



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

Hluboké vrtání

Deep hole drilling

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2020

Martin BURŠÍK

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Pitrmuc



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Buršík** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **470018**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Hluboké vrtání

Název bakalářské práce anglicky:

Deep hole drilling

Pokyny pro vypracování:

- 1) Vrtání - kinematický rozbor, geometrie řezného nástroje
- 2) Nástrojové materiály pro výrobu vrtáků
- 3) Upínání vrtáků
- 4) Stroje pro hluboké vrtání (jednoúčelové i universální)
- 5) Průzkum trhu v oblasti výrobců nástrojů pro hluboké vrtání
- 6) Návrh technologie vrtání průměru 3,5 mm a délce 92 mm do materiálu 1.2709 na universálních CNC strojích.

Seznam doporučené literatury:

- 1) OVERBY, Alan. CNC machining handbook: building, programming, and implementation. New York: McGraw-Hill, c2011. ISBN 978-0-07-162301-8.
- 2) DAVIM, J. P., ed. Modern machining technology: a practical guide. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011. Woodhead Publishing in mechanical engineering. ISBN 978-0-85709-099-7.
- 3) Katalogy a aplikační návody výrobců nástrojů

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Pitrmuc, ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

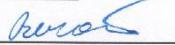
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


Ing. Zdeněk Pitrmuc
podpis vedoucí(ho) práce


Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

23.6.2020

Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Hluboké vrtání“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Pitrmuce. Použil jsem literaturu, kterou jsem uvedl v seznamu použité literatury na konci méj bakalářské práce.

V Praze 31.7.2020

Martin Buršík

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Zdeňku Pitrmucovi za vedení mé bakalářské práce.

Dále děkuji své rodině za psychickou podporu při tvorbě práce a také svým přátelům za materiální podporu.

Anotační list

Jméno autora:	Martin Buršík
Název BP:	Hluboké vrtání
Anglický název:	Deep hole drilling
Rok:	2020
Studijní program:	B2342 Teoretický základ strojního inženýrství
Obor studia:	2301R000 Studijní program je bezoborový
Ústav:	Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie
Vedoucí BP:	Ing. Zdeněk Pitrmuc
Bibliografické údaje:	Počet stran: 62 Počet obrázku: 56 Počet tabulek: 3 Počet grafů: 3 Počet příloh: 0
Klíčová slova:	vrtání, hluboké vrtání, dělové vrtání, nástrojové materiály, materiál vrtáků, trh vrtáků, upínání vrtáků, stroje pro hluboké vrtání
Keywords:	drilling, deep hole drilling, gun drilling, tool materials, material of drills, market of drills, clamping of drills, deep hole drilling machines
Anotace:	Tato bakalářská práce se zaměřuje na problematiku vrtání, konkrétně vrtání hlubokých děr. Zabývá se hlubokým vrtáním dělovými a dvoubřítými vrtáky. Dále pojednává o nástrojových materiálech, přesněji se zaměřuje na materiály pro výrobu vrtáků. Informuje o možnostech upínání vrtáků. Nabízí přehled strojů pro hluboké vrtání. Prozkoumává trh výrobců vrtáků pro hluboké vrtání. Navrhuje vrtací technologii pro vrtání součást z nástrojové oceli 1.2709.
Abstract:	This Bachelor's thesis deals with drilling, especially deep hole drilling. Special focus is put on gun drills and twist drills. The work also discusses tool materials, particularly drill bit materials, and provides an overview of clamping mechanisms for drills. It includes a list of deep hole drilling machines and explores the market of deep drilling tool manufacturers. Finally, it suggests one of the drilling technologies suitable for drilling into tool steel 1.2709.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	7
1. Úvod	10
2. Vrtání.....	11
2.1. Operace vrtání.....	11
2.2. Kinematika a parametry vrtání.....	12
2.3. Jednotkový strojní čas při vrtání.....	15
2.4. Hlavní části šroubovitého vrtáku	16
2.5. Geometrie šroubovitého vrtáku	17
3. Vrtání hlubokých děr	18
3.1. Vrtání dělovými vrtáky.....	20
3.1.1. Popis částí dělového vrtáku	21
3.1.2. Typy hlav dělového vrtáku	22
3.1.3. Vrtání dělovým vrtákem.....	23
3.1.4. Vlastnosti vyrobeného otvoru	24
3.2. Vrtání dvoubřitými šroubovitými vrtáky	26
3.2.1. Rozměry dvoubřítých vrtáků	26
3.2.2. Navrtávání vodicích děr a postup vrtání.....	26
3.2.2.1. Vrtáky z HSS.....	27
3.2.2.2. Karbidové vrtáky.....	28
3.2.3. Vlastnosti zhotoveného otvoru.....	30
3.3. Porovnání produktivity vrtání a přímosti díry	30
4. Nástrojové materiály	31
4.1. Rozdělení řezných materiálů podle ISO.....	33
4.2. Nástrojové materiály pro výrobu vrtáků	34
4.2.1. Rychlořezná ocel (RO)	34
4.2.2. Slinuté karbidy (SK).....	35
5. Upínání vrtáků	37
5.1. Sklíčidla	37
5.2. Kleštinové upnutí.....	38
5.3. Hydraulické upínače	38
5.4. Upínače typu Weldon	39
5.5. Tepelné upínače	39
5.6. Morse kužel.....	39
6. Stroje pro hluboké vrtání.....	40
6.1. Jednoučelové stroje	40
6.2. Universální stroje.....	40
6.2.1. Horizontální stroje	41
6.2.2. Vertikální stroje	41
7. Průzkum trhu výrobců nástrojů pro hluboké vrtání.....	42
7.1. Dvoubřité vrtáky.....	42
7.1.1. Walter	42
7.1.1.1. Vrtáky z HSS.....	42
7.1.1.2. Vrtáky z SK s TSC.....	43
7.1.2. WNT	44
7.1.2.1. Vrtáky z HSS.....	44
7.1.2.2. Vrtáky z TK s TSC.....	44



7.1.3. Gühring	45
7.1.3.1. Vrtáky z HSS.....	45
7.1.3.2. Karbidové vrtáky s TSC.....	46
7.1.4. Kennametal	47
7.1.4.1. Karbidové vrtáky s TSC.....	47
7.2. Dělové vrtáky	48
7.2.1. Gühring	48
7.2.2. Iscar.....	50
7.2.3. Sandvik.....	51
8. Návrh technologie vrtání na určenou součást	52
8.1. Vrtání hlubokého otvoru vrtákem z HSS	52
8.1.1. Volba vrtáku a řezných parametrů pro hlubokou díru	52
8.1.1.1. Parametry vrtáku	52
8.1.1.2. Řezné parametry	53
8.1.2. Volba vrtáku pro vodící díru	53
8.1.2.1. Parametry vrtáku	53
8.1.2.2. Řezné parametry	53
8.1.3. Postup vrtání díry	54
8.2. Vrtání hlubokého otvoru vrtákem z SK s TSC.....	54
8.2.1. Volba vrtáku a řezných parametrů pro hlubokou díru	55
8.2.1.1. Parametry vrtáku	55
8.2.1.2. Řezné parametry	55
8.2.2. Volba vrtáku pro vodící díru	55
8.2.2.1. Parametry vrtáku	56
8.2.2.2. Řezné parametry	56
8.2.3. Postup vrtání díry	57
9. Závěr.....	58
10. Seznam použitých zdrojů.....	59
Seznam obrázků	61
Seznam tabulek	62
Seznam grafů.....	62

Seznam použitých symbolů a zkratek

Zkratka/symbol	Jednotka	Popis
L	[mm]	délka vrtání díry
D	[mm]	průměr díry
n	[min ⁻¹]	rychlost rotace
v _c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
v _f	[mm.min ⁻¹]	rychlost posuvu
f	[mm]	posuv na otáčku
f _z	[mm]	posuv na zub
z	[1]	počet zubů nástroje
v _e	[mm.min ⁻¹]	výsledná rychlost řezného pohybu
a _p	[mm]	šířka záběru ostří
A _D	[mm ²]	průřez třísky
b _D	[mm]	jmenovitá šířka třísky
h _D	[mm]	(jmenovitá) tloušťka třísky
K _r	[°]	úhel nastavení hlavního ostří
t _{AS}	[min]	jednotkový strojní čas
l _n	[mm]	délka náběhu
l	[mm]	délka vrtaného otvoru
l _p	[mm]	délka přeběhu vrtáku
ε _r	[°]	úhel špičky
K _r '	[°]	úhel nastavení vedlejšího ostří
α ₀	[°]	úhel hřbetu
β ₀	[°]	úhel břitu
γ ₀	[°]	úhel čela
D _c	[mm]	průměr vrtáku
l _c	[mm]	délka unašeče
l _m	[mm]	hloubka díry
dm _n	[mm]	průměr unašeče
l ₂	[mm]	celková délka s unašečem nebo bez něj
l ₂₁	[mm]	přídavek na přeastřování
l ₂₆	[mm]	minimální vzdálenost pro odvod třísky
Ra	[μm]	střední aritmetická úchylka drsnosti povrchu
L _c	[mm]	maximální délka vrtání
l ₁	[mm]	celková délka vrtáku
l ₂	[mm]	délka šroubovice
l ₅	[mm]	délka stopky

d ₁	[mm]	průměr stopky
L _H	[mm]	hloubka vodícího otvoru
NR		nástrojová rovina
Ps		nástrojová rovina hlavního ostří
Pf		nástrojová rovina boční
Pp		nástrojová rovina zadní
Po		nástrojová rovina ortogonální
Pr		nástrojová rovina základní
STS		single tube system
NC		numerically controlled = číslicově řízené
TSC		vnitřní chlazení
IT		stupeň přesnosti tolerance
RO		rychlořezná ocel
HSS		high speed steel = rychlořezná ocel
VBD		vyměnitelná břitová destička
SK		slinutý karbid
WTL		plochý typ profilu šroubovitě drážky
UNI		běžný typ profilu šroubovitě drážky
Al ₂ O ₃		oxid hlinitý
Si ₃ N ₄		nitrid křemíku
PD		polykrystalický diamant
PKNB		polykrystalický kubický nitrid boru
ISO		International Organization for Standardization = mezinárodní organizace pro normalizaci
Cr		chrom
Mo		molybden
V		vanad
Co		kobalt
TiN		nitrid titanu
WC		karbid wolframu
TiC		karbid titanu
TaC		karbid tantalu
TiCN		karbonitrid titanu
HSCO		ocel s vyšším obsahem kobaltu
HSS-E		rychlořezná s obsahem kobaltu 5-10 %
HSS-PM		rychlořezná ocel vyrobená práškovou metalurgií
PVD		physical vapour deposition = nanášení odpařením z pevné fáze



CVD	chemical vapour deposition = chemická depozice vrstev
PACVD	plasma assisted chemical vapor deposition = chemická depozice vrstev za asistence plazmatu
MTCVD	medium temperature chemical vapor deposition = chemická depozice vrstev při středně vysokých teplotách
TK	tvrdokov

1. Úvod

Existuje mnoho metod pro obrábění různých geometrických tvarů a součástí. Tyto součásti se často opracovávají obráběcími metodami, které nazýváme třískovým obráběním. Při třískovém obrábění dochází k opracování součástí pomocí nástroje, který tvoří třísku a dochází tím k úběru materiálu. Tímto procesem docílíme požadovaného rozměru a tvaru součástí.

Rozlišujeme základní metody třískového obrábění dle určitých hledisek. Na obrábění můžeme pohlížet jako na proces, kde hraje roli druh provedení opracování – ruční a strojní. Ruční metodou obrábění jsou například: hoblování, řezání, loupání, pilování atd. Strojní metody obrábění můžeme rozdělit podle základních charakteristických rysů:

- **Definovaná geometrie nástroje** – frézování, soustružení, vrtání, vyvrtávání, hoblování, obrázení, protahování, protlačování atd.
- **Nedefinovaná geometrie nástroje** (dokončovací metody obrábění) – broušení, honování, lapování, ševingování, superfinišování.
- **Nekonvenční metody třískového obrábění** – elektroerozivní, elektrochemické, laser, ultrazvuk, vodní paprsek, elektronový paprsek atd.
- **Speciální úpravy obrobených ploch** – válečkování, hlazení, brokování atd.

[1]

2. Vrtání

Vrtání je jednou z výrobních technologií sloužících pro vytváření převážně válcovitých slepých nebo průchozích děr (vyvrtávání) do materiálu za použití řezných nástrojů (vrtáků). Jedná se o jednu z metod třískového obrábění. K vrtání se úzce vážou i další operace s ním spojené nebo na něj přímo navazující. Bavíme se především o: vystružování, vyhrubování, vyvrtávání, zahlubování atd.

Jako nástroj při vrtání se používá vrták. Stroj je nejčastěji vrtačka, ovšem vrtá se i na ostatních strojích – například na soustruhu, obráběcích centrech atd. [2]

2.1. Operace vrtání

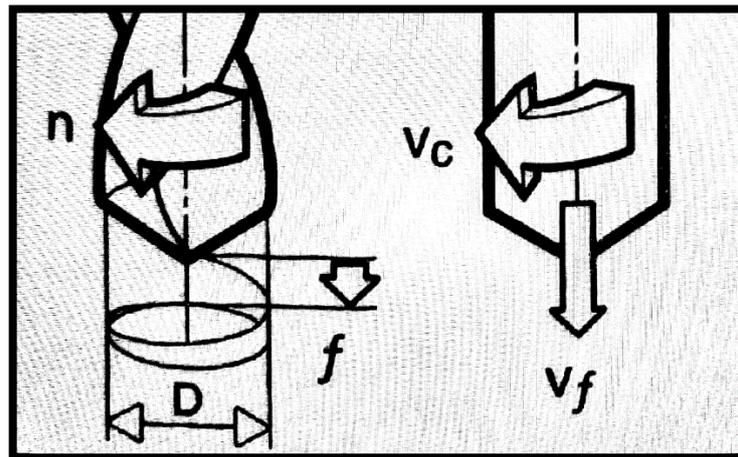
V porovnání vrtání oproti jiným obráběcím operacím (například frézování a soustružení) je kladen velký důraz na utváření třísky a její následný odvod z místa řezu. Při všeobecném pohledu na vrtání krátkých a dlouhých děr lze tedy říci, že při zhotovování krátkých děr, které se ve výrobním průmyslu vyskytují nejčastěji, je cílem zvýšit hospodárnost procesu a je tedy snaha o minimalizaci množství odebíraného materiálu. Zatímco u dlouhých děr jsou často kladeny vyšší nároky na kvalitu obrábění.

Základem pro určování technologických postupů u vrtání krátkých a dlouhých děr jsou tyto parametry – objem odebíraného materiálu, jakost obrobeného otvoru a odvodu třísky.

U vrtání krátkých otvorů je relativně malý poměr délky vrtané díry (L) a průměru vrtáku (D). Pro průměry otvorů do 30 mm se uvádí délka vrtané díry maximálně 5-6násobek průměru otvoru (označení: 5-6xD). U průměrů otvorů nad 30 mm je délka díry do 2,5xD. [2]

2.2. Kinematika a parametry vrtání

Při vrtání je zapotřebí dvou pohybů, a to hlavního rotačního a přímočarého posuvného. Hlavní pohyb zde koná nástroj – rotační. Jen v ojedinělých případech koná hlavní pohyb obrobek – například při vrtání na soustruhu. Vedlejší pohyb koná také nástroj – přímočarý posuvný a je konán ve směru osy nástroje. [2]



Obr. 2. 1 Základní kinematika při vrtání [2]

Rychlost rotace n , která odpovídá hlavnímu pohybu a uvádí se v počtu otáček za minutu.

Dalším důležitým parametrem při vrtání je řezná rychlost v_c . Charakteristickou vlastností vrtáků je, že se řezná rychlost zvyšuje od středu nástroje k jeho obvodu, tudíž je na jeho největším průměru nejvyšší. Řezná rychlost, která odpovídá obvodové rychlosti na největším průměru ostří nástroje, se dá jednoduše vypočítat. A to pomocí hodnoty otáček a průměru nástroje D .

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [m \cdot \min^{-1}] \quad (2.1)$$

Posuvová rychlost v_f . Vyjadřuje posuv nástroje oproti obrobku, resp. posuv obrobku vůči nástroji. Hodnota je uvedena jako délka dráhy za minutu.

$$v_f = f \cdot n [mm \cdot \min^{-1}] \quad (2.2)$$

Posuv na otáčku f . Představuje posuv nástroje na jednu otáčku. Udává se v milimetrech.

Posuv na zub f_z . Udává se v milimetrech. Vyjádří se jako posuv na počet zubů nástroje z .

$$f_z = \frac{f}{z} [mm] \quad (2.3)$$

Výsledná rychlost řezného pohybu v_e . Vypočítá se jako vektorový součet řezné rychlosti a posuvové rychlosti.

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} [mm \cdot min^{-1}] \quad (2.4)$$

Šířka záběru ostří a_p .

- Při vrtání do plného materiálu,

$$a_p = \frac{D}{2} [mm] \quad (2.5)$$

- při vrtání do předpřipravené díry.

$$a_p = \frac{D - d}{2} [mm] \quad (2.6)$$

Průřez třísky A_D . U výpočtu průřezu třísky používáme určité parametry (šířka třísky, tloušťka třísky atd.)

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f}{2} [mm^2] \quad (2.7)$$

Jmenovitá šířka třísky b_D .

- Při vrtání do plného materiálu,

$$b_D = \frac{D}{2 \cdot \sin \kappa_r} \text{ [mm]} \quad (2.8)$$

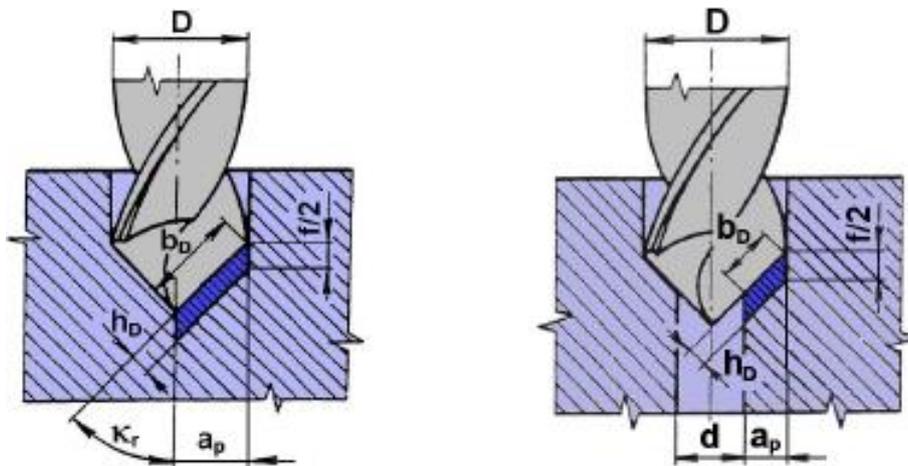
- při vrtání do předpřipravené díry.

$$b_D = \frac{D - d}{2 \cdot \sin \kappa_r} \text{ [mm]} \quad (2.9)$$

Jmenovitá tloušťka třísky h_D .

$$h_D = \frac{f}{2} \cdot \sin \kappa_r \text{ [mm]} \quad (2.10)$$

Úhel nastavení hlavního ostří κ_r . [1] [2]



Obr. 2. 2 Průřez třísky při vrtání a vyvrtávání [1]

2.3. Jednotkový strojní čas při vrtání

Při vrtání průchozí díry lze daným vztahem vypočítat jednotkový strojní čas t_{AS} :

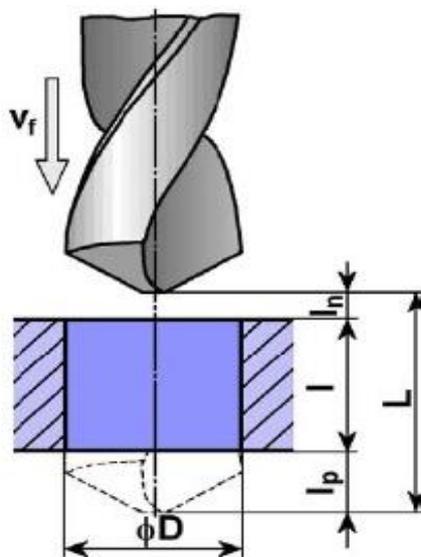
$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \quad [min] \quad (2.11)$$

- l_n – délka náběhu,
- l – délka vrtaného otvoru,
- l_p – délka přeběhu vrtáku,
- n – otáčky vrtáku,
- f – posuv na otáčku,
- v_f – řezná rychlost,
- L – délka dráhy nástroje.

Jsou dány přibližné hodnoty délek náběhů a přeběhů standardního vrtáku s úhlem špičky vrtáku 118° . [3]

$$l_p = 0,3 \cdot D + (0,5 \div 1) \quad [mm] \quad (2.12)$$

$$l_n = (0,5 \div 1) \quad [mm] \quad (2.13)$$

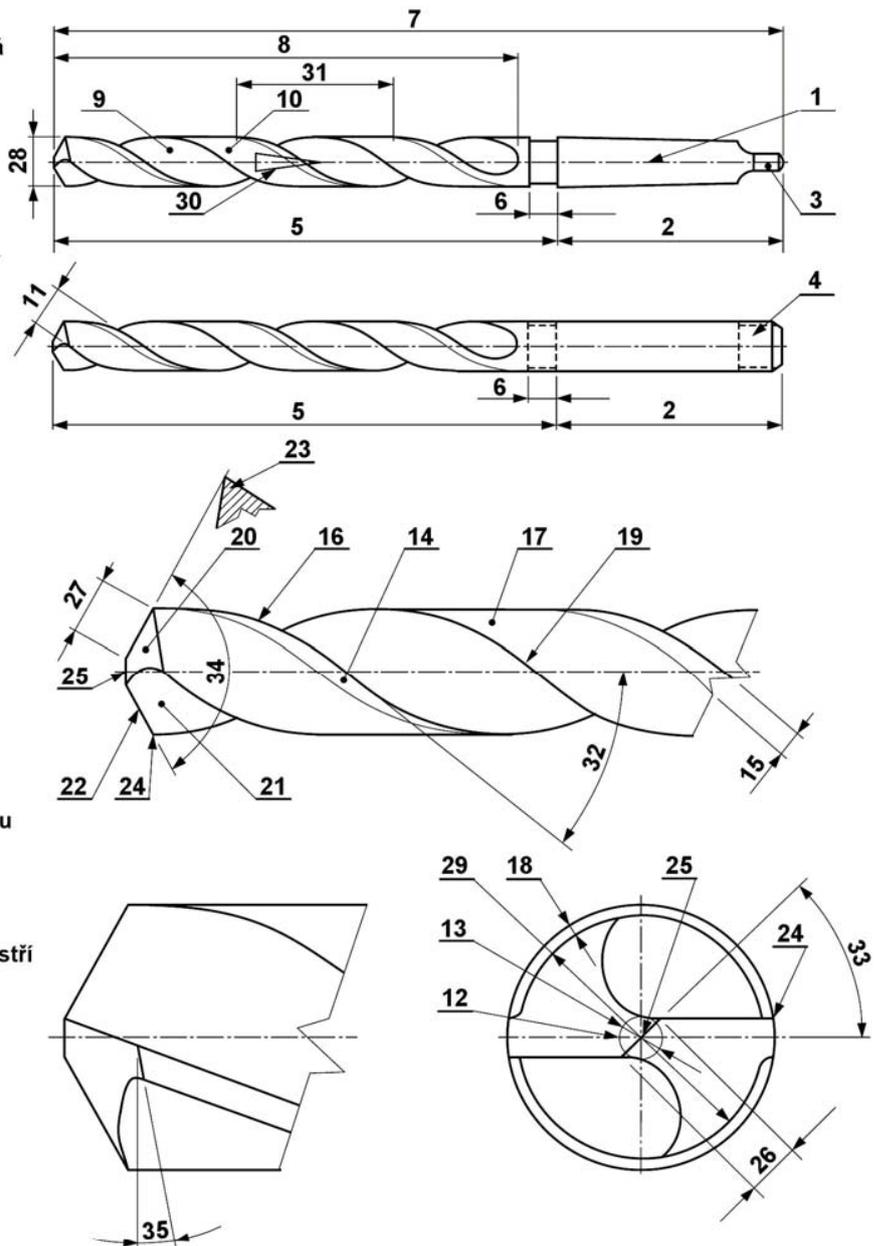


Obr. 2. 3 Jednotkový strojní čas při vrtání [3]

2.4. Hlavní části šroubovitého vrtáku

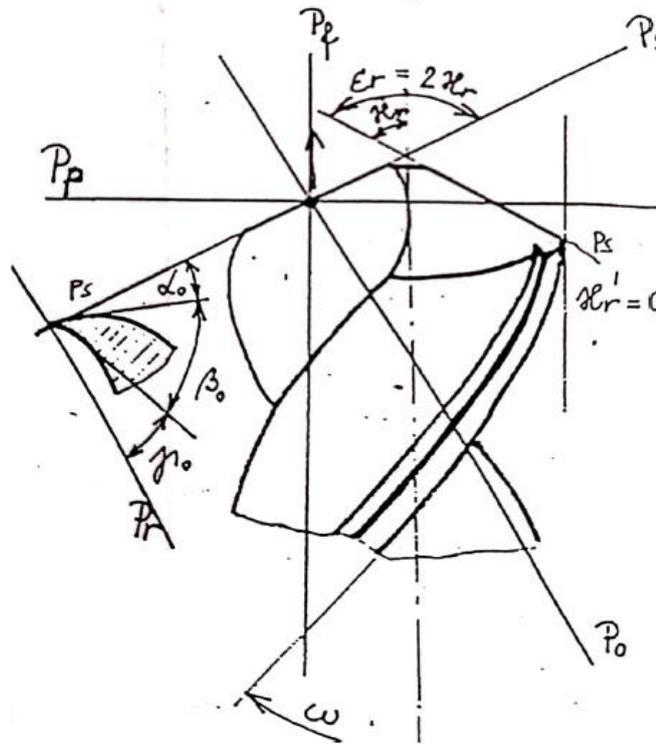
Šroubovitý dvoubřitý vrták je nejčastějším nástrojem pro vrtání děr. Celková délka vrtáku je dána délkou těla (5) a délkou stopky (2). Stopka vrtáku je válcová nebo kuželová (Morse kužel) a slouží pro upnutí vrtáku do vřetena. Na těle vrtáku jsou zhotoveny dvě šroubovitě drážky (9) pro odvod třísky z místa řezu. Hlavní ostří vrtáku (22) jsou spojena příčným ostřím (25). Fazetka (14) je nezbytnou součástí vrtáku, slouží k jeho vedení v díře při vrtání otvoru. [3]

- 1 - osa
- 2 - stopka (kuželová, hladká válcová, hladká válcová 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. 2. 4 Části šroubovitého vrtáku [3]

2.5. Geometrie šroubovitého vrtáku



Obr. 2. 5 Geometrie šroubovitého vrtáku [30]

Nástrojové roviny (NR):

Ps – NR hlavního ostří,

Pf – NR boční,

Pp – NR zadní,

Po – NR ortogonální,

Pr –NR základní.

Úhly:

ε_r – úhel špičky,

κ_r – úhel nastavení hlavního ostří,

κ_r' – úhel nastavení vedlejšího ostří,

α_0 – úhel hřbetu,

β_0 – úhel břitu,

γ_0 – úhel čela.

$$\alpha_0 + \beta_0 + \gamma_0 = 90^\circ \quad (2.14)$$

3. Vrtání hlubokých děr

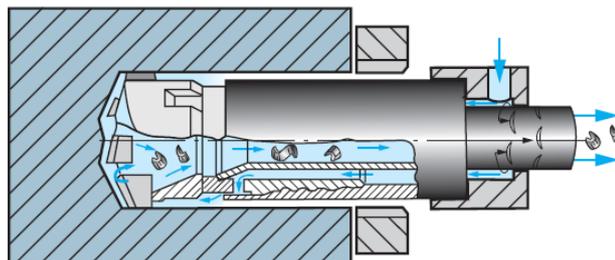
Pojem hluboké vrtání závisí na poměru hloubky vrtaného otvoru a jeho průměru (L/D). Do hlubokého vrtání lze zařadit díry, které jsou hlubší než desetinásobek průměru vrtaného otvoru (označení: $10xD$). Při vrtání je požadavek na dobré dělení třísky, aby tříska byla členěna a lépe se odváděla z místa řezu.

Při vrtání je snaha o vysokou kvalitu vyrobené díry. Přímost děr lze ovlivnit kinematikou obrobku a vrtáku. Nejlepší přímosti díry dosáhneme při protisměrné rotaci vrtáku a obrobku. Horší přímosti docílíme při rotaci pouze obrobku. Nejhorší přímosti díry dosáhneme při rotaci pouze nástroje. Přímost děr ještě závisí na délce vrtané díry a průměru otvoru. Při vrtání hlubokých děr lze zlepšit přímost například použitím opěrných podpěr a pouzder. Při hlubokém vrtání je také snaha o minimální přesazení os vrtané díry a vrtáku (dovoluje se max 0,02 mm). Rozlišují se 3 základní způsoby hlubokého vrtání do plného materiálu podle rozměrů vrtané díry.

Při vrtání děr větších průměrů (cca 20 mm a více) se používají další 2 hlavní technologie. Ejektorový systém vrtání a systém STS. [4]

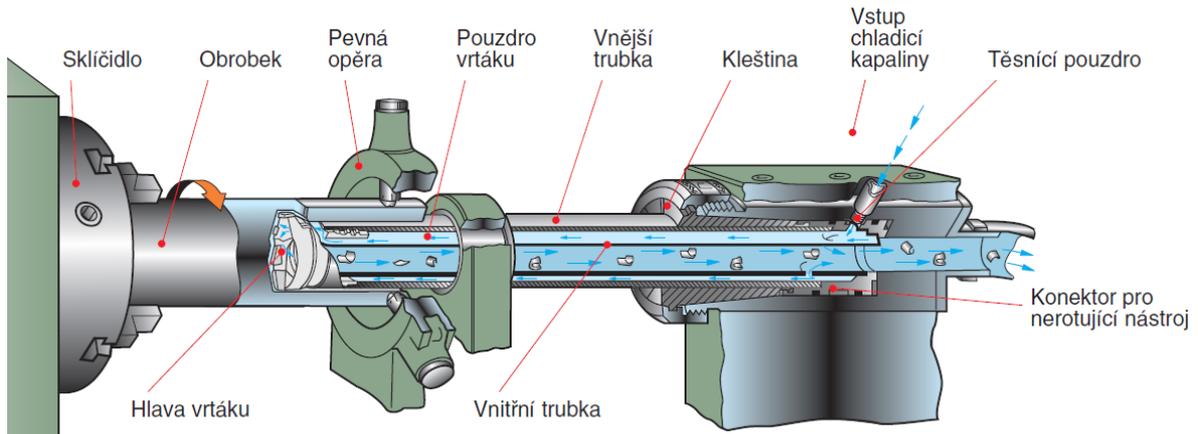
Ejektorový systém

Vrtání ejektorovým systémem se používá pro snadno obrobitelné materiály. Uplatní se hlavně v automobilové výrobě při vrtání bloků motorů, hydraulických válců, také při výrobě hlavní zbraní atd. Použití především pro menší výrobní série.



Obr. 3. 1 Ejektorové vrtání – základní schéma [4]

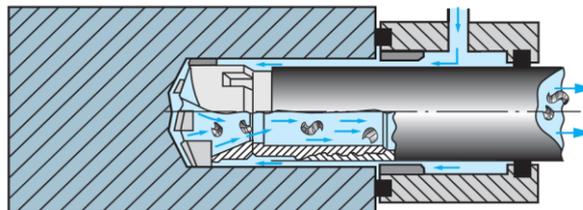
Při ejektorovém vrtání lze buď navrtat vodící díru pro následné vrtání ejektorem, nebo použít vrtací vodící pouzdro. Výhodou první metody je, že je možné vrtat na NC soustruzích, obráběcích centrech a horizontálních vyvrtávačkách. Výhodou oproti STS systému je, že při vrtání nemusí být těsnění mezi obráběnou součástí a vrtacím pouzdem. [4]



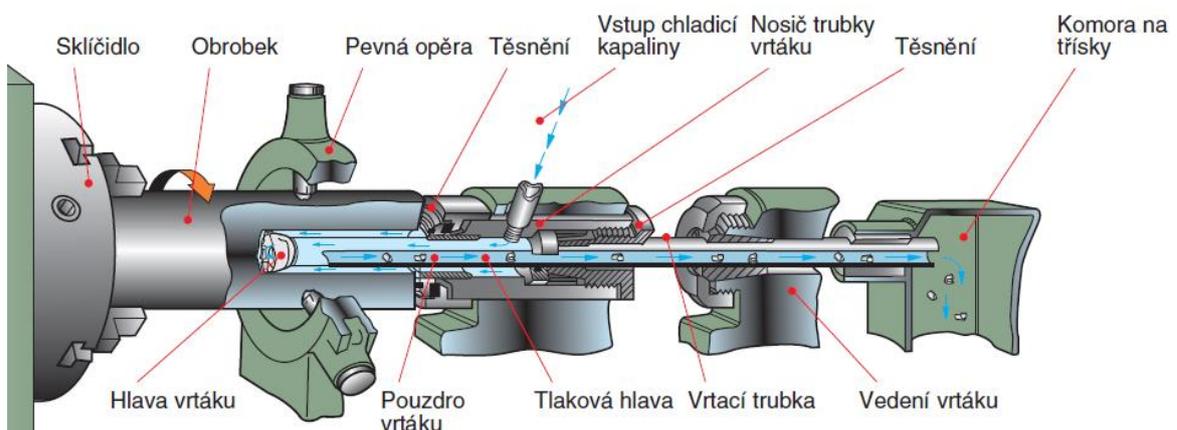
Obr. 3. 2 Ejektorové vrtání – popis komponent [4]

Systém STS

Vrtáním systémem STS se obrábí nízkouhlíkové a korozivzdorné oceli. Uplatní se při vrtání dlouhých součástí a velkých průměrů děr. Používá se pro materiály s nerovnoměrnou strukturou nebo pro materiály se špatnou tvorbou třísky. Tato metoda se používá pro velkosériovou výrobu. Pro výrobu bloků motorů, chladičů, chladicích kanálů forem (křížení děr) atd. Používají se speciální hlubokovrtací stroje. Oproti dělovému vrtání je systém STS až šestinásobně produktivnější. Je zapotřebí těsnění, kvůli přívodu chladicí kapaliny.



Obr. 3. 3 STS systém – základní schéma [4]

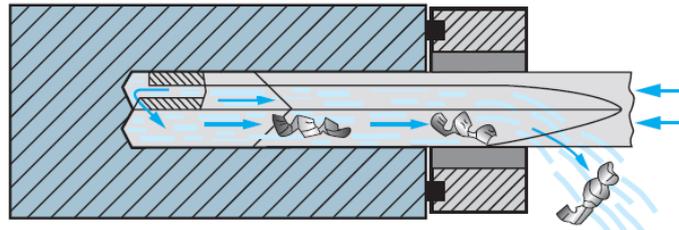


Obr. 3. 4 Ejektorové vrtání – popis komponent [4]

Pro hluboké díry malých průměrů (cca 1-50 mm) se používá technologie xD vrtání. Při tomto vrtání se používají dvoubřité šroubovitě nebo dělové vrtáky. [4]

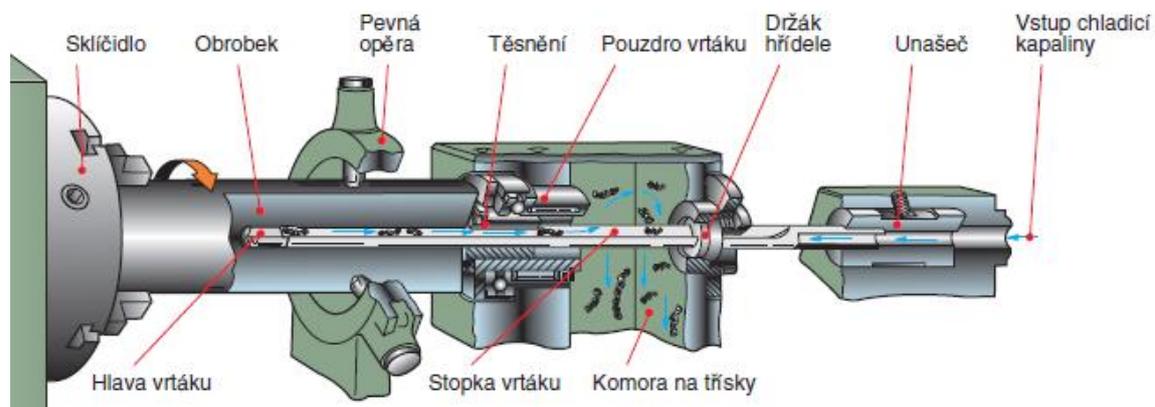
3.1. Vrtání dělovými vrtáky

Dělové vrtáky se používají na různé druhy materiálů, především ale pro tvrdé materiály a pro materiály se špatnou tvorbou třísky. Dělové vrtání se používá hlavně pro malé průměry děr dlouhých délek. Vrtají se hloubky děr až 200xD.



Obr. 3. 5 Dělové vrtání – základní schéma [4]

Podobně jako u ejektorového systému lze obrábět na obráběcích centrech, ovšem s navrtáním vodícího otvoru. Také je možnost vrtat bez vodícího otvoru na speciálních hlubokovrtacích strojích, kde je podmínkou použít vodící příslušenství. Při vrtání otvorů velkých délek výrobci doporučují podepřít opěrkami vrták i obrobek.



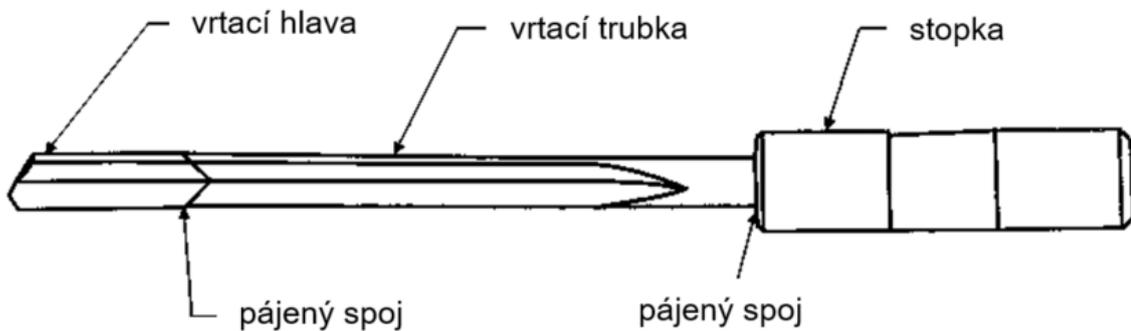
Obr. 3. 6 Dělové vrtání – popis komponent [4]

Je použito těsnění mezi obrobkem a vrtacím pouzdrům a také mezi vrtákem a koncem komory na třísky. Dělový vrták má uvnitř kanál pro přívod chladicí kapaliny pod vysokým tlakem. Kapalina chladí špičku vrtáku a místo řezu. Vrták má na svém povrchu zhotovenou drážku tvaru V, kudy jsou třísky odváděny z místa řezu chladicí kapalinou. Správná filtrace chladicí kapaliny a třísek zaručuje zvýšení trvanlivosti bříty a životnosti nástroje. [4]

3.1.1. Popis částí dělového vrtáku

Základními částmi dělového vrtáku jsou:

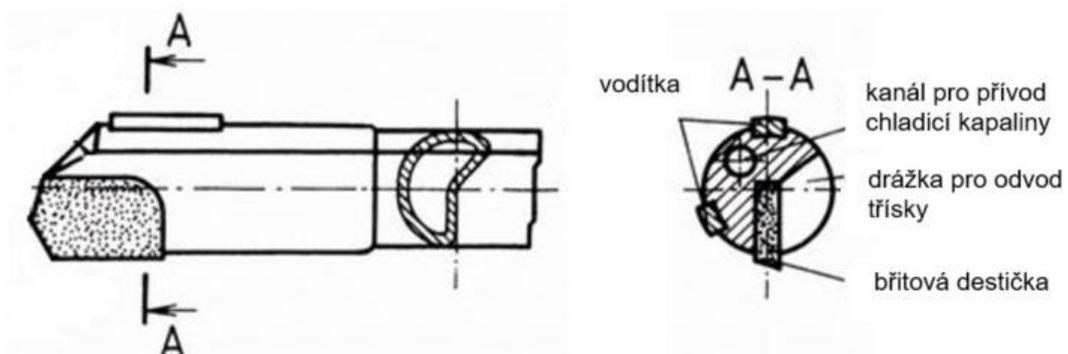
- Vrtací hlava – nejčastěji karbidová, která se pájí k vrtací trubce.
- Vrtací trubka – nejdelší část dělového vrtáku, pájí se ke stopce a je karbidová nebo ocelová.
- Stopka vrtáku – slouží k upnutí vrtáku a je na ní začátek kanálu pro chladicí kapalinu a je buď karbidová, nebo ocelová. [4] [5]



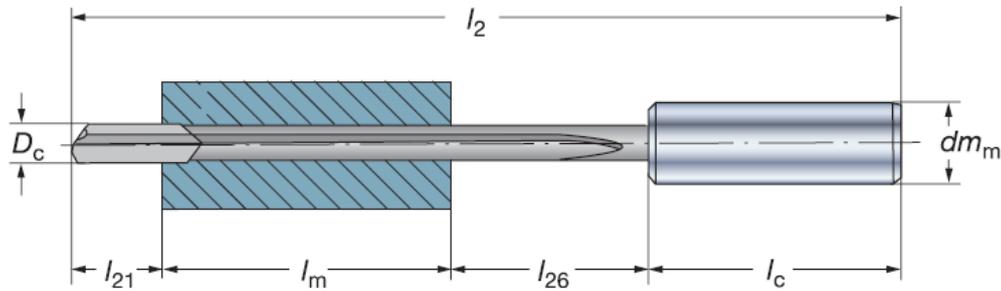
Obr. 3. 7 Hlavní části dělového vrtáku [5]

Části hlavy dělového vrtáku jsou:

- vodítka – slouží pro ustálené vedení vrtáku v díře;
- břit – slouží k tvorbě třísky;
- drážka pro odvod třísky – musí být dostatečně velká, aby tříška mohla být bezproblémově odváděna z místa řezu;
- kanál pro chladicí kapalinu – pro přívod chladicí kapaliny do místa řezu. [6]



Obr. 3. 8 Hlava dělového vrtáku [6]



Obr. 3. 9 Rozměry dělového vrtáku [4]

Popis rozměrů dělového vrtáku:

D_c – průměr vrtáku,

l_c – délka unašeče,

l_m – hloubka díry,

d_{m_n} – průměr unašeče,

l_2 – celková délka s unašečem nebo bez něj,

l_{21} – přídavek na přeostřování,

l_{26} – minimální vzdálenost pro odvod třísek. [4]

3.1.2. Typy hlav dělového vrtáku

Zhotovení hlavy dělového vrtáku je možné v několika verzích.



Obr. 3. 10 Typy hlav dělového vrtáku [7]

Tvary hlav dělových vrtáků a jejich použití k obrábění materiálů:

A: hliníkové slitiny a litiny, přerušované řezy, křížící se díry;

B: hliníkové slitiny a litiny, vysoká přesnost tolerance díry;

C: nerezové oceli a slitiny, na nerovné plochy na začátku nebo konci díry;

D: pouze pro litiny, především šedá litina;

E: hlavně pro nerezové oceli a slitiny, na výkovky (klikové hřídele), dobrá přímost zhotovené díry;

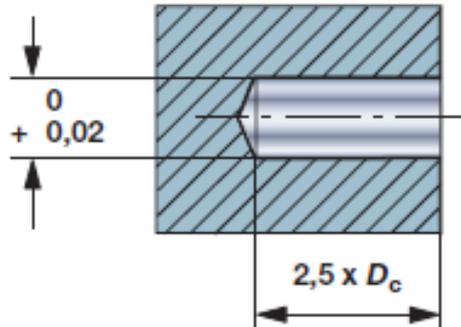
G: tento tvar má univerzální použití pro většinu materiálů;

H: pro neželezné kovy a litiny;

I: hliník a mosaz, pro křížící se díry, přerušované řezy. [7]

3.1.3. Vrtání dělovým vrtákem

Předvrtání vodící díry se používá při vrtání dělovými vrtáky na obráběcích centrech.



Obr. 3. 11 Rozměry vodící díry – dělové vrtání [4]

Postup vrtání díry:

1) Předvrtání vodícího otvoru

Otvor se předvrtává vrtákem určeným přímo na navrtávání vodících děr, nejčastěji je karbidový s vnitřním chlazením (s TSC). Tolerance vodící díry musí mít nulovou nebo kladnou rozměrovou úchylku (max. 0,02 mm), to přibližně odpovídá toleranci díry H7. Hloubka vodícího otvoru je alespoň 2,5xD.

2) Ustavení vrtáku do předvrtané díry

Jsou vypnuté otáčky vrtáku. Přívod chladicí kapaliny je zapnutý. Vrták se zavede do předvrtané díry. Nebo výrobce Iscar doporučuje zavedení vrtáku do díry při protisměrném otáčení vrtáku, než je otáčení při vrtání.

3) Vrtání díry

Zapnou se otáčky vrtáku a zapne se posuv vrtáku do řezu. Vrtá se nepřerušovaným řezem celá hloubka díry.

4) Konec vrtacího procesu

Po zhotovení díry se vrták rychlým pohybem vrátí do pozice před začátkem vrtání (před krok vrtání díry). Vypnou se otáčky a přívod chladicí kapaliny. Poté se vysune vrták z díry. [7]

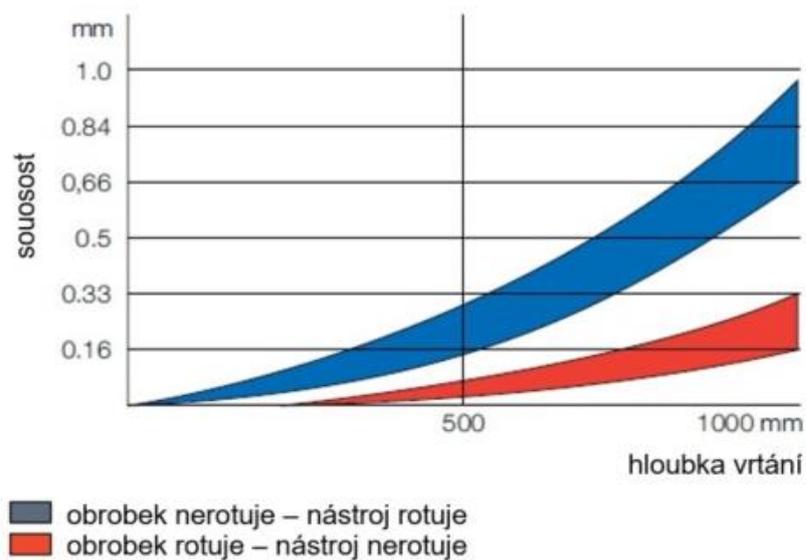
3.1.4. Vlastnosti vyrobeného otvoru

Vlastnosti díry při dělovém vrtání jsou velice dobré. Kruhovitost díry při dělovém vrtání je oproti vrtání šroubovitými vrtáky značně vyšší.

Vlastnosti vyrobeného otvoru jsou ovlivněny: hloubkou vrtaného otvoru a jeho průměrem, reznými parametry, obráběným materiálem apod. [7]

Porovnání souososti

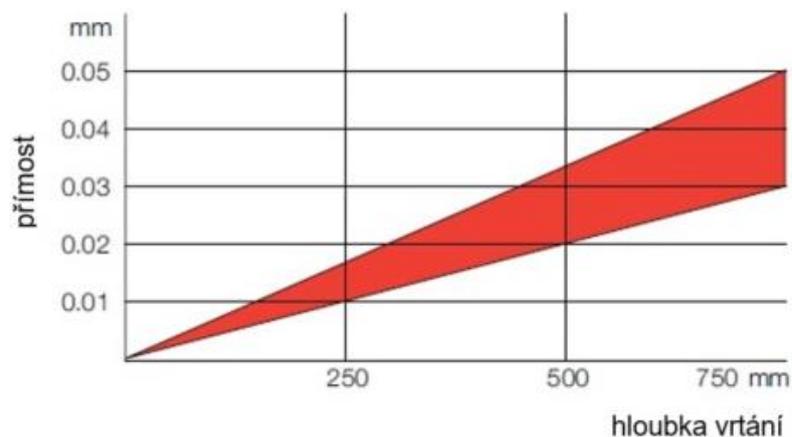
Souosost při dělovém vrtání je ovlivněna hlavně kinematikou vrtáku nebo obrobku při vrtání a délkou vrtané díry. [7]



Graf 1 Závislost souososti na hloubce dělového vrtání [7]

Přímost díry

Přímost díry je ovlivněna délkou vrtané díry. Pro zlepšení je možné použít opěrné příslušenství. [7]

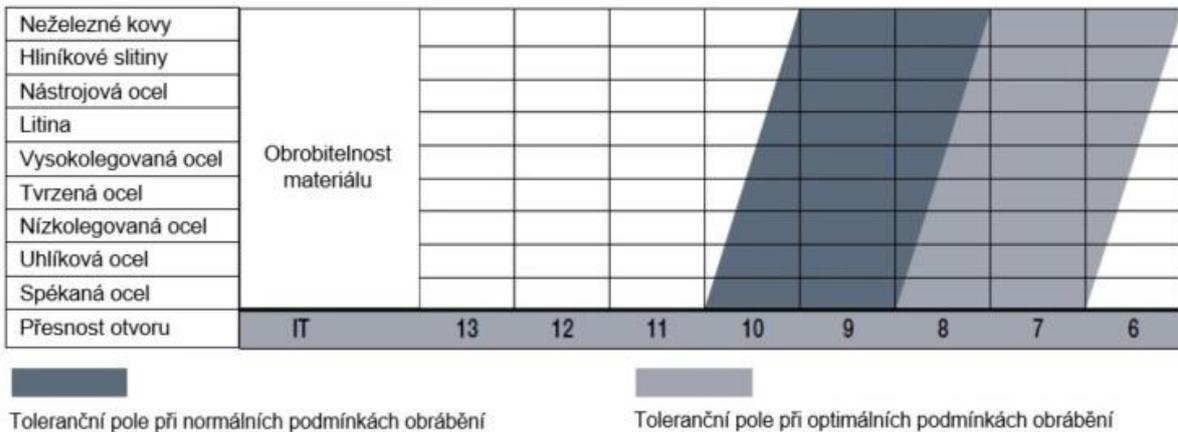


Graf 2 Závislost přímosti díry na hloubce dělového vrtání [7]

Tolerance zhotovené díry

Toleranci zhotoveného otvoru ovlivňují řezné podmínky obrábění a ty jsou předepsány výrobcem vrtáku. Při optimálních řezných podmínkách je možné dosáhnout vyšší přesnosti otvoru, a to o 1-2 stupně přesnosti tolerančního pole (IT) než u doporučených řezných podmínek. [7]

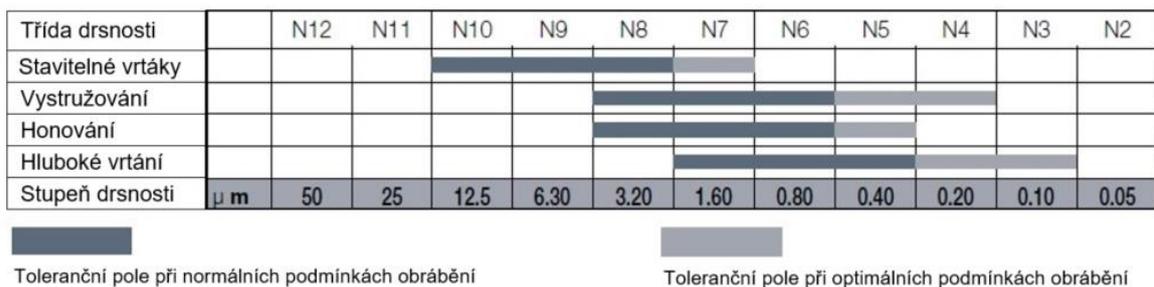
Tab. 1 Tolerance zhotoveného otvoru při dělovém vrtání [7]



Kvalita drsnosti povrchu díry

Hodnota stupně drsnosti povrchu (R_a) díry může dosáhnout až $0,2 \mu m$ za normálních podmínek obrábění. [7]

Tab. 2 Drsnost povrchu díry při dělovém vrtání [7]



3.2. Vrtání dvoubřítými šroubovitými vrtáky

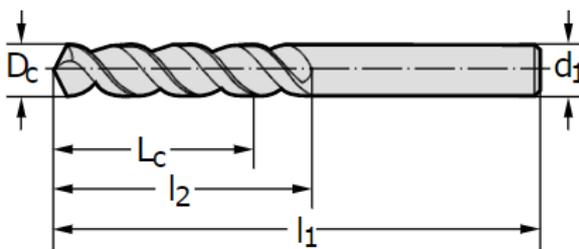
Dvoubřité šroubovitě vrtáky pro vrtání hlubokých otvorů se zhotovují z rychlořezné oceli (RO nebo HSS), z karbidů nebo je možnost použití vrtáků s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů (VBD z SK). V této kapitole se zaměřím na hluboké vrtání karbidovými vrtáky a na vrtáky z HSS.

Hluboké díry je možné vrtat s navrtáním vodicího otvoru nebo bez navrtání, ovšem jen při hloubce vrtání do $12xD$ (dle některých výrobců do $16xD$). [8]

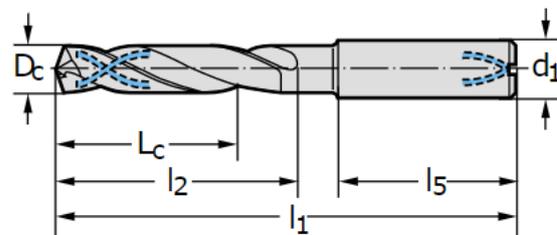
3.2.1. Rozměry dvoubřítých vrtáků

Základní rozměry dvoubřítých šroubovitých vrtáků z HSS a karbidových vrtáků.

[9]



Obr. 3. 13 Rozměry vrtáků z HSS [9]



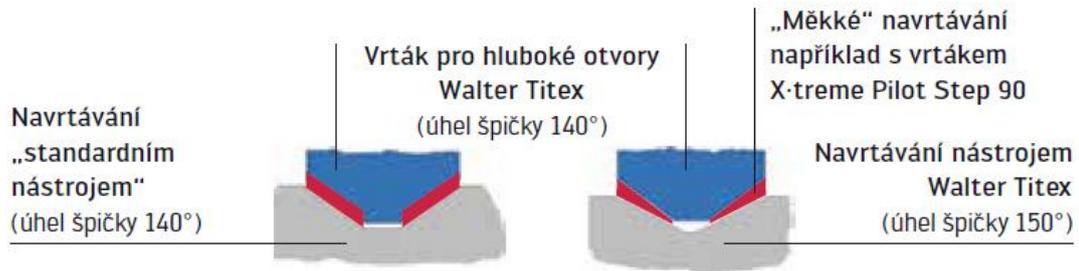
Obr. 3. 12 Rozměry vrtáků z SK s TSC [9]

Popis rozměrů dvoubřítých vrtáků:

- D_c – průměr vrtáku,
- L_c – maximální délka vrtání,
- l_1 – celková délka vrtáku,
- l_2 – délka šroubovice,
- l_5 – délka stopky,
- d_1 – průměr stopky.

3.2.2. Navrtávání vodicích děr a postup vrtání

Pro navrtávání vodicích děr platí daná technologická pravidla. Používají se navrtávky pro hloubky vrtání 3, 5 a $8xD$. Pro navrtávání vodicí díry při obrábění neželezných kovů (N) uvádí výrobce Walter hloubku vodicí díry minimálně $8xD$. Při navrtávání je snaha o použití nejkratšího možného vrtáku. [8]



Obr. 3. 14 Úhel špičky při navrtávání vodících děr [8]

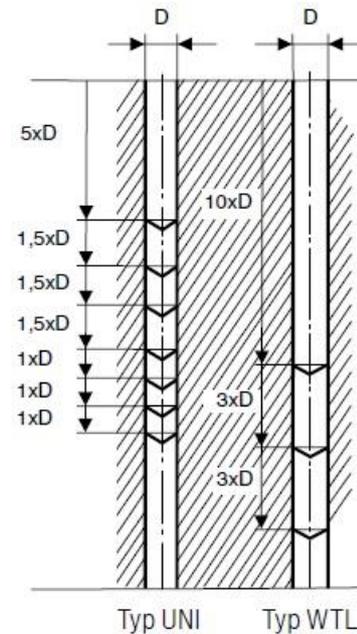
3.2.2.1. Vrtáky z HSS

Pro navrtávání vodící díry se používají navrtávky z HSS je možno ale použít i navrtávky karbidové. Hloubka vodící díry je 2-3xD. Tolerance vodící díry musí mít nulovou nebo kladnou rozměrovou úchylku (max. 0,1 mm).

Postup vrtání díry:

- 1) Chladicí kapalina je přiváděna po celou dobu vrtání do místa řezu.
- 2) Při přiblížování vrtáku k díře je doporučeno snížit posuv pro potlačení chvění vrtáku.
- 3) Při zavádění vrtáku do vodící díry je doporučeno mít hodnotu posuvu a otáček na 50 %.
- 4) Po dosažení 2/3 hloubky vodící díry se zvýší rychlost otáček na hodnotu pro vrtání hluboké díry.
- 5) V závislosti na použitém obráběcím stroji a obráběném materiálu se zvolí vhodný počet vyplachovacích cyklů (Obr. 3. 15).
- 6) Vyplachovací cykly lze provádět při řezných otáčkách a se zvýšenou rychlostí posuvu. Vrták nesmí vyjet až ven z díry, vždy musí zůstat alespoň v hloubce 1xD. Vrták se vrátí opět do díry se zvýšenou rychlostí posuvu a řezných otáčkách, ale musí se zastavit 2 mm před koncem vyvrtané díry. Odtud se už zapne řezná rychlost posuvu a vrtá se další cyklus.
- 7) Při dovrtnání celé díry je možné vyjet s vrtákem z díry při zvýšené rychlosti posuvu a pracovních otáčkách. Ovšem je podmínkou, aby při vrtání byly použity vyplachovací cykly. Při vrtání bez vyplachovacích cyklů se před vytažením vrtáku z díry sníží otáčky na čtvrtinu a mírně se může zvýšit posuv. [10]

Strategie při vyplachovacích cyklech se liší podle použití vrtáku a jeho šroubovitě drážky. Firma WNT nabízí pro vrtání hlubokých děr nad $10xD$ vrtáky s plochým profilem šroubovitě drážky (typ WTL). Z obrázku je patrné, že při použití tohoto typu vrtáku je vrtání díry produktivnější. Zatímco u klasického profilu šroubovitě drážky (typ UNI) je četnost vyplachovacího cyklu častější. Tím se snižuje produktivita vrtání. [11]



Obr. 3. 15 Četnost výplachů při vrtání s vrtáky HSS [11]

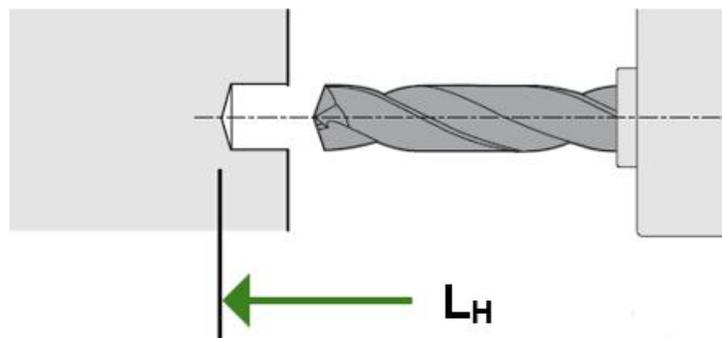
3.2.2.2. Karbidové vrtáky

Při navrtávání vodících děr pro vrtání hluboké díry karbidovým vrtákem se používá karbidový navrtávák s TSC nebo bez TSC.

Postup vrtání díry:

1) Předvrtání vodícího otvoru

Vrták na předvrtání vodícího otvoru musí mít větší úhel špičky než vrták na hlubokou díru. Předjde se tím poškození břitu vrtáku. Průměr vrtáku na předvrtanou díru musí být v toleranci od 0 do $+0,01$ mm od jmenovitého rozměru průměru vrtáku na hlubokou díru.



Obr. 3. 16 Navrtávání díry pro vrtání karbidovým vrtákem [8]

Hloubka vodicího otvoru (L_H) při vrtání hluboké díry do $30xD$ je minimálně dvojnásobkem průměru vrtáku ($2xD$). Firma WNT uvádí minimální hloubku $3xD$. Pro neželezné kovy je doporučeno předvrtat díru o délce $8xD$. Pro větší délky hluboké díry se navrtává vodicí díra o hloubce $12xD$. Při vrtání hluboké díry nad $40xD$ (dle WNT) nebo při vrtání hluboké díry do $50xD$ (dle Walter).

2) Navedení vrtáku do díry

Vrták přijede k díře, sníží se rychlost posuvu na doporučenou. Sníží se řezná rychlost. Doporučené otáčky vrtáku jsou 200-300 ot./min. (WNT), 500 ot./min. (Kennametal). Před zavedením vrtáku do díry se zapnou otáčky proti směru obrábění. Tím se při zasunutí vrtáku do díry předejde poškození břitu. Poté vrták přijede do pozice 1-2 mm před koncem předvrtané díry.

3) Vrtání díry

Zapnou se otáčky ve směru řezání. Pustí se přívod chladicí kapaliny. Zapne se pracovní řezná a posuvová rychlost, obě hodnoty jsou doporučeny výrobcem. Doporučuje se nepřerušovat řez, dokud se nedosáhne hloubky $30xD$. Při vrtání vzájemně se protínajících děr, nebo při výstupu vrtáku z díry obrobku se šikmou plochou na konci, je doporučeno snížit řeznou rychlost o 50-60 %.

4) Výjezd vrtáku z díry

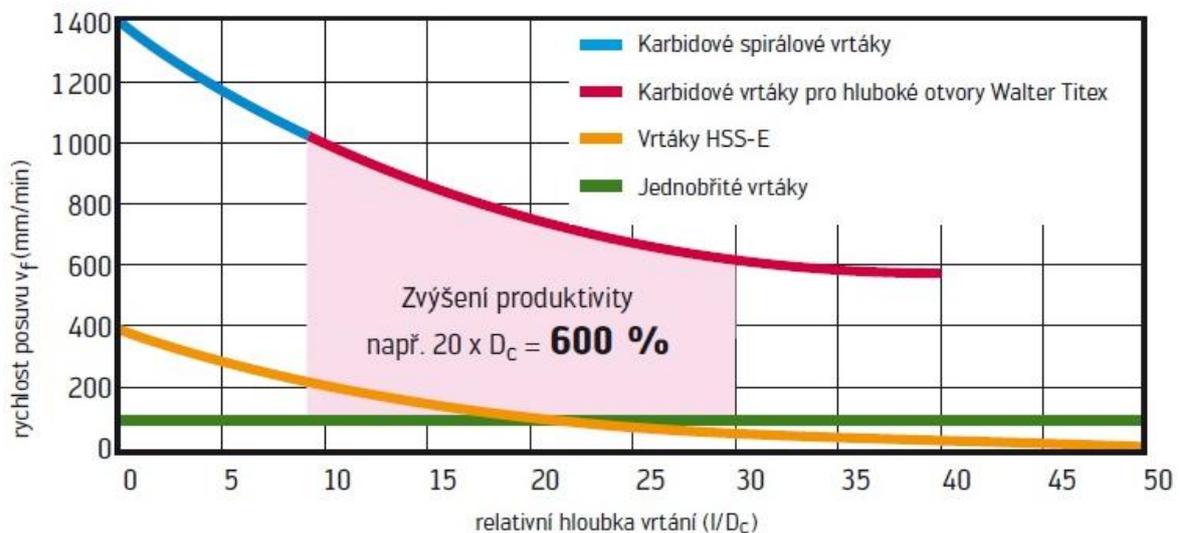
Před výjezdem vrtáku z díry je třeba snížit otáčky vrtáku a posuvovou rychlost. Kennametal doporučuje otáčky 50-500 ot/min a rychlost posuvu 2-6 m/min. WNT doporučuje při křížení děr a vyjíždění vrtáku z díry snížit posuvovou rychlost o 50 % a otáčky vrtáku plynule snižovat na 200-300 ot/min. Vrták na vrtání hlubokých děr se nesmí mimo díru otáčet pracovní hodnotou otáček, musí být vždy nižší. [8] [23] [24]

3.2.3. Vlastnosti zhotoveného otvoru

Karbidové vrtáky dosahují za stejných řezných podmínek lepší drsnost povrchu a vyšší přesnost otvoru než vrtáky z HSS. Čím kratší je vrták, tím lepší má zhotovený otvor lepší vlastnosti (drsnost, přesnost atd.). [8]

3.3. Porovnání produktivity vrtání a přímosti díry

Při použití karbidového dvoubřitého vrtáku lze docílit vyšší produktivity při hlubokém vrtání. Je totiž možné použít vyšší hodnoty posuvů při obrábění. Výhodou je, že při vrtání dvoubřítým vrtákem není potřeba žádného dalšího podpěrného příslušenství.



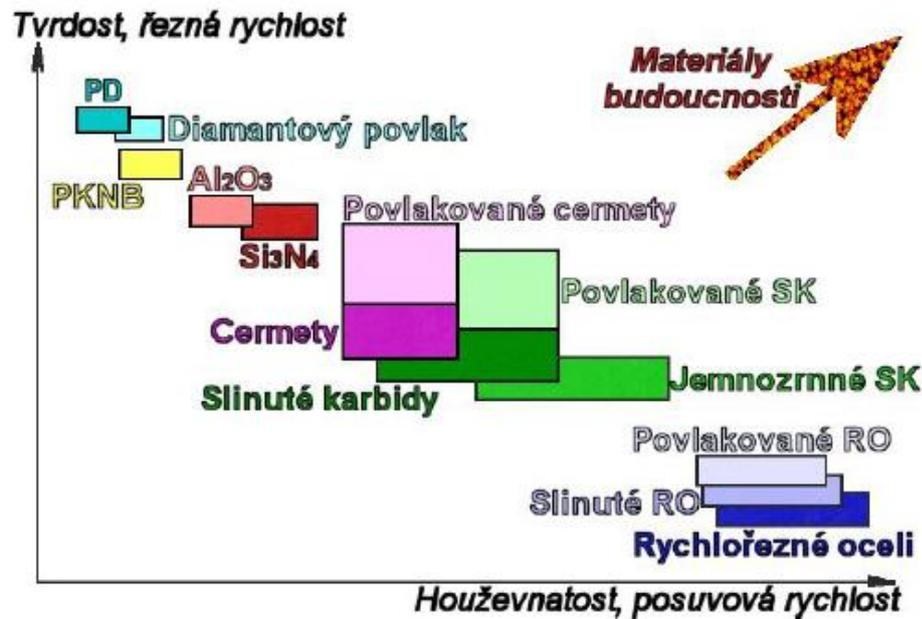
Graf 3 Porovnání produktivity hlubokého vrtání [8]

Z grafu je patrné, že při vrtání hlubokých děr karbidovými vrtáky se používají značně větší rychlosti posuvu. Tím se rapidně zvýší produktivita. V grafu je zaznamenán příklad porovnání produktivity pro hloubku vrtání $20 \times D$. Oproti dělovému vrtáku nebo HSS vrtáku je v tomto případě produktivita 6krát vyšší.

Při obrábění má rychlost posuvu daleko vyšší vliv na kvalitu díry než řezná rychlost. Dále je při vrtání snaha o co nejlepší přímot otvoru. Příklad hodnot ujetí otvoru pro průměr díry 8 mm, hloubku vrtání 240 mm a materiál C45 (ocel 12 050) a 9 vrtaných otvorů. Střední hodnota ujetí díry byla: pro karbidový vrták 0,046 mm, pro dělový vrták 0,048 mm a pro vrták z HSS 0,380 mm. Přímot vrtaného otvoru karbidovým vrtákem je srovnatelná s přímot díry pomocí dělového vrtáku. Přímot díry při použití vrtáku z HSS je několikanásobně horší. [8]

4. Nástrojové materiály

Ve výrobním průmyslu je k dispozici široké spektrum materiálů pro výrobu nástrojů. Každý z nich má své výhody a nevýhody, ať už o jeho použití rozhoduje cena, vlastnosti nebo možnost použití na určitý materiál.



Obr. 4. 1 Oblasti použití řezných materiálů [12]

Nelegované oceli

Nejsou v nich obsaženy legovací prvky, tudíž jsou jejich vlastnosti dány obsahem uhlíku. Používají se hlavně na ruční nástroje, např. pilník, dláta, pily.

Legované oceli

Jedná se o ocel třídy 19. Používají se zde legovací prvky pro zlepšení vlastností oceli. Název oceli je odvozen od hlavního použitého legovacího prvku.

Manganové oceli

Hlavní vlastnost oceli je rozměrová stálost materiálu. Využití oceli na závitníky, závitové čelisti, měřidla atd.

Chromové oceli

Hlavním legovacím prvkem je chrom. Ten zvyšuje u oceli tvrdost, houževnatost, pevnost a otěruvzdornost – použití: výstružníky, protahovací trny, přesná měřidla.

Wolframové oceli

Vysoká odolnost proti otěru, vysoká tvrdost i za vyšších teplot – použití: frézy, chirurgické nástroje.

Rychlořezné oceli

Vysokolegované oceli. Vykazují z legovaných ocelí nejlepší vlastnosti. Oproti ostatním tvrdým řezným materiálům mají ale nízkou tvrdost. Houževnatost mají z nástrojových materiálů nejvyšší.

Slinuté karbidy

Pevnost slinutých karbidů je mezi tvrdými nástrojovými materiály nejvyšší. Vyrábějí se slinováním a následným spékáním prášků karbidů těžkých kovů. Jako pojivo se používá kobalt. Jsou vhodné pro často přerušované obrábění a pro vysoké rychlosti posuvu.

Keramické řezné materiály

Keramické materiály jsou vyráběné na bázi oxidu hlinitého (Al_2O_3) nebo nitridu křemíku (Si_3N_4). Keramikou na bázi oxidu hlinitého lze obrábět při vysokých řezných rychlostech a malých posuvech. Má za tepla vysokou tvrdost, ovšem houževnatost se snižuje. Keramika na bázi nitridu křemíku pojme vyšší hodnoty rychlosti posuvu a vykazuje i vyšší houževnatost. Nepoužívá se na ocel a tvárnou litinu, jelikož se při jejich obrábění rychle opotřebovává. Používá se na obrábění šedé litiny. Keramické materiály trpí na tepelné šoky, tudíž se keramika při obrábění nechladí vůbec nebo se naopak chladí hodně.

Cermety

Jsou to materiály, které jsou vyráběny z keramických částic a pojiva z kovu. Mají nižší houževnatost. Používají se při vysokých řezných rychlostech. Oproti keramickým materiálům se používají při vyšších posuvových rychlostech. Slouží k obrábění korozivzdorných ocelí.

Polykrystalický diamant (PD)

Oproti ostatním řezným materiálům diamant disponuje největší tvrdostí. Používá se pro obrábění neželezných kovů a kompozitních materiálů. Nesmí se používat pro obrábění ocelí a litin.

Polykrystalický kubický nitrid boru (PKNB)

Jeho vlastnosti se podobají diamantu. Používá se pro výrobu brousicích nástrojů. Má vysokou tvrdost i za vysokých teplot. Houževnatější a tvrdší než keramické materiály. Uplatní se pro obrábění kalených ocelí a litin. [12] [13]

4.1. Rozdělení řezných materiálů podle ISO

Norma ISO 513 : 2002 udává rozdělení řezných materiálů do 6 základních skupin (rozšířeno o další rozdělení pro „jiné“ obráběné materiály) – identifikační písmeno a barva. Každá z těchto skupin se dále dělí na obráběcí skupinu (např. P1). Čím nižší je číslo u obráběcí skupiny, tím vyšší rychlostí lze obrábět. Naopak, čím je číslo vyšší, tím roste možnost použití velkých rychlostí posuvu. Použití řezného materiálu na daný obráběný materiál určuje skupina obráběných materiálů. [14]

Tab. 3 Aplikační oblast obráběných materiálů [8]

Identi- fikační písmena	Obráběcí skupina	Skupiny obráběných materiálů	
P	P1–P15	Ocel	Všechny druhy oceli a ocelolitiny, kromě oceli s austenitickou strukturou
M	M1–M3	Nerezová ocel	Nerezová austenitická ocel a austeniticko-feritická ocel a ocelolitina
K	K1–K7	Litina	Šedá litina, litina s kuličkovým grafitem, temperovaná litina, litina s vermikulárním grafitem
N	N1–N10	Neželezné kovy	Hliník a ostatní neželezné kovy, neželezné materiály
S	S1–S10	Superslitiny a titanové slitiny	Žáruvzdorné speciální slitiny na bázi železa, niklu a kobaltu, titan a titanové slitiny
H	H1–H4	Tvrdé materiály	Kalená ocel, kalené litinové materiály, kokilová tvrzená litina
O	O1–O6	Jiné	Plasty, plasty vyztužené skleněnými a uhlíkovými vlákny, grafit

4.2. Nástrojové materiály pro výrobu vrtáků

Na výrobu vrtáků se v průmyslu nejčastěji používají rychlořezné oceli nebo karbidové nástroje. Pro zlepšení řezných vlastností se nástroje povlakuji různými metodami.

4.2.1. Rychlořezná ocel (RO)

Rychlořezné oceli obsahují především karbidotvorné prvky, jakými jsou: chrom (Cr), molybden (Mo), vanad (V) a wolfram (W). Kobalt (Co) je použit jako pojivo.

RO můžeme rozdělit do skupin dle obsahu hlavních karbidotvorných prvků v oceli:

- hlavním prvkem wolfram,
- hlavním prvkem molybden,
- komplexně legované wolframem, molybdenem a vanadem.

V porovnání s ostatními nástrojovými materiály mají RO vyšší houževnatost a lepší odolnost proti adhezi. Při překročení teploty cca 550 °C ztrácí ocel stabilní hodnotu pevnostní charakteristiky.



Obr. 4. 2 Vrtáky z rychlořezné oceli [15]

Častou úpravou rychlořezné oceli je navýšení obsahu kobaltu na 5-10 %. Kobalt zvyšuje výkonnost oceli. Tyto oceli nesou u výrobců označení HSS-E.

Další modifikací výroby RO je výroba pomocí práškové metalurgie. Takto vyráběné RO mají homogenní strukturu, zachování rozměrů při slinování prášků, lepší houževnatost. Označují se HSS-PM.

Povlakování RO je další metodou pro zlepšení vlastností nástroje. Povlakuje se metodou PVD a nejčastěji se na povlak používá nitrid titanu (TiN). Nástroj tím získá větší trvanlivost bříty o 50 až 200 % a větší výkonnost. [8] [13] [14]

4.2.2. Slinuté karbidy (SK)

Řezné materiály, které se vyrábějí práškovou metalurgií těžkých, vysokotavitelných kovů. Prášky se vyrábějí z karbidů: wolframu (WC), titanu (TiC) a tantalu (TaC). Jako kovové pojídlo se používá nejčastěji kobalt (Co). I při vysokých řezných rychlostech mají SK vysokou odolnost proti opotřebení. SK se vyrábějí do tvarů vyměnitelných břitových destiček (VBD) lisováním a následným slinováním prášků. Nakonec se přesný tvar získává dobrušováním nebo opětovným lisováním. Pro zlepšení vlastností nástroje se SK ještě povlakuje. [14]



Obr. 4. 3 Špička vrtáku s VBD z SK [16]

Povlakování slinutých karbidů

Zpočátku byly v průmyslu používány jen jednovrstvé povlaky. Průběžně se povlakování nástrojů zdokonalilo a bylo možné nanášet více vrstev povlaku. Nyní je možné různými metodami nanášet i přes 10 vrstev povlaku. Povlaky se využívají pro zlepšení vlastností nástroje. Především pro získání větší odolnosti proti otěru a vyšší tvrdosti nástroje. Povlak je nejčastěji tvořen materiály: karbid titanu TiC, nitrid titanu TiN, karbonitrid titanu TiCN a oxid hlinitý Al₂O₃. Metody nanášení povlaku se rozlišují podle způsobu povlakování. Metoda CVD, PVD a speciální povlakovací metody (PACVD, MTCVD, nanokompozitní povlaky). [12] [14]

Vlastnosti povlakových materiálů:

- TiC – vysoká tvrdost,
- TiN – odolnost proti otěru,
- TiCN – vysoká přilnavost povlaku, použití na spodní vrstvu povlaku,
- Al₂O₃ – nízká tepelná vodivost – nízký odvod tepla do nástroje.

Metoda CVD

Jedná se o metodu chemického napařování, která probíhá v peci za vysoké teploty (cca 900-1200 °C). Používá se na povlakování slinitých karbidů. [14]

Při tomto procesu dochází k reakci chemických sloučenin v plynném stavu u povlakovaného nástroje. Přičemž se produkty reakce uloží na povrchu povlakovaného nástroje. Při reakci je obsažen v plynech i reaktivní plyn.

Metodu CVD lze provádět třemi způsoby:

- tepelnou indukci,
- aktivací plazmou,
- fotonovou indukci (např. laser). [14]

Metoda PVD

Metoda fyzikálního napařování. Nejdříve se tato metoda používala pro povlakování rychlořezné oceli. Později se začala využívat i na povlaky slinitých karbidů. Povlakování probíhá za nižších teplot (pod 600 °C). Oproti metodě CVD je tloušťka povlaku menší. Vrstva povlaku je vytvářena prostřednictvím napařování, napařování nebo iontového plátování.

Proces probíhá ve vakuu. Při povlakování se pomocí elektrického proudu odpařuje čistý kov (nejčastěji titan). Odpařené částice reagují s inertním a reaktivním plynem (nejčastěji argon nebo dusík) a dopadají na povlakovaný materiál a vytvoří povlak. [14]

Metoda MTCVD

Využívá při povlakování nižší teploty než metoda CVD. Teplota procesu se pohybuje okolo 700-850 °C. Jako vstupní sloučenina je zde metylkyanid, který je vysoce toxický a hořlavý. Výhodou oproti CVD je, že z důvodu nižších teplot má materiál vyšší nebo zachovanou houževnatost. [14]

5. Upínání vrtáků

Při výběru upnutí vrtáku je třeba zohlednit požadavek na výslednou kvalitu díry. Při upínání je kladen velký důraz hlavně na:

- házivost vrtáku,
- tuhost upnutí,
- přesnost upnutí,
- kruhovitost upínače apod.

Vrták se upíná za válcovou nebo kuželovou válcovou stopku.

Metody upínání vrtáků

Vrtáky s válcovou stopkou se upínají prostřednictvím:

- tříčelistových sklíčidel (zubová, nebo rychloupínací),
- kleštinových upínačů,
- hydraulických upínačů,
- Weldon upínačů,
- tepelných upínačů.

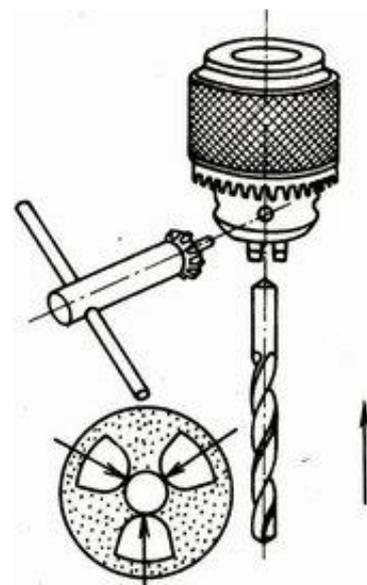
Vrtáky s kuželovou stopkou (tzv. Morse kužel) se upínají, buď přímo do kuželové dutiny vřetena, nebo při malé velikosti stopky se použijí redukční pouzdra pro vyrovnání vůle mezi stopkou a upínací dutinou. [8] [17] [18]

5.1. Sklíčidla

Nejčastěji se používá tříčelistové sklíčidlo (existuje i dvoučelistové), které je buď zubové, nebo rychloupínací. Zubové sklíčidlo se utahuje ozubeným klíčem (kličkou). Utahováním dojde k pohybu čelistí a vznikne tření mezi čelistmi a stopkou vrtáku, tím se vrták utáhne. Rychloupínací sklíčidla se utahují rukou. K utažení slouží ve sklíčidle vnitřní kužel.



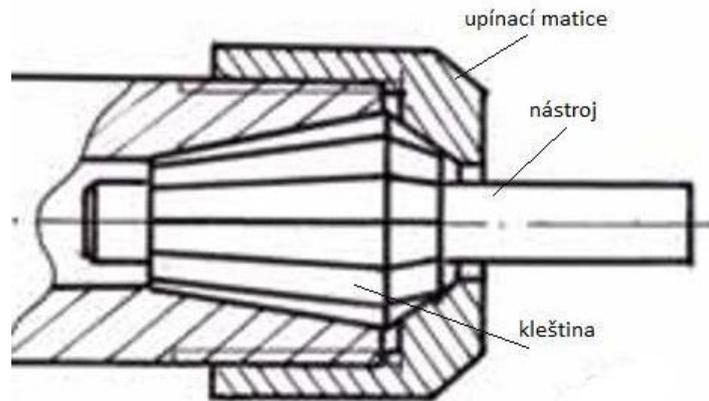
Obr. 5. 2 Rychloupínací sklíčidlo [17]



Obr. 5. 1 Tříčelistové sklíčidlo [18]

5.2. Kleštinové upnutí

Pro upnutí různých velikostí průměru vrtáku se musí použít další kleštiny určené pro daný průměr stopky. Při výměně stopky se nemusí měnit celý upínač, jen se povolí upínací matice a vymění se kleština. Kleštiny jsou při upnutí utěsněny, tudíž lze použít vnitřní přívod řezné kapaliny.



Obr. 5. 3 Schéma kleštinového upnutí [17]

5.3. Hydraulické upínače

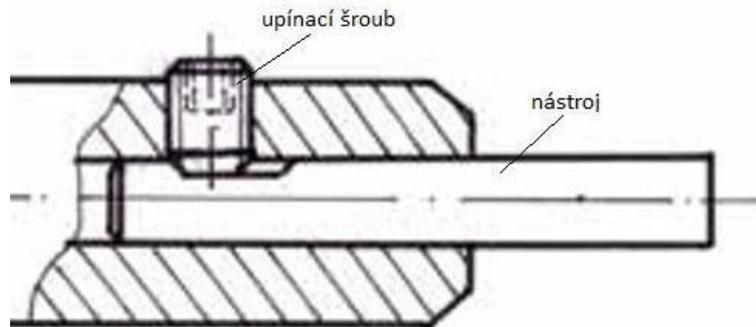
Používají se pro přenos velkých krouticích momentů. Vysoká kvalita drsnosti povrchu a přesnosti díry. Při vrtání je zaručena malá házivost vrtáku. Snadná údržba upínače. Pomocí vložek je možné upínač rychle přenastavit pro upnutí jiného vrtáku. K upnutí vrtáku se využívá deformace vnitřního pouzdra. Utažením upínacího šroubu se zvýší tlak hydraulické kapaliny a vyvolá se potřebná deformace k upnutí vrtáku.



Obr. 5. 4 Hydraulický upínač [17]

5.4. Upínače typu Weldon

Každému průměru vrtáku připadá jeden upínač. Jsou levné a mají jednoduchou konstrukci. Vrták se upne šroubem, který dosedne na vyfrézovanou plošku na povrchu stopky vrtáku. Házivost vrtáku je vysoká, jelikož se při dotažení šroubu vrták vychýlí mimo osu rotace.



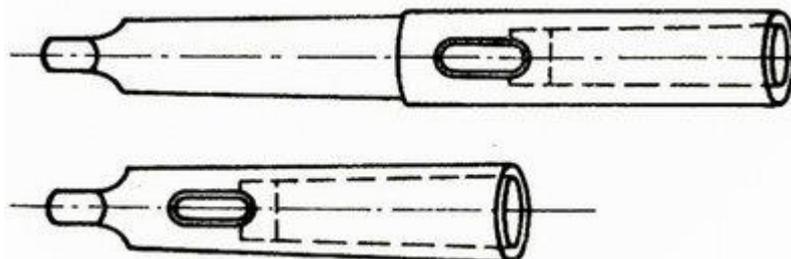
Obr. 5. 5 Upínač Weldon [17]

5.5. Tepelné upínače

Tepelné upínače se používají pro vysoké otáčky. Mají velkou sílu upnutí a malou házivost. Je zde malý upínací rozsah. Dřík upínače se ohřeje na danou teplotu, tím se zvětší jeho průměr a upne se vrták. Poté se upínač nechá vychladnout, dojde ke zmenšení jeho průměru a získá se pevné upnutí vrtáku.

5.6. Morse kužel

Kuželem se získá přesnější uložení vrtáku ve vřetenu. Stopky s Morse kuželem jsou dostupné v 7 velikostech (0-6). Kuželová stopka se při správné velikosti kužele upne naražením do kuželové dutiny vřetena. Při nesprávné velikosti kužele stopky se pro upnutí použije redukční pouzdro. Vůli lze vyrovnávat i více pouzdra, ale doporučuje se použití maximálně 2 pouzder. [17] [18]



Obr. 5. 6 Redukční pouzdra s Morse kuželem [18]

6. Stroje pro hluboké vrtání

Na hluboké vrtání je možno použít dva základní druhy obráběcích strojů. Stroj je zvolený dle rozměrů vrtané díry a sériovosti výroby. Používají se buď jednoúčelové hlubokovrtací nebo universální stroje.

6.1. Jednoúčelové stroje

Jejich použití je pro velké výrobní série, především velkosériová a hromadná výroba. Jednoúčelové stroje se nejčastěji seřizují na 1 (ale až 4) pracovní program, to vede k vysoké výkonnosti obrábění.

Používají se především pro dělové vrtání. Není zde nutnost navrtávat vodící díru, protože se zde používá dodatečné podpůrné příslušenství. Možnost upnutí extrémně dlouhých obrobků. [19]



Obr. 6. 1 Jednoúčelový stroj UNE [20]

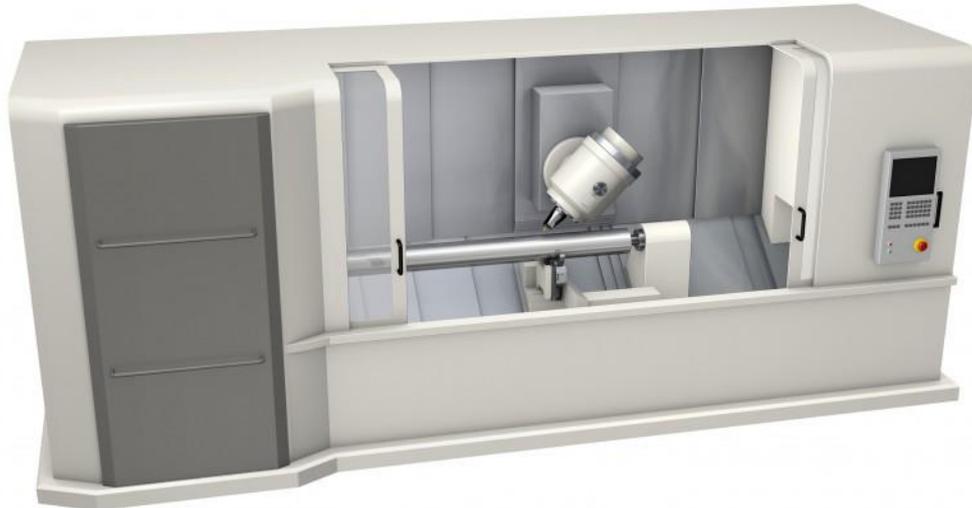
6.2. Universální stroje

Používají se především pro malosériovou výrobu. Výhodou je možnost jejich všestranného využití i na další obráběcí operace.

Při vrtání na universálních strojích je výhodou, že se nemusí stroj tak důkladně seřizovat, proto je při malých sériích upřednostňovanější. Musí se zde ovšem při vrtání delších děr předvrtat vodící otvor. [19]

6.2.1. Horizontální stroje

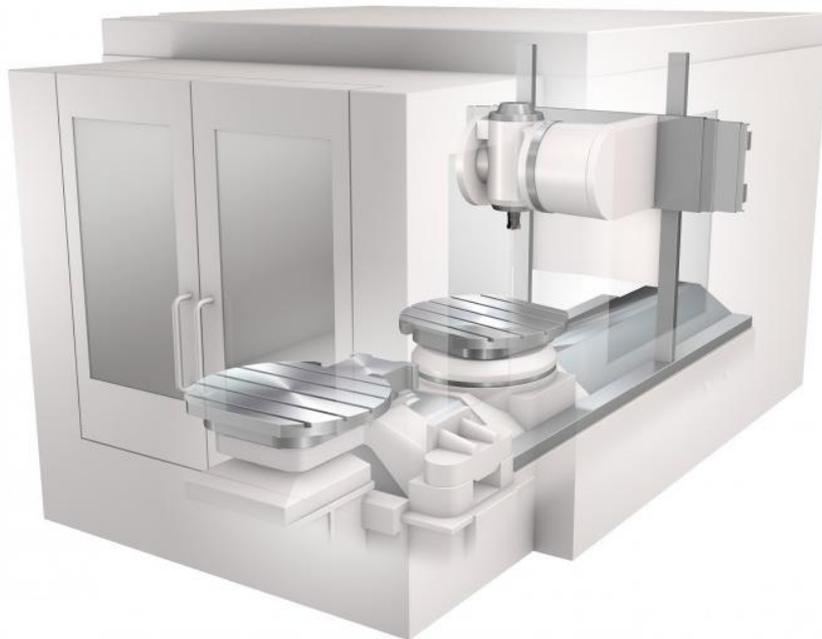
Na horizontálním obráběcím stroji je rotační osa vodorovná (horizontální). Výrobci často nabízejí konfigurace univerzálního stroje, kterými například jsou: přidání os, podavače apod. [21]



Obr. 6. 2 Horizontální stroj [21]

6.2.2. Vertikální stroje

Na vertikálním obráběcím stroji je rotační osa svislá (vertikální). I u vertikálních univerzálních strojů výrobci nabízejí další prvky vylepšení stroje. [22]



Obr. 6. 3 Vertikální stroj [22]

7. Průzkum trhu výrobců nástrojů pro hluboké vrtání

U popisu parametrů vrtáků pro hluboké vrtání se udává, do jaké hloubky jsou schopny vrtat. Tato hodnota se udává v podobě násobku průměru vrtáku (např. pro dvacetinásobek průměru vrtáku - 20xD).

7.1. Dvoubřité vrtáky

V přehledu trhu dvoubřitých vrtáků vybírám ty, které lze použít pro hloubku vrtání minimálně 10xD.

7.1.1. Walter

Jeden z nejpřednějších výrobců obráběcích nástrojů na celosvětovém trhu. Mezi vrtáky se specializuje na výrobu dvoubřitých vrtáků z rychlořezné oceli (HSS) nebo ze slinutého karbidu (SK). Vrtáky z SK se vyrábějí bez vnitřního chlazení nebo s vnitřním chlazením (TSC).

Značení doporučené oblasti použití vrtáků Walter na obráběné materiály:

- hlavní použití, ••
- vedlejší použití. [9] •

7.1.1.1. Vrtáky z HSS [9]

Vrtáky z HSS s hloubkou vrtání: 12xD, 16xD, 22xD, 30xD, 60xD, 85xD.

Vrták UFL - A1822

- průměr vrtáku: 3,5-12 mm
- délka vrtání: 30xD (174-291 mm)

Vrták UFL - A1922L

- průměr vrtáku: 8, 10 a 12 mm
- délka vrtání: 85xD (685-769 mm)



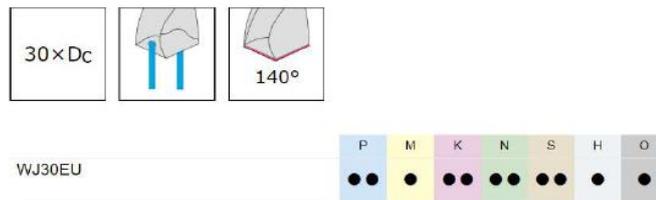
Obr. 7. 1 Vrták UFL - A1822, A1922L [9]

7.1.1.2. Vrtáky z SK s TSC

Vnitřně chlazené vrtáky ze slinutého karbidu s vnitřním chlazením pro hloubku vrtání: 12xD, 16xD, 20xD, 25xD, 30xD, 40xD, 50xD. [9]

Vrták X•treme EVO - DC160 Advance [25]

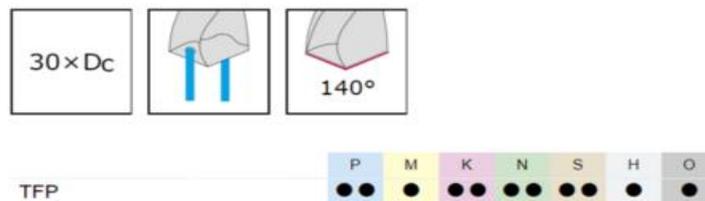
- průměr vrtáku: 3-12 mm
- délka vrtání: 30xD (92-364 mm)



Obr. 7. 2 Vrták X•treme EVO - DC160 Advance [25]

Vrták Alpha 4 XD30 - A6985TFP [9]

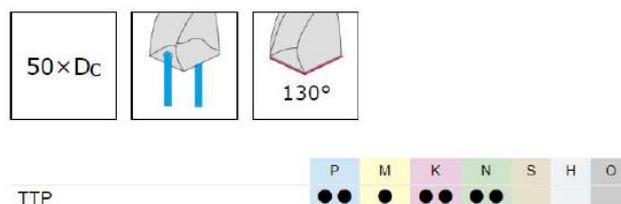
- průměr vrtáku: 3-12 mm
- délka vrtání: 30xD (92-364 mm)



Obr. 7. 3 Vrták Alpha 4 XD30 - A6985TFP [9]

Vrták X•treme D50 - A7595TTP [9]

- průměr vrtáku: 3-9 mm
- délka vrtání: 50xD (166-466 mm)



Obr. 7. 4 Vrták X•treme D50 - A7595TTP [9]

7.1.2. WNT

WNT je německá firma, která vyrábí různé nástroje pro třískové obrábění. Na konec označení vrtáků (náhrada xxx) se přiřadí číslo podle průměru vrtáku (např. průměr vrtáku je 5 mm, označení bude: 050).

Firma WNT se z nástrojů pro vrtání hlubokých děr zaměřuje hlavně na vrtáky z tvrdokovu (TK) s vnitřním chlazením. [11]

7.1.2.1. Vrtáky z HSS [11]

Vrtáky z rychlořezné oceli s hloubkou vrtání přes 10xD.

Vrták - 10255xxx

- průměr vrtáku: 2,5-13 mm
- délka vrtání: nad 10xD (délka maximálního vrtání uvedena není)
- úhel špičky vrtáku je 130°
- vrták 10255xxx je určen pro obrábění: oceli (P), litin (K), neželezných kovů (N) a okrajově lze použít i na nerezovou ocel (M)



Obr. 7. 5 Vrták 10255xxx [11]

7.1.2.2. Vrtáky z TK s TSC [23]

Vnitřně chlazené vrtáky z tvrdokovu s vnitřním chlazením pro hloubku vrtání: 16xD, 20xD, 25xD, 30xD, 40xD, 50xD.

Vrták WTX - 11030xxx, 11031xxx

- průměr vrtáku: 2-12 mm
- délka vrtání: max. 30xD (67-365 mm)
- úhel špičky vrtáku je 135°
- vrták 11030xxx je určen pro obrábění: P, M, K



Obr. 7. 6 Vrták WTX - 11030xxx, 11050xxx [23]

- vrták 11031xxx je určen pro obrábění: N



Obr. 7. 7 Vrták WTX - 11031xxx [23]

Vrták WTX - 11050xxx

- průměr vrtáku: 2-6,8 mm
- délka vrtání: max. 50xD (170-370 mm)
- úhel špičky vrtáku je 135°
- určen pro obrábění materiálů: P, M, K

7.1.3. Gühring [10]

Německý výrobce, který má uplatnění v oblasti obrábění po celém světě. Vyrábí vrtáky karbidové vnitřně chlazené a vrtáky z RO pro vrtání hlubokých děr.

Značení doporučené oblasti použití vrtáků Gühring na obráběné materiály:

- hlavní použití, •
- vedlejší použití. °

7.1.3.1. Vrtáky z HSS

Vrtáky z HSCO (slitina s vyšším obsahem kobaltu) se vyrábějí ve 3 délkových řadách (15xD, 20xD a 25xD). HSS vrtáky se vyrábějí v délkách větších než 25xD.

Vrták z HSCO - č. 571

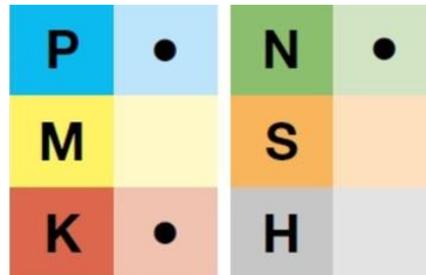
- průměr vrtáku: 2,5-13 mm
- délka vrtání: přes 25xD (délka maximálního vrtání není uvedena)
- úhel špičky vrtáku je 130°

P	•	N	•
M	•	S	•
K	•	H	○

Obr. 7. 8 Oblast použití vrtáku HSCO - č. 571 [10]

Vrták z HSS - č. 242

- průměr vrtáku: 6-12 mm
- délka vrtání: přes 25xD (délka maximálního vrtání není uvedena)
- úhel špičky vrtáku je 130°



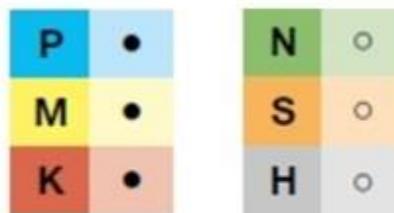
Obr. 7. 9 Oblast použití vrtáku HSS - č. 242 [10]

7.1.3.2. Karbidové vrtáky s TSC

Karbidové vrtáky s vnitřním chlazením pro hloubku vrtání: 15xD, 20xD, 25xD, 30xD, 40xD.

Karbidový vrták - č. 6513

- průměr vrtáku: 3-14 mm
- délka vrtání: 30xD (95-437 mm)
- úhel špičky vrtáku je 135°



Obr. 7. 10 Karbidový vrták - č. 6513 [10]

7.1.4. Kennametal [24]

Výrobce se v oblasti výroby vrtáků zaměřuje na karbidové vrtáky.

Značení doporučené oblasti použití vrtáků Gühring na obráběné materiály:

- hlavní použití, •
- vedlejší použití. °

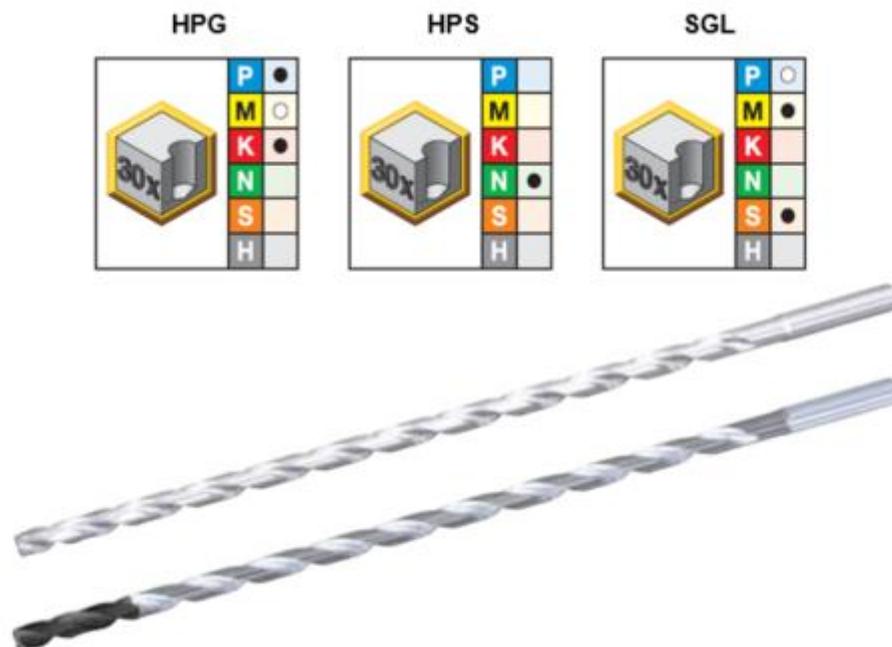
7.1.4.1. Karbidové vrtáky s TSC

Karbidové vrtáky s vnitřním chlazením jsou schopny vrtat až s čtyřnásobně vyšší rychlostí než vrtáky z HSS nebo vrtáky dělové. Vrtáky mají 4 fazety pro přesnější přímost děr a zaručují lepší vedení vrtáku při vrtání průniku děr. Používají se pro hloubku vrtání: 12xD, 15xD, 20xD, 25xD, 30xD, 40xD.

Ke značení karbidových vrtáků od firmy Kennametal se přidává ještě označení druhu vrtáku – podle obráběného materiálu (3 oblasti použití, viz Obr. 7. 13).

Karbidový vrták - B274Z_HPG/HPS/SGL

- průměr vrtáku: 2,4-15 mm
- délka vrtání: 30xD (79-450 mm)
- úhel špičky vrtáku je 135°



Obr. 7. 11 Karbidový vrták B274Z [24]

7.2. Dělové vrtáky

Dělové vrtáky mají vnitřní chlazení nástroje (TSC). Slouží pro chlazení hlavy vrtáku a pro odvod třísky z místa řezu.

7.2.1. Gühring [10]

Firma Gühring nabízí dělové vrtáky jednobřité, jednobřité s VBD nebo dvoubřité.

Značení doporučené oblasti použití vrtáků Gühring na obráběné materiály:

- hlavní použití, •
- vedlejší použití. ◦

Dělový vrták EB 100 MONO

- jednobřitý celokarbidový dělový vrták s TSC
- délka vrtání: 25, 50, 75xD (67-365 mm)
- průměr vrtáku: 1-16 mm (25xD), 1-10 mm (50xD), 1-7 mm (75xD)
- vrták EB 100 MONO se dělá ve 2 provedeních – podle oblasti použití obráběného materiálu



Obr. 7. 12 Dělový vrták EB 100 MONO [10] [26]

Dělový vrták EB 80

- jednobřítý dělový vrták s TSC s letovanou hlavou z SK
- délka vrtání: 20, 30, 40, 80xD
- průměr vrtáku: 4-12 mm
- vrták EB 80 se dělá ve 2 provedeních – dle obráběného materiálu

P	•	N	○	P	○	N	○
M	○	S	○	M	•	S	•
K	•	H	○	K	○	H	○

oblast použití a) oblast použití b)



Obr. 7. 13 Dělový vrták EB 80 [10] [26]

Dělový vrták EB 800

- jednobřítý dělový vrták s VBD s TSC
- délka vrtání: 30xD
- průměr vrtáku: 12-52 mm

P	•	N	•
M	○	S	○
K	○	H	○



Obr. 7. 14 Dělový vrták EB 800 [10] [26]

7.2.2. Iscar [7]

Výrobce Iscar nabízí dělové vrtáky s VBD (technologie TRIDEEP), s vyměnitelnou vrtací hlavicí (technologie SUMOGUN) nebo jednobřité monolitní vrtáky.

GD-DH

- jednobřítý dělový vrták s VBD
- průměr vrtáku: 14-28 mm
- hloubka vrtání: 10, 15, 20, 25xD



Obr. 7. 15 Dělový vrták GD-DH [27]

MNCNT-T2

- dvoubřítý dělový vrták s vyměnitelnou vrtací hlavicí s TSC
- průměr vrtáku: 10-25 mm
- hloubka vrtání: 400-800 mm
- 2-5krát vyšší posuvy než u pájených dělových vrtáků



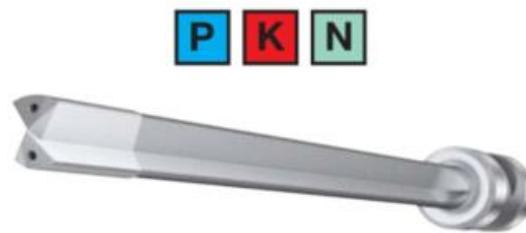
Obr. 7. 16 Dělový vrták MNCNT-T2 [28]

7.2.3. Sandvik [29]

Firma Sandvik nabízí dělové vrtáky jednobřité nebo dvoubřité.

CoroDrill® 428.2

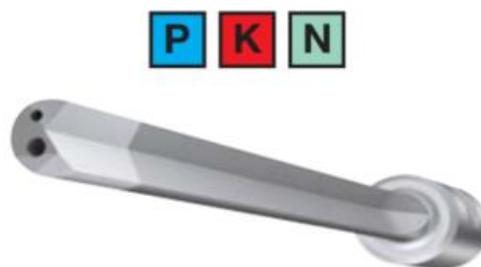
- dvoubřitý dělový vrták s TSC
- průměr vrtáku: 6-26,5 mm
- hloubka vrtání: až 100xD



Obr. 7. 17 Dělový vrták CoroDrill® 428.2 [29]

CoroDrill® 428.5

- karbidový dělový vrták monolitní s 1 břitem s TSC
- průměr vrtáku: 0,8-12 mm
- hloubka vrtání: až 275 mm



Obr. 7. 18 Dělový vrták CoroDrill® 428.5 [29]

CoroDrill® 428.9

- jednobřitý dělový vrták s TSC
- průměr vrtáku: 1-40,5 mm
- hloubka vrtání: až 100xD



Obr. 7. 19 Dělový vrták CoroDrill® 428.9 [29]

8. Návrh technologie vrtání na určenou součást

Návrh vrtání díry o průměru 3,5 mm a délce 92 mm. Materiál obráběné součásti je ocel 1.2709.

Pro vrtání hluboké díry použiji v prvním případě vrták z HSS a ve druhém případě karbidový vrták s TSC. Pro vrtání hluboké díry použiji vrták s hloubkou vrtání 25xD nebo 30xD, dle parametrů jednotlivých vrtáků. Případně vyberu vrták, který je určen průměrem a možnou maximální délkou vrtání, tedy alespoň 92 mm.

Vrtat se bude na universálním CNC stroji. V tomto případě je pro takovou hloubku vrtání nezbytné navrtání vodicí díry.

Nejprve vyberu vhodný vrták pro vrtání hluboké díry z katalogu výrobců. Poté k němu vyberu vhodný vrták na navrtání vodicí díry. V obou případech určím řezné parametry vrtání a technologii vrtání.

8.1. Vrtání hlubokého otvoru vrtákem z HSS

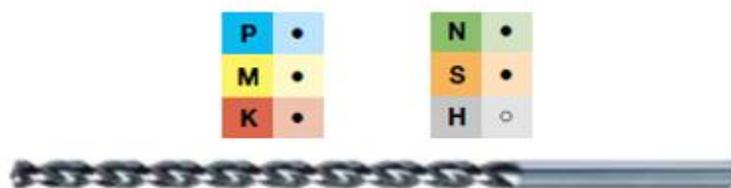
Vrták o průměru 3,5 mm na hlubokou díru i na vodicí díru volím z materiálu HSS se zvýšeným obsahem kobaltu (HSCO). Vybíral jsem z katalogu výrobce Gühring. Při výpočtu řezných parametrů použiji již užitý vzorec (viz odstavec 2.2).

8.1.1. Volba vrtáku a řezných parametrů pro hlubokou díru [10]

Z katalogu Gühring jsem vybral vhodný vrták z HSCO s ohledem na obráběný materiál a délku vrtané díry. Zvolil jsem vrták s číslem označení 618.

8.1.1.1. Parametry vrtáku

Jedná se o prodloužený spirálovitý vrták řady 1. Délka maximální hloubky vrtání je přes 15xD. V tomto případě je to cca 109 mm. Úhel špičky vrtáku je 130°. Vrták není vnitřně chlazený a má nitridované fazety. Celková délka vrtáku je 165 mm a délka šroubových drážek je 115 mm.



Obr. 8. 1 HSCO vrták – č. 618 [10]

8.1.1.2. Řezné parametry

Řezné parametry jsou odečtené z tabulky v katalogu výrobce vrtáku. Chladicí kapalinou je olej. Řezná rychlost v_c je 8 m/min. Posuv na otáčku f je 0,05 mm.

Výpočet dalších řezných parametrů

- otáčky n (vyjádřeno z rovnice (2.1))

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 8}{\pi \cdot 3,5} \doteq 730 [\text{min}^{-1}]$$

- rychlost posuvu v_f (vyjádřeno z rovnice (2.2))

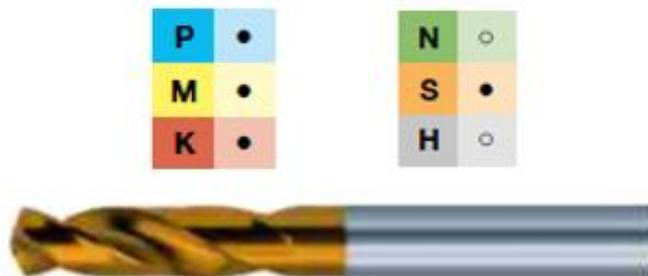
$$v_f = f \cdot n = 0,05 \cdot 730 = 36,5 [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$$

8.1.2. Volba vrtáku pro vodící díru

Pro navrtání vodící díry jsem vybral vrták dle obráběného materiálu, průměru díry a vrtáku na hlubokou díru. Vrták jsem vybral z katalogu Gühring s číslem označení 659, který je určený pro navrtávání vodících děr. [10]

8.1.2.1. Parametry vrtáku [10]

Maximální délka vrtání je cca $3xD$. Vrták má povlak z nitridu titanu (TiN). Úhel špičky vrtáku je 130° . Celková délka vrtáku je 52 mm. Délka šroubovitých drážek je 20 mm.



Obr. 8. 2 HSCO navrtávák – č. 659 [10]

8.1.2.2. Řezné parametry

Řezné parametry jsou odečtené z tabulky v katalogu výrobce vrtáku. Chladicí kapalinou je olej. Řezná rychlost v_c je 14 m/min. Posuv na otáčku f je 0,063 mm.

Výpočet dalších řezných parametrů

Vztahy vyjádřené z rovnic:

- otáčky n (vyjádřeno z rovnice (2.1))

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 14}{\pi \cdot 3,5} \doteq 1270 \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

- rychlost posuvu v_f (vyjádřeno z rovnice (2.2))

$$v_f = f \cdot n = 0,063 \cdot 1270 = 80 \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}\text{]}$$

8.1.3. Postup vrtání díry

Postup pro vrtání díry použijí stejný jako při postupu vrtání díry vrtákem z HSS (viz odstavec 3.2.2.1).

- 1) Navrtání vodícího otvoru

Vrtá se vodící otvor o hloubce $3xD$. Při řezné rychlosti 14 m/min a rychlosti posuvu 80 mm/min. Otáčky navrtáváku jsou 1270 za minutu.

- 2) Vrtání hluboké díry

Při vrtání díry použijí řeznou rychlost 8 m/min a rychlost posuvu 36,5 mm/min. Vypočítané pracovní otáčky vrtáku jsou 730 za minutu.

- 3) Vrtací strategie

Volím strategii s většími intervaly vyplachování (viz Obr. 3. 15). První hloubka vrtání je do hloubky $10xD$ od začátku díry. Všechny další intervaly výplachu jsou po každém přírůstku hloubky díry o $3xD$.
[10] [11]

8.2. Vrtání hlubokého otvoru vrtákem z SK s TSC

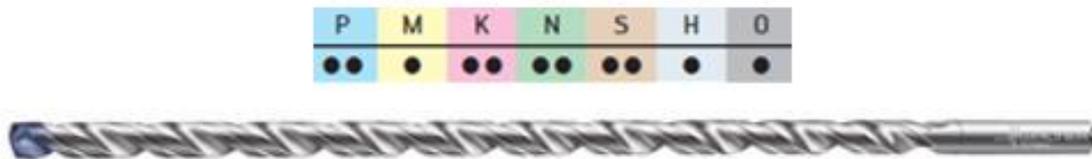
Vrták o průměru 3,5 mm na hlubokou díru i na vodící díru volím ze slinutého karbidu s vnitřním chlazením. Vrtáky jsem vybíral z katalogu výrobce Walter. Při výpočtu řezných parametrů použijí již užitý vzorec (viz odstavec 2.2).

8.2.1. Volba vrtáku a řezných parametrů pro hlubokou díru

Z katalogu Walter jsem vybral vhodný vrták dle obráběného materiálu a hloubky díry. Zvolil jsem vrták Alpha 4 XD 25 s označením A6885TFP-3,5. [9]

8.2.1.1. Parametry vrtáku

Maximální hloubka vrtání je přes 25xD, přesně 108 mm. Úhel špičky vrtáku je 140°. Vrták je ze slinutého karbidu s vnitřním chlazením. Celková délka vrtáku je 156 mm a délka šroubovitých drážek je 114 mm. Průměr upínací stopky je 6 mm a délka je 36 mm. Povlak špičky vrtáku je TFP – zaručuje optimální odvod třísky. [9]



Obr. 8. 3 Vrták Alpha 4 XD25 [9]

8.2.1.2. Řezné parametry

Řezné parametry jsou odečtené z tabulky v katalogu výrobce vrtáku. Chladicí kapalinou je olejová emulze. Řezná rychlost v_c je 51,5 m/min. Posuv na otáčku f je 0,0551 mm. [9]

Vypočítané parametry

- otáčky n (vyjádřeno z rovnice (2.1))

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 51,5}{\pi \cdot 3,5} \doteq 4680 \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

- rychlost posuvu v_f (vyjádřeno z rovnice (2.2))

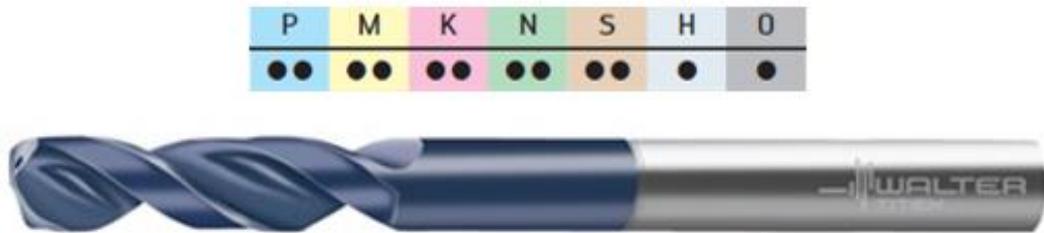
$$v_f = f \cdot n = 0,0551 \cdot 4680 = 258 \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}\text{]}$$

8.2.2. Volba vrtáku pro vodící díru

Vrták pro navrtání vodící díry jsem zvolil dle obráběného materiálu, průměru díry a vrtáku na hlubokou díru. Z katalogu Walter jsem zvolil vrták XD Pilot s označením A6181TFT-3,5. [9]

8.2.2.1. Parametry vrtáku

Vrták je ze slinutého karbidu s vnitřním chlazením. Vrták má povlak TFT, který je vysoce výkonný s velice nízkým třením. Maximální délka vrtání je přes 2xD, přesně 14 mm. Úhel špičky vrtáku je 150°. Celková délka vrtáku je 66 mm. Délka šroubovitých drážek je 20 mm. Průměr stopky je 6 mm a délka je 36 mm. [9]



Obr. 8. 4 Vrták XD Pilot [9]

8.2.2.2. Řezné parametry

Řezné parametry jsou odečtené z tabulky v katalogu výrobce vrtáku. Chladičí kapalinou je olej. Řezná rychlost v_c je 50 m/min. Posuv na otáčku f je 0,0642 mm. [9]

Vypočítané parametry

- otáčky n (vyjádřeno z rovnice (2.1))

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 50}{\pi \cdot 3,5} \doteq 4540 \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

- rychlost posuvu v_f (vyjádřeno z rovnice (2.2))

$$v_f = f \cdot n = 0,0642 \cdot 4540 = 291 \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}\text{]}$$

8.2.3. Postup vrtání díry

Pravidla postupu pro vrtání díry použijí stejné jako při postupu vrtání díry karbidovým vrtákem (viz odstavec 3.2.2.2).

1) Navrtání vodicího otvoru

Zhotoví se vodicí otvor o hloubce $2xD$. Při řezné rychlosti 50 m/min a rychlosti posuvu 291 mm/min. Hodnota otáček za minutu je 4540.

2) Předvrtání hluboké díry

Vrták pro hlubokou díru se zavede do hloubky $1,5 xD$ s řeznou rychlostí 1 m/min a se 300 otáčkami za minutu. Zapne se přívod chladicí kapaliny a začne se vrtat do hloubky $3xD$. Řezná rychlost a rychlost posuvu bude na 25-50 % jejich pracovních hodnot.

3) Vrtání hluboké díry

V dalším kroku se při plné řezné rychlosti a rychlosti posuvu vrtá celá hloubka díry. Hodnota řezné rychlosti je 51,5 m/min, rychlost posuvu je 258 mm/min a otáčky vrtáku jsou 4680 za minutu.

4) Výjezd vrtáku

Nakonec se vyjede z díry s řeznou rychlostí 1 m/min a otáčkami 300 za minutu. [10] [11]

9. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou hlubokého vrtání.

Práce na začátku uvádí základní rozdělení metod třískového obrábění. Také se věnuje základním úkonům a parametrům při procesu vrtání. Dále se věnuje hlubokému vrtání děr o malých průměrech a velkých délkách (xD technologie). Zabývá se technologií vrtání hlubokých děr dělovými vrtáky a šroubovitými dvoubřitými vrtáky. Udává přehled materiálů pro výrobu řezných nástrojů. Uvádí materiály pro výrobu vrtáků a metody jejich povlakování. Poskytuje základní rozdělení metod upínání vrtáků. Zobrazuje používané stroje pro výrobu hlubokých děr. Poskytuje průzkum trhu výrobců vrtáků pro hluboké vrtání. Nakonec navrhuje vrtací technologii pro součást vyrobenou z nástrojové oceli 1.2709.

Dá se říci, že nabídka produktů pro hluboké vrtání je opravdu široká. Výrobci neustále inovují své produkty a nabízejí i skvělou technickou podporu. Na trhu je široký výběr vrtáků pro hluboké vrtání s různými tvary a z různých druhů materiálů.

Dvoubřité vrtáky se vyrábějí z rychlořezné oceli nebo ze slinutého karbidu s možností vnitřního chlazení. Na vrtáky se nanáší povlaky pro zlepšení jejich řezných vlastností a prodloužení životnosti vrtáků. Dělové vrtáky se vyrábějí jednobřité, dvoubřité nebo s VBD ze slinutého karbidu a mají také vnitřní přívod chladicí kapaliny.

Práce ukázala, že dvoubřité šroubovitě vrtáky ze slinutých karbidů jsou daleko výkonnější než vrtáky z rychlořezné oceli. Kvalita otvoru je po obrábění karbidovými vrtáky značně vyšší. Také jejich produktivita je několikanásobně vyšší.

Při vrtání dělovými vrtáky je produktivita pro malé výrobní série mnohokrát nižší než při vrtání karbidovými vrtáky. Kvalita a přesnost otvoru je v tomto případě přibližně stejná.

Vrtání dvoubřitými šroubovitými vrtáky ze slinutých karbidů je vhodné pro malosériovou výrobu. Dělové vrtáky jsou vhodnější pro větší obrobky a delší hloubky vrtání nebo pro větší výrobní série.

10. Seznam použitých zdrojů

- [1] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Jana NOVÁKOVÁ a Lenka PETŘKOVSKÁ. Technologie II. 2. díl. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. 142 s. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [2] AB Sandvik Coromant - SANDIK 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 Cuttig - A Practical Handbook. ISN 91-97 22 99-4-6.
- [3] HUMÁR, A. TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 2. část [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. 94 s. [cit. 02.07.2020]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1441/jaro2011/DI3MK_STR3/um/TI_TO-2cast.pdf>.
- [4] SANDVIK [online]. *Vrtání hlubokých děr*. [cit. 04.07.2020]. Dostupné z: <<https://pdf.directindustry.com/pdf/sandvik-coromant-14460.html>>
- [5] China Customized Tungsten Carbide Material Gun Drill Bits Blank Suppliers & Manufacturers - Factory Direct Price - Marie Jay's Metal. MJC Carbide Rod, Carbide Dies, Carbide Inserts Suppliers & Manufacturers & Factory - Marie Jay's Metal Products Co.,Limited [online]. Copyright Marie Jay [cit. 25.07.2020]. Dostupné z: <<http://www.mariejcarbide.com/carbide-rod/tungsten-carbide-gun-drill/tungsten-carbide-material-gun-drill-bits.html>>.
- [6] Vrtání děr. Ostravská univerzita [online]. c2009 [cit. 25.07.2020]. Dostupné z: <<https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/vrtani/nastroje.html>>.
- [7] ISCAR [online]. *Hole making tools. Katalogy*. [cit. 11.07.2020]. Dostupné z: <<https://www.iscar.cz/newarticles.aspx/countryid/6/newarticleid/2393>>.
- [8] WALTER [online]. *Produktová příručka Walter Titex Vrtání. Ke stažení*. [cit. 09.07.2020]. Dostupné z: <<https://www.walter-tools.com/cs-cz/search/pages/default.aspx#/?k=příručka>>.
- [9] WALTER [online]. *Kompletní katalog 2017. Ke stažení*. [cit. 09.07.2020]. Dostupné z: <<https://www.walter-tools.com/cs-cz/search/pages/default.aspx#/?k=katalog>>.
- [10] GÜHRING [online]. *Deep hole drilling tools 2020. Downloads*. [cit. 07.07.2020]. Dostupné z: <<https://guehring.com/cs/products/drilling-tools/>>.
- [11] WNT [online]. *Katalog 2019 – 01 HSS vrtáky. Downloads*. [cit. 06.07.2020]. Dostupné z: <<https://www.wnt.com/cz/download.html>>.
- [12] HUMÁR, A. TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. [cit. 08.07.2020]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1441/jaro2011/DT3MK_STR3/um/TI_TO-1cast.pdf>.
- [13] MÁDL, J., KAFKA, J., VRABEC, M., DVOŘÁK, R. Technologie obrábění. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. 246 s. ISBN 9788001020913.
- [14] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Jana NOVÁKOVÁ a Lenka PETŘKOVSKÁ. Technologie II. 1. díl. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. 119 s. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [15] Vrtáky do kovu | Český Kutil.cz. Český Kutil.cz - inspirace pro hobby, stavbu, rekonstrukci, zahradu a domácnost [online]. c2012 [cit. 11.07.2020]. Dostupné z: <<https://ceskykutil.cz/clanek-11514-vrtaky-do-kovu>>.

- [16] Vrtání hlubokých otvorů. Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum [online]. c2020 www.mmspektrum.com [cit. 12.07.2020]. Dostupné z: <<https://www.mmspektrum.com/clanek/vrtani-hlubokych-otvoru.html>>.
- [17] ELUC. ELUC [online]. [cit. 30.07.2020]. Dostupné z: <<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1211>>.
- [18] Vrtání děr. Ostravská univerzita [online]. c 2009 [cit. 30.07.2020]. Dostupné z: <<https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/vrtani/upinaniv.html>>.
- [19] BORSKÝ, Václav. Jednoučelové obráběcí stroje. Vyd. 2., přeprac. Brno: Ediční středisko VUT, 1989. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-0031-5.
- [20] UNE Gundrilling Machines | Compact Gundrilling Machines for Job Shops and Production. Deep Hole Drilling Machines - Precision Gundrilling Machines for all Industries | UNISIG Deep Hole Drilling Systems [online]. c 2020 UNISIG. All rights reserved. [cit. 30.07.2020]. Dostupné z: <<https://www.unisig.com/products-and-technology/machines/all-machines/une/>>.
- [21] Víceúčelové obráběcí stroje – horizontální . Document Moved [online]. Sandvik Coromant [cit. 30.07.2020]. Dostupné z: <<https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/machine-tooling-solutions/machines/pages/multi-task-machines-horizontal.aspx>>.
- [22] Víceúčelové obráběcí stroje – vertikální . Document Moved [online]. Sandvik Coromant [cit. 30.07.2020]. Dostupné z: <<https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/machine-tooling-solutions/machines/pages/multi-task-machines-vertical.aspx>>.
- [23] WNT [online]. *Katalog 2019 – 02 TK vrtáky. Downloads*. [cit. 06.07.2020]. Dostupné z: <<https://www.wnt.com/cz/download.html>>.
- [24] KENAMETAL [online]. *MASTER KATALOG 2018 ČÁST DRUHÁ ROTAČNÍ NÁSTROJE Čeština. Katalog*. [cit. 03.07.2020]. Dostupné z: <<https://catalogs.kenametal.com/BookshelfView/>>.
- [25] WALTER [online]. *Product Innovations catalogue 2020. Downloads*. [cit. 22.07.2020]. Dostupné z: <<https://www.walter-tools.com/en-gb/search/pages/default.aspx#/?k=DC160%20Advance>>.
- [26] Dělové vrtáky. In: *GÜHRING* [online]. GÜHRING [cit. 25.07.2020]. Dostupné z: <<https://guehring.com/cs/products/gun-drills/>>.
- [27] GD-DH. In: *ISCAR* [online]. ISCAR [cit. 19.07.2020]. Dostupné z: <<https://www.iscar.com/eCatalog/Item.aspx?cat=4834308&fnum=3788&mapp=DR&GFSTYP=M&srch=1>>.
- [28] MNCNT-T2. In: *ISCAR* [online]. ISCAR [cit. 19.07.2020]. Dostupné z: <<https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=3203579&fnum=3586&mapp=DR&app=252&GFSTYP=M&isoD=1&lang=WZ>>.
- [29] SANDVIK [online]. *Gun drilling*. AB Sandvik Coromant 2013 [cit. 25.07.2020]. Dostupné z: <<https://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/brochures/en-gb/c-1140-543.pdf>>.
- [30] ANDRLÍKOVÁ, Věra. Geometrie šroubovitého vrtáku [přednáška] Klatovy: Střední průmyslová škola strojní - strojírenské technologie . In: . 2014.

Seznam obrázků

Obr. 2. 1 Základní kinematika při vrtání [2]	12
Obr. 2. 2 Průřez třísky při vrtání a vyvrtávání [1]	14
Obr. 2. 3 Jednotkový strojní čas při vrtání [3]	15
Obr. 2. 4 Části šroubovitého vrtáku [3]	16
Obr. 2. 5 Geometrie šroubovitého vrtáku [30]	17
Obr. 3. 1 Ejektorové vrtání – základní schéma [4]	18
Obr. 3. 2 Ejektorové vrtání – popis komponent [4]	19
Obr. 3. 3 STS systém – základní schéma [4]	19
Obr. 3. 4 Ejektorové vrtání – popis komponent [4]	19
Obr. 3. 5 Dělové vrtání – základní schéma [4]	20
Obr. 3. 6 Dělové vrtání – popis komponent [4]	20
Obr. 3. 7 Hlavní části dělového vrtáku [5]	21
Obr. 3. 8 Hlava dělového vrtáku [6]	21
Obr. 3. 9 Rozměry dělového vrtáku [4]	22
Obr. 3. 10 Typy hlav dělového vrtáku [7]	22
Obr. 3. 11 Rozměry vodicí díry – dělové vrtání [4]	23
Obr. 3. 12 Rozměry vrtáků z SK s TSC [9]	26
Obr. 3. 13 Rozměry vrtáků z HSS [9]	26
Obr. 3. 14 Úhel špičky při navrtávání vodicích děr [8]	27
Obr. 3. 15 Četnost výplachů při vrtání s vrtáky HSS [11]	28
Obr. 3. 16 Navrtávání díry pro vrtání karbidovým vrtákem [8]	28
Obr. 4. 1 Oblasti použití řezných materiálů [12]	31
Obr. 4. 2 Vrtáky z rychlořezné oceli [15]	34
Obr. 4. 3 Špička vrtáku s VBD z SK [16]	35
Obr. 5. 1 Tříčelistové sklíčidlo [18]	37
Obr. 5. 2 Rychloupínací sklíčidlo [17]	37
Obr. 5. 3 Schéma kleštinového upnutí [17]	38
Obr. 5. 4 Hydraulický upínač [17]	38
Obr. 5. 5 Upínač Weldon [17]	39
Obr. 5. 6 Redukční pouzdra s Morse kuželem [18]	39
Obr. 6. 1 Jednoučelový stroj UNE [20]	40
Obr. 6. 2 Horizontální stroj [21]	41
Obr. 6. 3 Vertikální stroj [22]	41
Obr. 7. 1 Vrták UFL - A1822, A1922L [9]	42
Obr. 7. 2 Vrták X•treme EVO - DC160 Advance [25]	43
Obr. 7. 3 Vrták Alpha 4 XD30 - A6985TFP [9]	43
Obr. 7. 4 Vrták X•treme D50 - A7595TTP [9]	43
Obr. 7. 5 Vrták 10255xxx [11]	44
Obr. 7. 6 Vrták WTX - 11030xxx, 11050xxx [23]	44
Obr. 7. 7 Vrták WTX - 11031xxx [23]	45
Obr. 7. 8 Oblast použití vrtáku HSCO - č. 571 [10]	45
Obr. 7. 9 Oblast použití vrtáku HSS - č. 242 [10]	46
Obr. 7. 10 Karbidový vrták - č. 6513 [10]	46
Obr. 7. 11 Karbidový vrták B274Z [24]	47
Obr. 7. 12 Dělový vrták EB 100 MONO [10] [26]	48
Obr. 7. 13 Dělový vrták EB 80 [10] [26]	49
Obr. 7. 14 Dělový vrták EB 800 [10] [26]	49
Obr. 7. 15 Dělový vrták GD-DH [27]	50
Obr. 7. 16 Dělový vrták MNCNT-T2 [28]	50
Obr. 7. 17 Dělový vrták CoroDrill® 428.2 [29]	51
Obr. 7. 18 Dělový vrták CoroDrill® 428.5 [29]	51
Obr. 7. 19 Dělový vrták CoroDrill® 428.9 [29]	51



Obr. 8. 1 HSCO vrták – č. 618 [10]	52
Obr. 8. 2 HSCO navrtávák – č. 659 [10].....	53
Obr. 8. 3 Vrták Alpha 4 XD25 [9].....	55
Obr. 8. 4 Vrták XD Pilot [9]	56

Seznam tabulek

Tab. 1 Tolerance zhotoveného otvoru při dělovém vrtání [7]	25
Tab. 2 Drsnost povrchu díry při dělovém vrtání [7].....	25
Tab. 3 Aplikační oblast obráběných materiálů [8]	33

Seznam grafů

Graf 1 Závislost sousosti na hloubce dělového vrtání [7]	24
Graf 2 Závislost přímosti díry na hloubce dělového vrtání [7].....	24
Graf 3 Porovnání produktivity hlubokého vrtání [8]	30