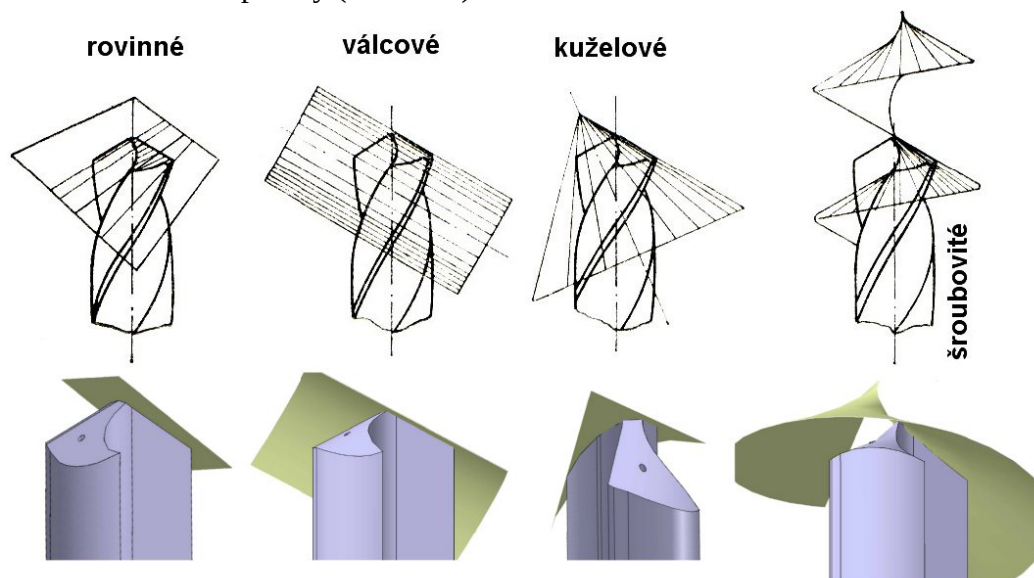
Obr. 1.71 Základní parametry šroubovitěho vrtáku

Jádro šroubovitěho vrtáku ($0,25 \div 0,5 D$) zajišťuje pevnost v krutu, popř. ve vzpěru. Aby bylo zajištěno menší tření vrtáku ve vrtané díře, jsou vedlejší hřbety odlehčeny na menší průměr a tělo vrtáku se směrem ke stopce mírně kuželovitě zužuje. Původní rozměr se ponechává pouze na úzké ploše (fazetce) u hrany každé drážky. Pro běžné nelegované oceli střední



pevnosti a litin střední pevnosti se používají vrtáky s úhlem špičky $\varepsilon_r = 2\kappa_r = 118^\circ$, pro vrtání těžkoobrobitelných materiálů 140° , pro vrtání plastů a tvrdých pryží 90° . Je možné také vybrousit vrták pod dvojitým úhlem např. 90° a 120° . Tím dosáhneme snížení opotřebení nástroje v důsledku snížení jeho tepelného namáhání a zmenšuje se i posuvová složka síly řezání. Toto se používá hlavně pro vrtání materiálů s horší obrobitelností.

Proměnné nástrojové úhly hřbetu i čela podél hlavního ostří napovídají, že šroubový vrták má poměrně složitou geometrii břitů. Průběh úhlů hřbetu i čela podél hlavního ostří je ovlivněn způsobem podbroušení hlavního hřbetu, které může být realizováno podle kuželové, válcové, šroubovitě nebo rovinné plochy (obr. 1.72).

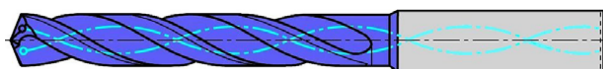


Obr. 1.72 Způsoby podbroušení hřbetních ploch

Materiál pro šroubovitě vrtáky se obvykle volí: rychlořezná ocel, pro těžší podmínky obrábění s pájenými destičkami z SK, slinuté karbidy na vrtáky z monolitních materiálů bez povlaků nebo s povlakem proti otěruvzdornosti, většinou na bázi TiN (obr. 1.73). Šroubovitě vrtáky mohou mít díry pro centrální přívod řezné kapaliny (obr. 1.74) a vyrábějí se i v provedení se třemi břity (obr. 1.75).



Obr. 1.73 Monolitní vrták s povlakem TiN



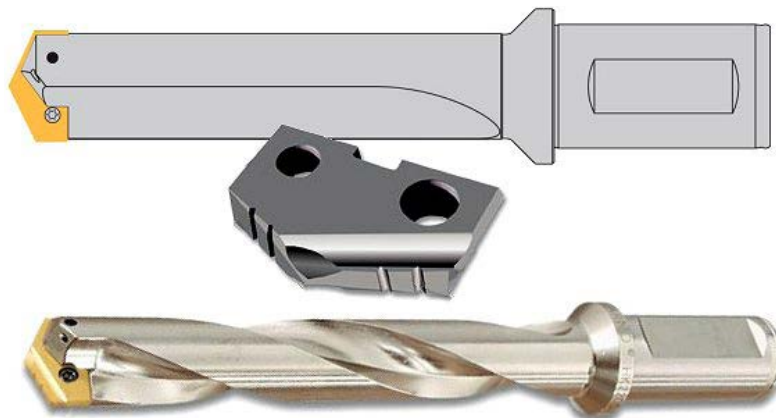
Obr. 1.74 Vrták s centrálním přívodem řezné kapaliny



Obr. 1.75 Tříbřitý šroubový vrták

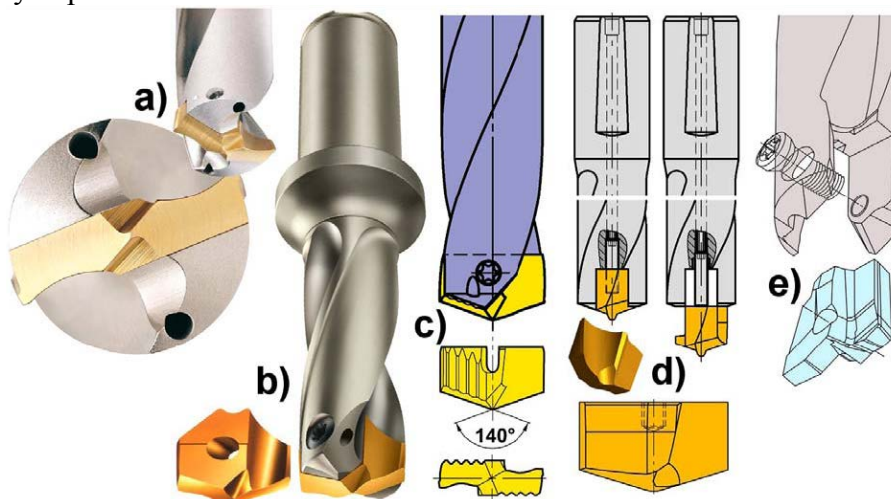
Kopinaté vrtáky (obr. 1.81) jsou také dvoubřité nástroje s příčným ostřím a s vnějším odvodem třísek. Mají velkou tuhost a umožňují vrtat do plného materiálu díry o průměru $10 \div 128$ mm. Důležité je dodržet poměr délky k průměru maximálně $L/D = 3/1$. Nyní se většina těchto vrtáků vyrábí s vnitřním přívodem procesní kapaliny.

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

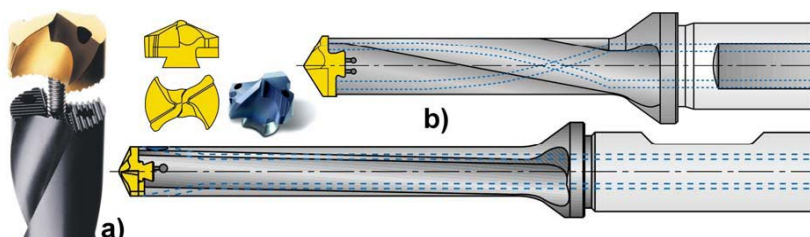


Obr. 1.76 Kopinaté vrtáky

Vrtáky s vyměnitelnou špičkou vyrábíme ve formě břitové destičky (obr. 1.77) nebo hlavice (obr. 1.78). Materiál pro výrobu destiček a hlavice se volí většinou slinutý karbid (obvykle povlakovaný). Hlavice existují s různou geometrií podle obráběného materiálu a dalších technologických požadavků.



Obr. 1.77 Vrtáky s vyměnitelnými destičkami



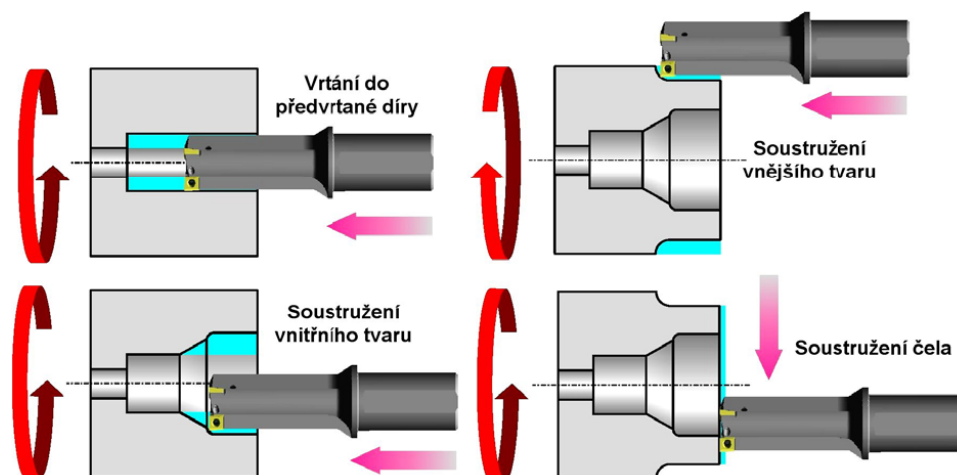
Obr. 1.78 Vrtáky s vyměnitelnou hlaví

Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami (obr. 1.79) – destičky ze slinutých karbidů jsou upnuty v tělese držáku pomocí šroubů přímo nebo u větších vrtáků pomocí kazet, které usnadňují výměnu a chrání lůžko před opotřebením. Z důvodu rozdílné řezné rychlosti se u některých vrtáků používají na obvodu destičky s povlakovaného SK a středové destičky se volí z nepovlakovaného SK. Trvanlivost takto zvolených destiček je přibližně stejná a použité se vyměňují současně.

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



Obr. 1.79 Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami

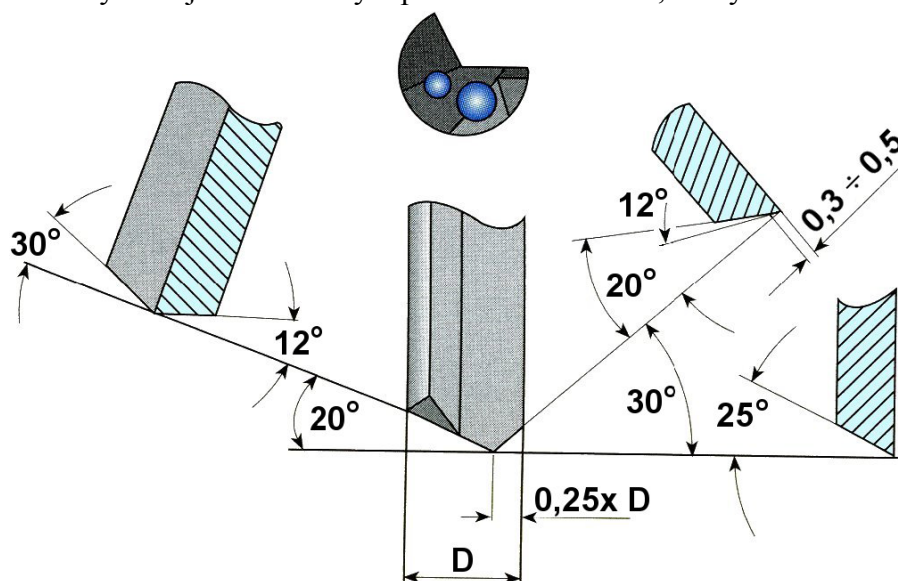


Obr. 1.80 Pracovní možnosti vrtáku s vyměnitelnými břitovými destičkami

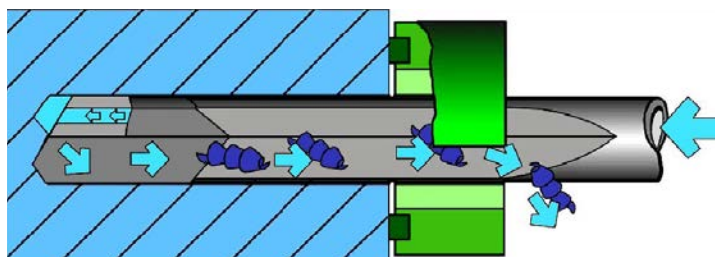
Dělové a hlavňové vrtáky jsou vhodné pro obrábění méně hlubokých děr, protože se nástroj musí po odřezání určité hloubky vytáhnout, aby se z díry odstranila třísky. Hlavňové vrtáky (obr. 1.81) umožňují vrtání přesnějších děr. Konstrukce nástroje je taková, že na trubku nebo



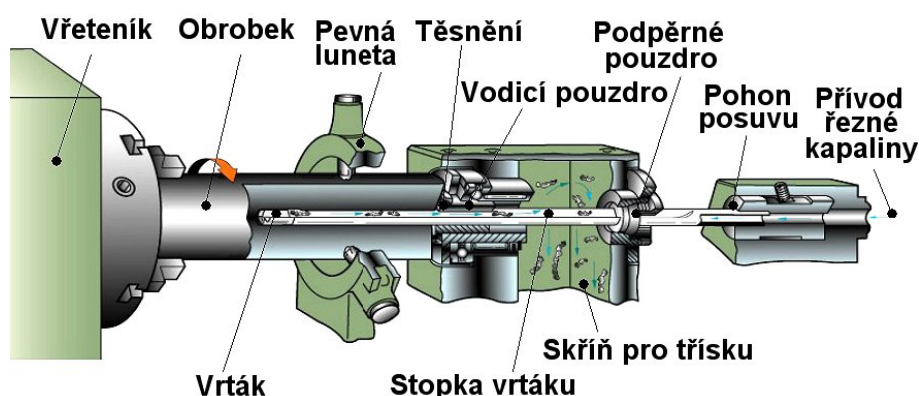
tyč potřebné délky je připájena řezná část, která je z rychlořezné oceli nebo slinutého karbidu. Někdy se vyskytují s připájenými břitovými destičkami. Spolehlivé středění u těchto vrtáků zajišťují vodítka rovněž připájená k tělesu vrátku. Procesní kapalina je do místa řezu přiváděna otvory v tělese vrtáku a zajišťuje vyplavování vznikajících třísek (obr. 1.82). Pro obrábění dělovými a hlavňovými vrtáky jsou využívány speciálně upravené soustruhy (obr. 1.83). Těmito vrtáky se dají obrábět díry o průměru $4 \div 250$ mm, délky až několik metrů.



Obr. 1.81 Geometrie hlavňových vrtáků $D = 4 \div 32$ mm



Obr. 1.82 Odvod třísky při vrtání hlavňovým vrtákem



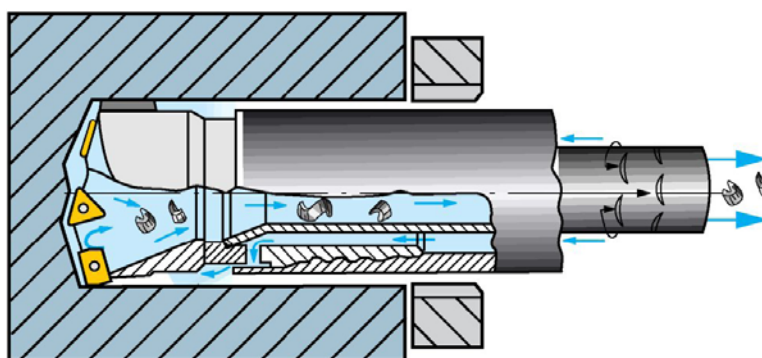
Obr. 1.83 Zařízení pro vrtání hlavňovým vrtákem

Ejektorové vrtáky jsou vhodné pro vrtání otvorů, jejichž hloubka převyšuje pětinasobek průměru. Skládají se z vrtací hlavičky (obr. 1.84) našroubované do vnější vrtací trubky. Ejektorová hlavička se vyrábí s vyměnitelnými destičkami. Procesní kapalina přichází k místu řezu mezikružím mezi vnější a vnitřní trubkou. Malé množství odchází štěrbinami v zadní

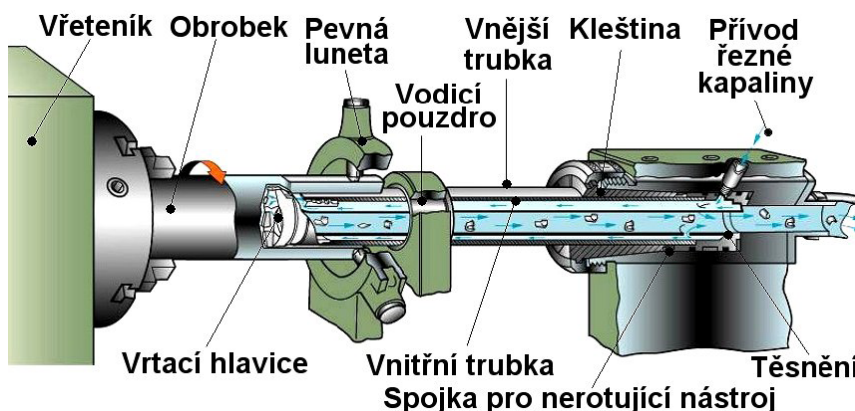
části vnitřní trubky což způsobuje ejektorový efekt – nasávání kapaliny směrem od břitů vrtáku a strhávání vznikajících třísek (obr. 1.85). K obrábění využíváme konvenční obráběcí stroje (obr. 1.86), CNC soustruhy i obráběcí centra.



Obr. 1.84 Hlavičky ejektorových vrtáků

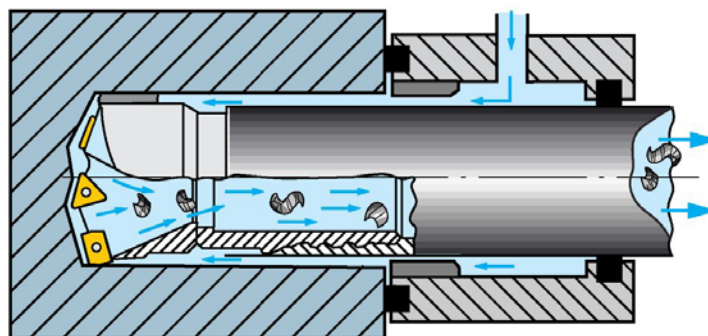


Obr. 1.85 Princip ejektorového vrtání

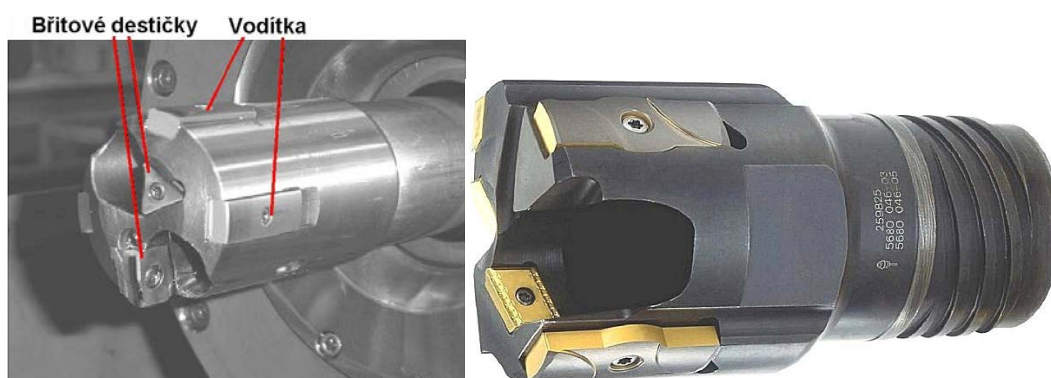


Obr. 1.86 Zařízení pro ejektorové vrtání

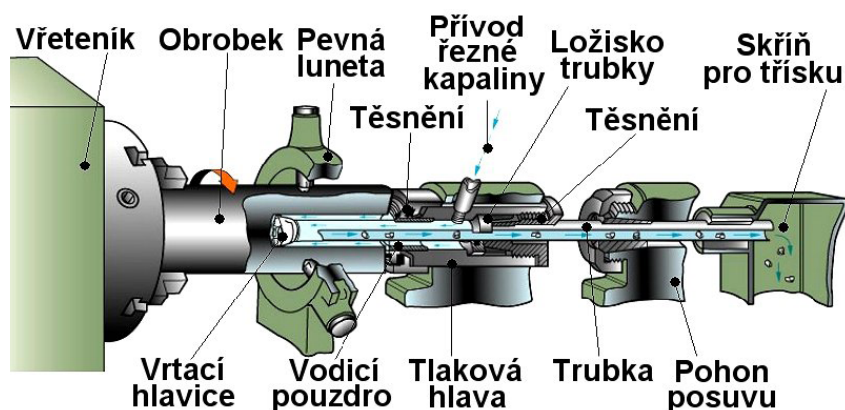
BTA nebo STS vrtáky (obr. 1.87) se dají použít pro větší rozsah vrtaných průměrů než vrtáky ejektorové. Jejich nespornou výhodou je, že se s nimi dají obrábět jak díry předpracované, vrtat do plného materiálu, tak i metodou „na jádro“. Do plného materiálu se dají vrtat díry až do průměru 180 mm a metodou „na jádro“ dokonce i průměry 120 až 300 mm. Princip odvodu třísky od místa řezu spočívá v přivádění procesní kapaliny mezerou mezi stěnou vrtané díry a trubicou vrtáku. Společně s třískou je kapalina odváděna středem trubky (obr. 1.87). Mechanismus musí být opatřen těsněním (obr. 1.89).



Obr. 1.87 Princip funkce BTA a STS vrtáku



Obr. 1.88 BTA vrták (vlevo), STS vrtací hlavice (vpravo)



Obr. 1.89 Zařízení pro STS vrtání

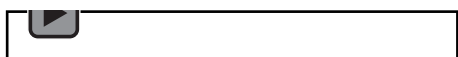
Dále existují speciální druhy vrtáků jako jsou **vrtáky do plechu** (obr. 1.65), **odstupňované vrtáky** na vrtání dvou i více průměrů současně (obr. 1.66) a speciální **sdrúžené nástroje** (obr. 1.67).

1.6 VYHRUBOVÁNÍ

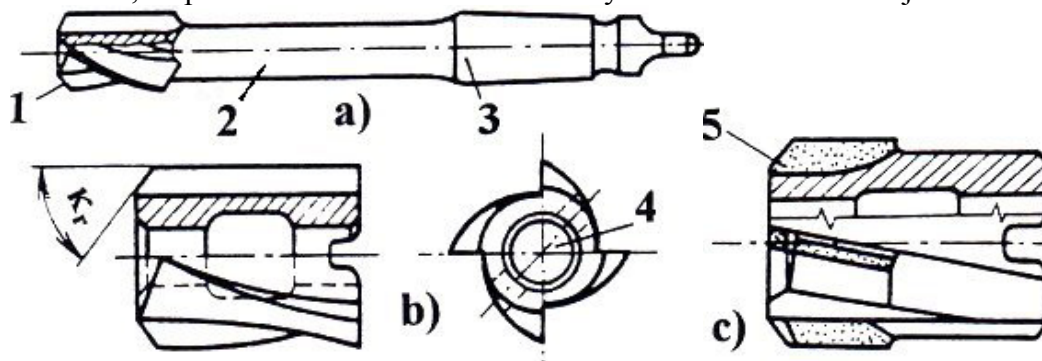
Po obrobení vrtáním mají díry obvykle vysokou drsnost obrobeného povrchu a zpravidla nepoužitelné geometrické parametry: např. nepřesná kruhovitost a válcovitost, nedodržení jmenovitého průměru... Proto se po vrtání otvory zdokonalují dokončovacími operacemi jakými jsou vyhrubování a vystružování. Těmito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



Audio 1.3 Vyhrubování

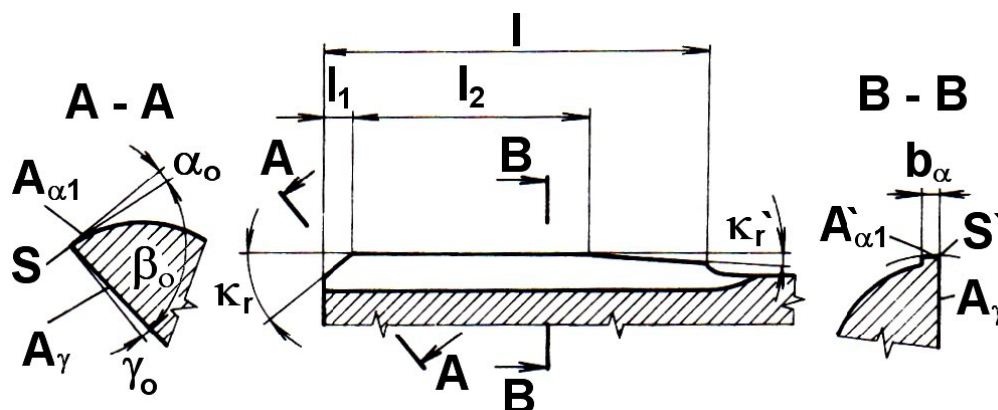


U menších děr (do průměru 10 mm) se používá pouze vystružování. Větší rozměry se předběžně vyhrubují a pak vystružují – z toho vyplývá, že vyhrubování není zpravidla poslední obráběčskou operací, protože ještě následuje vystružování. Vyhrubování tedy slouží ke zpřesnění geometrických požadavků a vystružování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



1 – řezný kužel; 2 – tělo; 3 – upínací stopka; 4 – upínací díra; 5 – pájené břitové; destičky z SK

Obr. 1.90 Výhrubníky a) stopkový, b) nástrčný



Obr. 1.91 Tvar a geometrie zubu výhrubníku z rychlořezné oceli

Klasické výhrubníky jsou tříbřité až čtyřbřité (výjimečně pětibřité) nástroje s břity ve šroubovici (obr. 1.90). Pro vyhrubování průměrů do 30 mm se používají stopkové výhrubníky (obr. 1.90a) a pro větší průměry nástrčné (obr. 1.90b). Tělo nástroje je obvykle z konstrukční oceli a řezná část, vyrobená z rychlořezné oceli je k tělu přivařena. Existují i výhrubníky s připájenými břitovými destičkami z SK.

Na obrázku 1.91 je zakreslena geometrie břitu výhrubníku z rychlořezné oceli. Doporučené hodnoty geometrie břitu jsou uvedeny v tabulce 1.1. Délka řezného kužele se volí na základě průměru nástroje, a to $l_1 = 1 \div 3$ mm, délka vodící části $l_2 = (0,75 \div 0,8)l$ a šířka fazetky $b_a = 1 \div 3$ mm. Geometrie břitu pro výhrubník z SK je ω (úhel sklonu šroubovice) = 10° , γ_o (nástrojový úhel čela v ortogonální rovině) = 5° . Ostatní parametry jsou stejné jako u výhrubníků z rychlořezné oceli.

Tab. 1.1 Doporučená geometrie břitu výhrubníku z RO

Obráběný materiál	Úhel			
	ω [°]	α_o [°]	κ_r [°]	κ_r' [°]
Oceli Rm=600÷800 MPa	8 ÷ 12	8	60	2 ÷ 5
Oceli Rm=00÷1200 MPa	0 ÷ 5	6		



Šedé litiny	6 ÷ 8	8	45	
Tvrzené litiny	0 ÷ 5	6		
Hliníkové slitiny	25 ÷ 30	10	60	

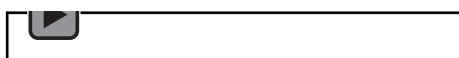
Při vyhrubování i vystružování na vrtačkách a vyvrtávačkách vykonává hlavní pohyb nástroj a posuv obrobek (u vyvrtávaček nástroj). Na soustruzích vykonává hlavní pohyb obrobek a posuv nástroj.

1.7 VYSTRUŽOVÁNÍ

Patří mezi dokončovací operace výroby přesných děr a zajišťuje předepsanou drsnost povrchu a geometrické parametry díry. Pro kvalitní vystružování musí být přídavek na vystružování dostatečně velký, aby nedocházelo k vytlačování materiálu, ale k jeho odřezávání.



Audio 1.4 Vystružování



V takovém případě by díra nedosahovala požadovaný kruhový průřez a životnost nástroje by se podstatně zkracovala. Vztah pro výpočet průměru s přídavkem na vystružování má tvar:

$$p = 0,1 + 0,005 \cdot D \quad [\text{mm}] \quad (1.63)$$

D – jmenovitý průměr vystružované díry [mm]

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

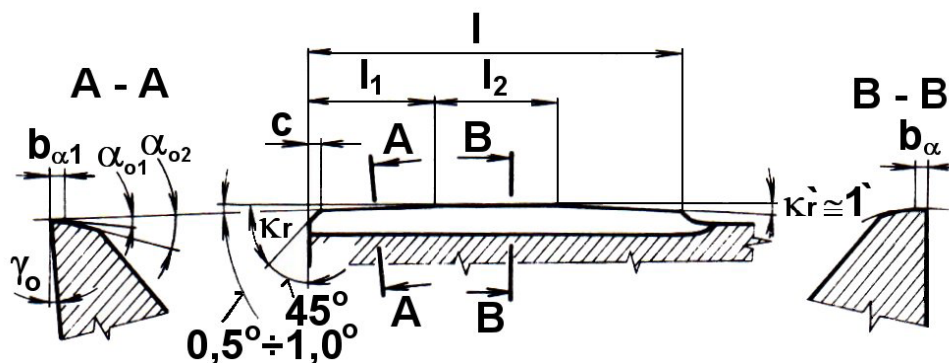


Animace 1.4 Vystružování

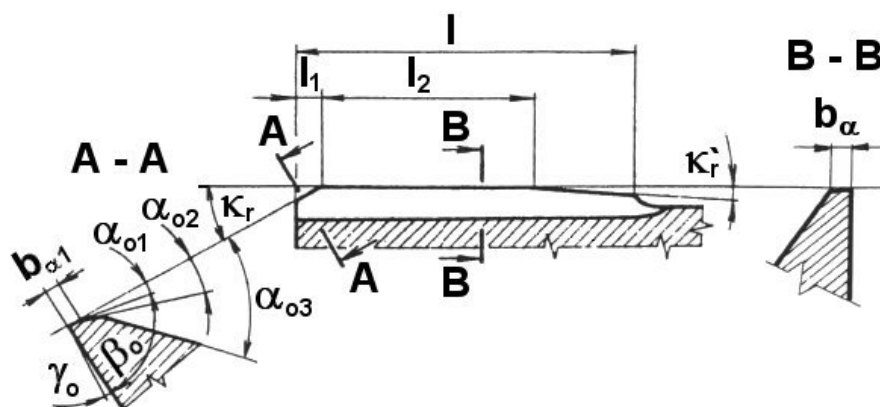
Výstružníky jsou (na rozdíl od výhrubníků) strojní i ruční. Zuby mají přímé nebo ve šroubovici a skládají se z řezné části ve tvaru kužele a válcové části. **U ručních výstružníků**, jejichž stopka je zakončena čtyřhranem pro vratidlo, řeže kužel se sklonem $1 \div 3^\circ$. **Strojní výstružníky** mají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



požadavků na kruhovitost a kvalitu povrchu se výstružníky vyrábějí s nerovnoměrnou roztečí zubů. Počet zubů u výstružníku bývá zpravidla 4 až 18 (odvíjí se od průměru).



Obr. 1.92 Tvar a geometrie zubu ručního výstružníku



Obr. 1.93 Tvar a geometrie zubu strojního výstružníku

Tab. 1.2 Doporučené hodnoty vybraných parametrů zubů strojních výstružníků z RO

Průměr výstružníků	Rozměry [mm]				Úhly		
	l ₁	l ₂	b _α	b _{α1}	α _{o1} [°]	α _{o2} [°]	κ _r ' [°]
2 ÷ 3	0,3	0,75 x l	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		

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

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



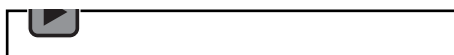
Obrábění materiál	α [°]	γ [°]	Sklon zubů
Oceli Rm = 700 MPa	5 ÷ 7	0	přímé zuby
Oceli Rm = 1000 MPa	5 ÷ 6	3 ÷ 5	levá šroubovice $\omega = 6^\circ$
Austenitické oceli		5 ÷ 6	pravá šroubovice $\omega = 6^\circ$
Slitiny hliníku, tvářené	8 ÷ 10	8 ÷ 10	levá šroubovice $\omega = 10^\circ$
Slitiny hliníku, slévárenské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

1.8 ZAHLUBOVÁNÍ

Slouží k obrábění děr pro hlavy zapuštěných šroubů a k obrobení sousého válcového nebo kuželového záhloubení. Patří sem také zarovnání čela, kde lze použít i ploché dvoubřité záhlubníky.



Audio 1.5 Zahlubování



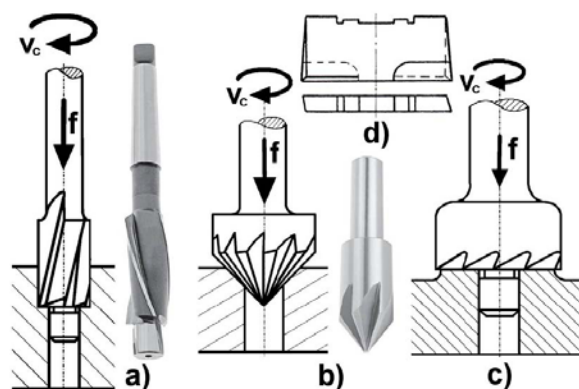
Podle tvaru ploch, které vyrábí rozlišujeme záhlubníky válcové, kuželové a ploché. Válcové záhlubníky existují se stopkou nebo jako nástrčné. Oproti kuželovým záhlubníkům, které mají samostředící efekt, jsou válcové a ploché záhlubníky vedeny v předvrtané díře vodícím čepem. Vyrábí se s přímými zuby nebo zuby ve šroubovici jejichž počet je obvykle 4 (kuželové záhlubníky na zkosení hran 6 - 10). Záhlubníky mají řeznou část vyrobenou z RO nebo SK bez povlaku i s povlakem nebo jsou vyráběny s vyměnitelnými břitovými destičkami z SK.



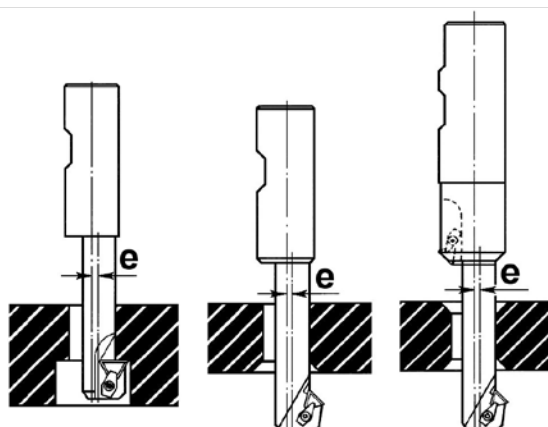
Animace 1.5 Vrtání - sražení hrany

Na obr. 1.95 jsou zobrazeny zpětné záhlubníky, které slouží pro obrábění v nepřístupných místech. Jejich řezná část je umístěna excentricky vůči upínací stopce. Nástroj je zasunut do předvrtané díry. Poté se obrobek přesune ve směru kolmém k ose vřetena obráběcího stroje o příslušnou hodnotu e a po spuštění rotace je pomocí zpětného osového posuvu vytvořeno požadované obrobení.

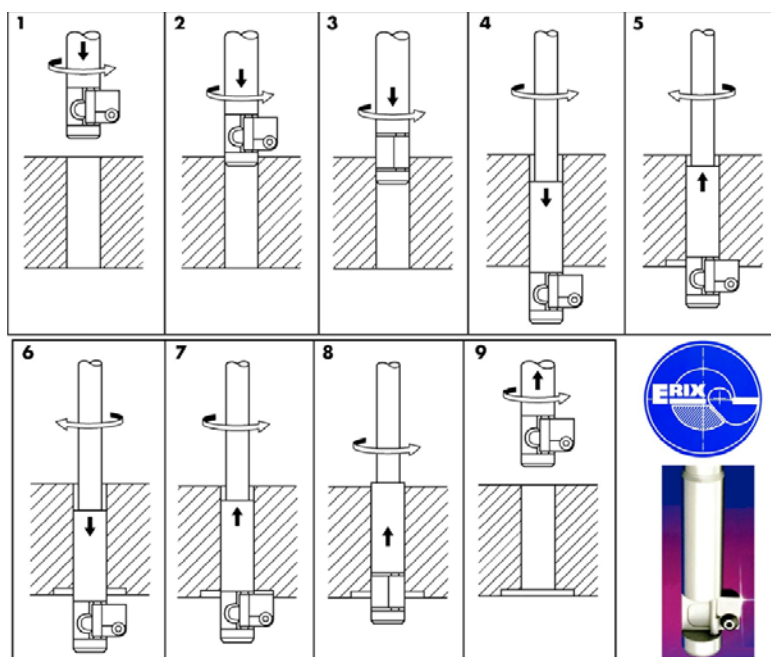




Obr. 1.94 Způsoby zahlubování a základní druhy záhlubníků



Obr. 1.95 Zpětné zahlubování



Obr. 1.96 Princip funkce zpětného záhlubníku

Na obr. 1.96 je znázorněn zpětný záhlubník, který využívá principu sklopeného ramena s mechanicky upnutou vyměnitelnou břitovou destičkou.



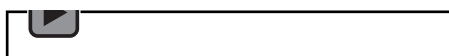
1.9 STROJE – VRTAČKY

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

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



Audio 1.6 Vrtačky - rozdělení



Stolní vrtačky (obr. 1.97) jsou svou konstrukcí nejjednodušší. Posuv vřetena po krátkém sloupu je ruční a velmi snadno s ním lze nastavit výšku vzhledem k pracovnímu stolu. Pro změnu otáček se používá stupňovitá řemenice na níž se ručně přemísťuje klínový řemen. Stolní vrtačky vrtají otvory maximálně do průměru 20 mm.

Sloupové vrtačky (obr. 1.98) mají obvykle vřeteník vertikálně posuvný po pracovním stole i po sloupu, který je jejich základním konstrukčním prvkem. Vrtačka má převodovku, kterou je možné regulovat otáčky vřetena. Jeho posuv je mechanický. Menší obrobky se upínají na stůl, větší přímo na základovou desku vrtačky. Narozdíl od sloupové mají **stojanové vrtačky** výškově posuvný stůl i vřeteník, a to po vedení stojanu.



Obr. 1.97 Stolní vrtačka

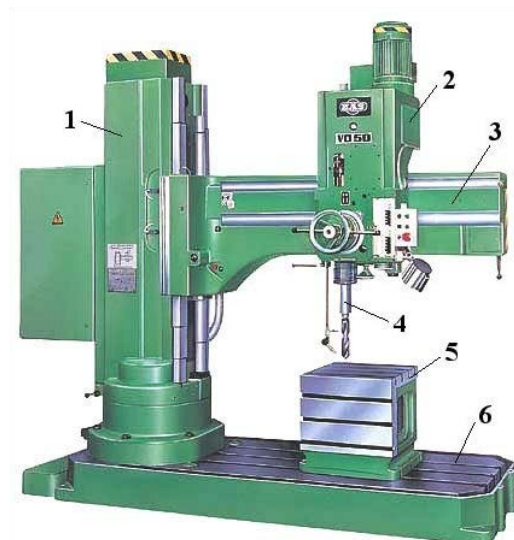


Obr. 1.98 Sloupová vrtačka

Otočné vrtačky (radiální) (obr. 1.99) provádějí téměř všechny vrtací operace. Používají se pro vrtání děr do větších a rozměrnějších obrobků. Jejich charakteristickým rysem je rameno, na němž se po vedení pohybuje ve vodorovném směru pracovní vřeteník.

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





1 – stojan; 2 – vřeteník; 3 – rameno; 4 – vřeteno; 5 – upínací kostka; 6 – základová deska

Obr. 1.99 Otočná vrtačka

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

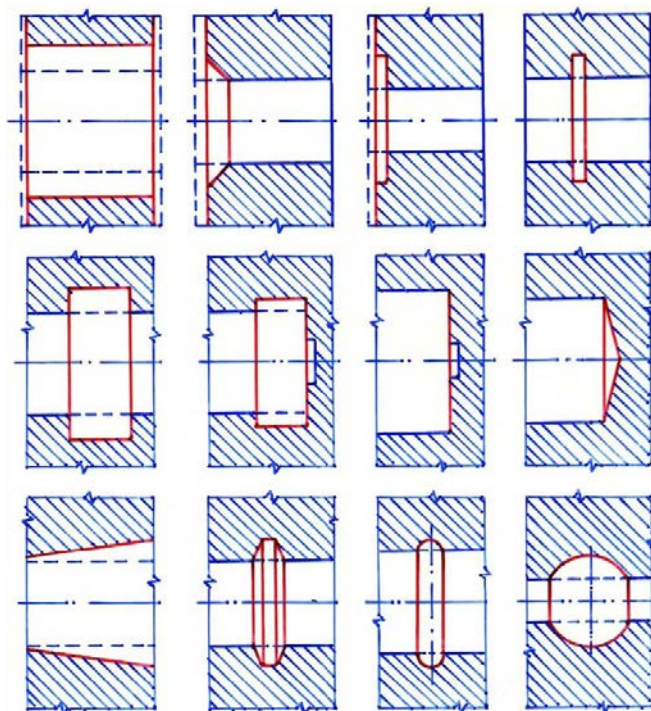
1.10 VYVRTÁVÁNÍ

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

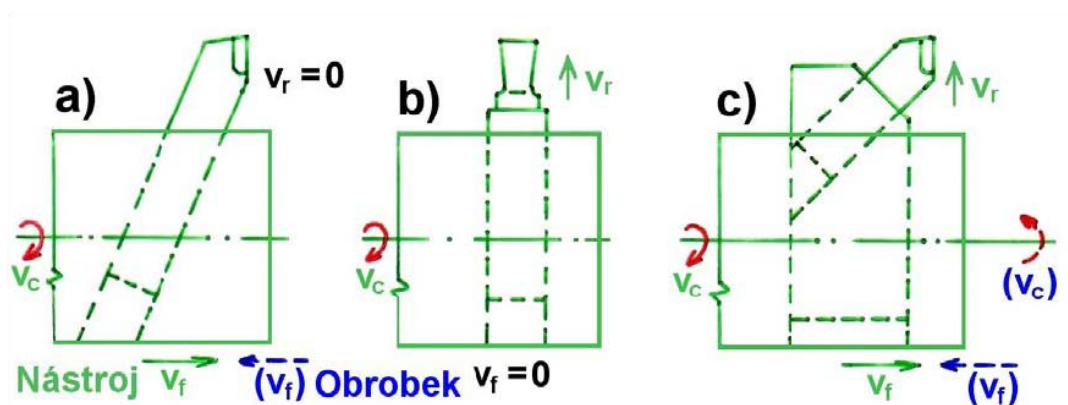
Existují 3 základní způsoby plynoucí z kinematiky vyvrtávání:

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





Obr. 1.100 Příklady ploch obráběných vyvrtáváním

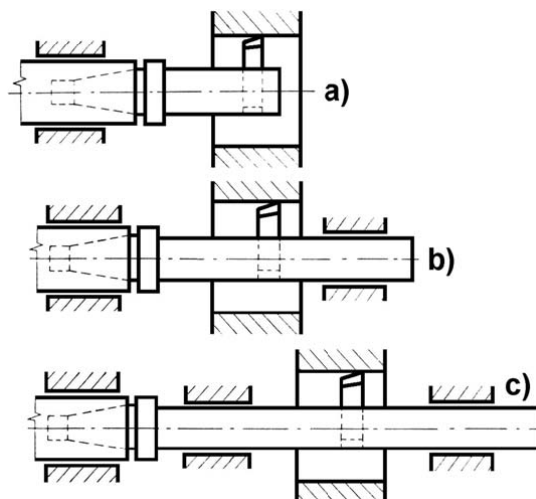


Obr. 1.101 Kinematika vyvrtávání

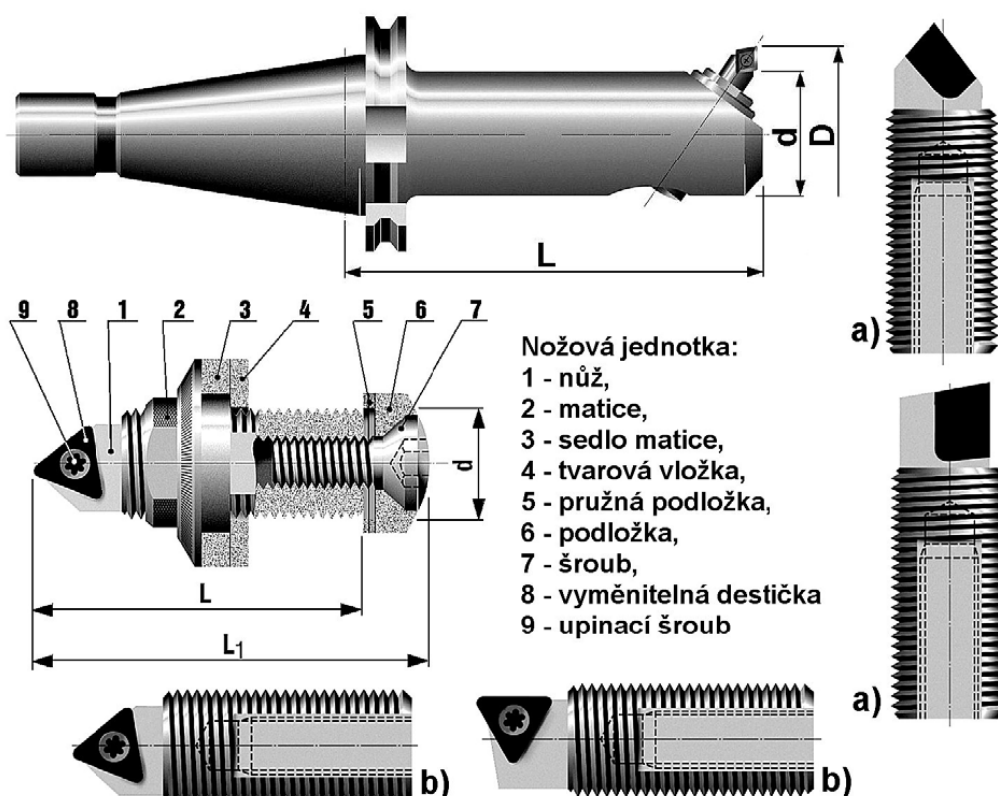
1.11 NÁSTROJE

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





Obr. 1.102 Způsoby upnutí vyvrtávacích tyčí



Obr. 1.103 Vyvrtávací tyč firmy W&V Vsetín,
 a) nože s pájenou břitovou destičkou ze slinutého karbidu,
 b) nože s vyměnitelnou břitovou destičkou ze slinutého karbidu

Vyvrtávací obráběcí stroje

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

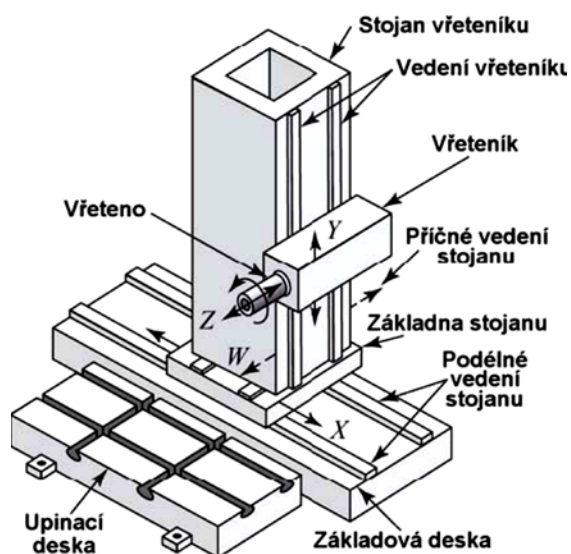
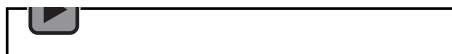
- stolové vyvrtávačky – charakteristický je pracovní stůl, který se otáčí až o 360°,
- deskové vyvrtávačky – obrobek se upíná na desku,
- jemné vyvrtávačky – jsou vybaveny jedním nebo více vřeteníky, obrobek se upíná na pracovní stůl,



- souřadnicové vyvrtávačky – pro vrtání přesných děr a přesných roztečí. Vyrábějí se buď s pevným ložem nebo jsou souřadnice nastavitelné v obou směrech.



Audio 1.7 Vyvrtávání



Obr. 1.104 Vodorovná desková vyvrtávačka

2 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Popište, co koná hlavní a vedlejší pohyb při vrtání.
- Nakreslete schéma sil řezání při vrtání.
- Napište vzorec pro určení jednotkového strojního času při vrtání.
- Jak se vypočítá řezná rychlost při vrtání?
- Jaké znáte způsoby vrtání?
- Jaké znáte vrtací nástroje?
- Jaké znáte způsoby vrtání hlubokých otvorů?
- Jaký je rozdíl mezi vystružováním a vyhrubováním?
- Co je to zahlubování?
- Jaké znáte typy vrtaček?
- Co je to vyvrtávání?



3 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM.

- 4. Síly při obrábění
- 15. Vrtání – princip, způsoby, nástroje – hluboké vrtání
- 16. Vyvrtávání, vyhrubování, vystružování, zahlubování – princip, způsoby, nástroje



4 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BILÍK, O. *Obrábění I. (2.Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2002. 80 s. ISBN 80-248-0033-0.
- [2] BILÍK, O. *Obrábění II. (1.Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 1994. 132 s. ISBN 80-7078-228-5.
- [3] BILÍK, O. *Obrábění II. (2.Díl)*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2001. 118 s. ISBN 80-7078-994-1.
- [4] BRYCHTA, J. *Obrábění I. Návod pro cvičení 1. část*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 1998. 84 s. ISBN 80-7078-436-9.
- [5] BRYCHTA, J. *Obrábění I. Návod pro cvičení 2. část*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 1998. 120 s. ISBN 80-7078-470-9.
- [6] BRYCHTA, J. *Výrobní stroje obráběcí*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 2003. 150 s. ISBN 80-248-0237-6.
- [7] HOFMAN, P. *Technologie montáže*. Plzeň: Vydavatelství Západočeské univerzity Plzeň, 1997. 90 s. ISBN 80-7082-382-8.
- [8] KOČMAN, K. *Speciální technologie obrábění*. Brno: PC-DIR Real, s.r.o., 1993. 213 s. ISBN 80-214-1187-2.
- [9] KOČMAN, K., PROKOP, K. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERN Brno, s.r.o., 2001. 274 s. ISBN 80-214-196-2.
- [10] KRÍŽ, R., VÁVRA, P. a kol. *Strojírenská příručka*. Praha: Scientia, spol. s r. o., 1996. 220 s. ISBN 80-7183-024-0.
- [11] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie část 1*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2004. 112 s. ISBN 80-248-0672-X.
- [12] VIGNER, M., PŘIKRYL, Z. a kol. *Obrábění*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1984. 808 s.
- [13] VLACH, B. a kol. *Technologie obrábění a montáží*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1990. 472 s. ISBN 80-03-00143-9.
- [14] HAVRILA, M., ZAJAC, J., BRYCHTA, J., JURKO, J. *Top trendy v obrábění 1. část – Obráběné materiály*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [15] JURKO, J., ZAJAC, J., ČEP, R., *Top trendy v obrábění 2. část – Nástrojové materiály*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [16] VASILKO, K., HAVRILA, M., NOVÁK – MARCINČIN, J., MÁDL, J., ZAJAC, J. *Top trendy v obrábění 3. část – Technologická obrábění*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [17] MONKA, P., PAULIKOVÁ, A. *Top trendy v obrábění 4. část – Upínanie, prípravky a meradlá*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2007. ISBN 80-968954-2-7.
- [18] PŘIKRYL, Z., MUSÍLKOVÁ, R. *Teorie obrábění*. Praha : SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1971. 200 s.
- [19] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Dostupné na World Wide Web: <http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-1cast.pdf>.
- [20] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 2. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. 94 s. Dostupné na World Wide Web: <http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-2cast.pdf>.



- [21] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 3. část*. Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program "Strojírenství". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005. 57 s. Dostupné na World Wide Web: <http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-3cast.pdf>.
- [22] HUMÁR, A. *Výrobní technologie II* [online]. Studijní opory pro podporu samostudia v oboru "Strojírenská technologie" BS studijního programu "Strojírenství". VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2002. 84 s. Dostupné na World Wide Web: <http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobniTechnologie_II.pdf>.
- [23] AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praxe*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [24] STEPHENSON, D. A., AGAPIOU, J. S. *Metal Cutting Teory and Praktice*. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996. 905 s. ISBN 0-8247-9579-2.
- [25] VASILKO, K., NOVÁK – MARCINČIN, J., HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove, 2003. 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [26] PILC, J., STANČEKOVÁ, D. *Základy stavby obrábacích strojov*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2004. 110 s. ISBN 80-8070-281-0.
- [27] VASILKO, K., HRUBÝ, J., LIPTÁK, J. *Technológia obrábania a montáže*. Bratislava: Alfa, š. p., 1991. 494 s. ISBN 80-05-00807-4.

