

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE VRTÁNÍ VE STŘEDISCÍCH
ÚDRŽBY MALÝCH FIREM
DRILLING TECHNOLOGY SOLUTION IN THE MAINTENANCE CENTER OF SMALL FIRMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

FRANTIŠEK HUŇÁČEK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILAN KALIVODA

BRNO 2011

Zadání

Licenční smlouva

ABSTRAKT

V úvodní části této práce je popsána základní charakteristika technologie vrtání, přehled nástrojů pro vrtání, popis částí a úhlů šroubovitého vrtáku. V další části se práce zabývá popisem různých vrtacích technologií, volbou řezných podmínek a volbou chladících a mazacích emulzí a olejů. V další části práce je popsán sortiment nástrojů, strojů a upínacích přípravků v dílně strojní údržby cukrovaru České Meziříčí. Následně byly stanoveny technologické podmínky pro konkrétní případ výroby přesných otvorů za pomoci kalkulátoru. Poté byla provedena jejich výroba. V závěru jsou krátce zhodnoceny výrobní možnosti dílny strojní údržby při výrobě otvorů pomocí nástrojů pro vrtání.

Klíčová slova

Vrtání, vrtací nástroje, vrtací stroje, řezné podmínky, řezná síla

ABSTRACT

The basic characteristics of the drilling technology, view of tools for drilling, descriptions of the parts and angles of twist drill are described in the first part of this project. In the second part of this project there are descriptions of various drilling technologies, the choice of cutting conditions and the choice of cooling and lubricating emulsions and oils. The range of tools, machinery and clamping equipment in the workshop machinery maintenance sugar factory in České Meziříčí are described in the next part of the project. Also specific technological conditions for the production of precision holes (with a use of a calculator) was determined. After that their production was performed. In the end the possibilities of production machinery maintenance workshops during production of holes using drilling tools are shortly valorized.

Key words

Drilling, drilling tools, drilling machine, cutting conditions, cutting force

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HUŇÁČEK, F. Technologie vrtání ve střediscích údržby malých firem. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 47 s., 4 přílohy. Ing. Milan Kalivoda

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Technologie vrtání ve střediscích údržby malých firem“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 23.5.2011

.....
František Huňáček

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení	6
Poděkování.....	7
Obsah.....	8
Úvod	9
1.1 VŠEOBECNÁ TEORIE VRTÁNÍ	10
1.2 Popis procesu a hlavních částí vrtáku.....	10
1.3 Výpočtové vztahy.....	11
1.4 Související podmínky při vrtání.....	16
1.4.1 Mazání a chlazení.....	16.
1.4.2 Upínání obrobku.....	18
2 NÁSTROJE.....	19
2.1 Základní druhy a dělení nástrojů na vrtání	19
2.1.1 Dělení dle technického provedení a funkce	19
2.1.2 Dělení dle směru otáčení	22
2.1.3 Dělení dle délky	22
2.1.4 Dle způsobu upnutí	23
2.2 Speciální nástroje na vrtání a vyvrtávání	24
2.2.1 Speciální vrtáky	24
2.2.2 Vyvrtávací tyče	24
2.2.3 Vyvrtávací hlavy	25
2.2.4 Vrtací nástroje pro výrobu hlubokých děr	25
2.3 Materiály na výrobu vrtáků	27
2.4 Broušení vrtáků	29
3 STROJE NA VRTÁNÍ DĚR	32
3.1 Přenosné, ruční nářadí.....	32
3.2 Stabilní stroje na vrtání děr	32
3.3 Speciální stroje na vrtání děr	34
4 ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STROJNÍHO VYBAVENÍ	35
4.1 Stroje a nářadí na vrtání děr	35
4.2 Upínací nářadí a pomůcky	37
4.3 Vrtací nástroje a pomůcky	37
5. PROVOZNÍ PODMÍNKY	38
5.1 Všeobecná pravidla a normativy	38
5.2 Ukázky z praxe	41
5.3 Praktické využití	42
5.3.1 Popis úkolu	42
5.3.2 Technologické podmínky v praxi	42
ZÁVĚR	44
Seznam použitých zdrojů	45
Seznam použitých zkratk a symbolů	46
Seznam příloh	48

Úvod

Vrtání patří mezi nejstarší a v dnešní době velmi často využívanou technologickou operaci. Od doby vzniku prodělal tento druh obrábění velký rozvoj. S některým z mnoha způsobů vrtacích operací se můžeme setkat téměř na každém pracovišti. Může se jednat o nejjednodušší způsob za použití ruční elektrické vrtačky a spirálového vrtáku vyrobeného z oceli HSS, až po vyvrtávání děr do tvrdých ocelí pomocí vyvrtávací hlavy osazené vysoce výkonnými, povlakovanými destičkami ze SK.

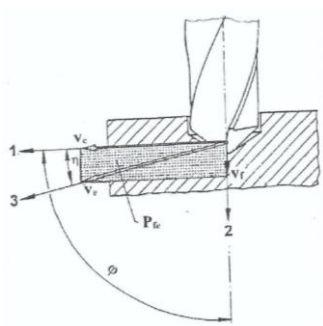
Přes všechn vývoj vrtacích nástrojů, zůstává monolitní, šroubovitý vrták vyrobený z rychlořezné oceli HSS jakýmsi symbolem vrtání. Právem mu patří i v dnešní době velká pozornost. Proto se můžeme v praxi setkat s jeho nesčetnými variantami. Změny, které byly během vývoje provedeny na vrtacích nástrojích se dotkly hlavně skladby materiálu vrtáku, provedení úhlů břítu, úprav konstrukčního řešení, zdokonalení tepelného zpracování aj..

Protože jsou běžné spirální vrtáky poměrně cenově dostupné, pro mnohé menší údržbářské provozy je jejich používání jediné, ekonomicky únosné řešení. Využití nástrojů bývá poměrně malé, a v tomto případě by nákup vysoce výkonných, ale drahých vrtacích nástrojů, nebyl vhodný. Samozřejmě u vrtacích operací, které se často opakují, je nutné uvažovat o nasazení modernějších a výkonnějších vrtacích nástrojů.

1 VŠEOBECNÁ TEORIE VRTÁNÍ

1.1 Popis procesu a hlavních částí vrtáku

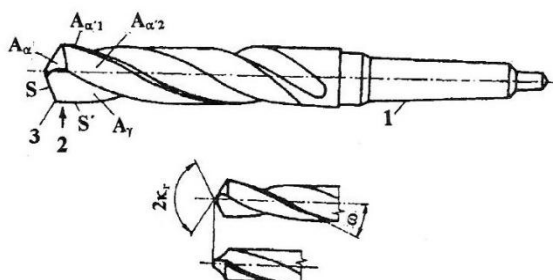
Proces vrtání je vhodné popsat na nejjednodušším způsobu, který se v praxi vyskytuje, a to na vrtání pomocí šroubovitého, dvoubřitého vrtáku. Při tomto způsobu vrtání vykonává vrták hlavní řezný pohyb (pohyb rotační), a zároveň také vykonává pohyb vedlejší (pohyb posuvný), při kterém se pohybuje kolmo proti obrobku. Aby, při tomto procesu nedošlo k posunu obrobku, musí být obrobek vhodně upnutý. Rotující nástroj odebírá z materiálu pomocí dvou břitů třísky, které jsou z místa řezu odváděny šroubovicí. Technologický proces vrtání ovlivňuje mnoho faktorů. Zejména je ovlivněn výběrem druhu stroje, výběrem druhu vrtacího procesu, výběrem typu vrtacího nástroje, volbou geometrie břitu nástroje, možností volby materiálu obrobku, volbou řezných podmínek, aj..



Obr. 1.1 Kinematika vrtacího procesu při vrtání šroubovitým vrtákem (1)

Hlavní pohyb	(v_c)
Posuvný pohyb	(v_f)
Řezný pohyb	(v_e)
Směr hlavního pohybu	(1)
Směr posuvného pohybu	(2)
Směr řezného pohybu	(3)

Hlavní části šroubovitého vrtáku

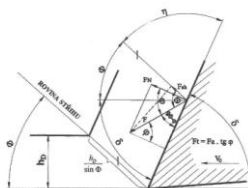


Obr. 1.2 Ostří a plochy šroubovitého vrtáku (1)

- 1) Stopka
- 2) Řezná část
- 3) Špička
- 4) Čelo A_γ
- 5) Hlavní hřbet A_α
- 6) První vedlejší hřbet $A'_{\alpha 1}$
- 7) Druhý vedlejší hřbet $A'_{\alpha 2}$
- 8) Ostří S
- 9) Vedlejší ostří S'
- 10) Úhel nastavení hlavního ostří κ_r
- 11) Úhel stoupání šroubovice ω

Stanovení úhlu stříhu

Pro stanovení úhlu stříhu Φ je v praxi používán princip minimální energie. Oblast plastické deformace se v zóně tvoření třísky zužuje a následně dochází ke vzniku třísky pomocí plastického skluzu v rovině stříhu.



Obr. 1.3 Dynamické poměry při řezání (2)

1.2 Výpočtové vztahy

Vrtací technologie jsou nedílnou součástí výrobních procesů, a proto i u nich je nutné sledovat technické a ekonomické parametry. K tomu využíváme empirické vztahy, technické normativy, porovnávací zkoušky aj.. Na základě obdržných hodnot a parametrů následně posuzujeme vhodnost a efektivnost jednotlivých druhů vrtacích technologií pro konkrétní typy výroby. Jelikož je geometrie šroubovitých vrtáků poměrně složitá a podmínky při vrtání proměnlivé, je možnost přesných výpočtů namáhání nástroje omezená. Nejčastěji používáme při výpočtech empirické vztahy za současného využití veličiny měrného řezného odporu obráběného materiálu.

Řezná rychlost

Hodnoty řezných (obvodových) rychlostí, které se v technické praxi pro jednotlivé průměry vrtáků uvádějí, jsou vypočítány z jejich jmenovitých průměrů.

Řezná (obvodová) rychlost při vrtání šroubovým vrtákem (1):

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

Posuvová rychlost

Posuvová rychlost se odvíjí od posuvu na otáčku f [mm] a otáček nástroje n [\min^{-1}].

Posuvová rychlost (1):

$$v_f = \frac{f \cdot n}{1000} \quad [m \cdot \min^{-1}] \quad (1.2)$$

Posuv na zub (břit)

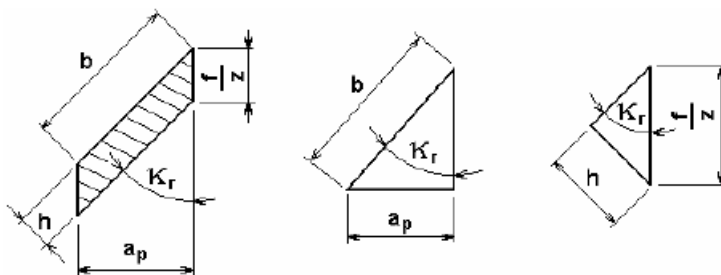
Nástroje na vrtání jsou vyrobeny se dvěma i více břity. Je nutno s tímto parametrem počítat a zahrnout počet zubů (břítů) nástroje z [-] do výpočtových vztahů.

Posuv na zub (břit) (1):

$$f_z = \frac{f}{z} \quad [m \cdot \min^{-1}] \quad (1.3)$$

Jmenovitá tloušťka třísky

Výpočtový vztah určuje tloušťku třísky připadající u dvoubřitého, šroubovitého vrtáku na 1 břit.



Obr. 1.4 Geometrické parametry při vrtání a vyhrubování (9)

Jmenovitá tloušťka třísky (1):

$$h = \frac{f}{2} \cdot \sin \kappa_r \quad [mm] \quad (1.4)$$

Jmenovitá tloušťka třísky u vícebřitého nástroje

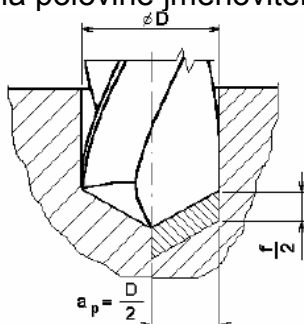
Výpočtový vztah určuje tloušťku třísky připadající u vícebřitého vrtacího nástroje na 1 břit. Hodnota z vyjadřuje počet břítů v záběru.

Jmenovitá tloušťka třísky (1):

$$h = \frac{f}{z} \cdot \sin \kappa_r \quad [mm] \quad (1.5)$$

Šířka záběru ostří při vrtání do plného materiálu

Šířka záběru ostří se rovná polovině jmenovitého průměru vrtáku.



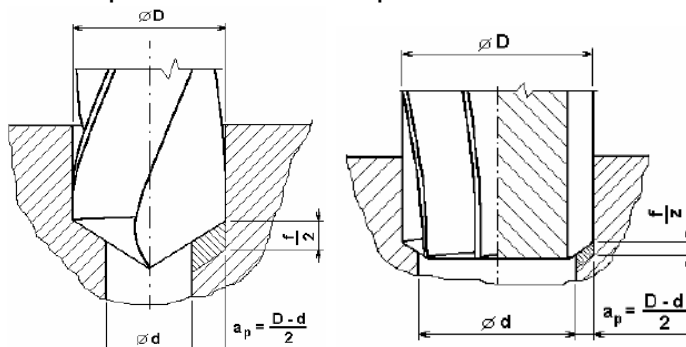
Obr. 1.5 Technologické parametry při vrtání do plného materiálu (9)

Šířka záběru ostří při vrtání do plného materiálu (1):

$$a_p = \frac{D}{2} \quad [mm] \quad (1.6)$$

Šířka záběru ostří při rozšiřování díry

Šířka záběru ostří se rovná polovině rozdílu jmenovitého průměru vrtáku na vrtání a jmenovitého průměru vrtáku na předvrtání.



Obr. 1.6 Technologické parametry při rozšiřování díry (9)

Šířka záběru ostří při rozšiřování díry (1):

$$a_p = \frac{D-d}{2} \quad [mm] \quad (1.7)$$

Šířka záběru ostří ve směru pohybu

Šířka záběru ostří ve směru pohybu (1):

$$a_f = \frac{f}{2} \quad [mm] \quad (1.8)$$

Jmenovitá šířka třísky při vrtání do plného materiálu

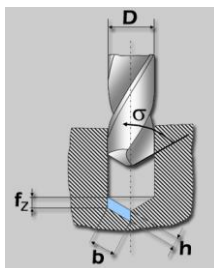
Jmenovitá šířka třísky při vrtání do plného materiálu (1):

$$b = \frac{D}{2} \cdot \sin \kappa_r \quad [mm] \quad (1.9)$$

Jmenovitá šířka třísky při rozšiřování díry

Jmenovitá šířka třísky při rozšiřování díry (1):

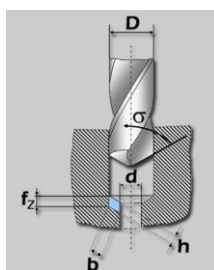
$$b = \frac{D-d}{2} \cdot \sin \kappa_r \quad [mm] \quad (1.10)$$

Jmenovitý průřez třísky při vrtání do plného materiálu

Obr. 1.7 Jmenovitý průřez třísky při vrtání do plného materiálu (6)

Jmenovitý průřez třísky při vrtání do plného materiálu (1):

$$A_D = h \cdot b = \frac{D \cdot f}{4} \quad [mm^2] \quad (1.11)$$

Jmenovitý průřez třísky při rozšiřování díry

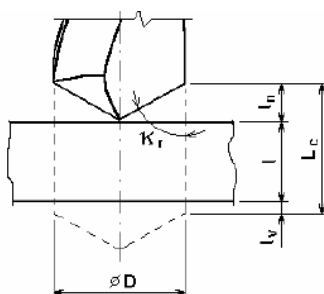
Obr. 1.8 Jmenovitý průřez třísky při rozšiřování díry (6)

Jmenovitý průřez třísky při rozšiřování díry (1):

$$A_D = h.b = \frac{(D-d).f}{4} \quad [mm^2] \quad (1.12)$$

Jednotkový strojní čas při vrtání

Při výpočtu strojního času musíme zahrnout do celkové pracovní dráhy nástroje i vzdálenost, která je ovlivněna úhlem špičky vrtáku a vzdálenost, kdy musí vrták přesáhnout spodní hranu vrtaného materiálu z důvodu odstranění vzniklých otřepů.



Obr. 1.9 Dráha nástroje ve směru posuvu při vrtání šroubovým vrtákem (9)

Jednotkový strojní čas při vrtání (9):

$$t_{As} = \frac{L_c}{n.f} = \frac{l_n + l + l_v}{n.f} \quad [\text{min}] \quad (1.13)$$

Výpočet hodnoty l_p a stanovení hodnoty l_n při vrtání (9):

$$l_n = \frac{a_p}{\text{tg} \kappa_r} \quad [mm] \quad (1.14)$$

$$l_v = 1 \div 2 \quad [mm] \quad (1.15)$$

Výpočet řezné a posuvové síly

Pro výpočet řezné síly F_c lze použít jeden ze dvou empirických vztahů. Při použití prvního vztahu potřebujeme znát konstantu C_{F_c} , která vyjadřuje vliv obráběného materiálu, exponent x_{F_c} zohledňující průměr vrtáku a exponent y_{F_c} zohledňující vliv posuvu na otáčku. Při použití druhého vztahu potřebujeme znát velikost měrné řezné síly k_c a jmenovitý průřez třísky A_D . Pro výpočet posuvové síly F_f použijeme empirický vztah doplněný o konstantu C_{F_f} a exponenty x_{F_f} a y_{F_f} . Hodnotu konstant, exponentů a velikost měrných řezných sil lze najít v odborných publikacích a katalozích výrobců řezných nástrojů.

Výpočet řezné síly (1):

$$F_c = C_{Fc} \cdot D^{xFc} \cdot f^{yFc} \quad [N] \quad (1.16)$$

$$F_c = k_c \cdot A_D \quad [N] \quad (1.17)$$

Výpočet posuvové síly (1):

$$F_f = C_{Ff} \cdot D^{xFf} \cdot f^{yFf} \quad [N] \quad (1.18)$$

Tab.1.1 Ukázka hodnot konstant a exponentů potřebných pro výpočet řezné síly F_c a posuvové síly F_f (1)

Obr.materiál	C_{Fc}	xF_c	yF_c	C_{Ff}	xF_f	yF_f
Ocel $R_m=750$ MPa	3 650	0,90	0,78	865	1	0,72
Litina 200 HB	2 450	0,85	0,80	630	1	0,8

Výpočet řezného výkonu při vrtání

Při výpočtu potřebného řezného výkonu při vrtání je vhodné vynásobit vypočítanou hodnotu účinností stroje $\eta=0,7$.

Výpočet řezného výkonu při vrtání (1):

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60 \cdot 2 \cdot 10^3} \cdot \eta = \frac{F_c \cdot v_c}{12 \cdot 10^4} \cdot \eta \quad [kW] \quad (1.19)$$

1.3 Související podmínky při vrtání

1.3.1 Mazání a chlazení

Jedním ze záporných projevů při vrtání je vysoké tepelné zatížení nástroje a vrtaného materiálu v místě řezu a jeho nejbližším okolí. U vrtáku dochází ke zrychlenému opotřebení na čele, hřbetu a prvním vedlejším hřbetu nástroje. Při překročení kritických teplot dochází ke změnám struktury materiálu nástroje, ztráty jeho řezných vlastností a případné destrukci nástroje. Z tohoto důvodu potřebujeme teplotu v místě řezu nástroje a v bezprostředním okolí udržovat na přijatelné výši. Tohoto dosáhneme přívodem řezné kapaliny do místa řezu, kdy kapalina jednak vlivem svých chladících schopností odvede část tepla mimo místo řezu a jednak vlivem svých mazacích schopností sníží vnitřní i vnější tření, což má za účinek, že se tvorba dalšího tepla významně sníží. V praxi pak převažuje používání řezných kapalin v kapalné formě, kdy se vedle uvedených vlastností dále využívá i

vlastnosti čistící funkce, eventuálně funkce konzervační. V rámci čistící funkce se sleduje hlavně schopnost řezné kapaliny odplavovat drobné třísky z místa řezu, v důsledku čehož je jakost obráběné plochy lepší. V rámci konzervační schopnosti řezné kapaliny se pomocí přísad zmenšuje napadání obrobků korozi.

Vedle toho existují i prostředky pro mazání a chlazení jako jsou např. prášková maziva, mazací tuky, chladící plyny a chladící vzduch s rozptýleným mazivem. Pro všechny druhy mazacích a chladících přípravků však v dnešní době platí požadavek, aby byly pro obsluhu co nejméně hygienicky zátěžové a po použití se daly snadno ekologicky zlikvidovat. V neposlední řadě je též kladen velký důraz na provozní stálost řezných kapalin. Předčasné projevy stárnutí se projevují zmenšením mazacích schopností kapaliny, tvořením nerozpustných usazenin, hnilobným rozkladem kapaliny, ztrátou protikorozních schopností apod.. Pro posouzení ekonomické výhodnosti konkrétního druhu řezné kapaliny je třeba vždy posoudit vliv na trvanlivost nástroje, dosahovanou jakost obráběných ploch, spotřebu energie, spotřebu kapaliny, životnost kapaliny, náklady na likvidaci upotřeбенé kapaliny apod..

Všeobecně platí, že správně zvolená řezná kapalina má kromě chlazení také snížit součinitele tření, čímž se zároveň změní i součinitel přechování třísky. Celkově se tím kladně ovlivní plastická deformace při tvorbě třísky před břitem nástroje. V rámci mazacích účinků řezných kapalin dochází ke zmenšení řezných sil, v jehož důsledku se výsledná spotřeba energie zmenší a jakost obrobků ploch zlepšit.

Druhy řezných kapalin:

a) Vodní roztoky

Voda je nejjednodušší řezná kapalina, avšak v surovém stavu je to kapalina použitelná spíše na chlazení. Pro zlepšení vlastností je nutné alespoň vodu změkčit, obohatit o přísady proti korozi a udržovat roztok v alkalickém stavu. I přesto hrozí u takového roztoku nebezpečí vzniku hnilobných procesů a s tím spojený zápach.

b) Emulzní kapaliny

Jedná se většinou o roztok dvou vzájemně nerozpustných kapalin, kdy olej, tvořící mikroskopické kapky, je rozptýlen ve vodě. Toho lze docílit pouze pomocí emulgátorů, jež zmenšují napětí mezi povrchy molekul míchaných složek. Vlivem spojení těchto dvou základních složek se spojuje chladící účinek vody a mazací účinek oleje. Velikost chladícího účinku se odvíjí od koncentrace oleje ve vodě. Příklad přísady proti korozi se nemusí do emulzní kapaliny téměř přidávat, protože jejich účinek nahrazuje z velké části právě emulzní olej. I zde platí zásada udržovat roztok v alkalickém stavu. Běžná koncentrace emulzního oleje ve vodě se pohybuje mezi 2 – 10%.

c) Mastné oleje a tuky

Jedná se o látky, které mají původ buď rostlinný, nebo živočišný. Obvykle se používá řepkový olej, ricinový olej nebo lněný olej. Tyto látky účinně odvádějí teplo z místa řezu, mají však větší sklon ke stárnutí a tvorbě kyselého prostředí.

d) Minerální oleje

Jedná se produkty vyrobené z ropy, které mají na jedné straně vynikající mazací schopnosti, na druhé straně však horší vlastnosti chladící. Ochrana proti korozi je při použití těchto látek výborná a odolnost této kapaliny proti stárnutí je velmi dobrá.

e) Řezné oleje

Základ tvoří minerální olej, který je zušlechtěn organickými sloučeninami, mastnými látkami a pevnými mazivy. Zatímco některé přísady zlepšují již tak dobré mazací schopnosti samotných minerálních olejů, některé se přidávají jako vysokotlaké přísady.

f) Syntetické kapaliny

Syntetické kapaliny jsou dobře rozpustné ve vodě, mají však oproti minerálním olejům o něco horší mazací a chladící účinek.

Tab.1.2 Přehled doporučených řezných kapalin dle různých metod obrábění (2)

Metoda obrábění	Ocel nízkouhlíková	Ocel středněuhlíková	nerez oceli	litina	nikl a jeho slitiny	bronz a mosaz	měď a slitiny	hliník a slitiny	hořčík a slitiny
soustružení	D3	D5	D10	x	E	D3	D3	D3	B
frézování	D5	D5	D10	D5	F	B	D3	D3	B
vrtání	E, D10	F	J	D5	E	B	B	B	B
vystružování	E, D10	F	J	D5	E	B	B	B	B
řezání závitů	H	J	J	D10	J	C	B	C	B

A - minerální oleje

B - mastné oleje

C - maštěné oleje s přísadami

D - emulze (číslo značí koncentraci v %)

E - minerální oleje s přísadami

F - lehké minerální oleje s přísadami

H - oleje aditivované

J - maštěný olej s přísadami

Tab.1.3 Doporučené množství řezné kapaliny pro různé metody obrábění (2)

Metoda obrábění	Množství řezné kapaliny [l.min ⁻¹]
Vrtání	4 ÷ 10
Zahlubování	5 ÷ 6
Vystružování	6 ÷ 10
Řezání závitů	2 ÷ 3

1.3.2 Upínání obrobku

Při vrtání je nutné stabilizovat obráběný materiál vůči nástroji do požadované polohy a zabránit tak jeho posunutí. Vedle řezných sil působí na stabilitu soustavy i hmotnost součásti, odstředivé síly a setrvačné síly.

Výslednou sílu je možné rozložit do tří navzájem kolmých složek. Složka tečná k dráze hlavního pohybu F_z je určena velikostí kroutícího momentu. Složka rovnoběžná s osou vrtáku F_x je určena velikostí posuvové síly. Složka kolmá k ose vrtáku F_y je zachycována tuhostí vrtáku a obrobku. Je nutné zvolit vhodnou opěrnou základnu polotovaru a využít upínací desky na vrtacích strojích tak, aby vliv sil působící negativně na stabilitu byl co nejmenší.

2 NÁSTROJE

V praxi se používají vrtací nástroje na všech úrovních výroby a údržby. Dle potřeb uživatelů, jsou na tyto nástroje kladeny různé požadavky. Dříve si každý pod pojmem vrták představil klasický, šroubovité, monolitický nástroj vyrobený z rychlořezné oceli. V současné době sice tyto vrtáky tvoří pomyslný základ, vedle toho však nastal prudký rozvoj a zdokonalování všech typů vrtacích nástrojů. Velice často jsou vrtáky vyráběny z nových, kvalitnějších, nástrojových ocelí, které jsou navíc povlakovány. Při požadavku na vysoký výkon nebo odolnost břitů při vrtání, jsou na nosném tělese upnuty vysoce výkonné řezné destičky ze SK. Jelikož je sortiment vrtacích nástrojů velmi rozsáhlý a rozmanitý, v následujícím oddíle je popsáno jejich základní členění.

2.1 Základní druhy a dělení nástrojů na vrtání

2.1.1 Dělení dle technického provedení a funkce

- Šroubovité vrták

Šroubovité vrták je obráběcí nástroj, který je v základním provedení většinou dvoubřitý. Při vlastním procesu vrtání je vrták veden v díře fazetkou, která zároveň snižuje tření nástroje v díře. Z důvodu lepší tuhosti nástroje se průřez jádra vrtáku se od špičky ke stopce zvětšuje cca o 1,4 až 2 mm na 100 mm pracovní délky vrtáku. Z důvodu snížení tření při vrtání se průměr vrtáku D směrem od špičky ke stopce zmenšuje o 0,02 až 0,08 mm na 100 mm pracovní délky vrtáku. Toto zmenšení průměru se nazývá **Zpětná kuželovitost**.

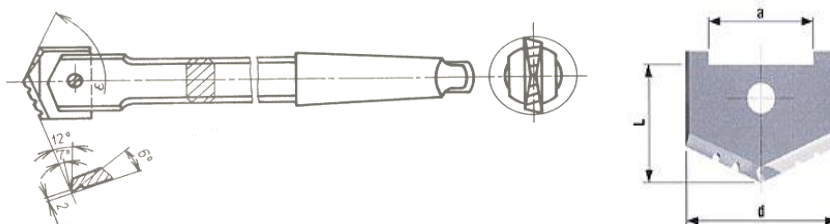


Obr. 2.1 Šroubovité vrták (11)

- Kopinatý vrták

Kopinaté vrtáky jsou vrtací nástroje, které jsou vyrobeny celé z rychlořezné oceli (RO), nebo jsou do ocelového držáku vkládány břitové destičky ze slinutých karbidů (SK) nebo RO. Jedná se většinou o nástroje velmi tuhé, se kterými lze vrtat díry bez navrtávání, a to až do průměru díry $D=128$ mm, s poměrem délky a hloubky vrtané díry $L:D=3:1$. Kopinaté vrtáky lze použít při vhodné volbě břitových destiček k vrtání ocelí s pevností okolo 1000 MPa.

Nevýhodou těchto vrtáků je špatný odvod třísek. Dosahovaná drsnost při vrtání kopinatým vrtákem je většinou horší než při vrtání šroubovitým vrtákem.



Obr. 2.2 Kopinatý vrták s vyměnitelnou destičkou ze SK (1)

- Frézovací vrtáky

Frézovací vrtáky jsou vrtací nástroje, které mají běžně 2 vyměnitelné destičky ze SK. Frézovací vrtáky sdružené nebo stupňovité mají 2 a více kusů destiček. Destičky jsou upnuty v tělese vrtáku pomocí šroubů se zapuštěnou hlavou. Řezná kapalina je přiváděna do místa řezu dírami umístěnými v tělese vrtáku a třísky jsou odváděny kolem tělesa vrtáku přímými, nebo mírně spirálovými drážkami. Pomocí frézovacích vrtáků dokážeme odebrat 5 až 10 krát větší množství třísek, než při vrtání pomocí šroubovitých vrtáků vyrobených z RO.



Obr. 2.3 Frézovací vrtáky pro velké výkony (12)



Obr. 2.4 Frézovací vrták z oceli HSS, pro frézování libovolných tvarů do plechů vyrobených z barevných kovů, lehkých kovů a do plastových desek (11)



Obr. 2.5 Frézovací vrtáky vyrobené z rychlořezné oceli HSS, pro vrtání děr do slabých plechů vyrobených z oceli, barevných kovů, lehkých kovů a pro vrtání otvorů do desek vyrobených z plastů (11)

- Vrtáky na bodové sváry

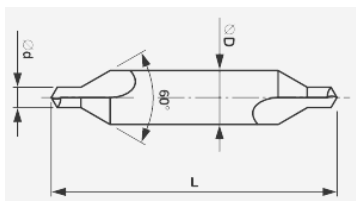
Vrták konstruovaný na odvrtávání bodových svárů je vyroben z oceli HSS-Co. Vlivem speciálního způsobu nabroušení ostří se středícím hrotem, nedochází ke sklouzávání nástroje z bodového sváru.



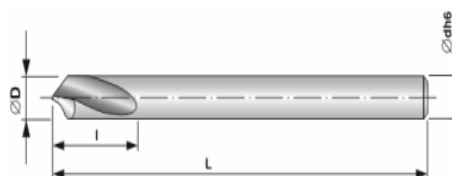
Obr. 2.6 Vrták na bodové sváry z oceli HSS-Co (11)

- Středící vrtáky a navrtáváky

Tyto vrtáky vyrobené většinou z oceli HSS slouží k navrtávání středících důlků.



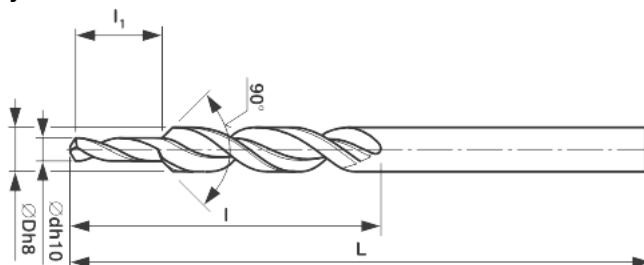
Obr. 2.7 Středící vrták 60° pro výrobu středících důlků – tvar A (11)



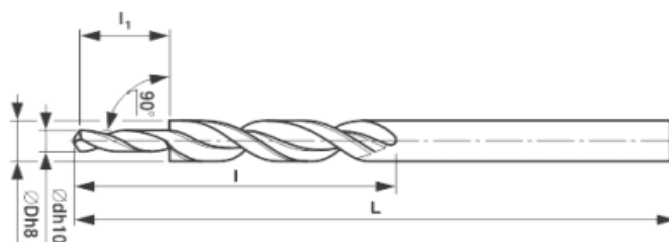
Obr. 2.8 Navrtávák 90° pro použití na NC strojích (11)

- Sdružené vrtáky

S těmito nástroji lze provést dva úkony při jedné operaci. Typický příklad je vyvrtání otvoru a jeho následné zahloubení.



Obr. 2.9 Stupňovitý vrták k vrtání děr pro dráčky šroubů a současně k zahlubování 90° pro hlavy šroubů (11)



Obr. 2.10 Stupňovitý vrták k vrtání děr pro dřívky šroubů a současně k zahlubování pro válcové hlavy šroubů (11)

- Korunkové vrtáky

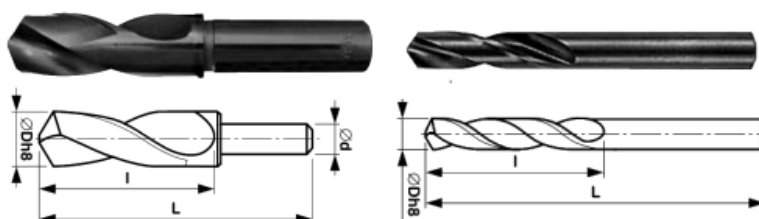
Tyto vrtáky jsou vyrobené buď celé z oceli HSS, nebo jsou na nosném tělese napájeny plátky ze SK.



Obr. 2.11 Korunkový vrták HSS a SK (7)

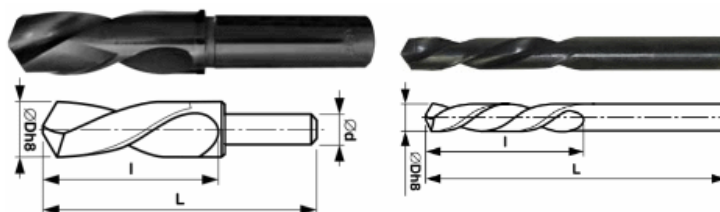
2.1.2 Dělení dle směru otáčení

- Pravořezné vrtáky



Obr. 2.12 Šroubovitý vrták pravořezný (11)

- Levořezné vrtáky



Obr. 2.13 Šroubovitý vrták levořezný (11)

2.1.3 Dělení dle délky

- Vrtáky krátké



Obr. 2.14 Šroubovitý vrták krátký, průměr 10 mm, délka šroubovice 43 mm, celková délka 89 mm (11)

- Vrtáky středně dlouhé



Obr. 2.15 Šroubovitý vrták středně dlouhý, průměr 10 mm, délka šroubovice 87 mm, celková délka 133 mm (11)

- Vrtáky dlouhé



Obr. 2.16 Šroubovitý vrták dlouhý, průměr 10 mm, délka šroubovice 121 mm, celková délka 184 mm (11)

- Vrtáky velmi dlouhé



Obr. 2.17 Šroubovitý vrták velmi dlouhý, průměr 10 mm, délka šroubovice 295 mm, celková délka 430 mm (11)

2.1.4 Dle způsobu upnutí

- Vrtáky s válcovou stopkou

Vrtáky s válcovou stopkou se vyrábějí do průměru $D \leq 20$ mm.



Obr. 2.18 Šroubovitý vrták s válcovou stopkou (11)

- Vrtáky s kuželovou stopkou

Vrtáky s kuželovou stopkou se vyrábějí od průměru $D \geq 5$ mm. Přiřazení kuželů Morse dle průměru vrtáku je orientační, jednotliví výrobci mohou mít v přiřazování drobné odchylky.



Obr. 2.19 Šroubovitý vrták s kuželovou stopkou Morse (11)

Tab.2.1 Přiřazení kuželu Morse dle průměru vrtáku (13)

Průměr D (mm)	Velikost stopky
5,00 – 14,00	Morse 1
14,25 – 23,00	Morse 2
23,25 – 31,75	Morse 3
32,00 – 50,80	Morse 4
53,00 – 76,50	Morse 5
80,00 – 106,00	Morse 6

2.2 Speciální nástroje na vrtání a vyvrtávání

2.2.1 Speciální vrtáky

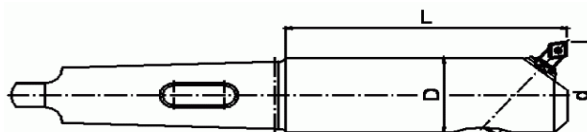
Mikrovrtáky – vrtáky vyráběné od průměru $D = 0,1$ do průměru $D = 2,0$ mm, v toleranci průměru $D_{-0,004}^0$



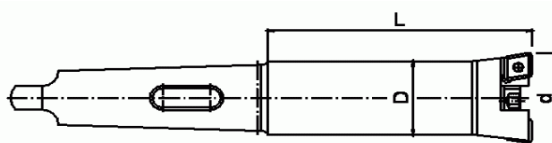
Obr. 2.20 Mikrovrták průměr 0,5 mm (11)

2.2.2 Vyvrtávací tyče

Tyto nástroje se v největší míře používají na vodorovných vyvrtávačkách, NC strojích, obráběcích centrech, velkých stojanových vrtačkách a frézkách. Hrubovací vyvrtávací tyče jsou určeny pro hrubé předvrtání předlitého, předkovaného, event. jinak připraveného otvoru. Hrubovací vyvrtávací tyče jsou většinou vícebřité nástroje. Potom následuje vyvrtávání na čisto pomocí dokončovacích vyvrtávacích tyčí. Vyvrtávací tyče jsou jednobřité nástroje jsou vyráběny ve několika velikostech. Průměr vyvrtávané díry je možno měnit v určitém rozsahu povysunutím držáku, na kterém je upnut řezný plátek. Např. s dokončovací vyvrtávací tyčí s označením 5x40-16, můžeme zvětšovat předhrubovanou díru z průměru $d=56$ mm až na průměr $d=72$ mm. Dokončovací vyvrtávací tyče dosahují přesnosti IT 7 až IT 8 a drsnost obrobeného povrchu $Ra = 1,6 - 2$



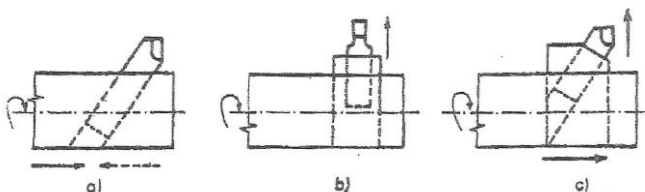
Obr. 2.20 Dokončovací vyvrtávací tyč (1)



Obr. 2.21 Hrubovací vyvrtávací tyč (1)

Kinematika vrtacího procesu může probíhat třemi základními způsoby

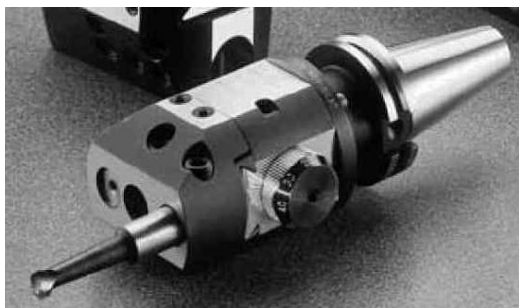
- Hlavní pohyb koná nástroj. Řezná destička je pevně upevněna do vyvrtávací tyče. Podélný posuv do řezu koná obrobek nebo vyvrtávací tyč. Radiální posuv je nulový.
- Hlavní pohyb koná nástroj. Řezná destička je pevně upevněna do posuvného držáku, který se plynule nebo skokově vysouvá v příčném směru. Podélný posuv je nulový.
- Hlavní pohyb i podélný posuv koná nástroj nebo obrobek. Řezná destička je pevně upevněna do posuvného držáku, který se plynule nebo skokově vysouvá v příčném směru.



Obr. 2.22 Kinematika vyvrtávání (1)

2.2.3 Vyvrtávací hlavy

Tyto nástroje se v největší míře používají na vodorovných vyvrtávačkách, NC strojích, obráběcích centrech, velkých stojanových vrtačkách a frézkách. Vyvrtávací hlavy jsou určeny pro vyvrtání předlitého, předkovaného, ev. jinak připraveného otvoru. Vyvrtávací hlavy jsou vyráběny ve velikostních řadách. Průměr vyvrtávané díry je možno měnit v určitém rozsahu povysunutím držáku, ve kterém je upnut nůž nebo řezný plátek.



Obr. 2.23 Vyvrtávací hlava (12)

2.2.4 Vrtací nástroje pro výrobu hlubokých děr

Problém vrtání hlubokých děr je řešen pomocí speciálních metod a speciálních nástrojů. Při vlastním procesu vrtání není nutné, aby bylo s nástrojem opakovaně vyjížděno z důvodu odstraňování nahromaděných

třísek. Je však nutné, aby třísky byly vytvořeny o správném tvaru a velikosti. K tomu slouží různé úpravy a uspořádání rezných destiček. Třísky jsou potom během vrtání průběžně vyplavovány pomocí tlakové rezné kapaliny, která je přiváděna až k ostří nástroje. Množství a tlak rezné kapaliny se volí dle průměru vrtaného otvoru.

Dle způsobu přívodu rezné kapaliny k místu řezu rozlišujeme nástroje s přívodem:

- Vnitřním
- Vnější
- Kombinovaným

Vrtání hlubokých děr rozdělujeme též dle typu nástroje na vrtání pomocí:

- Hlavňových vrtáků
- Korunových trepanačních hlav
- Nástrojů BTA

a) Hlavňové (dělové) vrtáky

Tlaková, rezná kapalina je přiváděna otvorem v tělese vrtáku a třísky jsou z místa řezu vyplavovány prostorem mezi vrtákem a stěnou vrtaného otvoru. U hlavňového vrtáku zajišťuje hlavní pracovní činnost rezný plátek a přímost vrtání zajišťují na obvodu dva vodící plátky. Plátky mohou být vyrobeny z RO, ale většinou se využívá plátek ze SK.



Obr. 2.24 Dělový vrták Typ 01 (10)

b) Korunové trepanační (vrtací hlavy)

Korunové trepanační hlavy jsou vícebřitvé nástroje trubkovitého tvaru, kdy je jeden konec osazen reznými plátky a druhý konec slouží k upnutí. Tlaková, rezná kapalina je přiváděna do místa řezu vnitřkem nástroje a vyplavuje třísky mezerou mezi vnějším nástrojem a vyvrtaným otvorem. Jelikož je prostor pro vyplavování třísek poměrně úzký, musejí být nástrojem utvářeny třísky vhodného tvaru a velikosti. Korunové trepanační hlavy lze použít pro vrtané průměry v rozmezí $D = 30\div 500$ mm.

a) Nástroje BTA (Bohring and Trepanning Association)

Nástroje BTA umožňují nejproduktivnější vrtání hlubokých otvorů. Tyto nástroje mohou být vyrobeny v provedení uzpůsobených k vrtání do plného materiálu, na jádro, nebo ke zvětšování předvrtané díry.

- vrtací hlava BTA do plna

Vrtací hlava BTA do plna se používá pro vrtání hlubokých otvorů v rozsahu vrtaných průměrů $D = 20\div 60$ mm. Řezná, tlaková kapalina je přiváděna do místa řezu mezerou mezi vnějším nástrojem a vyvrtaným otvorem. Třísky jsou odplavovány řeznou kapalinou středem nástroje. Hlavní ostří bývá zpravidla odstupňované, z důvodu lepšího rozdělení třísky. Menší třísky jsou následně lépe odváděny mimo obrobek.



Obr. 2.25 Vrtací hlava do plna Typ 17 (10)

- vrtací hlava BTA na jádro

Vrtací hlava BTA do plna se používá pro vrtání hlubokých otvorů v rozsahu vrtaných průměrů $D = 60\div 200$ mm. Jedná se velmi účinný, energeticky úsporný způsob vrtání. Z polotovaru se odebrává materiál o průřezu v podobě mezikruží, uprostřed zůstává „Jádro“. Stejně jako u předchozího způsobu vrtání i zde je nutné dbát na kvalitní dělení třísek z důvodu omezeného prostoru pro jejich odvod.



Obr. 2.26 Vrtací hlava na jádro Typ 28 (10)

- vrtací hlava BTA pro zvětšování již vyvrtaných děr

Vrtací hlava BTA pro zvětšování již vyvrtaných děr odebrává velmi malé třísky, které jsou odplavovány řeznou kapalinou středem nástroje. Vlastní vrtací hlava je v pracovní části opatřena hlavním řezným plátkem, dále potom dvěma vodícími plátky ze SK. Dále potom následují tři vodící lišty z umělé hmoty.

2.3 Materiály na výrobu vrtáků

Pro výrobu vrtáků a vrtacích nástrojů se využívá široká škála nástrojových a řezných materiálů. Při výběru je nutné dbát doporučení výrobce a vědět podrobnosti týkající se vlastního technologického postupu při výrobě konkrétní součásti. Z tohoto pohledu je důležité zejména posoudit:

- Složitost tvaru obrobku
- Obrobitelnost polotovaru
- Druhy prováděných operací
- Možnost volby řezných parametrů
- Výkon a tuhost obráběcího stroje
- Požadované parametry obráběného povrchu
- Náklady na obrábění

Materiály používané na výrobu vrtacích nástrojů:

- Nástrojové oceli uhlíkové
- Nástrojové oceli slitinové
- Rychlořezné oceli (HSS)
- Slinuté karbidy (vyrábí se destičky ze SK nebo šroubovitě vrtáky ze SK k obrábění litin i ocelí)
- Cermety
- Keramické nástrojové materiály
- Kubický nitrid boru (KNB)
- Polykrystalický diamant
- Přírodní diamant

Povlakování patří mezi nejprogressivnější způsoby úprav povrchu řezných částí nástrojů, při kterém se dosahuje vynikajících mechanických a technologických parametrů. Rozlišujeme dva základní typy povlakování.

Povlakování metodou CVD (chemická reakce plynů s materiálem)

Povlakování metodou PVD (fyzikální metoda)

Fyzikální děj mezi elektrodou (řezným plátkem) a elektrodou z kovu (jedna složka povlaku) a plynem (druhá složka povlaku).

Běžně používané PVD povlaky:

TiN (nitrid titanu) - základní a nejdéle používaná vrstva. Mikrotvrdost od 20 – 25 GPa, barva zlatá. Je použitelný téměř ve všech aplikacích. Výhodou TiN je dobrá elasticita a adheze.

TiAlN (titan aluminium nitrid) - mikrotvrdost 30 – 33 GPa, barva červenohnědá. Má výbornou odolnost vůči vysokým teplotám. V současné době vhodné pro vysokorychlostní obrábění.

Porovnání výkonnosti při vrtání třemi druhy vrtáků:

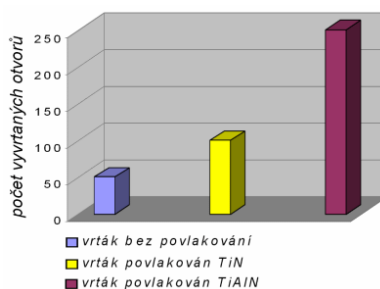
průměr vrtáku: 6 mm

vrtaná hloubka: 15 mm

vrtaný materiál: 1.2379

pevnost materiálu: 800 N/mm²

chlazení: emulze 5%



Obr. 2.27 Porovnání výkonnosti při vrtání 3 druhy vrtáků (10)

Souhrnný přínos povlaků pro vrtání:

- zamezení adhezního ulpívání třísek z obrobku na nástroji (zvláště u měkkých materiálů)
- zamezení tvorby nárůstku na břitu nástroje
- zmenšení tření nástroje vůči obrobku
- zmenšení chvění soustavy stroj-nástroj-obrobek
- zamezení vzniku studených svarů
- možnost navýšení řezné rychlosti o 40 – 60 %
- zvýšení trvanlivosti nástroje o 400 – 600 %
- zvýšení produktivity, kvality a spolehlivosti výroby

2.4 Broušení vrtáků

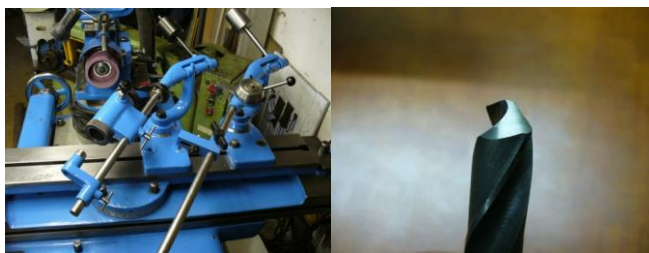
Pro správnou funkci vrtáku při vlastním procesu vrtání je velmi důležité jeho správné naostření. Při prvním nasazení nového vrtáku do provozu je tento vrták ve stavu, kdy má všechny parametry, které jsou pro něj od výrobce deklarovány. Problém nastává ve chvíli, kdy dojde k jeho otupení nebo poškození.

V případě většího poškození je třeba nejdříve na brusce osazené hrubozrnnými brusnými kotouči odebrat materiál ze špičky vrtáku. Následně přikročíme k broušení ostří, které je spojeno s podbroušením hřbetu.

Vlastní broušení můžeme provádět několika způsoby. Nejjednodušší, ale nejméně přesný způsob broušení vrtáku je takový, kdy vrták držíme v rukách a kývavými pohyby se snažíme docílit na kotoučové brusce požadovaných parametrů. Dalším ze způsobů broušení vrtáku je takový, kdy vrták upneme do přípravku, nastavíme na něm úhel nastavení hlavního ostří a pomocí excentrického mechanismu, ručně, docílíme požadovaných parametrů. Při tomto způsobu ostření vrtáků se dosahuje lepších výsledků než při prvním způsobu. Přípravky na broušení jsou finančně dostupné a pracovník je schopen vrtáky brousit po rychlém zaškolení. Samostatnou kapitolou jsou speciální brusky. Vrták se upne do čelistí, nastaví se požadované parametry broušení, a celý proces proběhne po spuštění zcela automaticky. Jsou sice velmi výkonné, přesné a bezpečné, ale na druhé straně velmi drahé, takže se vyplatí pouze na pracovištích, kde je jejich nasazení opodstatněné a vytížení co nejvyšší.

- Bruska BN 101

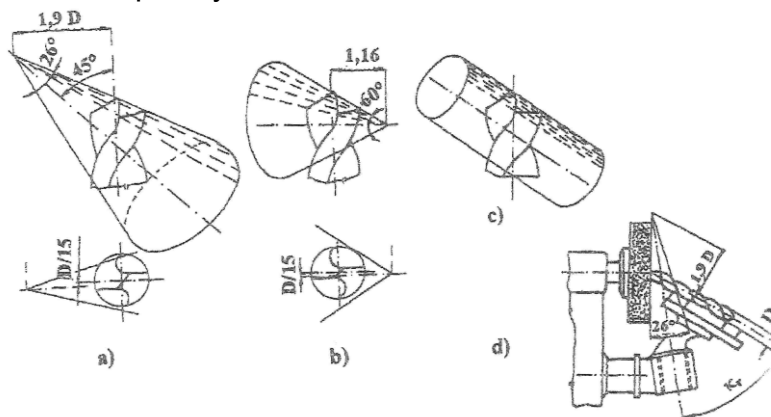
Přístroj podbrušuje hřbety vrtáků v úhlu cca 6°. Hřbetní plochy vrtáku jsou broušeny ve tvaru pomyslného kužele.



Obr. 2.28 Bruska na šroubovitě vrtáky BN 101

- Základní druhy tvarů ploch při broušení vrtáků

- tvár kuželové plochy, kdy osa kužele je mimoběžná s osou vrtáku
- tvár kuželové plochy, kdy osa kužele je kolmá na osu vrtáku
- tvár válcové plochy, kdy osa válce je skloněná k ose vrtáku
- tvár šroubové plochy



Obr. 2.29 Způsoby broušení vrtáků (1)

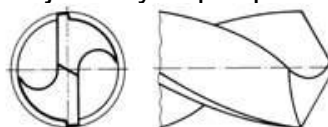
- Přehled druhů vrtáků dle obráběného materiálu

Vrtaný materiál	ocel litina	hliník	měď	mosaz	elektron	tvrdá pryž	mramor lisované hmoty	plechy šedá liti- na
Vyobrazení								
Úhel hrotu	116 - 120°	130 - 140°	125°	130°	100 - 116°	30°	80°	180°
Úhel stou- pání šrou- bovice	25°	35 - 45°	35 - 45°	10°	45°	10°	10°	10°

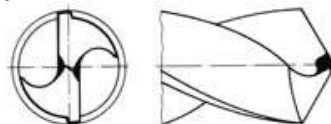
Obr. 2.30 Přehled druhů vrtáků dle obráběného materiálu

- Základní druhy úpravy ostří vrtáků

- Vrcholový úhel špičky je nabroušen dle obrobitelnosti materiálu. Vznikne tak mohutné hlavní ostří, které je odolné proti rázům a axiálním silám. Tento typ ostří je vhodný pro vrtání ocelí, barevných kovů a umělých hmot. Jedná se o jednoduchý způsob broušení, který lze provádět i ručně. Nevýhodou tohoto způsobu broušení je, že široké příčné ostří způsobuje velký odpor proti vnikání nástroje do materiálu.



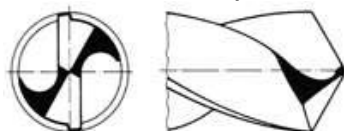
- b) Vrcholový úhel špičky je nabroušen dle obrobitelnosti materiálu. Velikost příčného ostří se zmenšuje broušením a provádí se zejména u vrtáků s velkým průměrem. Tento typ ostří je vhodný pro obvyklé vrtací práce se silným jádrem vrtáku. Středění vrtáku se touto úpravou zlepšuje a snižuje též velikost posuvové síly. Nevýhodou tohoto způsobu broušení je, že po základním broušení je nutné zařadit dodatečné práce při ostření.



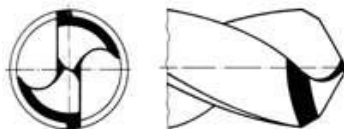
- c) Tento typ ostří je vhodný pro vrtání ocelí s vyšší pevností, pro oceli s obsahem manganu nad 10%, pro pružinové oceli a pro navrtávání. Příčné ostří se zmenšuje broušením a odbrušuje se též část materiálu u hlavního ostří. Vrták je po tomto způsobu naostření odolný proti rázům a proti axiálním silám. Vyšší radiální síly mají tendenci vychýlit vrták ze směru. Pracnost při přeastřování je vysoká.



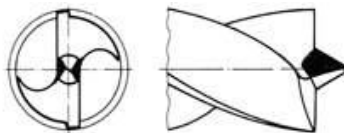
- d) Tento typ ostří je vhodný pro vrtání houževnatých a tvrdých materiálů a pro vrtání hlubokých otvorů. Příčné ostří se zmenšuje broušením a odbrušuje se též část hřbetu hlavního ostří. Vrták po tomto způsobu naostření lépe dělí a odvádí třísky. Středění vrtáku je dobré a posuvová síle je malá. Dokonalé přeastřování lze provést pouze strojně.



- e) Tento typ ostří je vhodný pro vrtání šedé litiny, temperované litiny a výkovků. Příčné ostří se lehce zmenšuje broušením a odbrušuje se též lehce část hřbetu hlavního ostří a fazetky. Vrták má chráněnou fazetku v důsledku prodloužení hlavního ostří. Nástroj je odolný proti rázům, dobře odvádí teplo a vykazuje zvýšenou trvanlivost. Přeastřování ostří je poměrně pracné.



- f) Tento typ ostří je vhodný pro vrtání plechů, měkkých materiálů a neprůchozích otvorů s rovným dnem. Úhel špičky je 180° . Příčné ostří je vybroušeno do tvaru středícího hrotu. Vrták má dobré středění, vytváří málo ostřin při provrtávání, vytváří přesné otvory do tenkých plechů a trubek. Nástroj je citlivý na rázy. Přebroušení ostří je možné pouze strojně.



3 STROJE NA VRTÁNÍ DĚR

Vrtací proces je v praxi velmi používaný způsob obrábění, který může být dle potřeby realizován za pomoci různých strojů. Jejich výběr závisí na mnoha okolnostech. Jedná se zejména o množství vrtaných děr, osovou přesnost vrtaných děr, požadovanou jakost stěn vrtaných děr, posouzení vlastních výrobních možností, ať už jde o strojový park nebo kvalifikaci obslužného personálu. Pro vrtání děr můžeme použít nejen celý sortiment vrtaček, ale i soustruhy, frézky, vyvrtávačky a obráběcí centra.

3.1 Přenosné, ruční nářadí na vrtání děr

Jedná se většinou o ruční vrtačky poháněných pomocí el.energie o napětí 240 V. Stále větší část ručního, vrtacího nářadí je poháněno el.energií, která je získávána z dobíjecích, vyměnitelných akumulátorů. Pro vrtání v uzavřených, kovových nádržích se z bezpečnostních důvodů používají právě tyto vrtačky, nebo vrtačky poháněné el.energií o napětí do 24 V. Ve velkých průmyslových provozech se ještě poměrně často používají ruční vrtačky, které jsou poháněny tlakovým vzduchem. Ruční vrtačky jsou velmi mobilní, mají však malý pracovní výkon, který je ovlivněn omezeným výkonem pohonu a fyzickými možnostmi obsluhy. Výjimku tvoří magnetická, přenosná vrtačka s korunkovým vrtákem, jejíž konstrukce umožňuje vrtat díry velkých průměrů s minimální fyzickou námahou.

3.2 Stabilní stroje na vrtání děr

Stabilní stroje na vrtání děr jsou stroje s velkými pracovními výkony a jsou ve většině případů poháněny el.energií o napětí 400 V.

- Stolní vrtačky

Stolní vrtačky mají většinou jednoduchou konstrukci a jsou určeny pro vrtání děr do průměru 16 mm. Změn otáček vřetena je dosahováno pomocí přehazováním klínového řemene na víceúhňových řemenicích. Řemenice

jsou umístěny v krytém prostoru nad vřeteníkem. Posuvu vrtáku je dosahováno ručně za pomoci páky a hřebenového převodu. Vratný pohyb usnadňuje pružina. Některé stolní vrtačky jsou vybaveny za účelem změny otáček vřetena regulátorem otáček nebo měničem frekvence.

- Sloupové vrtačky

U sloupové vrtačky je vřeteník a pracovní stůl posuvný ve vertikálním směru po sloupu. Vřeteník je ještě navíc otočný kolem osy sloupu. Posuv vřetena bývá většinou mechanický, velikost otáček vřetena je měněna zařazením rychlostního stupně v převodové skříni, z které vřeteno vystupuje. Sloupové vrtačky jsou běžně konstruovány pro vrtání děr do průměru 40 mm.

- Stojanové

Stojanové vrtačky mají jako základ stojan obdélníkového průřezu, jehož součástí je ve spodní části základová deska, která zajišťuje stabilitu stroje a zároveň může být využívána pro upínání obrobku. Vzhledem ke své robustnější konstrukci a dosahovanému výkonu lze na těchto strojích vrtat díry do průměru 80 mm. Po vedení ve stojanu se pohybuje vertikálně vřeteník. Vřeteník, jehož součástí je převodovka, umožňuje volbu rychlosti posuvu vřetena a volbu velikosti otáček vřetena.

- Otočná (radiální) a montážní

Základem těchto vrtaček je sloup kruhového, nebo obdélníkového průřezu, v jehož spodní části bývá umístěn upínací stůl. Po sloupu se pohybuje ve vertikálním směru otočné rameno. Tento pohyb je plně mechanický. Na otočném ramenu se pohybuje v horizontálním směru vřeteník. Vřeteník, jehož součástí je převodovka, umožňuje volbu rychlosti posuvu vřetena a volbu velikosti otáček vřetena. Posuvy vřeteníku a ramene jsou taktéž plně mechanizované. Tyto druhy vrtaček jsou určeny pro vrtání děr velkých průměrů (až do průměru 100 mm), a k vrtání těžkých a rozměrných obrobků.

- Vyvrtávací stroje

Vyvrtávací stroje dělíme dle jejich konstrukce a použití na souřadnicové vyvrtávačky, jemné vyvrtávačky a na vodorovné vyvrtávačky.

Souřadnicové vyvrtávačky se používají na vrtání přesných děr s velmi přesnými roztečemi. Dle konstrukce rozlišujeme dva typy vyvrtávaček. První typ má pevné lože, po kterém se posouvá pracovní stůl. Souřadnice vřetena, které se pohybuje spolu s vřeteníkem po příčnicku kolmo k posuvu pracovního stolu, jsou nastavována pomocí řídicího systému. Druhý typ vyvrtávačky má vřeteník, který lze posouvat po stojanu stroje pouze vertikálně. V horizontálním směru se souřadnice nastavují pohybem podélného a příčného stolu. Nastavení souřadnic se u obou typů souřadnicových vyvrtávaček provádí optickým systémem, nebo řídicím CNC systémem.

Pomocí souřadnicových vyvrtávaček lze efektivně vyrábět i díry kuželové, válcové s vnitřním osazením, díry různých průřezů s rámcem, atd..

Vodorovné vyvrtávačky dělíme dle konstrukce na stolové a deskové. Vyvrtávačka stolová je určena k obrábění menších a středně velkých obrobků. Obrobek je přitom upevněn na otočném a zároveň posuvném stole. Vodorovná vyvrtávačka desková je určena k obrábění těžkých a rozměrných obrobků. Obrobek může být upnut přímo na pracovní desce, nebo na přídatném otočném stole. Vyvrtávačky jsou univerzální stroje na kterých je možno vrtat, vyvrtávat, vyhrubovat, frézovat, vystružovat, apod.. Při vrtání do plného materiálu používáme některý z nástrojů určeného pro tento druh vrtání (šroubovitý vrták, kopinatý vrták, apod.). Pro vyvrtávání již předlitého, předkovaného, event. jinak připraveného otvoru, používáme buď vyvrtávací tyč, nebo vyvrtávací hlavu. Dle velikosti vrtaného otvoru členíme vyvrtávačky na malé (60-80 mm), střední (100-160 mm) a velké (200-315 mm).

- Soustruhy, Frézky

Vrtání děr prováděné na soustruhu se většinou využívá při obrábění rotačních polotovarů. Na frézce převažuje vrtání polotovarů nesymetrických. U obou druhů strojů je tato operace velice úzce spojena s dalšími operacemi, které po vrtání často následují. Jedná se zejména o obrábění předvrtaných děr na větší průměr, popřípadě na vyšší rozměrovou přesnost nebo lepší jakost povrchu. Z dalších operací, které se často po vrtání používají, můžeme zmínit vyhrubování, vystružování a řezání závitů apod..

3.3 Speciální stroje na vrtání děr

Speciální druhy vrtaček se používají pro speciální vrtací operace. Ve střediscích údržby malých firem se však téměř nevyskytují. Mezi tyto stroje patří:

- vrtačky na hluboké díry
- vrtačky souřadnicové
- vrtačky vícevřetenové
- vrtačky stavebnicové
- vrtačky s vrtacími hlavami

4 ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STROJNÍHO VYBAVENÍ

Pracovníci v naší dílně strojní údržby disponují několika druhy strojů na vrtání a určitým sortimentem vrtacích nástrojů a přípravků. Jedná se až na výjimky převážně o starší zařízení, které se velice pomalu doplňuje o stroje a nástroje novější a výkonnější.

4.1 Stroje a nářadí na vrtání dř

- Ruční akumulátorová vrtačka ASV 14 EA

Technická data: výrobce NAREX Česká Lípa, rok výroby 2008, články AKU 14,4 V, otáčky 0-1500 min^{-1} , max.průměr spirálového vrtáku 10 mm, přepínač: pravý/levý chod, nastavitelná momentová spojka



Obr. 4.1 Vrtačka Narex ASV 14 EA (zdroj)

- Ruční vrtačka EC

Technická data: výrobce NAREX Česká Lípa, napájecí napětí 220 V, příkon 510 W, otáčky 520-2100 min^{-1} , max.průměr vrtáku 13 mm, přepínač: pravý/levý chod



Obr. 4.2 Vrtačka Narex EC

- Přenosná, magnetická vrtačka KBM 32 Q

Technická data: výrobce firma FEIN, rok výroby 2006, napájecí napětí 220 V, příkon 700 W, otáčky 440 min^{-1} , max.průměr spirálového vrtáku 13 mm, průměr korunkového vrtáku 12 - 32 mm, přilnavá síla magnetu 9 000 N, upínání spirálových vrtáků s válcovou stopkou do tříčelistového sklíčidla, rychloupínání korunkových vrtáků pomocí systému QUICKIN



Obr. 4.3 Vrtačka KBM 32 Q

- Stolní vrtačka V 13

Technická data: výrobce TOS, napájecí napětí 400 V, příkon 1,1 kW, otáčky 500/1000/1700/3000 min^{-1} , max.průměr spirálového vrtáku 13 mm



Obr. 4.4 Stolní vrtačka TOS V 13

- Sloupová vrtačka VS 20

Technická data: výrobce TOS Svitavy, rok výroby 1965, napájecí napětí 400 V, příkon 1,5 kW, otáčky el.motoru 1 430 min^{-1} , max.průměr vrtané díry 20 mm, upínání nástrojů do vřeten pomocí kuželu Morse 3, počet rychlostních stupňů převodovky vřeteníku 9, rozsah počtu otáček vřeteníku 71–2 800 min^{-1} , počet stupňů posuvu vřeteníku 4, rozsah posuvu vřeteníku 0,08 – 0,32 $\text{mm}^{-\text{ot}}$, vzdálenost osy vřeteníku od osy sloupu 250 mm, největší vzdálenost konce vřeteníku od upínací plochy základové desky 1 120 mm, pravý i levý chod vřeteníku



Obr. 4.5 Sloupová vrtačka VS 20

- Radiální vrtačka RABOMA 12 Rh 3000

Technická data: výrobce RABOMA Maschinenfabrik Berlin, rok výroby 1942, napájecí napětí 400 V, příkon hlavního 19 kW, max.kroučící moment při vrtání 1 250 Nm, upínání nástrojů do vřetena pomocí kuželu Morse 3, počet rychlostních stupňů převodovky vřeteníku 22, rozsah počtu otáček vřetena $112,2 - 9000 \text{ min}^{-1}$, počet stupňů posuvu vřetena 18, rozsah posuvu vřetena $0,08 - 0,32 \text{ mm}^{-\text{ot}}$, max.průměr vrtané díry 63 mm, největší vzdálenost konce vřetena od upínací plochy základové desky 1 120 mm, pravý i levý chod vřetene (technické výkresy a výkonové tabulky v příloze č.1 až č.4)



Obr. 4.6 Radiální vrtačka RABOMA 12 Rh 3000

4.2 Upínací nářadí a pomůcky

Strojní svěráky, upínky, prizmata, svěrky, sklíčidla, upínky, upínací šrouby



Obr. 4.7 Strojní svěráky

4.3 Vrtací nástroje a pomůcky

Spirálové vrtáky HSS, vrtáky spirálové HSS CO5, korunkové vrtáky HSS, korunkové vrtáky s plátky ze SK, výhrubníky, výstružníky, redukční pouzdra Morse, rychloupínací pouzdra



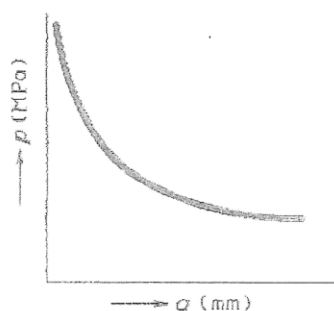
Obr 4.8 Vrtáky spirálové, rychloupínací pouzdra

5 PROVOZNÍ PODMÍNKY

5.1 Všeobecná pravidla a normativy

Pro efektivní způsob využití vrtacích nástrojů a strojů je potřeba pracovat dle podmínek, které jsou pro danou operaci co nejpříznivější. K tomu nám slouží normativy a tabulky doporučených pracovních podmínek. V kapitole 1.3.1 jsou uvedeny doporučené druhy a množství řezných kapalin a v kapitole 2.4 způsoby broušení vrtáků pro konkrétní druhy vrtaných polotovarů. V této kapitole jsou uvedeny další závislosti při provádění vrtacích operací.

Hodnoty řezných odporů pro jednotlivé druhy materiálů



Obr. 287. Závislost řezného odporu p na tloušťce třísky a

Tab. 34. Hodnoty řezného odporu

Materiál	σ_{p1} (MPa)	Řezný odpor p (MPa)		
		soustružení	frézování	vrtání
Uhlíková ocel	450	2 100	3 650	2 700
Uhlíková ocel	600	2 160	4 500	3 400
Uhlíková ocel	700	2 450	4 950	4 000
Chromniklová ocel	500	2 500	5 050	4 300
Chromniklová ocel	700	2 800	5 400	5 200
Bronz	200 až 300	1 100	1 750	1 500
Bronz	300 až 500	1 400	2 100	1 800
Hliníkové slitiny	180 až 250	850	1 300	1 150
Hliníkové slitiny	250 až 350	1 150	1 450	1 300
Šedá litina*)	140 až 160	1 380	2 650	1 750
Šedá litina*)	160 až 180	1 480	2 800	2 050
Šedá litina*)	180 až 200	1 580	3 050	2 500

Obr 5.1 Hodnoty řezného odporu pro výpočet řezné síly (1)

Hodnoty řezných podmínek pro jednotlivé druhy materiálů

Tab. Řezné podmínky při vrtání

Obráběný materiál	Třída obrobitelnosti	Materiál nástroje	Šroubovitě vrtáky		Dělové vrtáky		Vrtací hlavy		Vrtáky s VBD ¹⁾	
			v (m/min)	f ₀ (mm/ot)	v (m/min)	f ₀ (mm/ot)	v (m/min)	f ₀ (mm/ot)	v (m/min)	f ₀ (mm/ot)
Ocel 500 800MPa	13-14b	RO	25 - 30	0,1-0,5	20 - 30	0,05-0,5				
		SK	50 - 70	0,05-0,2	80-100	0,07-0,5	80-140	0,07-0,3	200-300	0,04-0,1
Ocel 800 1000MPa	11 - 12b	RO	10 - 20	0,1-0,3	15 - 25	0,05-0,3				
		SK	40 - 60	0,05-0,1	60 - 100	0,07-0,5	60-120	0,05-0,2	170-250	0,06-0,2
Šedá lit. 200HB	11a	RO	10 - 25	0,1-0,8						
		SK	40-100	0,1-0,5			80-180	0,1-0,4	210-280	0,1-0,2
Slitiny Cu 90 HB		RO	40-70	0,12-0,4						
		SK	80-100	0,08-0,3					250-350	0,05-0,2
Slitiny Al 100 HB		RO	120-200	0,15-0,5						
		SK	200-300	0,15-0,4					250-400	0,05-0,2

Obr 5.2 Řezné podmínky při vrtání (1)

Volba nástrojů při výrobě přesných děr

Průměr díry [mm]	Průměr vrtáku [mm]	Průměr výhrubníku [mm]	Průměr výstružníku [mm]
4	3,8	-	4
6	5,8	-	6
8	7,8	-	8
10	9,8	-	10
12	11,25	11,8	12
14	13,25	13,8	14
16	15,25	15,8	16
18	17,0	17,8	18
20	19,0	19,75	20
22	20,5	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 5.3 Hodnoty průměrů vrtacích nástrojů při výrobě přesných děr (1)

Řezné podmínky pro vybrané materiály při vrtání šroubovitými vrtáky z RO

Obráběný materiál	v_c [m.min ⁻¹]	Posuv na otáčku f [mm]						
		Průměr vrtáku D [mm]						
		2	5	8	12	16	25	40
Ocel $R_{m} = 700$ až 900 MPa	25 až 30	0,04	0,1	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
Ocel korozivzdorná	8 až 12	-	0,05	0,10	0,12	0,15	0,20	0,20
Šedá litina 200 HB	18 až 25	0,06	0,15	0,22	0,30	0,36	0,40	0,60
Mosaz	60 až 70	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,32	0,40
Měď	40 až 55	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,32	0,40
Hliníkové slitiny	70 až 85	0,06	0,12	0,20	0,28	0,32	0,40	0,50
Plasty	20 až 35	0,08	0,16	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70

Obr 5.4 Hodnoty řezného odporu pro výpočet řezné síly (1)

Řezné podmínky pro vybrané materiály při vrtání šroubovitými vrtáky ze SK

Obráběný materiál	v_c [m.min ⁻¹]	Posuv na otáčku f [mm]		
		Průměr vrtáku D [mm]		
		5	12	20
Austenitická ocel	30 až 40	0,01	0,02	0,03
Nástrojová ocel	10	0,02	0,04	0,06
Litina > 200 HB	30 až 40	0,03	0,04	0,07
Vrstvené plasty	50 až 80	0,04	0,06	0,12

Obr 5.5 Hodnoty řezného odporu pro výpočet řezné síly (1)

Dosahovaná drsnost a přesnost obrobeného povrchu

Nástroj	Přesnost rozměrů IT	Drsnost obrobeného povrchu Ra (μm)
Šroubovitý vrták	11 až 13	6,3 - 25
Šroub.vrták s vodícím pouzdrem	10	6,3 - 25
Kopinatý vrták	10	6,3 - 25
Dělový vrták	8	1,6 - 6,3
Vrták s VBD	8 - 10	3,2 - 12,5

Obr 5.6 Hodnoty jakosti povrchu dle druhu použitého vrtáku (11)

5.2 Ukázky z praxe

- Vrtání výpalku z nerezové oceli

Technologické podmínky: použitý vrtací stroj – stolní vrtačka V 13, vrták spirálový HSS CO5 průměr 8 mm, otáčky 1000 min^{-1} , chlazení a mazání pomocí řezného BIO oleje, přidržování výpalku při vrtání rukou



Obr. 5.6 Vrtání nerezového výpalku

- Vrtání ocelolitinového bloku parní turbíny

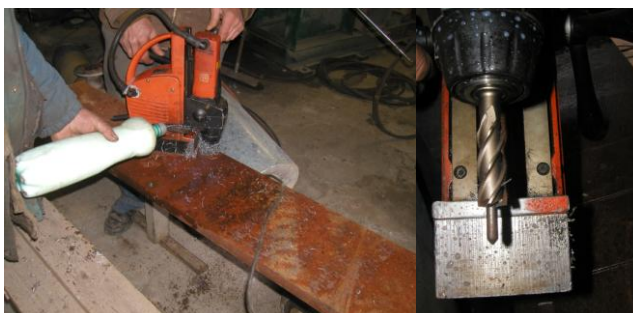
Technologické podmínky: použitý vrtací stroj - magnetická vrtačka KBM 32 Q, vrták spirálový HSS průměr 8 mm, otáčky 440 min^{-1} , chlazení a mazání pomocí emulze D10, k uchycení vrtačky vyhotoven ocelový můstek



Obr. 5.7 Vrtání bloku parní turbíny

- Vrtání ocelové, nosné desky

Technologické podmínky: použitý vrtací stroj - magnetická vrtačka KBM 32 Q, vrták spirálový, jádrový HSS průměr 17 mm, otáčky 440 min^{-1} , chlazení a mazání pomocí emulze D10, uchycení vrtačky přímo na vrtanou desku



Obr. 5.8 Vrtání nosné desky pod šnekové čerpadlo

- Vrtání okénka pračky plynu

Technologické podmínky: použitý vrtací stroj – ruční vrtačka Narex EC, vrták spirálový HSS průměr 13 mm, otáčky 800 min^{-1} , vrtání bez chlazení a mazání, přidržování výpalku při vrtání rukou



Obr. 5.9 Vrtání okénka z PLEXIGLASU

5.3 Praktické využití

5.3.1 Popis úkolu

Vyhotovit 12 ks děr v přesnosti H7. Díry budou sloužit pro přesné uchycení brousící frézy pomocí lícovaných šroubů. Materiál základové desky, ocel Tř.11 375. Tloušťka desky 20 mm.

5.3.2 Technologické podmínky v praxi

- Materiál ocel Tř.11 375: pevnost v tahu 360-510 MPa
- Předvrtání: vrták HSS CO5 průměr 6 mm
- Vrtání: vrták HSS průměr 18,5 mm
- Vyhrubování: strojní výhrubník HSS průměr 19,7 mm
- Vystružování: strojní výstružník HSS průměr 20 H7
- Mazání a chlazení: emulze o koncentraci 10%
- Vrtací stroj: Radiální vrtačka RABOMA 12 Rh 3000

Provozní parametry při vrtání, vyhrubování a vystružování lze vypočítat za použití normativních hodnot a empirických vzorců uvedených v kapitole 1.2. Jednodušší a rychlejší způsob je použít některý z volně dostupných kalkulátorů. V případě mého výpočtu jsem použil kalkulátor, který je dostupný na WWW: <http://navigator.guehring.de>.

Vypočítané parametry vrtání a hodnoty sil při výrobě přesných děr

		předvrtání	vrtání	vyhrubování	vystružování
průměr nástroje	D [mm]	6	18,5	19,7	20
počet břitů	[1]	2	2	4	8
úhel špičky	[°]	59	59	45	45
posuv na otáčku	f_u [mm]	0,12	0,3	0,3	0,4
otáčky nástroje	n [mm]	1592	379	191	191
rychlost hl.pohybu	v_c [m min ⁻¹]	30	22	12	12
průřez třísky	A_D [mm ²]	0,18	0,937	0,045	0,0074
rychlost	v_f [m min ⁻¹]	191	114	76,4	76,4
posuvová síla	F_f [N]	1290	3067	598	276
řezný odpor	p [MPa]	3000	3000	3000	3000
měrná řezná síla	F_p [N]	1080	5622	540	177
kroucí moment	M_d [Nm]	1,8	28,9	5,5	2,1
řezná síla	F_c [N]	1230	4712	579	216
užit.výkon stroje	P_c [kW]	0,3	1,1	0,1	0
příkon stroje	P [kW]	0,4	1,5	0,1	0,1
strojní čas	t_{AS} [s]	7	12	21	16

Pozn.: řezný odpor: $p = 6 \cdot R_m$ (mez pevnosti v tahu pro mat.: 11375)

řezná síla: $F_p = A_D \cdot p \cdot z$ (A_D =průřez třísky, z =počet břitů)

Tab.5.10 Tabulka vypočítaných parametrů při vrtání (6)

ZÁVĚR

Bylo provedeno všeobecné seznámení se sortimentem vrtacích nástrojů a se základními druhy vrtacích strojů. Byly popsány hlavní části šroubovitého vrtáku a jeho pracovní úhly. Byly probrány výpočtové vztahy pro vrtací nástroje dvoubřité i vícebřité. Byly probrány technologické závislosti při vrtacích procesech, zejména používání chladících a řezných kapalin. Zmíněn byl též požadavek na výběr druhu a způsobu nabroušení šroubovitých vrtáků pro konkrétní materiál.

Ukázalo se, že ve středisku údržby naší malé firmy je poměrně zastaralé strojní vybavení. Též sortiment vrtacích nástrojů je omezený. V závodě jsou potřebné vrtací práce většinou prováděny ve strojní dílně na radiální vrtačce Raboma 12 a na sloupové vrtačce VS 20. Na provoz, při operativním zásahu je dáována přednost magnetické vrtačce KBM 32 Q před vrtáním pomocí ruční vrtačky Narex.

Přesto, že jsme schopni vyrobit i přesné otvory v přesnosti H7 do průměru D 50 mm, nejsme vůbec nástrojově vybaveni na vrtání či vyvrtávání otvorů větších. Taktéž počet a sortiment vrtáků určených na vrtání nerezových a tvrdých ocelí je minimální. Přeastřování vrtáků se provádí ručně, pouze přesné nástroje se vozí do specializovaných brusíren. Nedostatky uvedené v tomto posledním odstavci mohou být zároveň inspirací pro budoucí vylepšování tohoto stavu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KOČMAN, K. a PROKOP, J- Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
2. KOČMAN, K. Speciální technologie obrábění. 3. vyd. Brno: VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM, 2004. 230 s. ISBN 80-214-2562-8.
3. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing s.r.o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
4. AB SANDVIK COROMAT – SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění – Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
5. CIHLÁŘOVÁ, P., HILL, M. and PÍŠKA, M. Fundamentals of CNC Machining. [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://CNN.fme.vutbr.cz>>
6. Výpočet řezných podmínek při vrtání. Dostupné na WWW: <<http://navigator.guehring.de>>
7. Vrtací nářadí a nástroje. Dostupné na WWW: <<http://www.fein.de>>
8. ZEMČÍK, O., Nástroje a přípravky pro obrábění. VUT v Brně, Učební texty vysokých škol
9. CIRCOVA, E.,IZOL,P., Malá zbierka príkladov z technológie obrábania, 2004. 40 s. Dostupné na WWW: <<http://www.sjf.tuke.sk>>
10. Hluboké vrtání, Dostupné na WWW: < <http://www.winter-servis.cz>>
11. Sortiment vrtacích nástrojů, Dostupné na WWW: <STIMZETVSETIN.CZ>
12. Katalog vrtacích nástrojů, Dostupné na WWW: <SECOTOOLS.COM>
13. DRASTÍK, F. DENK, O. Strojnické tabulky pro konstrukci a dílnu. Vyd. MONTANEX a.s.. Ostrava, 1995

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
HSS	-	High Speed Steel - rychlořezná ocel
PVD	-	chemická metoda povlakování
CVD	-	fyzikální metoda povlakování
TiN	-	nitrid titanu
TiAlN	-	titan aluminium nitrid
SK	-	slinutý karbid
BTA	-	Bohring and Trepanning Association
KNB	-	kubický nitrid boru
M_d	[Nm]	kroučící moment
P_c	[kW]	užitečný řezný výkon
P	[kW]	příkon stroje
F_c	[N]	řezná síla
F_p	[N]	měrná řezná síla
F_f	[N]	posuvová síla
f_z	[mm]	posuv na zub (břit)
L_c	[mm]	délka dráhy nástroje
A_D	[mm ²]	průřez třísky
D	[mm]	průměr díry
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
f	[mm]	posuv na otáčku
t_{As}	[min]	jednotkový strojní čas
h	[mm]	tloušťka třísky
p	[MPa]	řezný odpor
a_f	[mm]	šířka záběru ostří ve směru pohybu
k_c	[MPa]	měrný řezný odpor
n	[min ⁻¹]	otáčky nástroje
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
v_e	[m.min ⁻¹]	rychlost řezného pohybu
v_f	[m.min ⁻¹]	posuvová rychlost
κ_r	[°]	úhel nastavení hlavního ostří
ω	[°]	úhel stoupání šroubovice vrtáku
α	[°]	úhel hřbetu
β	[°]	úhel břitu
ε	[°]	úhel špičky
γ	[°]	úhel čela

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Vrtačka Raboma – plánek sestavy
Příloha 2: Vrtačka Raboma – štítkové údaje
Příloha 3: Vrtačka Raboma – tabulka otáček vřetena a rychlostí posuvů
Příloha 4: Vrtačka Raboma – graf kroutících momentů vřetena

