



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ŘEZNÉ NÁSTROJE PRO HLUBOKÉ VRTÁNÍ A JEJICH VYUŽITÍ V PRAXI

CUTTING TOOLS FOR DEEP DRILLING AND THEIR USE IN PRACTICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Sedlář

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Jiří Sedlář
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.
Akademický rok:	2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Řezné nástroje pro hluboké vrtání a jejich využití v praxi

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce je zaměřena na řezné nástroje, které se používají pro hluboké vrtání.

Cíle bakalářské práce:

1. Charakteristika technologie vrtání
2. Charakteristika řezných materiálů
3. Charakteristika povlakovacích metod
4. Nástroje pro hluboké vrtání a jejich využití v praxi

Seznam doporučené literatury:

FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 234 s.

FOREJT, M. a PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 255 s. ISBN 80-214-2374-9.

HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Praha: MM publishing s.r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-2-4-2250-2.

MATTOX, M. Handbook of Physical Vapour Deposition (PVD) Processing. 2. vyd. Albuquerque (USA): APR, 2010. 917 s. ISBN: 978-0-8155-2037-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá nástroji pro hluboké vrtání. První část je zaměřena na základní popis vrtacího procesu, rozdělení vrtacích nástrojů podle jejich konstrukce a v neposlední řadě je zde uvedena charakteristika i rozdělení systémů používaných při hlubokém vrtání. Dále byl v práci zpracován přehled materiálů pro výrobu řezných nástrojů a jejich způsobu povlakování, které se v dnešní době nejvíce používají. Z důvodu zlepšení jejich mechanických, fyzikálních i chemických vlastností v tomto oboru stále probíhá intenzivní vývoj. Poslední část je věnována definici nástrojů pro hluboké vrtání a jejich použití v praxi.

Klíčová slova

hluboké, vrtání, nástroj, vrták, materiál, povlak

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with tools for drilling deep holes. The first part is focused on the basic description of the drilling process, sorting the tools according to their construction and last but not least, sorting of the systems used for deep drilling. In the theses is further elaborated an overview of materials for the production of cutting tools and ways of coating, which are used the most nowadays. There is a constant development in coating, because of the better mechanical, physical and chemical properties in this field. The last part is dedicated to the definition of the tools for deep drilling and their use in practice.

Key words

deep, drilling, tool, drill, material, coat

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SEDLÁŘ, J. *Řezné nástroje pro hluboké vrtání a jejich využití v praxi*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Řezné nástroje pro hluboké vrtání a jejich využití v praxi* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

23.5.2018

Datum

Jiří Sedlář

PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří vedoucímu bakalářské práce Ing. Aleši Jarošovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a ochotu při konzultacích, kterou mi v průběhu zpracování věnoval. Dále bych chtěl tímto poděkovat mé rodině za podporu a trpělivost během celého bakalářského studia.

OBSAH

Abstrakt.....	5
Prohlášení.....	6
Poděkování.....	7
Obsah	8
Úvod	10
1 Technologie vrtání	11
1.1 Kinematika vrtání	11
1.2 Analýza průřezu třísky a sil	12
1.3 Řezný výkon při vrtání	14
1.4 Jednotkový strojní čas	14
1.5 Nástroje pro vrtání	15
1.5.1 Kopinaté vrtáky	15
1.5.2 Šroubovité vrtáky	16
1.5.3 Kombinované vrtáky	18
1.5.4 Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami	19
1.5.5 Vrtáky s vyměnitelnou špičkou.....	20
1.5.6 Trepanační vrtáky	20
1.6 Hluboké vrtání.....	21
1.6.1 Systém STS.....	21
1.6.2 Ejektorový systém.....	22
1.6.3 Systém dělového (hlavnového) vrtáku.....	22
2 Materiály pro řezné nástroje	24
2.1 Rychlořezné oceli	25
2.1.1 Tepelné zpracování	25
2.1.2 Metalurgický účinek jednotlivých prvků obsažených v RO.....	26
2.1.3 Rychlořezné oceli vyrobené práškovou metalurgií.....	27
2.1.4 Vlastnosti a použití RO	27
2.2 Slinuté karbidy.....	27
2.2.1 Charakteristika skupin K, P, M, N, S, H.....	29
2.2.2 Výroba slinutých karbidů	30
2.3 Cermety.....	32
2.4 Řezná keramika	32
2.4.1 Řezná keramika na bázi oxidu hlinitého	32

2.4.2 Řezná keramika na bázi nitridu křemíku	32
2.5 Supertvrdé řezné materiály	33
2.5.1 Polykrystalický kubický nitrid bóru	33
2.5.2 Polykrystalický diamant	33
3 Charakteristika povlakovacích metod	34
3.1 Metoda PVD	34
3.1.1 Naprašování	35
3.1.2 Napařování	35
3.1.3 Iontová implantace	36
3.2 Metoda CVD	37
3.3 Moderní povlakovací metody	38
3.3.1 Metoda MT-CVD	38
3.3.2 Metoda HF-CVD	38
3.3.3 Metoda LI-CVD	38
3.3.4 Metoda CA-CVD	38
3.3.5 Metoda PA-CVD	38
3.3.6 Metoda MWP-CVD	39
4 VYUŽITÍ NÁSTROJŮ PRO HLUBOKÉ VRTÁNÍ V PRAXI	40
4.1 Společnost Sandvik Coromant	40
4.1.1 Vybrané nástroje společnosti Sandvik Coromant	40
4.2 Společnost Botek	42
4.2.1 Vybrané nástroje společnosti Botek	42
4.3 Společnost Tungaloy	44
4.3.1 Vybrané nástroje společnosti Tungaloy	44
Závěr	45
Seznam použitých zdrojů	46
Seznam použitých symbolů	50
Seznam použitých zkratk	51

ÚVOD

Vrtání je jeden z nejstarších způsobů třískového obrábění různých typů materiálů. Nástroj zvaný smyčcová vrtačka, kde se vrták roztáčí třívou, byl vynalezen již v době kamenné. Ruční pohon přetrvával až do 15. století, kdy francouzský inženýr Salomon de Caus představil vyvrtávací stroj poháněný vodním kolem [35].

Pod pojmem „hluboké vrtání“ si můžeme představit velký objem odebíraného materiálu s požadavkem na velkou přesnost, přímost a rozměrovou stálost obráběné díry. Díky těmto velkým nárokům je potřeba použít kvalitních rezných nástrojů a speciálních strojů, konstruovaných přesně pro tento účel. Jelikož jsou často obráběné součásti velmi drahé, klade se velký důraz na spolehlivost celého vrtacího procesu. Spolehlivost je značně ovlivněna pracovními postupy, kdy musí být zajištěno dobré utváření třísek, plynulý odvod třísek z místa řezu, chlazení a v neposlední řadě mazání. K tomu zásadně napomáhá procesní kapalina.

Vývoj obráběných materiálů s sebou nese výzkum v oblasti rezných materiálů. První větší pokrok nastal při objevení rychlořezných ocelí, které se vyrábí legováním nástrojových ocelí na určité chemické složení. Avšak nejpodstatnější zlom přišel s nástroji ze slinutých karbidů vyrobených práškovou metalurgií, kdy je směs prášku formována na požadovaný tvar a následně slinována v peci. Lepší vlastnosti jsou zajištěny díky míšení tvrdých karbidů s houževnatým pojivem a jemné struktuře bez nežádoucích pórů. Nelze opomenout materiály, jako jsou cermety, rezná keramika, syntetický diamant nebo KNB, které se však více používají pro obrábění neželezných materiálů nebo pro dokončovací operace.

Pro zlepšení fyzikálních a mechanických vlastností se na tyto materiály dále nanáší tenké vrstvy (může jich být několik) povlaků v řádech několika mikrometrů. Povlaky typu TiC, TiN až po diamantové povlaky se nanáší metodami PVD i CVD a jejich dalšími modifikacemi. Takto rozsáhlá změna v rezných materiálech znamenala velké zvýšení rezných rychlostí a posuvů, tím se také zvýšil rezný výkon a nároky na strojní zařízení.

Výběr správného nástroje pro daný materiál i zvolenou technologii vrtání je nezbytnou součástí ke zvýšení kvality vrtaných děr a trvanlivosti nástroje.

1 TECHNOLOGIE VRTÁNÍ

Vrtání je obráběcí metoda, kterou se vytvářejí díry zcela, nebo se pouze zvětšují předem zhotovené díry předvrtáním, předkováním, předlisováním, předlitím atd. Parametry obrobene díry jsou značně ovlivněny technologickými vlastnostmi rozměrového nástroje. Nejvíce se používají vícebřité nástroje. Hlavním pohybem je rotace vykonávaná především nástrojem (vrtákem), v ojedinělých případech rotuje obrobek. Plocha, na které mají být vyhotoveny díry je obvykle kolmá k ose vrtáku (v této ose se také uskutečňuje posuv vrtáku) [1,2].

Zvláštností vrtání stejně jako u ostatních osových operací je různá řezná rychlost každého bodu na ostří nástroje. Řezná rychlost je na obvodu nástroje nejvyšší a zmenšuje se směrem k ose nástroje, kde je nulová. Za řeznou rychlost se zpravidla považuje obvodová rychlost na maximálním (jmenovitém) průměru nástroje [1,2,3].

Vrtání lze podle zvolené technologie a druhu vrtání, konstrukce a geometrie použitého vrtáku rozdělit na [2]:

1. vrtání krátkých děr do plného materiálu,
2. vrtání krátkých děr do předem zhotovených děr v materiálu,
3. vrtání hlubokých děr do plného materiálu či předem zhotovených děr v materiálu,
4. vrtání průchozích děr,
5. speciální druhy vrtání,
6. vrtání děr nekovových, kompozitních a těžkoobrobitelných materiálů jako jsou pryže, beton, plastické hmoty, kámen atd.

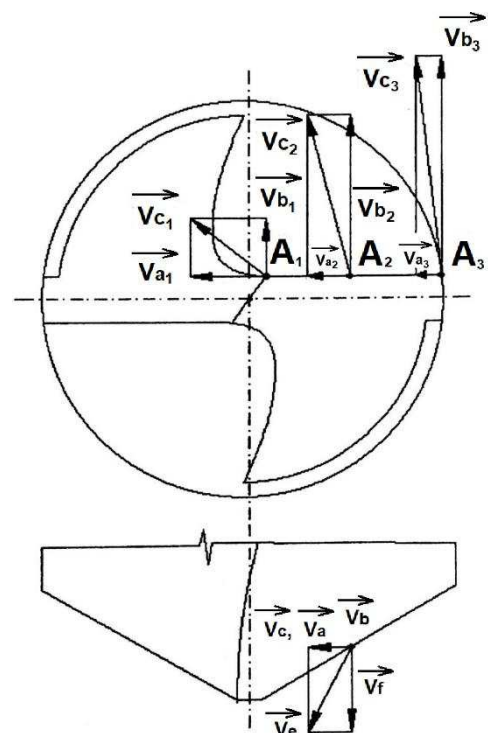
1.1 Kinematika vrtání

Vztah pro výpočet řezné rychlosti v_{ci} je závislý na počtu otáček n a jmenovitého průměru vrtáku D_i [4]:

$$v_{ci} = \frac{\pi \cdot D_i \cdot n}{1000} \quad (1.1)$$

a posuvová rychlost je závislá na otáčkách vrtáku n a také na posuvu na otáčku f [4]:

$$v_f = \frac{f \cdot n}{1000} \quad (1.2)$$



obr. 1.1 Směry vektorů hlavního a vedlejšího pohybu při vrtání dvoubřítým šroubovým vrtákem [4].

1.2 Analýza průřezu třísky a sil

Jmenovitý průřez třísky pro vrtání dvoubřítým šroubovitým vrtákem do plného materiálu (obr. 1.2) je dán vztahem [2, 4]:

$$A_D = h_D \cdot b_D = a_p \cdot \frac{f}{2} \quad (1.3)$$

kde šířka třísky je [4]:

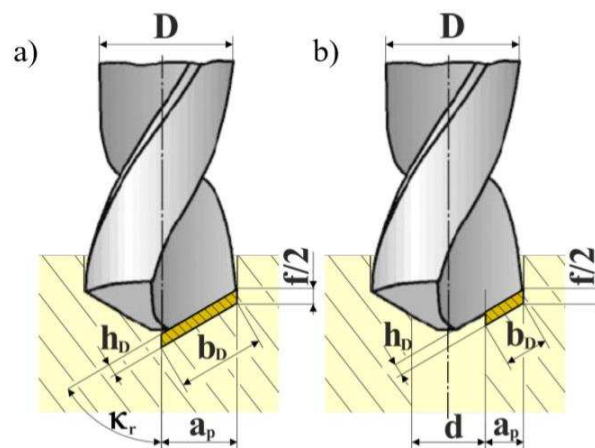
$$b_D = \frac{D}{2 \cdot \sin \kappa_r} \quad (1.4)$$

a tloušťka třísky [4]:

$$h_D = \frac{f}{2} \sin \kappa_r \quad (1.5)$$

tudíž při zvětšování již předvrtané díry bude šířka třísky [4]:

$$b_D = \frac{D-d}{2 \cdot \sin \kappa_r} \quad (1.6)$$



obr. 1.2 Popis velikosti průřezu třísky při vrtání dvoubřítým šroubovitým vrtákem a) do plného materiálu, b) do předvrtané díry [4].

a tedy průřez třísky pro jednobřítý nástroj ($a_p=D/2$) je určen rovnicí [4]:

$$A_D = \frac{D}{4} \cdot f \quad (1.7)$$

s předvrtanou dírou:

$$A_D = \frac{D-d}{4} \cdot f \quad (1.8)$$

a pro dvoubřítý nástroj ($a_p=D$) [2]:

$$A_D = \frac{D}{2} \cdot f \quad (1.9)$$

s předvrtanou dírou

$$A_D = \frac{D-d}{4} \cdot f \quad (1.10)$$

U nástrojů se zuby symetricky umístěnými vzhledem k jeho ose jsou výsledné síly tvořeny součtem nebo rozdílem hodnot na obou břitech nástroje (obr. 1.3) [4]:

$$\text{posuvová síla} \quad F_f = F_{f1} + F_{f2} \quad (1.11)$$

$$\text{pasivní síla} \quad F_p = F_{p1} - F_{p2} \quad (1.12)$$

$$\text{řezná síla} \quad F_c = F_{c1} + F_{c2} = k_c \cdot A_D \quad (1.13)$$

Při správném a přesném naostření vrtáku budou síly na obou břitech stejné ($F_p=0$), potom [4]:

$$F_{f1} = F_{f2} = \frac{F_f}{2} \quad (1.14)$$

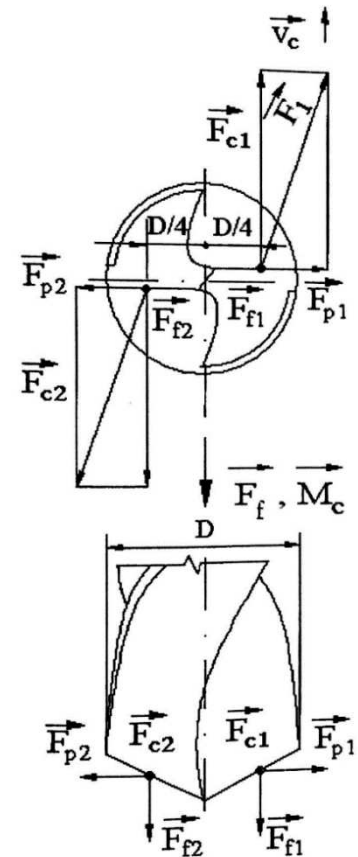
$$F_{p1} = F_{p2} = \frac{F_p}{2} \quad (1.15)$$

$$F_{c1} = F_{c2} = \frac{F_c}{2} \quad (1.16)$$

Za pomoci následujících experimentálně ověřených vztahů lze při vrtání, obdobně jako u frézování, určit jednotlivé síly (odpory) [4]:

$$F_f = C_{Ff} \cdot D^{X_{Ff}} \cdot f^{Y_{Ff}} \quad (1.17)$$

$$F_c = C_{Fc} \cdot D^{X_{Fc}} \cdot f^{Y_{Fc}} \quad (1.18)$$



obr. 1.3 Analýza silového působení při vrtání [4].

Tab. 1.1 Hodnoty konstant a exponentů pro určení řezné síly F_c a posuvové síly F_f [4].

Obráběný materiál	C_{Fc}	X_{Fc}	Y_{Fc}	C_{Ff}	X_{Ff}	Y_{Ff}
Ocel $R_m = 750 \text{ MPa}$	3 650	0,9	0,78	865	1	0,72
Litina 200 HB	2450	0,85	0,8	630	1	0,78

Pro výpočet krouticího momentu k ose vrtáku lze pomocí rovnic (1.16) a (1.18) odvodit empirický vztah [4]:

$$M_c = 2 \cdot \frac{F_c}{2} \cdot \frac{D}{4} = \frac{1}{4} \cdot F_c \cdot D = \frac{1}{4} \cdot C_{Fc} \cdot D^{X_{Fc}} \cdot f^{Y_{Fc}} \cdot D = \frac{1}{4} \cdot C_{Fc} \cdot D^{(X_{Fc}+1)} \cdot f^{Y_{Fc}}, \quad (1.19)$$

a při užití substituce $C_M = \frac{1}{4} \cdot C_{Fc}$, $X_M = X_{Fc} + 1$ vychází vztah:

$$M_c = C_M \cdot D^{X_M} \cdot f^{Y_{Fc}} \quad (1.20)$$

1.3 Řezný výkon při vrtání

Přibližný řezný výkon při vrtání se určí podle vztahu [4]:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{2 \cdot 60 \cdot 10^3} = \frac{F_c \cdot v_c}{1,2 \cdot 10^5}, \quad (1.21)$$

avšak problémem je obtížné oddělení vlivu jádra od vrtáku a pasivních odporů. Také díky proměnné řezné rychlosti a geometrii nástroje je sílu F_c velmi obtížné lokalizovat i přesně vyjádřit. Proto se využívá vztah, ve kterém figuruje řezný (krouticí) moment M_c v [Nm] a počet otáček n v [min^{-1}] [4]:

$$P_c = \frac{M_c \cdot n}{9,55} \quad (1.22)$$

Posuvový výkon při vrtání se určí přibližně podle vztahu [4]:

$$P_f = \frac{F_f \cdot v_f}{6 \cdot 10^4} \quad (1.23)$$

1.4 Jednotkový strojní čas

Na základě obr. 1.4 se určí jednotkový strojní čas [1]:

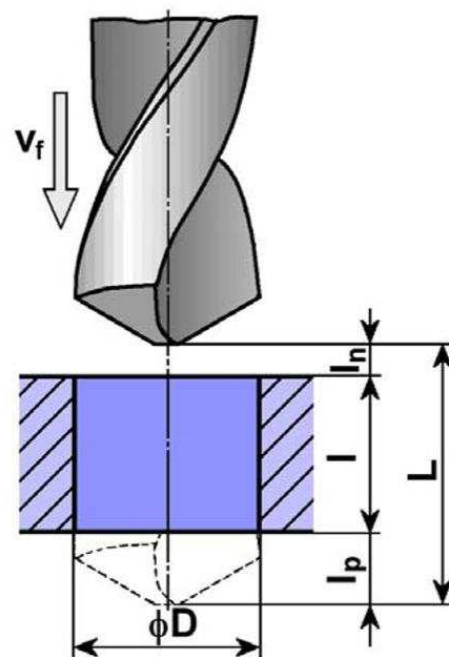
$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \quad (1.24)$$

Pro vrtáky s úhlem $2 \cdot \kappa_r = 118^\circ$ bude:

$$l_p = 0,5 \cdot D \cdot \tan 31^\circ + (0,5 \text{ až } 1) \cong \quad (1.25)$$

$$\cong 0,3 \cdot D + (0,5 \text{ až } 1)$$

$$\text{a } l_n = (0,5 \text{ až } 1) \quad (1.26)$$



obr. 1.4 Dráha nástroje ve směru posuvu při vrtání šroubovitým vrtákem [2].

1.5 Nástroje pro vrtání

Nástroj pro výrobu děr kruhového průřezu je nástroj, který obsahuje jeden nebo několik čelně obrábějících břitů a který využívá jednu nebo více přímých či šroubovitých drážek pro odvod třísek. Všechny vrtací nástroje mají jeden společný problém a to, že pracují za extrémních podmínek. Jak již bylo zmíněno, řezná rychlost se mění mezi nulou na ose vrtáku a nejvyšší hodnotou na jmenovitém obvodu nástroje. Dalším problémem je odvod vzniklých třísek z místa řezu tak, aby nedošlo k poškození obráběných ploch. Odvádění třísek usnadňuje procesní kapalina zajišťující také chladicí a mazací účinek [5,7].

Volba správného vrtacího nástroje závisí na celé řadě faktorů, mezi ně patří zejména průměr vrtané díry, délka díry, materiál obrobku, požadovaná tolerance, použitý stroj pro vrtání a v neposlední řadě i počet vrtaných děr vzhledem k hospodárnosti a jakosti výroby. Je také nutno rozhodnout, zda zvolit přeastřitelný vrták nebo vrták s vyměnitelnými břitovými destičkami [5,7].

Hlavní druhy vrtáků [2,6]:

1. kopinaté vrtáky,
2. šroubovité vrtáky,
3. kombinované vrtáky,
4. vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami,
5. nástroje s vyměnitelnou špičkou,
6. trepanační vrtáky,
7. nástroje pro vrtání hlubokých děr.

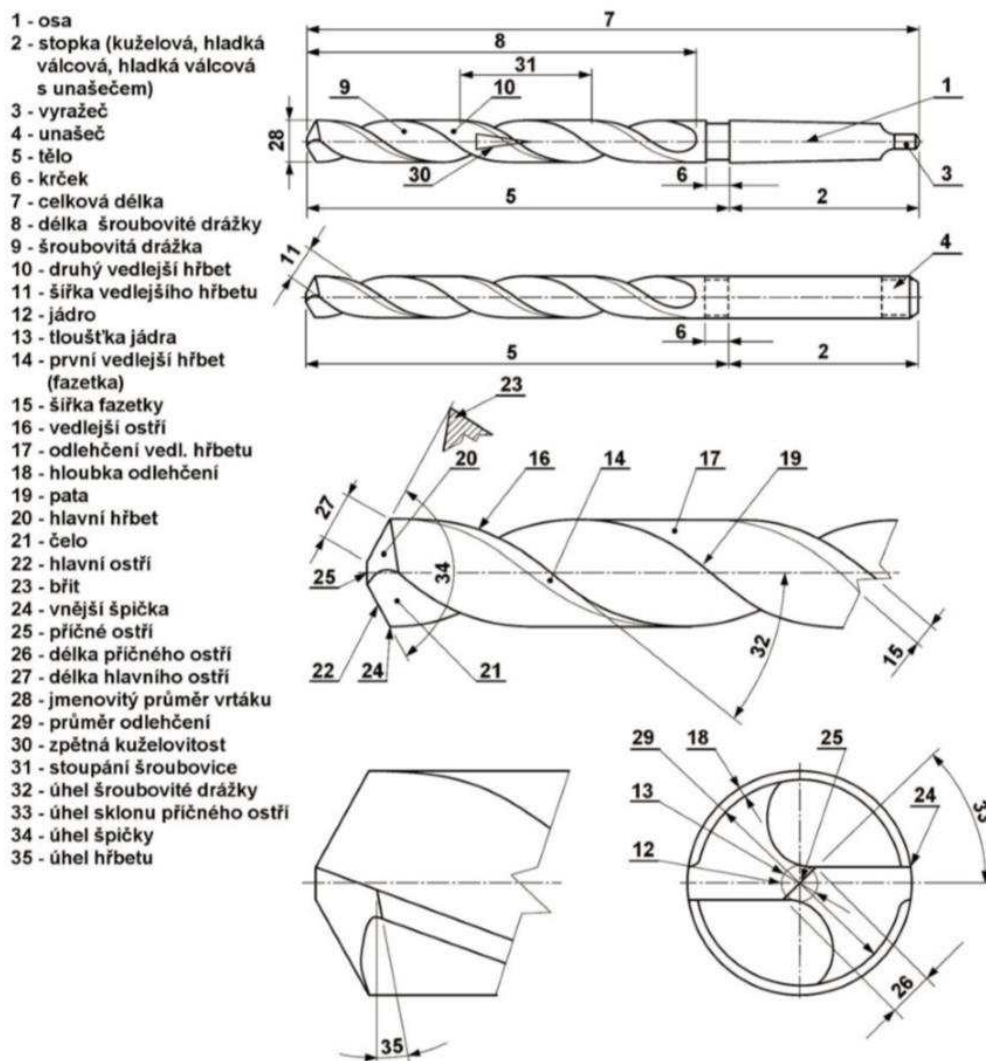
1.5.1 Kopinaté vrtáky

Tyto nástroje mají velmi vysokou tuhost a bez použití technologie navrtávání jsou schopny vrtat díry o průměru 28 až 128 mm do poměru L:D=3:1. Po vyvrtání je drsnost povrchu méně kvalitní než při použití šroubovitých vrtáků. Špička vrtáku je tvořena VBD (vyměnitelnými břitovými destičkami) vyrobených z RO (rychlořezných ocelí) nebo z SK (slnutých karbidů). Nástrojový úhel nastavení hlavního ostří má obvykle hodnotu $\kappa_r=66^\circ$. Vybrúšené fazetky na hřbetě mají za úkol snižovat tření v díře. Spolehlivé dělení odebírané třísky zajišťují vybrúšené dělicí drážky na obou hlavních hřbetech. Procesní kapalina je přiváděna vnitřkem nástroje [1,2].



obr. 1.5 Kopinatý vrták SHARK-Drill společnosti ARNO [8].

1.5.2 Šroubovité vrtáky



obr. 1.6 Základní části šroubovitého vrtáku [2].

Šroubovité vrtáky jsou dvoubřité rozměrové nástroje užívané k vrtání děr do plného materiálu, předvrtání děr, rozšiřování děr a k předvrtání děr pro výstružníky, vnitřní závity, záhlubníky a výhrubníky. Patří k nejpoužívanějším nástrojům pro vrtání krátkých děr tam, kde není možné použít vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami [6].

Válcové tělo vrtáku je přerušeno dvěma šroubovitými drážkami s úhlem stoupání 22° až 32° , s větším úhlem 37° až 47° se vrtají materiály s větší houževnatostí (např. termoplasty, měkké cementační oceli, slitiny hliníku bez přísad Si) a s menším úhlem 7° až 17° jsou vrtány tvrdší materiály s drobnou třískou (např. mosaz, tvrdá pryž, tvrzený papír, laminát, umakart, novodur, bakelit, plexisklo atd.) [6].

Pro dobrou pevnost v kroucení a na vzpěr se průměr vrtáku konstruuje tak, aby po vytvoření drážek vzniklo jádro o průměru $0,25$ až $0,5 \times D$. Pro snížení tření mezi vrtákem a vrtanou dírou nemá vnější plocha válcovitý tvar, ale mírně kuželovitý. Zužuje se směrem k upínací části. Jmenovitý průměr D se proto měří na hrotu [6].

Téměř válcová funkční část přechází přes válcový krček v upínací válcovou či kuželovou stopku. Zploštěním kuželové stopky se usnadňuje vyražení vrtáku z vřetene nebo redukční vložky. U standardního šroubovitého vrtáku pro vrtání litin střední tvrdosti a nelegovaných ocelí střední pevnosti je úhel špičky $\epsilon_r=2.\kappa_r=118^\circ$. Pro další materiály viz tab. 1.2 [2,6].

tab. 1.2 Směrné hodnoty základních úhlů šroubovitých vrtáků v závislosti na druhu obráběného materiálu [6].

Materiál obrobku	Úhel sklonu drážek λ_s°	Úhel hrotu $\epsilon_r^\circ=2.\kappa_r^\circ$	Úhel hřbetu α_r°
Ocel do 700 N/mm ²	30	110	10 až 12
Ocel 700 až 900 N/mm ²	30	120	10 až 12
Oceli slitinové 900 až 1200 N/mm ²	30	130	8 až 10
Šedá litina	30	95	8 až 10
Měď, hliník	40	140	12 až 15
Slitiny hliníku	30	110 až 130	10 až 12
Mosaz, bronz	15	120	12 až 15
Plastické hmoty	15	80 až 100	12 až 15

Pro jejich vlastní výrobu se nejčastěji používá rychlořezná ocel. Na obtížnější podmínky obrábění jsou určeny vrtáky s pájenými břitovými destičkami ze SK a vrtáky z monolitních slinutých karbidů s otěruvzdornými povlaky. Existují i šroubovitě vrtáky s třemi břity a vrtáky s přívodem procesní kapaliny [2].

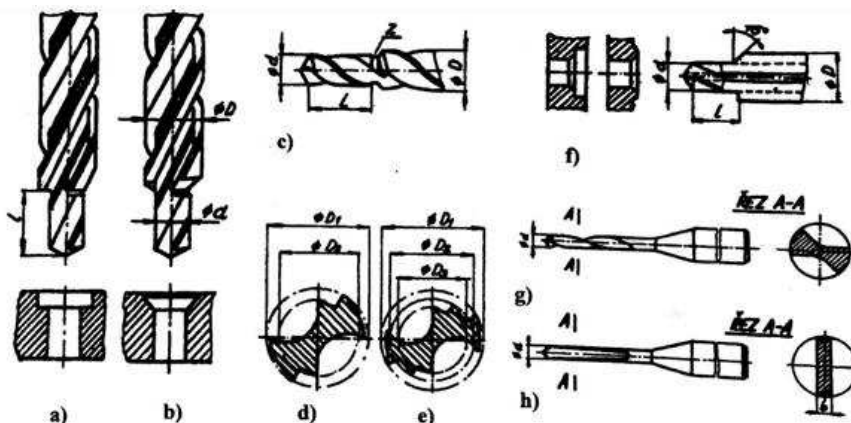


obr. 1.7 Monolitní karbidový vrták CoroDrill®860 s vnitřním přívodem procesní kapaliny firmy SANDVIK Coromant [9].

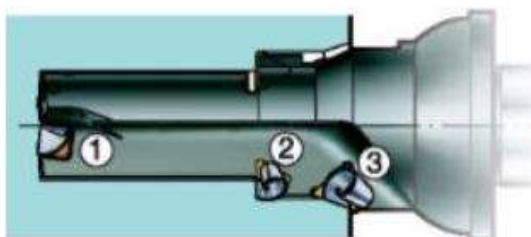
1.5.3 Kombinované vrtáky

Sériová výroba je nedílnou součástí vrtání. Snaha o eliminaci vedlejších časů dala vzniknout kombinovaným vrtákům, které jsou schopny provést několik operací najednou (vrtání, zahlubování, sražení hrany atd.). Vrtáky mají stupňovitě uspořádané břity. Bývají buď dvoustupňové, nebo vícešupňové [6].

Komplikovanější tvary vrtáků ovlivňují i cenu, a proto je používání pro kusovou výrobu nákladnější. Nevhodné použití je také pro vrtání hlubokých děr, houževnatých a těžko obrobitelných materiálů. Kromě stupňovitých se dělají i kombinace šroubových vrtáků s výstružníky, výhrubníky a závitníky [6].

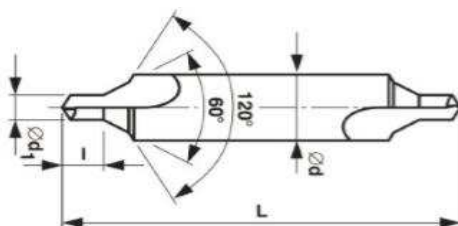


obr. 1.8 Stupňovité vrtáky a) pro vrtání a válcové zahlubování, b) pro vrtání a kuželové zahlubování, c) vybrušované stupňovité vrtáky, d) několika-drážkový dvoustupňový vrták, e) několika-drážkový tříšupňový vrták, f) dvoustupňový vrták k vrtání, zahlubování a sražení čela, g) tvar vrtáku malého průměru se šroubovou drážkou, h) kopinatý vrták malého průměru [6].



obr. 1.9 Vrtání stupňovitých děr se zkosenou hranou na jeden průchod [10].

Zvláštní skupinu tvoří středící vrtáky na vrtání středících důlků. Mají zvláštní tvar a geometrii břitu. Řadí se ke skupině dvoubřitých nástrojů se dvěma nebo třemi stupni [6].

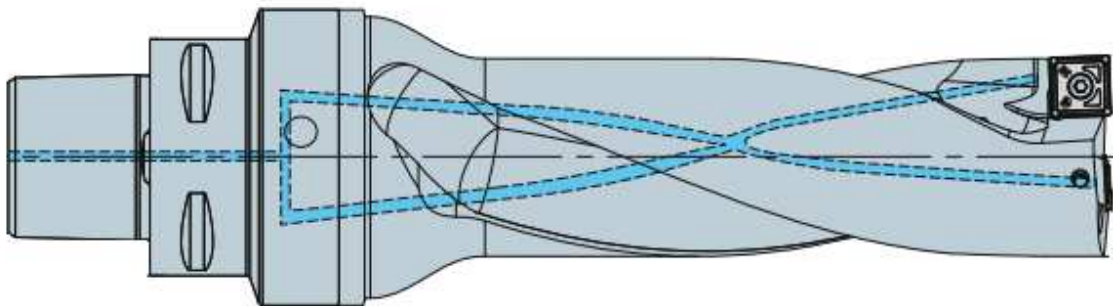


obr. 1.10 Středící vrták typu B [2].

1.5.4 Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami

Vrtáky s několika břitovými destičkami vyrobenými ze SK s pozitivní geometrií čela. Krátké vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami nejsou tak přesné jako šroubovitě vrtáky broušené na průměr s moderní geometrií břitu. Zajišťují však vyšší produktivitu a využívají se zásadně pro výrobu děr větších průměrů. Uspořádání překrývajících se břitů u běžného vrtáku s VBD je asymetrické. Díky tomuto provedení může být proces obrábění optimalizován pro rovnoměrné opotřebení břitů s proměnnou obvodovou rychlostí tím, že na obvodě a v ose vrtáku budou použity jiné typy slinutých karbidů a jiná geometrie [5].

Tvary destiček můžou být různorodé, ale například u vrtáku Coromant-U jsou trojúhelníkové nebo čtvercové, uložené tříbodovým stykem do lůžka a připevněné šroubem se zápusťnou hlavou. Pro větší průměry se používá vrták se čtyřmi překrývajícími se břity upevněnými ve snadno vyměnitelných kazetách. Při vysokých výkonech by měly být destičky opatřeny utvařeči třísek. Téměř všechny vrtáky tohoto typu obsahují centrální přívod procesní kapaliny (viz obr. 1.11) [5].



obr. 1.11 Vrták s VBD CoroDrill®880 firmy SANDVIK Coromant s vnitřním přívodem procesní kapaliny [11].



obr. 1.12 Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami firmy SANDVIK Coromant [11].

1.5.5 Vrtáky s vyměnitelnou špičkou

Existují dva základní typy těchto vrtáků. První z nich je se špičkou ve formě břitové destičky a druhý ve formě hlavice. Obě formy jsou vesměs vyráběny z povlakovaných slinutých karbidů. Nástroj může být vybaven centrálním přívodem procesní kapaliny až do místa řezu. Podle požadavků technologického postupu a obráběného materiálu se mění konstrukce geometrie hlavice [2].



obr. 1.13 Vrták s a) vyměnitelnou hlavicí CoroDrill® 870 b) vyměnitelnou břitovou destičkou firmy Walter [9,12].

1.5.6 Trepanační vrtáky

Trepanační vrtáky se uplatňují u tzv. vrtání na jádro (vykružování). Používají se pro větší průměry a na strojích s omezeným výkonem, protože tato metoda z hlediska požadovaného příkonu není tak náročná jako konvenční vrtání celého průřezu díry kompaktním vrtákem. Při vrtání na jádro nástroj neobrábí celý průměr, ale pouze mezikruží po obvodu díry. Po vyvrtání zůstává uprostřed díry jádro, proto se tato metoda používá zejména pro vrtání průchozích děr [13].

U dlouhých a těžkých jader se jádra musí podepírat, aby nedošlo k jejich vypadnutí a vyštípnutí břitové destičky [13].



obr. 1.14 Trepanační vrták firmy SANDVIK Coromant [11].

1.6 Hluboké vrtání

Vrtání hlubokých děr je obrábění děr s relativně vysokým poměrem hloubky díry k průměru. Do této kategorie patří délky vrtání zejména v rozsahu 5 – 100xD a více. S jistotou lze říct, že každá díra překračující desetinásobek průměru musí být považována za hlubokou a je nutno použít specializovanou techniku vrtání. Vrtání lze provádět s rotujícím obrobkem, rotujícím nástrojem nebo rotujícím nástrojem i obrobkem. Nejpoužívanější je však způsob první, kdy obrobek koná rotační pohyb, zatímco stacionární nástroj je veden po přímé dráze. Stejně jako u klasického vrtání je velmi důležité zvolit vhodnou řeznou rychlost i rychlost posuvu. Naprosto nezbytné je správné dělení a odvod třísek z místa řezu, aniž by došlo k poškození nástroje či obrobku. Procesní kapalina a její systém přívodu je jeden z nejdůležitějších faktorů zajišťující tuto funkci. Dále má kapalina chladicí a mazací účinek [27].

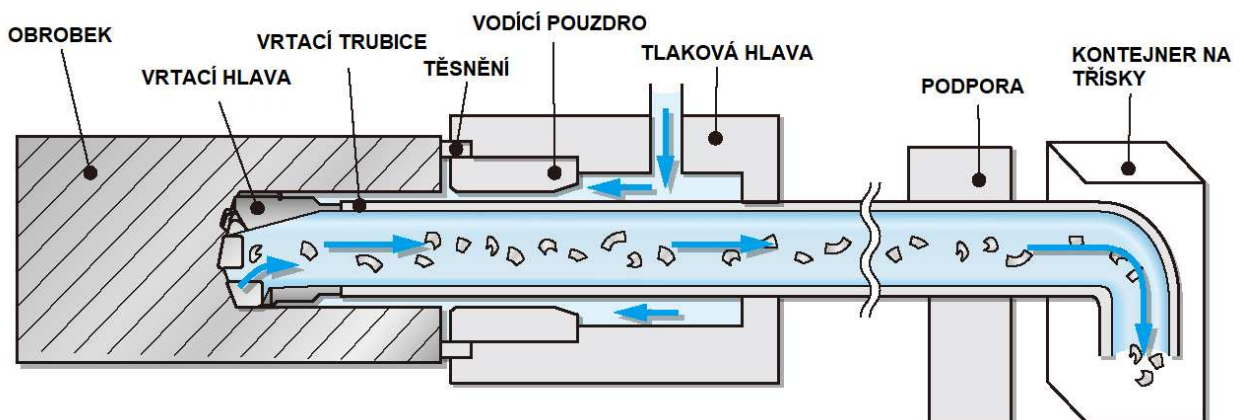
Základní systémy pro tvorbu hlubokých děr [27]:

1. systém s jednou trubicou (STS – Single Tube System),
2. ejektorový systém,
3. systém dělového (hlavňového) vrtáku.

1.6.1 Systém STS

Systém STS představuje nejvhodnější použití pro velkou sériovou výrobu. Ačkoliv potřebuje pro svou činnost speciální stroj, jeho produktivita je až šestkrát vyšší než u dělových vrtáků. Velký tlak procesní kapaliny umožňuje obrábět materiály se špatným utvářením třísek (korozivzdorné nebo uhlíkové oceli), materiály s nehomogenní strukturou (špatné dělení třísek). Vhodné také pro extrémně dlouhé a stejnoměrné obrobky s průměrem díry větším než 200 mm [30].

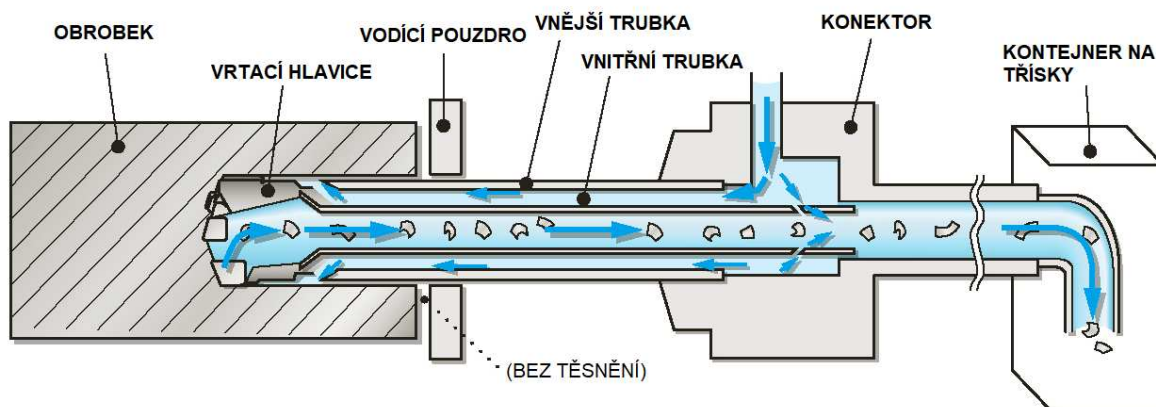
Vrtací hlava je připevněna k válcové vrtací trubici o menším průměru. Přívod procesní kapaliny je realizován mezi vrtací trubicou a stěnou vrtané díry (viz obr. 1.15). Tlak a vysoká rychlost kapaliny zajišťuje mimořádně plynulý odvod třísek. Díky středovému odvodu může být příčný průřez kruhový, který poskytuje větší tuhost nástroje (dělový vrták je po obvodu těla vybaven drážkami pro odvod třísek). Pro vedení vrtáku se používá vodící pouzdro [30].



obr. 1.15 Schéma vrtání metodou STS [29].

1.6.2 Ejektorový systém

Systém složený z vnější trubky, vrtací hlavy, vnitřní trubky, kleštiny, konektoru a těsnící manžety. Vrtací hlava je s vnější trubicí spojena čtyřchodým plochým závitem. Pomocí kleštiny a těsnící manžety je s konektorem propojena vnitřní i vnější trubka. Čerpadlo vhání procesní kapalinu do prostoru mezi vnější a vnitřní trubicí, kudy proudí k břitům vrtací hlavy. Třísky jsou pak vyplachovány ven z díry vnitřní trubicí (viz obr. 1.16) [32].

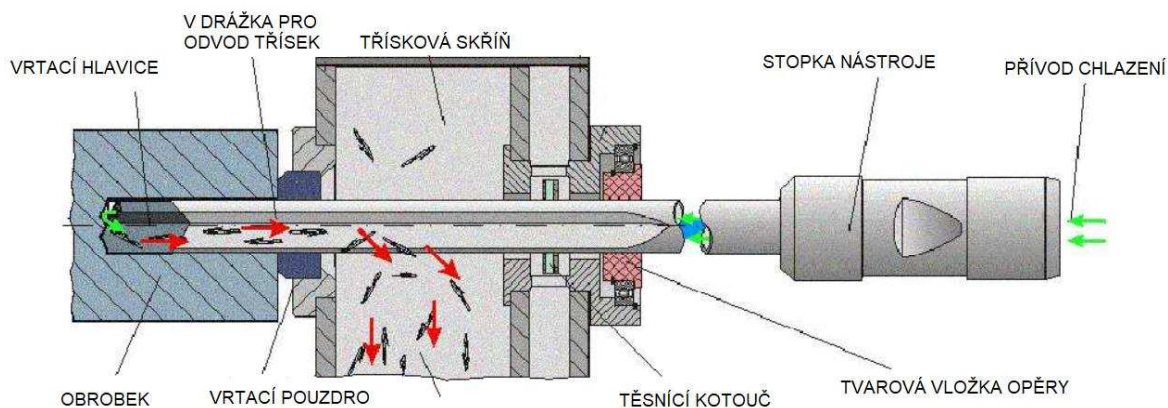


obr. 1.16 Schéma ejektorového systému [31].

Pro vedení vrtáku lze namísto vrtacího pouzdra použít předvrtanou díru, např. u obráběcích center. Velkou výhodou je snadné přizpůsobení strojům, jako jsou soustruhy, soustružnická centra, obráběcí centra nebo horizontální vyvrtávací stroje. Vedení vrtáku pomocí vrtacího pouzdra lze nahradit předvrtanou dírou, např. u obráběcích center [32].

1.6.3 Systém dělového (hlavňového) vrtáku

Systém pro dělové vrtání je méně produktivní než systém STS, umožňuje však výrobu menších děr. K dosažení nejlepšího výsledku se používají speciální stroje určené pro dělové vrtání. S využitím předvrtané díry jako vedení lze použít i konvenční stroje. Dělový vrták obsahuje dutou stopku a řezná kapalina je čerpána jeho osou k řezu a vytlačována otvory v řezné hlavě. Třísky jsou odváděny nazpět drážkou vrtáku, která má tvar V (viz obr. 1.17) [34].



obr. 1.17 Schéma vrtání dělovým vrtákem [33].

Touto metodou lze dosáhnout velmi přesných tolerancí a dobré kvality obrobeného povrchu i při vrtání do velmi tvrdých materiálů se špatným dělením třísky, za předpokladu, že bude zajištěn vysoký tlak procesní kapaliny (přibližně o 50 % větší než u metody STS) a filtrace umožňující zachycení částic o velikosti 5-10 μm [34].

2 MATERIÁLY PRO ŘEZNÉ NÁSTROJE

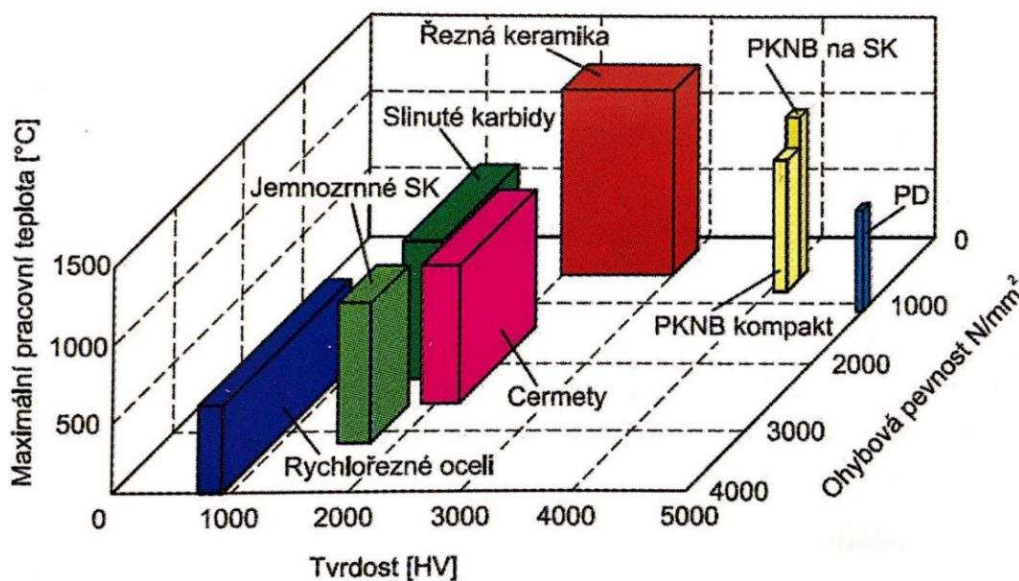
Spousta věcí kolem nás je tvořena kovovými (litiny, ocel, slitiny hliníku, slitiny mědi, slitiny titanu) i nekovovými (keramika, polymery, vyztužené kompozity) součástmi, které je potřeba nějakým způsobem obrábět ať už soustružením, vrtáním, frézováním, či jinými způsoby obrábění. Pro změnu velikosti, tvaru a jakosti povrchu pomocí odběru třísky je třeba užití řezného nástroje, jehož břit musí prokazovat určité vlastnosti i při vysokých pracovních teplotách. K nejdůležitějším patří houževnatost a vysoká pevnost v oblasti ostří [14].

S vývojem obráběného materiálu je spjat i vývoj řezných nástrojů, jejichž materiály jsou v dnešní době velmi rozmanité. Od rychlořezných nástrojových ocelí přes povlakované i nepovlakované slinuté karbidy, řeznou keramiku až po supertvrdé materiály. V dnešní době se klade důraz spíše na zdokonalování a optimalizaci pro vymezení oblasti aplikace již existujících materiálů, a proto se v nejbližší budoucnosti nepředpokládá objevení zcela nepoznaného typu. Velkou roli v evoluci má nárůst řezného výkonu, se kterým je spojeno zvýšení úběru obráběného materiálu v důsledku nárůstu posuvových a řezných rychlostí. Proto zejména v automatizované výrobě je potřeba zajistit trvanlivost a spolehlivost řezného nástroje [14].

Volba správného nástroje úzce souvisí s jeho mechanickými, fyzikálními, chemickými a tepelnými vlastnostmi – viz obr. 2.1 [14].

Základní typy řezných materiálů [1]:

1. rychlořezné nástrojové oceli,
2. slinuté karbidy,
3. cermety,
4. řezná keramika,
5. supertvrdé řezné materiály:
 - polykrystalický kubický nitrid bóru,
 - polykrystalický diamant.



obr. 2.1 Vlastnosti nástrojových materiálů [14].

2.1 Rychlořezné oceli

Zvyšování řezného výkonu vedlo k legování nástrojových ocelí, tím vznikla samostatná skupina legovaných nástrojových ocelí zvaná „rychlořezné oceli“ obsahující karbidotvorné prvky W, Cr, V, Mo a nekarbidotvorný Co. Obsah uhlíku C je většinou do 1 %. V roce 1900 byla navržena slitina o složení 1,85 % C, 8 % W, 7,8 % Cr, 0,3 % Mn, která byla později upravena na složení 0,7 % C, 19 % W, 5,5 % Cr, 0,3 % V. Kalení probíhalo v rozmezí 1250-1290 °C, ochlazování v lázni při teplotě 620 °C a popouštění na teplotě 580-590 °C.

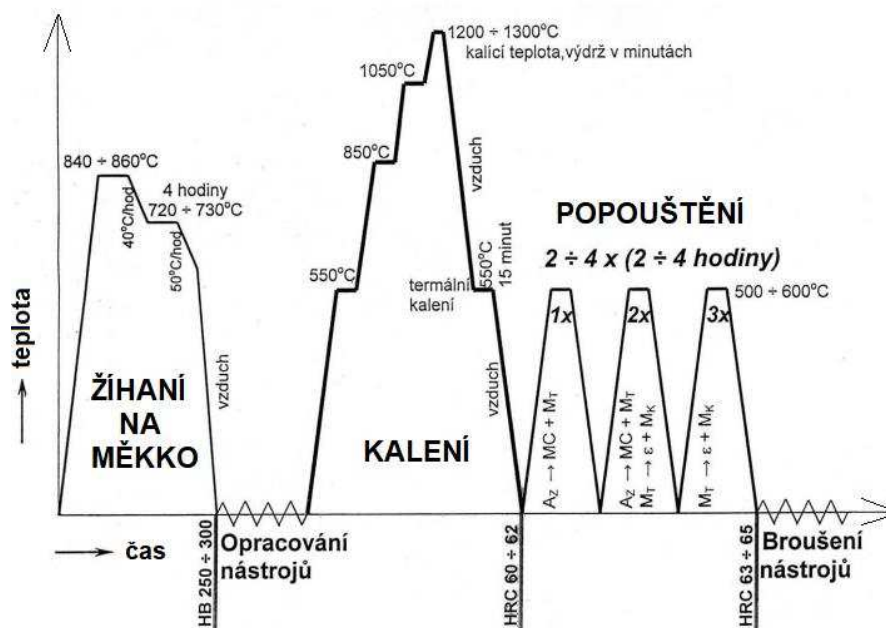
Před vznikem RO rozžhavení třísek do červena znamenalo okamžité zničení nástroje. Název „High Speed Steel“ (HSS) získaly nástroje díky průlomovému zvětšení řezné rychlosti z 5 m/min na neskutečných 35 m/min. Tento nárůst inicioval vývoj nových pohonů, zrušení transmise a rychlý technický vývoj. Materiály jsou používány ve stavu litém, tvářeném nebo lisovaném z prášků za tepla [1,4].

Inovace těchto nástrojů probíhá v následujících směrech [4]:

- za cílem zvýšení jakosti se při výrobě využívá prášková metalurgie,
- za cílem zvýšení tvrdosti břítu, odolnosti břítu proti vysokým teplotám během obrábění, zvýšení řezných podmínek a prodloužení trvanlivosti se nástroje nitridují, boridují a povlakuji metodami.

2.1.1 Tepelné zpracování

Rychlořezné oceli se vyznačují tzv. sekundární tvrdostí, která je způsobena velkým obsahem karbidotvorných prvků. Proto není možné již po zkalení dosáhnout největší tvrdosti, ale musí se ještě opakovaně popouštět na danou teplotu. Je to zaviněno vzniklým zbytkovým austenitem po zakalení, který může být v zastoupení až 70 %. Vlivem popouštění na teplotách 500 až 600 °C se zbytkový austenit rozpadá a precipitací jemných karbidů tvrdost přísadových prvků stoupá (vznik martenzitické struktury). Aby bylo dosaženo sekundární tvrdosti, je nutno provést ohřev až na 1270 °C po dobu několika minut pro dostatečné rozpuštění všech karbidů. Příliš dlouhé setrvání na kalící teplotě by zapříčinilo nežádoucí zhrubnutí zrna austenitu. Jelikož je rychlořezná ocel náchylná na velké teplotní změny, musí být ohřev rozdělen do dvou nebo tří stupňů. V závislosti na velikosti průřezu kalení probíhá na klidném či proudícím vzduchu nebo do oleje. Také velmi příznivé je termální kalení do lázně teplé asi 500 °C a následným ochlazením na vzduchu. Nejlépe ihned po zakalení je nutno provést popouštění v rozmezí teplot 540 až 590 °C s ochlazením na vzduchu. První cyklus popustí primárně vzniklý martenzit a dojde k precipitaci velmi jemných karbidů. Již zmiňovaný rozpad zbytkového austenitu na martenzit probíhá při ochlazování, který je poté popuštěn následujícím cyklem. Tohle je důvod, proč se popouštění provádí třikrát až pětkrát. Čas strávený na popouštěcí teplotě je různý pro různé druhy RO, ale obvykle se pohybuje okolo 1,5 hodiny [4].



obr. 2.2 Schéma tepelného zpracování rychlořezných ocelí [15].

2.1.2 Metalurgický účinek jednotlivých prvků obsažených v RO

Wolfram, molybden – pomáhají vzniku precipitačních karbidů (M_2C) při popouštění. Martenzitická matrice za tepla je díky nim tvrdší a pevnější. Společně s wolframem tvoří speciální karbidy vysoké tvrdosti, které brání růstu zrna austenitu.

Chrom – tvoří relativně rychle rozpustné karbidy a zvyšuje hloubku prokalení.

Vanad – vytváří speciální karbidy nejvyšší tvrdosti (V_4C_3), za vysokých teplot zvyšuje odolnost proti otěru, zvyšuje tvrdost a pevnost za tepla.

Kobalt – pomáhá disperznímu vytvrzení intermetalickými fázemi, zvětšuje tvrdost a pevnost martenzitické matrice za tepla.

Uhlík – podle něj je určena tvrdost matrice, tvoří karbidy, zvyšuje odolnost proti otěru [4].

tab. 2.1 Přehled a složení vybraných druhů rychlořezných ocelí [4].

Druh rychlořezné oceli	ČSN	Složení					
		C	Cr	W	Mo	V	Co
18 % W	19855	0,7	4,2	18		1,5	4,8
	19859	0,5	4,2	18		1,75	9,5
	19860	0,75	4,2	18	0,7	1,6	9,5
10 % W	19856	0,95	4,2	10,2		2,35	5
	19857	0,95	4,2	10,2		2,35	9,8
W + Mo	19850	0,95	4,2	5,8	5	2	8
	19852	0,85	4,2	6,2	4,8	1,85	5
W + Mo	19858	1,35	4,4	12		4,25	5
W + Mo + V	19861	1,25	4,1	10,2	3,8	3,3	10,5

2.1.3 Rychlořezné oceli vyrobené práškovou metalurgií

V dnešní době často používané RO mají celou řadu výhod. Rychlé tuhnutí atomizovaného prášku zajišťuje velmi jemnou strukturu, rovnoměrné rozložení karbidů i nekovových vměstků a omezuje segregaci. Zvyšuje se rozměrová stálost, houževnatost při tepelném zpracování i řezné rychlosti. Výroba tavením neumožňuje výrobu ocelí s tak velkým obsahem legur, jako je metoda práškové metalurgie [1].

2.1.4 Vlastnosti a použití RO

Používají se pro celou řadu materiálů jako jsou oceli, oceli na odlitky s vysokou pevností a tvrdostí i těžkoobrobitelné materiály. Rozsáhlé uplatnění mají díky možnosti odlišným obsahům legujících prvků, vysokou lomovou pevností a tvrdostí a střední odolností proti opotřebení. Nejvíce jsou upotřebeny pro výstružníky, závitníky, malé frézy, tvarové nástroje i pro protahovací trny. Jejich odolnost proti rázům jim také umožňuje použití na obrábění s přerušovaným řezem. Nejeefektivnějšího využití lze dosáhnout v prostředí, kde je užita procesní kapalina [1].

tab. 2.2 Doporučené použití vybraných rychlořezných ocelí [4].

Skupina	Třída	Vlastnosti	Použití
Pro běžné výkony	19 820	Velká tvrdost a houževnatost, zvětšená odolnost proti opotřebení.	Nástroje pro běžné použití při malém tepelném namáhání.
Výkonné	19 802	Vysoká houževnatost, snadná obrobitelnost a obrusitelnost, dobrá odolnost proti opotřebení.	Výrazně namáhané nástroje pro obrábění materiálů střední a nižší pevnosti.
	19 829	Menší houževnatost, odolnost proti opotřebení, vyšší tvrdost.	Výrazně namáhané nástroje pro obrábění materiálů střední pevnosti i přerušovaným řezem.
	19 830	Nejvyšší houževnatost, dobrá obrusitelnost, vysoká odolnost proti opotřebení.	
Vysoce výkonné	19 851	Menší houževnatost, velmi vysoká tvrdost.	Obrábění nepřerušovaným řezem, na pevné materiály.
	19 856	Nižší houževnatost, velmi vysoká odolnost proti popuštění.	Obrábění vysokými rychlostmi těžkoobrobitelných materiálů.
	19 861	Dobrá houževnatost, vysoká odolnost proti opotřebení, zhoršená obrusitelnost.	Nejvíce zatěžované nástroje pro obrábění při požadavku na vysokou odolnost proti opotřebení.

2.2 Slinuté karbidy

Jak již z názvu vyplývá, slinuté karbidy jsou materiály s vysokým obsahem velmi tvrdých karbidických částic, např. karbid wolframu WC, karbid titanu TiC, karbid tantalu TaC a karbid niobu NbC. U materiálů tak velké tvrdosti je nutno zachovat houževnatost matrice, čehož je možné dosáhnout pouze pomocí práškové metalurgie [1,4].

V roce 1927 se podařilo firmě Krupp napodobit strukturu diamantu, slinutý karbid nesl označení Widia N (94 %WC + 6 %Co). Karbidy typu WC–Co znamenaly podobně jako u vynalezení rychlořezných ocelí revoluci v řezných rychlostech, avšak vhodné byly pouze pro obrábění litin a barevných kovů, ale nikoliv ocelí z důvodu

rychlého vytvoření výmolu na čele nástroje. Proto se začalo více zaměřovat na karbidy typu TaC, TiC a NbC [4].

Na počátku výroby měly wolframové karbidické částice velikost až 10 μm , dnes po zvládnutí technologie práškové metalurgie se pohybují v rozmezí 2 až 4 μm . Spojovány jsou nejčastěji kobaltem s vysokou smáčivostí a niklem. Vyrábí se slinováním, díky čemuž je dosaženo vysoké hustoty materiálu s téměř nulovou porozitou. Slinuté karbidy se vyrábějí ve formě normalizovaných destiček a kvůli jejich vysoké tvrdosti je možné tvar a rozměr upravovat pouze pomocí broušení, lapování, nebo elektroerozivním obráběním. Po opotřebení ostří se destička nedá nijak přeastřit, a proto se vyřazuje [1,4].

Nežádoucí nejméně tvrdé fáze (pojiva) se eliminují, zejména z povrchové vrstvy substrátu, povlakováním destiček tvrdými vrstvami metodou CVD (Chemical Vapour Deposition), více používanější PVD (Physical Vapour Deposition) a dnes i metodou MTCVD (Middle Temperature CVD). Detailnějšímu rozboru těchto aplikací bude věnována třetí kapitola [4].

Rozdělení a označování slinutých karbidů:

- Podle ČSN ISO 513 se označují symboly [1]:
 - HW – nepovlakované SK na bázi karbidu wolframu WC,
 - HT – nepovlakované SK na bázi TiC nebo TiN nebo obou,
 - HC – povlakované SK (HW, HT).
- Podle závislosti na oblasti použití a vlastním složení [14]:
 - skupina K (K01, K05, K10, ..., K40),
 - skupina P (P01, P05, P10, ..., P50),
 - skupina M (M01, M05, M10, ..., M40),
 - skupina N (N01, N05, N10, ..., N30),
 - skupina S (S01, S05, S10, ..., S30),
 - skupina H (H01, H05, H10, ..., H30).

S rostoucím číslem podskupiny roste houževnatost, pevnost v ohybu, zvyšuje se obsah pojiva, klesá otěruvzdornost a tvrdost. Podle doporučených rezných podmínek pak klesá rezná rychlost, roste rychlost posuvu a průřez odebíraných třísek. Z toho plyne, že počáteční podskupiny jsou vhodnější spíše pro dokončovací procesy a podskupiny s vyšším číslem jsou určeny především pro hrubování [14].



obr. 2.3 Barevné rozdělení SK [46].

2.2.1 Charakteristika skupin K, P, M, N, S, H

Skupina **K** – své využití nalézá při obrábění šedých litin, neželezných slitin a nekovových materiálů, u kterých se tvoří krátká a drobná tříška. U nástroje s poměrně malými řeznými silami je největší abrazní a adhézní opotřebení. Jedinou tvrdou strukturní složku tvoří karbid wolframu, který má za pokojové teploty téměř stejnou tvrdost jako další karbidy, klesání tvrdosti s rostoucí teplotou je ale markantnější než u ostatních karbidů. Dlouhé třísky mají větší čas a plochu dotyku s čelem nástrojem, tedy více zahřívají čelo nástroje a není vhodné je obrábět SK skupiny K [14].

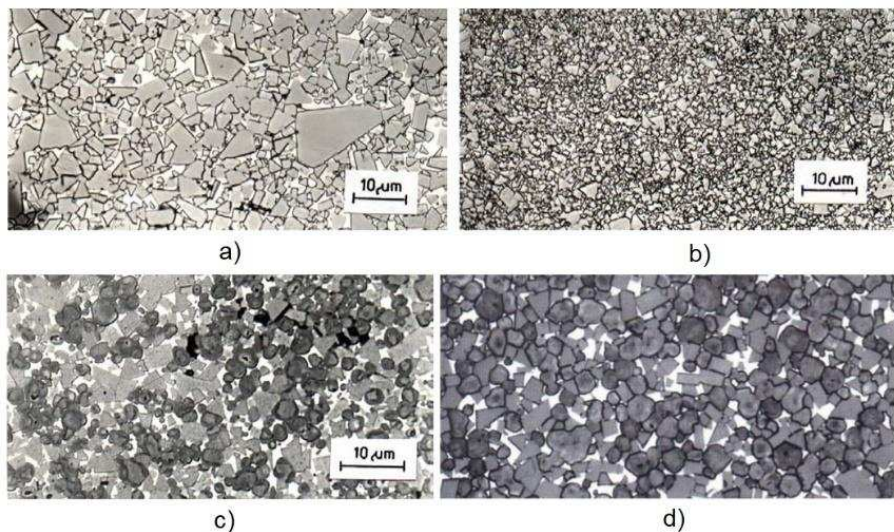
Skupina **P** – nástroje z této skupiny jsou určeny na obrábění uhlíkových i slitinových ocelí a feritických korozivzdorných ocelí produkující dlouhou třísku. Značné opotřebení na čele (výmol) je způsobeno velkými řeznými silami. Větší odolnost proti vymílání na čele nástroje umožňují karbidy TiC (zaručují odolnost proti difuzi za zvýšených teplot) a TaC. Nevýhodou je jejich křehkost a nižší odolnost proti abrazi ve srovnání s WC [14].

Skupina **M** – univerzálnější použití na austenitické korozivzdorné litiny, oceli lité a tvárné litiny vytvářející střední až dlouhou třísku. Velká houževnatost umožňuje těžké hrubovací a přerušované řezy. Dochází k vydrolování ostří vlivem středních až vysokých řezných sil [14].

Skupina **N** – pro speciální žárupevné slitiny na bázi Ni, Fe, Co a Ti (superslitiny Inconel, Hastelloy) [4].

Skupina **S** – pro oceli zušlechtné na HRC 48-60, tvrzené litiny HSh 55-85 [4].

Skupina **H** – pro obrábění neželezných kovů a kompozitních materiálů [4].



obr. 2.4 Slinuté karbidy jednotlivých skupin: a) hrubozrnný skupiny K, b) jemnozrnný skupiny K, c) skupina P, d) skupina M [16].

2.2.2 Výroba slinutých karbidů

Jednou z výrobních metod oboru práškové metalurgie je výroba slinutých karbidů zabývající se přípravou a míšením prášků karbidů s pojivky ve správném poměru, následným lisováním směsi a slinováním výlisku [17].

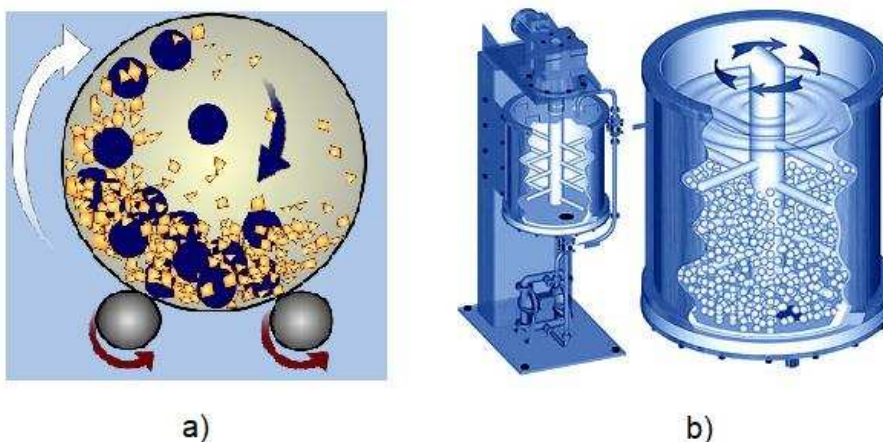
Lisování směsi prášku tvrdých karbidických částic s práškem pojícího kovu (např. kobaltu nebo niklu) a následné slinování na teplotě blízké se bodu tavení pojiva je základem procesu výroby SK. Díky pevné kostře pojícího kovu obklopené křehkými karbidy vzniklý materiál dominuje téměř stejnou tvrdostí jako je tvrdost jednotlivých částic karbidů a vysokou pevností v tlaku i ohybu [17].

Postup výroby [16]:

- výroba práškového wolframu,
- výroba práškových karbidů (WC, TiC, TaC, NbC) a kobaltu,
- **příprava směsí uvedených prášků,**
- **formování směsí,**
- předslinování zformovaných směsí – tato operace je většinou spojena se slinováním,
- úprava tvaru předslinutého tělesa,
- **slinování (1350–1650 °C),**
- vysokoteplotní izostatické lisování (HIP – Hot Isostatic Pressing),
- dodatečné úpravy povrchu.

2.2.2.1 Příprava směsi prášků

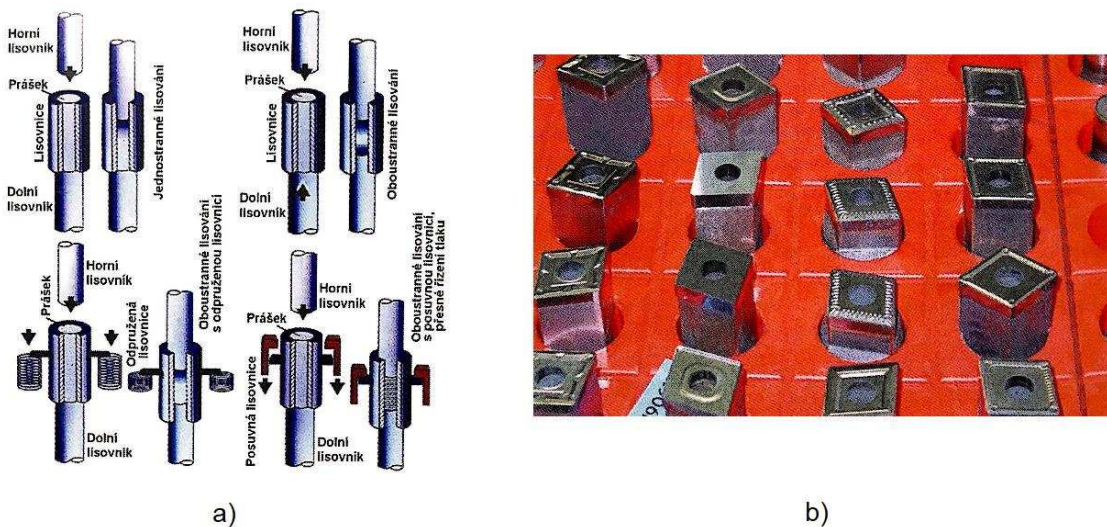
Vlastnosti výsledného produktu jsou nejvíce ovlivněny přípravou směsí karbidů s pojícím kovem. Podstatou celého procesu je vyrobení jemnozrnné a homogenní práškové směsi za sucha, nebo v kapalném prostředí. Je velmi důležité, aby zrna pojícího kobaltu měla nejjemnější možnou strukturu a mohla tak obalovat zrna jemného, rovnoměrně rozptýleného karbidického prášku. K mletí se používají kulové mlýny a atritory (viz obr. 2.5) [17].



obr. 2.5 Mlecí nástroje a) kulový mlýn, b) atritor [18,19].

2.2.2.2 Formování směsi

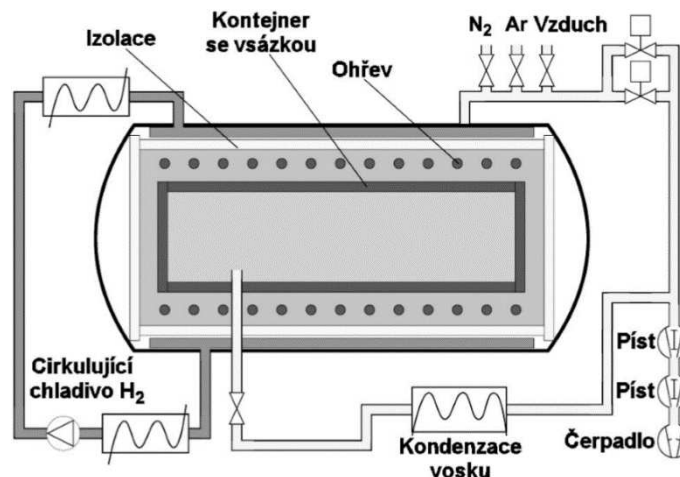
Vytvořenou směs je potřeba upravit na požadovaný tvar a velikost. Nejpoužívanější metodou je výroba břitových destiček lisováním ve formovacích lisecích (nemusí být použito jenom u VBD). Dále se prášek může izostaticky lisovat za studena, hydrostaticky lisovat, vytlačovat přes trysku daného tvaru nebo vstřikováním či litím do pomocných forem. Kvůli nízké plasticitě se do směsi přidává látka nazývaná se plastifikátor, která zvyšuje její fyzikální i mechanické vlastnosti [14].



obr. 2.6 a) způsoby lisování, b) lisovníky pro lisování VBD [14].

2.2.2.3 Slinování

Do slinovací pece se umístí předem zformované těleso, kde je v plynné atmosféře (plynem může být H_2 , Ar, směs H_2 a N_2 nebo ve vakuu) za řízených podmínek zahříváno a následně ochlazováno. Proces se může rozdělit na dvě části – předslinování a slinování. Na konci slinování má výrobek požadovanou mikrostrukturu, předpokládané mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti a je plně ztuhlý. Vytváří se hranice mezi zrnky tvrdé fáze a difuzí se přeskupí jednotlivé složky. Jedná se o nejkritičtější proces výroby slinutých karbidů [14].



obr. 2.7 Schéma slinovací pece [14].

2.3 Cermety

Cermety jsou vytvořeny obdobným způsobem jako slinuté karbidy, ale WC je nahrazen TiC, TiN nebo Ti(C,N). Je to tedy míšení kovového pojiva s tvrdými keramickými částicemi, odtud plyne název **CER**amic/**MET**al. Jejich dominantní vlastností je odolnost proti deformacím a difúznímu oxidačnímu opotřebení, tvrdost za tepla a vysoká chemická stabilita. Používají se pro dokončovací obrábění s vysokými řeznými rychlostmi a nízkými průřezy třísek. Obrábí se nimi oceli, litiny, lité oceli, neželezné kovy a snadno obrobitelné kovy [1,4].

2.4 Řezná keramika

V oblasti broušení se řezná keramika začala používat před více než 100 lety, ale kvůli velké zrnitosti a jiných okolnostech nemohla být použita pro vyměnitelné břitové destičky. Využití v této oblasti se uskutečnilo díky snížení zrnitosti pod 5 μm a snížení porozity na 1-2 % přibližně před třiceti lety [4].

Keramické řezné materiály svojí velkou tvrdostí i za tepla (až do 1200 °C) a odolností proti chemickým reakcím mezi nástrojem a obrobkem zajišťují vysokou trvanlivost břitu i při použití velkých řezných rychlostí až 1600 m/min. Kromě pár výjimek se nepoužívá při operacích s přerušovanými řezy, protože je velmi křehká. Výhodou je nízká tepelná vodivost. Pro zvýšení houževnatosti a dalších mechanických vlastností se vyztužují tzv. whiskery, jejichž délka je cca 20 μm o průměru 1-2 μm . Pevnost whiskerů je se přibližuje ideálním dosažitelným hodnotám [1,4].

Rozdělení a značení (dle ČSN ISO 513) [1]:

- CA – oxidická keramika na bázi Al_2O_3 ,
- CM – směsná keramika na bázi Al_2O_3 s přísadou neoxidických komponent,
- CN – neoxidická keramika na bázi nitridu křemíku Si_3N_4 ,
- povlakovaná keramika CA, CM, CN.

2.4.1 Řezná keramika na bázi oxidu hlinitého

Lze ji rozdělit na čistou, polosměsnou a směsnou.

Čistá – u lisování za studena bílá, za tepla šedá. Užitečná pro dokončovací procesy šedých litin, nízkolegovaných a uhlíkových ocelí.

Polosměsná – nejčastěji vzniká obohacením až 20% kyslíčkem zirkonu.

Směsná – obsahuje 20-40 % karbidu titanu TiC. Oproti čisté keramice je více odolná proti mechanickým a teplotním rázům. Používá se pro frézování oceli a šedé litiny, dokončovací soustružení zušlechťených a cementačních ocelí. Během výroby VBD má stejně jako polosměsná keramika černou barvu [1].

2.4.2 Řezná keramika na bázi nitridu křemíku

Za tepla při vysokých teplotách si udržuje tvrdost lépe než slinuté karbidy. Odolnost proti mechanickým i teplotním rázům jí umožňuje obrábět šedé litiny s přerušovaným řezem a kolísající hloubkou řezu za sucha i při chlazení rychlostmi až 400 m/min [1].

2.5 Supertvrdé řezné materiály

Pod tuto skupinu patří dva synteticky vyráběné materiály, polykrystalický kubický nitrid bóru (PKNB) a polykrystalický diamant (PD) [5].

2.5.1 Polykrystalický kubický nitrid bóru

Do povědomí se tento relativně nový materiál dostal již v 50. letech, ve větším rozsahu se však prosadil až 70. letech. Má vynikající výkonnost a jeho tvrdost překonává již jenom diamant, který však neodolává tak vysokým teplotám. Velká odolnost proti abrazivnímu opotřebení a chemická stabilita také patří k významným vlastnostem. Je relativně křehký a v porovnání s keramikou houževnatější i tvrdší [5].

Kalená ocel a litina, povrchově kalené obrobky, ocelové výkovky, slinované materiály na bázi kobaltu a železa a žáruvzdorné slitiny patří do oblasti obrábění nástroji PKNB. Zásadně by se měl používat na obrábění materiálů o tvrdosti alespoň 48 HRC, jinak dochází k mimořádně velkému opotřebení břitu. Je velmi zajímavou alternativou k obrábění broušením [5].

2.5.2 Polykrystalický diamant

Přírodní monokrystalický diamant je nejtvrdějším známým materiálem a k jeho tvrdosti se nejlépe přibližuje polykrystalický diamant (PD). Vysoká tvrdost zaručuje odolnost proti abrazivnímu opotřebení. Výroba se uskutečňuje slinováním, kdy jsou spojovány jemné krystalky diamantu. Aby byly břity pevné a vydržely tepelné i rázové šoky, uchycují se k vyměnitelné břitové destičce ze slinutých karbidů [5].

Preferovanými oblastmi použití v současné době jsou soustružení a frézování abrazivních slitin hliníku a křemíku, hlavně pokud chceme dosáhnout vysoké jakosti povrchů a přesnosti rozměrů. Pro svoji schopnost slučovat se s uhlíkem obráběného materiálu je ve velké míře využíván na obrábění materiálů jako je pryž, polymery, kompozitní materiály, pryskyřice, předslinovaná keramika a předslinovaný slinutý karbid, ale také na kovy jako jsou kluzné ložiskové materiály, bronzy, mosaz, slitiny zinku a magnézia a olovo. Nevhodnost použití nalézá při velkých řezných teplotách nad 600 °C a houževnatých materiálech s vysokou pevností [5].



obr. 2.8 Nástroje s kubickým nitridem bóru firmy Becker [20].

3 CHARAKTERISTIKA POVLAKOVACÍCH METOD

Povlakování rezných nástrojů velmi tenkými povlaky z tvrdých materiálů je zvlášť významný krok šedesátých let ve vývoji rezných materiálů. Povlak tenký jenom několik μm nanášený zejména na vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů velmi drasticky zvyšoval výkonnost, reznou rychlost a trvanlivost břitu. Efektivnost povlaku se projevuje i po částečném opotřebením nástroje, kdy zabraňuje rychlému opotřebením na čele ve tvaru žlábků a opotřebením hřbetu. Tyto výborné vlastnosti vyplývají zejména z toho, že povlakový materiál ve srovnání se substrátem neobsahuje žádné pojivo, má o jeden i více řádů jemnější zrnitost a méně strukturních defektů. Povlaky se také vyznačují zvýšenou tepelnou odolností, díky které je možné použití vyšší rezné rychlosti a rychlosti posuvu [5].

Mezi nejdůležitější typy povlaků patří karbid titanu TiC, nitrid titanu TiN, keramika Al_2O_3 , karbonitrid titanu TiCN a v posledních letech vyvíjené povlaky na bázi diamantu a kubického nitridu boru. Porovnání základních povlakovacích materiálů je uvedeno v tabulce 3.1 [5,14].

tab. 3.1 Obecné porovnání vlastností základních povlakovaných materiálů [14].

Hodnocení	Chemická stabilita	Odolnost proti oxidaci	Tvrdost	Tvrdost za tepla
Nejlepší	Al_2O_3	Al_2O_3	TiC	Al_2O_3
	TiAlN	TiAlN	TiAlN	TiAlN
↓	TiN	TiN	TiCN	TiN
	TiCN	TiCN	Al_2O_3	TiCN
Špatná	TiC	TiC	TiN	TiC

Základní metody povlakování lze rozdělit do dvou hlavních skupin:

- metoda PVD (Physical Vapour Deposition – fyzikální napařování),
- metoda CVD (Chemical Vapour Deposition – chemické napařování z plynné fáze).

3.1 Metoda PVD

Proces nanášení povlaku metodou PVD (Physical Vapour Deposition) se provádí za sníženého tlaku 0,1-1 Pa a při nízkých pracovních teplotách. Primárně se tato metoda používala pro povlakování rychlořezných ocelí, kdy díky nízkým teplotám nedocházelo k tepelnému ovlivnění nástroje. V poslední době se však hodně vyvíjí a využívá i na povlakování slinutých karbidů [17].

Atomy, případně shluky atomů jsou uvolňovány ze zdroje částic (terčů) fyzikálními metodami – rozprašováním nebo odpařováním. Tenká vrstva (1-5 μm) homogenního povlaku vzniká spojením tzv. ostrůvků, které jsou tvořeny uvolněnými a urychlenými částicemi. Urychlovány jsou reakcí s inertními a reaktivními plyny obsaženými v komoře (např. Ar a N_2) [17].

Velkou nevýhodou je nutnost pohybovat povlakovanými předměty, aby nedošlo ke stínovému efektu, který způsobuje vytvoření nedokonalé vrstvy povlaku (tam, kde plochy neleží ve směru odpařovaných částic).

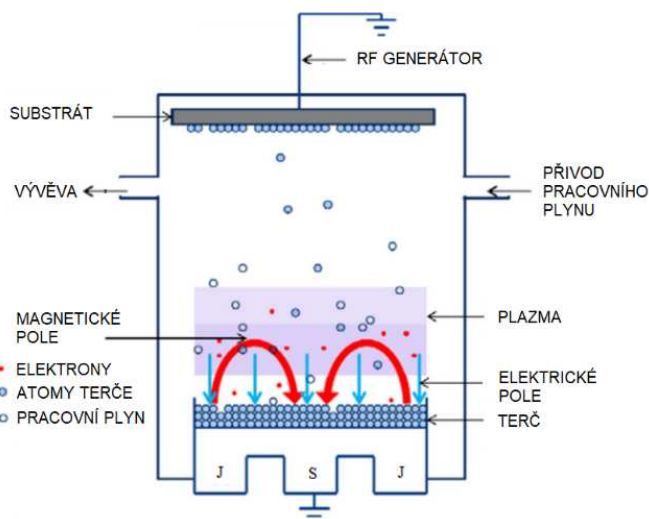
Naopak výhodou je možnost povlakovat ostré hrany, tedy i tzv. „ostrého“ ostří nástroje s poloměrem zaoblení pod 20 μm .

3.1.1 Naprašování

Touto metodou lze vytvářet tenké povlaky z těžkovitelných materiálů bez požadavku ohřevu terče na vysokou teplotu. Kladné ionty (kationty) bombardující katodu z čistého kovu (na něm je připojen záporný pól elektrického napětí) vznikají v plynné atmosféře za pomoci elektrického výboje. Částice jsou z terče uvolňovány vysokou energií iontů a následně se usazují na povrchu substrátu, kde vyvářejí požadovaný povlak. U elektricky nevodivých látek se musí použít střídavý elektrický proud, aby nedocházelo k nabíjení terče. Dále lze naprašování rozdělit na naprašování doutnavým výbojem rovinné diody, magnetronové naprašování, radiofrekvenční naprašování a naprašování iontovým paprskem [14,17].

Největší pozitiva této metody spočívají v nízkém zatížení tepelnou radiací, možnosti odprašovat a ukládat slitiny i chemické sloučeniny, depoziční komora může mít malý objem, terč je umístěn blízko substrátu [14].

Avšak intenzita naprašování je ve srovnání s intenzitou tepelného napařování nízká, terče jsou drahé a využití materiálu je špatné, terče se zahřívají dopadem částic a vzniká velké vnitřní napětí v povlaku [14].



obr. 3.1 Schéma magnetronového naprašování [22].

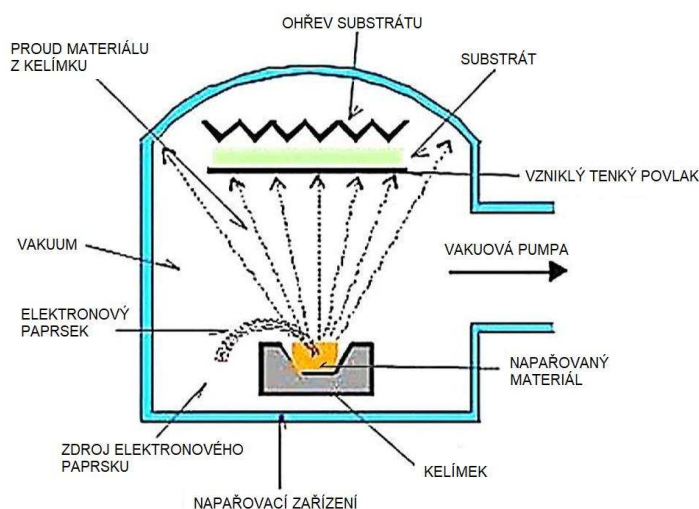
3.1.2 Napařování

Napařování se provádí ve vakuu (tlak je 10^{-3} - 10^{-8} Pa). Jedním ze způsobů ohřevu je připojení substrátu na stejnosměrné nebo střídavé napětí. Odpařené částice se začnou pohybovat po určitých drahách, na kterých nedochází ke střetu s jinými atomy. Tím se začne vytvářet nerovnoměrný povlak, kdy těsně nad terčem vznikne největší vrstva, která se s přibývajícím vzdáleností zmenšuje. Aby docházelo ke střetu jednotlivých atomů, vpouští se do komory vhodný plyn (např. argon). Podle způsobu ohřevu jsou odpařovací zdroje rozděleny na odporové, indukční, obloukové, laserové, ohřev paprskem elektronů atd. Vyhřívané dráty a kovové fólie jsou nejjednoduššími odporovými zdroji. Odpařované množství je velmi malé. U miskovitého tvaru je do

1 gramu a u košíků několik gramů. Odpory těchto zdrojů jsou velmi malé a nevyžadují velké výkony (1-3 kW) [14].

Výhodou odporového odpařování je možnost deponovat vysoce čisté povlaky z vysoce čistých materiálů, zdrojem může být těleso libovolného tvaru a čistoty a jedná se o nejlevnější PVD metodu [14].

Nevýhodou je nízké využití materiálu zdroje, vysoké zatížení tepelnou radiací, obtížná depozice mnoha slitin a sloučenin, chemická reakce může zanášet také nečistoty do vytvářeného povlaku [14].



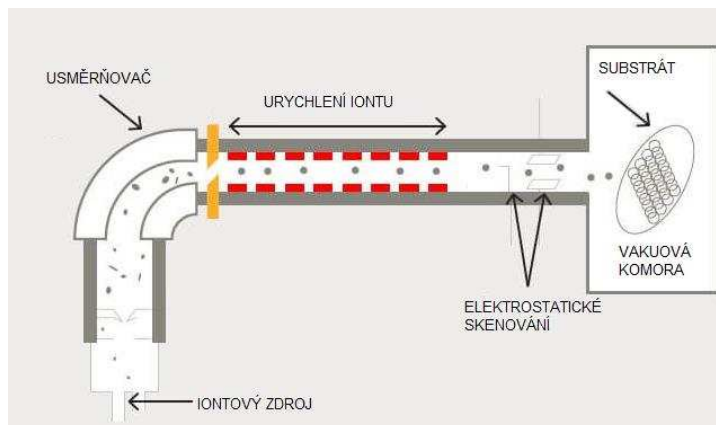
obr. 3.2 Schéma napařovacího zařízení [21].

3.1.3 Iontová implantace

Iontová implantace využívá pro modifikaci tenkých povrchových vrstev dopad iontů s vysokou energií. Zdroj vysílá svazek elektricky urychlených iontů daných prvků, které pronikají do podpovrchových vrstev do hloubky 0,15-0,3 μm , kde vytváří řadu okamžitých nebo zpožděných dějů. Dopadající ionty s energií 50-200 keV ovlivňují strukturu povrchových vrstev a zároveň odprašují částice materiálu z povrchu implantovaného materiálu, čím povlakovaný materiál také čistí. Celý proces se uskutečňuje ve vakuovém prostředí o tlaku 10-4 Pa. Dávky iontů dopadající na kovový povrch jsou v rozmezí 10^{16} – 10^{18} iontů na cm^2 . Umožňují vytvářet ojedinělé struktury, kterých je nemožné dosáhnout konvenčními metodami [23].

K výhodám iontové implantace patří, že při procesu se nevytváří deformace, je univerzálně použitelná, zlepšuje původní topografii povrchu a možnost povlakovat tepelně zušlechtnuté materiály, nebo dokonce i plasty [23].

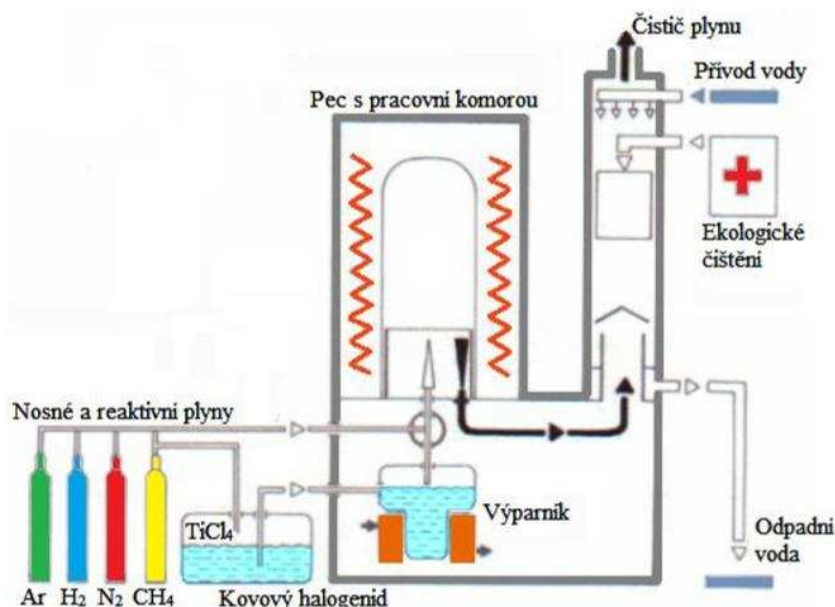
Nevýhodami jsou vysoká investiční náročnost, potřeba vysokého vakua, velké nároky na kvalitu povrchu a poměrně složitý systém manipulace s nástrojem či součástí s tvarově složitými plochami [23].



obr. 3.3 Schéma iontové implantace [24].

3.2 Metoda CVD

Metoda CVD (Chemical Vapour Deposition) spočívá v heterogenní chemické reakci plyných složek reakční směsi za různého tlaku a při dodávání tepelné nebo světelné energie, přičemž se na povrch substrátu ukládají pevné látky ve formě povlaku a vznikají vedlejší plyné látky. Vytvořený povlak má konstantní tloušťku na celém povrchu (8-10 μm). Při povlakování ocelí vlivem vysokých teplot (okolo 1000 $^{\circ}\text{C}$) dochází k výraznému snížení jejich fyzikálních a mechanických vlastností, proto se musí ještě tepelně zpracovat (zušlechtit) [14,23].



obr. 3.4 Schéma zařízení pro CVD [16].

Tato metoda se ale nejvíce používá pro povlakování slinutých karbidů. Aby byla zajištěna co nejlepší funkčnost nástroje, musí být materiál podkladu pouze elasticky deformován a musí dobře odvádět energii vznikající při tření. Od jednovrstvých povlaků se přechází na vícevrstvé, které mají mezivrstvy z různých chemických sloučenin a mohou vyrovnávat rozdíl v koeficientech tepelné roztažnosti povlaku a základního materiálu [14,23].

Výhodou metody CVD je vysoká hustota povlaku, vysoká teplotní stabilita povlaku, ekonomická výhodnost tvorby silných vrstev, poměrně nízké provozní i pořizovací náklady a slučitelnost s ostatními výrobními postupy [14].

Nevýhodou jsou vysoké pracovní teploty, nelze povlakovat ostré hrany, vysoká energetická náročnost, dlouhý pracovní cyklus (8-10 hodin) a ekologická nešetrnost (toxické chloridy) [14].

3.3 Moderní povlakovací metody

3.3.1 Metoda MT-CVD

Middle Temperature Chemical Vapour Deposition je metoda pracující s nižšími pracovními teplotami než u metody CVD. Nanášení povlaku z plynné fáze probíhá při teplotě 700-850 °C. Místo plynného metanu (zdroj uhlíku používaný u technologie CVD) je využíván jako vstupní sloučenina acetonitril (CH_3CN) nebo taky vysoce hořlavý a toxický metykyanid. Chlorid titaničitý (TiCl_4) je zdrojem titanu jak u metody CVD, tak u metody MT-CVD. Výhodou je přibližně trojnásobná rychlost nanášení povrchu a díky nižším pracovním teplotám je více zachována houževnatost a odolnost proti mechanickým rázům. Nízká teplota také dovoluje vyrábět břitové destičky s většími kladnými úhly čela [16].

3.3.2 Metoda HF-CVD

Metoda Hot Filament CVD je vhodná pro povlakování diamantovými povlaky rozžhaveným wolframovým vláknem vzdáleným asi 80 mm od substrátu [14].

3.3.3 Metoda LI-CVD

Jedná se o laserem indukovanou metodu (Laser Induced), kterou je možné rozdělit do dvou variant – pyrolytická a fotolytická. Substrát u pyrolytické metody ohřívají laserové paprsky dopadající na povlakovaný povrch, kde vytváří s molekulami plynu požadovaný povrch. U fotolytické metody jsou molekuly v blízkosti substrátu štěpeny fotochemickou reakcí [14,25].

3.3.4 Metoda CA-CVD

Cascade Arc Plasma-assisted CVD je metoda s lavinovým plazmatickým výbojem. Reaktor využívá vlastnosti homogenního sloupce lineárního plazmatického výboje. Děj probíhá v plynném prostředí $\text{Ar-H}_2\text{-CH}_4$ při tlaku vakua až po atmosférický tlak. Metoda vhodná pro aplikování diamantových povlaků na 3D tvary substrátu [14].

3.3.5 Metoda PA-CVD

Metoda Plasma Assisted Chemical Vapour Deposition se díky plazmě uskutečňuje při nízkých teplotách 470-530 °C. Povlakování se provádí až po zušlechtnění na požadovanou tvrdost. Povlaky splňují vysoké požadavky na kvalitu, především mají výbornou životnost, otěruvzdornost, tvrdost a vyznačují se extrémně malým koeficientem tření (až 0,1) [26].

Výhodou je, že není potřeba užití vysokého vakua ani rotačních částí (vzniká povlak i na velmi složitých součástech s dutinami, je možné provádět nitridaci a povlakování v jednom procesu [26].

3.3.6 Metoda MWP-CVD

MicroWave Plasma Chemical Vapour Deposition je metoda založená na principu technologie CVD vyznačující se nízkou pracovní teplotou v rozmezí 480-600 °C [16].

4 VYUŽITÍ NÁSTROJŮ PRO HLUBOKÉ VRTÁNÍ V PRAXI

Po celém světě existuje celá řada firem zabývajících se výrobou nástrojů pro hluboké vrtání. Ze zahraničí v České republice své produkty nabízí společnosti jako Sandvik Coromant, Gühring, Fraisa, Walter, Kendu, Seco, Iscar, Tungaloy a z českých firem jsou to zástupci ZPS-FN, Pramet, Stimzet, atd.

4.1 Společnost Sandvik Coromant

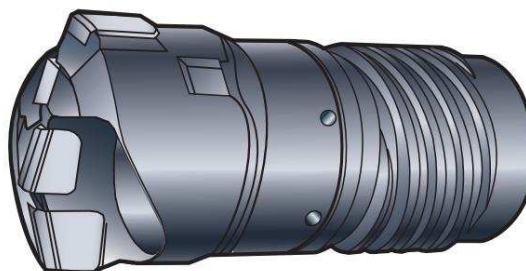
Společnost byla založena roku 1862 švédským podnikatelem Göran Fredrik Göranssonem. Jako první na světě v průmyslovém měřítku úspěšně použil Bessemerovu metodu výroby oceli. Avšak nejvýznamnější období pro rozvoj firmy bylo zahájení výroby nástrojů ze slinutých karbidů v roce 1942 [37].

V dnešní době patří mezi přední světové výrobce nástrojů, nástrojových řešení a know-how pro oblast obrábění kovů. Díky velkým investicím do vývoje i výzkumu přináší jedinečné technické novinky a společně s nejvýznamnějšími světovými výrobci automobilového, leteckého i energetického průmyslu zavádí nové standardy pro produktivitu. Společnost zaměstnává přibližně 8000 zaměstnanců a své zastoupení má ve 130 zemích světa [36].

4.1.1 Vybrané nástroje společnosti Sandvik Coromant

Hlava pro vrtání 424.6

- Vrtání do plného materiálu v rozmezí průměrů 18,4-24,99 mm nebo 25-65 mm,
- využívá ejektorového systému s pájenými BD,
- 4-6krát rychlejší než vrtání dělovým vrtákem,
- nízké investiční náklady pro malosériovou výrobu,
- s užitím náležitých pájených BD lze vrtat materiály z oceli (P), korozivzdorné oceli (M), litiny (K), neželezných kovů (N) i tepelně odolné super slitiny (S),
- příklad použití: pro vrtání vrtákem o průměru 17 mm do vysocelegované kalené oceli lze použít řeznou rychlost v_c 55-100 m/min a posuv f_n 0,14-0,29 mm/ot [28].



obr. 4.1 Hlava pro vrtání 424.6 [28].

CoroDrill™ 800.24

- Nejproduktivnější volba ejektorového systému pro vrtání do plného materiálu v rozmezí průměrů 25-65 mm,
- nízké náklady na jednu díru,

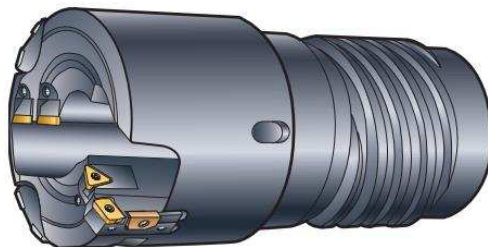


obr. 4.2 Vrták CoroDrill™ 800.24 [28].

- stálý výkon v širokém aplikačním rozmezí,
- stejně jako výše uvedený produkt je vhodný pro materiály skupin P, M, K, N, S při volbě určité VBD,
- příklad použití: pro vrtání do šedé litiny s vysokou pevností v tahu vrtákem o průměru 29 mm s VBD středovými 800-06 T3 08M-C-G, mezilehlými 800-05 03 08M-I-G, obvodovými 800-06 03 08H-P-G a s vodítky 800-06A je možné použít řeznou rychlost v_c 60-110 m/min a posuv f_n 0,11-0,38 mm/ot. Tyto VBD jsou vybaveny PVD povlakem s dobrou odolností proti otěru a houževnatosti [28].

Hlava pro vrtání na jádro T-MAX® 420.7

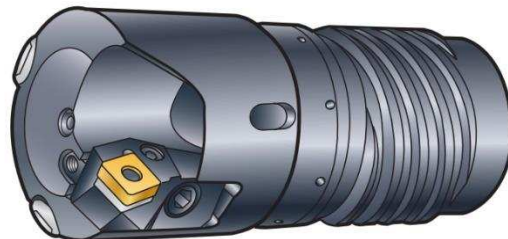
- Konstrukce s nastavitelnými VBD,
- STS systém pro vrtání velkých průměrů na jádro s nízkým potřebným výkonem,
- hloubka vrtání až 100x průměr,
- max. průměr závisí na výkonu stroje,
- jsou opět vhodné pro obrábění materiálů skupin P, M, K, N, S,
- příklad použití: vrtákem, o vnějším průměru 120 mm s VBD středovou TPMT 16T312R-22 a obvodovou R424.9-13T308-22, lze vrtat nelegovaný odlitek z oceli řeznou rychlostí v_c 50-100 m/min a posuvem f_n 0,15-0,30 mm/ot [28].



obr. 4.3 Hlava pro vrtání na jádro T-MAX® 420.7 [28].

Hlava pro vrtání T-MAX® 424.31

- Konstrukce s jednou VBD pro vrtání do předvrtané díry,
- hlava s nastavitelnou kazetou s jednou VBD,
- příklad použití: vrták o průměru 70 mm lze vybavit kazetou T-Max P s VBD SNMG 12 04 12, která je vyrobena z povlakovaného SK a vhodná pro materiály s krátkou drobivou třískou. Při vrtání feritické kujné litiny je doporučeno použít řeznou rychlost v_c 60-120 m/min a posuv f_n 0,15-0,40 mm/ot v hloubce větší 8 mm [28].



obr. 4.4 Hlava pro vrtání T-MAX® 424.31 [28].

Jednobřítý dělový vrták 428.9

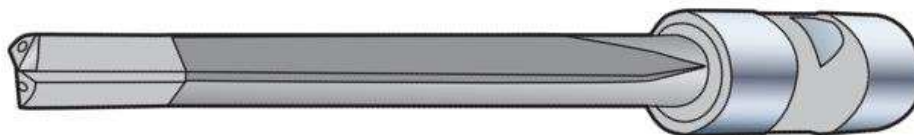
Tyto vrtáky jsou vhodné pro obrábění všech druhů materiálů (P, M, K, N, S) s přesností až IT9 a jakostí povrchu R_a 0,1-3,0 μ m. Dostupné v průměru od 0,98 mm do 40,50 mm. Příklad použití: vrtákem o průměru 20 mm je možno vrtat austenitickou korozivzdornou ocel řeznou rychlostí v_c 40-90 m/min a posuvem f_n 0,02-0,1 mm/ot [28].



obr. 4.5 Jednobřítý dělový vrták 428.9 [28].

Dvoubřítý dělový vrták 428.9

Dosahuje o něco menších přesností jako jednobřítý a je vhodný pro materiály s krátkou třískou (litiny a neželezné kovy). Příklad použití: tímto vrtákem o průměru 13 mm je doporučeno obrábět kujnou feritickou litinu řeznou rychlostí v_c 70-90 m/min a posuvem 0,050-0,190mm/ot [28].



obr. 4.6 Dvoubřítý dělový vrták 428,2 [28].

4.2 Společnost Botek

Společnost Botek byla založena v Německu roku 1974. Původně vyvíjelo nástroje pro hluboké vrtání pouze šest pracovníků. Dnes je firma Botek mezinárodně uznávanou společností, která má více než 650 zaměstnanců a dodává vrtáky do celého světa. Společnost Botek se zaměřuje na nástroje s vnitřním chlazením pro všechny hluboké vrtací systémy o průměru od 0,5 do 1000 mm. Od roku 2011 je Botek registrovanou ochrannou známkou ve většině zemí světa [38].

4.2.1 Vybrané nástroje společnosti Botek

STS vrták s označením 17

- Vhodný pro extrémně přesné tolerance,
- díky nízkým pořizovacím nákladům je používán pro kusovou výrobu,
- lze vrtat materiály ze skupin P, M, K, N, S,
- příklad použití: pro výrobu díry o průměru 21 mm do austenitické oceli je doporučena řezná rychlost v_c 60-80 m/min a posuv f_n 0,02-0,06 mm/ot [39].



obr. 4.7 STS vrták typu 17 společnosti Botek [39].

STS vrták s označením 11/61

- Velmi ekonomicky úsporný s optimálním řezným výkonem,
- VBD s mnoha variacemi utvařečů třísek,
- rozsah nastavení nástroje lze pomocí vhodných dílů měnit až o 0,5 mm,
- příklad použití: VBD umožňují obrábět širokou škálu materiálů, jedním z nich je korozivzdorná ocel, kterou lze obrábět tímto vrtákem o průměru 27 mm řeznou rychlostí v_c 50-70 m/min a posuvem f_n 0,10-0,12 mm/ot [39].



obr. 4.8 STS vrták s označením 11/61 [39].

Ejektorový vrták 70E

- Určen pro vrtání do plného materiálů v rozsahu průměrů 25-65 mm,
- utvařeče třísek pro vysoký výkon a vysokou produktivitu,
- příklad použití: tento vrták je taky opatřen VBD, a tím umožňuje obrábět materiály skupin P, K, N. Řeznou rychlostí v_c 100-200 m/min a posuvem f_n 0,15-0,45 mm/ot je doporučeno obrábět hliníkové slitiny s vrtákem o průměru 50 mm [40].



obr. 4.9 Ejektorový vrták 70E [40].

Šroubovitý vrták s označením 158

Tento vrták s vnitřním přívodem procesní kapaliny disponuje vysokou produktivitou při vysokých rychlostech posuvu a díky vysoké houževnatosti karbidu je zajištěna vynikající životnost a dobrá odolnost proti přetržení nástroje. Bezproblémový odvod třísek z místa řezu zaručuje speciální povrchová úprava odvodové drážky. Je vhodný pro vrtání hliníku a ocelí. Příklad použití: při vrtání vrtákem o průměru 6 mm do žíhané oceli tvrdosti 35-45 HRC je optimální řezná rychlost v_c 40-60 m/min a posuv f_n 0,14-0,20 mm/ot [41].



obr. 4.10 Šroubovitý vrták typu 158 [41].

Dělový vrták s označením 113-HP

Velmi výkonný i při vrtání materiálů s tvorbou dlouhé třísky. Výhodou je možnost rychlého a levného přeoštění. Řezné podmínky pro několik druhů vrtaného materiálu jsou vyobrazeny na obrázku 4.12 [42].



obr. 4.11 Dělový vrták 113-HP [42].

Velikost a tvar třísky	0 cm 1	0 cm 1	0 cm 1	0 cm 1
Materiál	X46Cr13	Kované oceli	Hliníkové slitiny	Temperovaná ocel
Průměr x hloubka vrtání	5,0 x 120 mm	9,0 x 300 mm	2,5 x 60 mm	6,0 x 350 mm
Řezná rychlost v_c	90 m/min	70 m/min	110 m/min	70 m/min
Rychlost posuvu f_n	0,115 mm/ot	0,16 mm/ot	0,36 mm/ot	0,11 mm/ot

obr. 4.12 Řezné podmínky pro dělový vrták 113-HP [42].

4.3 Společnost Tungaloy

Od roku 1929 je Tungaloy průkopníkem ve výzkumu materiálů a vývoje slinutých karbidů. Je jedním z předních světových producentů karbidových řezných nástrojů odolných proti opotřebení. Společnost sídlící v Japonsku dodává jejich výrobky zákazníkům po celém světě v oblasti automobilového průmyslu, stavebnictví, letectví, zdravotnictví, energetiky, infrastruktury a těžkého průmyslu [43].

4.3.1 Vybrané nástroje společnosti Tungaloy

Dělový vrták firmy Tungaloy

Dělový vrták s připájeným monolitním koncem a s rozsahem průměrů 3-24 mm je určen pro vrtání materiálů skupin P, M, K, N, H. Nejvyšší řeznou rychlost v_c 130 m/min a posuv f_n 0,15-0,25 mm/ot vrtáku s průměrem 6 mm lze použít pro obrábění žíhané uhlíkové oceli s tvrdostí 110-120 HB [45].



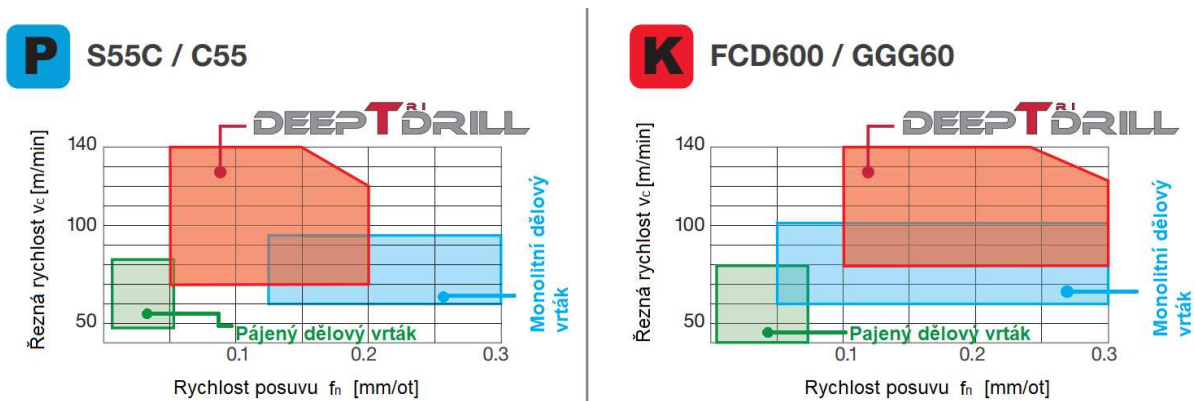
obr. 4.13 Dělový pájený vrták firmy Tungaloy [45].

Vrták DeepTri-Drill

Díky VBD lze obrábět materiály skupin P, M, K, N, S, H, s přesností až IT10. Avšak nejvhodnější použití je v oblasti ocelí (P) a litin (K), kde rozsah řezných rychlostí a posuvů (i s porovnáním výše uvedeného vrtáku) je znázorněn na obrázku 4.15 [44].



obr. 4.14 Vrták DeepTri-Drill společnosti Tungaloy [44].



obr. 4.15 Porovnání řezných podmínek vrtáku DeepTri-Drill s monolitním a pájeným dělovým vrtákem [44].

ZÁVĚR

Na první pohled se může zdát, že technologie vrtání je velmi jednoduchá metoda třískového obrábění, ale opak je pravdou. Vznikající díra s přibývajícím hloubkou více a více znemožňuje plynulý odvod třísek z místa řezu. Předpokladem pro výbornou spolehlivost nástroje je tvorba správného tvaru a odvodu třísky. V dnešní době existuje mnoho konstrukčních řešení vrtáků a strojů, které tento proces umožňují. Se spolehlivostí velmi úzce souvisí snižování nákladů na obráběnou součást, což se označuje produktivitou nástroje. Profily drážek vrtáků, geometrie břitů vrtáků a materiálů nástrojů se postupem času značně vyvíjely a tím docházelo k rapidnímu růstu výkonu, zlepšení řezu, prodloužení trvanlivosti nástroje, snížení času procesu a s tím spojený růst produktivity.

Materiály nástroje a obrobku značně ovlivňují již zmiňovanou trvanlivost nástroje, tedy jeho opotřebením. Dnes je vývoj zaměřen na výrobu řezných materiálů práškovou metalurgií a na jejich povlakování. Rychlořezné oceli a slinuté karbidy jsou tedy nepoužívanějším základovým materiálem. V blízké budoucnosti se nepředpokládá vynalezení zcela nepoznaného materiálů. Pokrok se bude odvíjet spíše ve zdokonalování výše uvedených substrátů a jejich povlakováním řeznou keramikou, polykrystalickým diamantem, kubickým nitridem bóru apod.

Řezné nástroje pro hluboké vrtání vyrábí celá škála spíše zahraničních, ale i českých firem. Nástroje do čtvrté kapitoly jsou vybrány od firem Sandvik Coromant, Botek a Tungaloy z důvodu jejich velmi kvalitního zpracování katalogů nabízených produktů. Je zde vidět, že tyto dominantní firmy na trhu investují do vzájemné spolupráce se zákazníkem. Nelze opomenout také společnosti jako Walter, Seco, Gühring apod. Správný výběr řezných podmínek a nástroje samotného závisí zejména na materiálu obrobku, dostupnosti strojního zařízení i příslušného vybavení nutného k provedení vrtacího procesu daným vrtákem.

Pro vyšší přesnost a kvalitu obrobene díry se společnosti vyrábějící vrtáky zaměřují také na vývoj různých pomůcek a zařízení pro kontrolu, seřizování, ostření, údržbu a v neposlední řadě se snaží určit nejvhodnější řezné podmínky pro daný materiál.

Dá se říct, že v dnešní době je vrtání hlubokých děr běžným a nijak obtížným způsobem obrábění. Avšak vše záleží na zvoleném nástroji, řezných podmínkách, postupu provedení vrtání a zejména na investicích, které je zákazník ochoten obětovat do hlubokého vrtání.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 270 s. : il., tabulky, grafy, schémata. ISBN 80-214-3068-0.
- [2] HUMÁR, Anton. *Technologie I – Technologie obrábění – 2. část. Studijní opory pro magisterskou formu studia*. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. [online]. [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
- [3] Podstata vrtání, popis základních operací. ELUC. [online]. [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1208>
- [4] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. : il. ISBN 80-214-2374-9.
- [5] KUDELA, Miroslav. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. Praha: Scientia, 1997, 1 sv. (různé stránkování) : il. ISBN 91-972299-4-6.
- [6] ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003, 193 s. : obr. 1 CD-ROM. ISBN 80-214-2336-6.
- [7] Nástroje na vrtání. ELUC. [online]. [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1209>
- [8] ARNO SHARK-Drill®. In: Arno. [online]. [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: <https://www.arno-tools.co.uk/products/drilling/drilling/detail/shark-drill0.html>
- [9] *Obráběcí nástroje Sandvik Coromant: Rotační nástroje* [online]. [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/413823-Obrabeci-nastroje-sandvik-coromant-rotacni-nastroje-frezovani-vrtani-vyvrtavani-nastrojove-systemy.html>
- [10] Vrtání stupňovitých děr se zkosenou hranou. In: Sandvik Coromant [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/drilling/application_overview/step_and_chamfer_drilling/step_or_step_and_chamfer/pages/default.aspx
- [11] *Rotační nástroje* [online]. 2017 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: http://sandvik.ecbook.se/se/cs/rotating_tools_2017/
- [12] Vrták s vyměnitelnými břitovými destičkami D4140. In: Walter [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: https://www.walter-tools.com/cs-cz/tools/standard_products/holemaking/overview/drilling/d4140-indexable-insert/Pages/default.aspx
- [13] *Vrtání na jádro* [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/drilling/application_overview/dedicated_methods/trepanning/
- [14] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008, 235 s. : il. (převážně barev.) ; 26 cm. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [15] Schéma tepelného zpracování rychlořezných ocelí. In: ÚMVI [online]. [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/vyuka/struktura_a_vlastnosti_materialu/prjednasky/07%20-%20Nastrojove%20oceli.pdf

-
- [16] HUMÁR, Anton. *Technologie I – Technologie obrábění – 1. část. Studijní opory pro magisterskou formu studia*. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. [online]. [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-1cast.pdf
- [17] HUMÁR, Anton. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. Brno: CCB, 1995, 265 s. : il. ISBN 80-85825-10-4.
- [18] Kulový mlýn. In: *Laboratorní technika* [online]. [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: https://lat.zshk.cz/media.aspx?id=SLT026&TB_iframe=true&height=750&width=820
- [19] How an Attritor Works. In: Mikrons [online]. [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: http://www.attritor.in/attritor_working.html
- [20] *CBN nástroje pro třískové obrábění* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: http://www.diapraha.cz/uploads/assets/katalogy/cbn-katalog_becker_2011_cz.pdf
- [21] Principle of Evaporation. In: Kawai Optics [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: http://ns.kopt.co.jp/English/ca_jou-gi/joutyaku.html
- [22] BOSCO, R., BEUCKEN, J., LEEUWENBURGH, S. a JANSEN, J. Surface Engineering for Bone Implants: A Trend from Passive to Active Surfaces [online]. MDPI, poslední úpravy 2012-07-02 [cit. 2018-04-17]. Dostupný z: <http://www.mdpi.com/20796412/2/3/95/htm>
- [23] *Otěruvzdorné povrchové vrstvy a povlaky* [online]. 27.7.2016 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/45782>
- [24] Ion implantation. In: Bodycote [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <http://blog.bodycote.com/2017/08/02/what-is-ion-implantation/>
- [25] *Metody depozice povlaků – CVD: Schéma aparatury pro CVD* [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: http://fyzika.fs.cvut.cz/subjects/fzmt/lectures/FZMT_7.pdf
- [26] *Povlakování nástrojů metodou PACVD* [online]. 23.4.2008 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/povlakovani-nastroju-metodou-pacvd.html>
- [27] *Obrábění hlubokých děr* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/drilling/application_overview/deep_hole_machining/pages/default.aspx
- [28] *Vrtání hlubokých děr: Katalog produktů a aplikační příručka* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: http://www.kvantum.sk/files/vrtanie_hlbokych_otvorov.pdf
- [29] Single Tube System. In: Unitac [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: http://www.unitac.co.jp/en/sts/sts_top.html
- [30] *Systém s jednou trubkou (STS)* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/drilling/application_overview/deep_hole_machining/single_tube_system_sts/pages/default.aspx
-

- [31] DTS Double Tube System. In: Unitac [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: http://www.unitac.co.jp/en/dts/images/dts_l.jpg
- [32] Ejektorový systém. In: Sandvik Coromant [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/drilling/application_overview/deep_hole_machining/ejector_system/pages/default.aspx
- [33] GÄRTNER, Jakub. *Hluboké vrtání na stroji Multicut 630* [online]. 2014 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/14113/1/Jakub_Gartner_-_bakalarska_prace.pdf. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní.
- [34] Systém dělového vrtáku. In: Sandvik Coromant [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/drilling/application_overview/deep_hole_machining/gun_drill_system/pages/default.aspx
- [35] Jak vrtali předkové. In: Praktik [online]. 24.5.2010 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <http://www.bytmagazin.cz/kategorie.aspx/hobby/clanek/vrtacky-v-historii-a-dnes>
- [36] Sandvik Coromant ve zkratce [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/aboutus/sandvik_coromant_in_brief/pages/default.aspx
- [37] *Naše historie* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/aboutus/our_history/pages/default.aspx
- [38] Company history. In: Botek [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <http://www.botek.de/company/company-history>
- [39] *System BTA (STS): Katalog společnosti Botek* [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.botek.de/downloads-1/catalogue/deep-hole-drilling-tools-system-bta>
- [40] *Ejector System: Katalog společnosti Botek* [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.botek.de/downloads-1/catalogue/deep-hole-drilling-tools-ejector-system>
- [41] *Solid carbide twist drills: Katalog společnosti Botek* [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.botek.de/downloads-1/catalogue/solid-carbide-twist-drills-typ-158>
- [42] *Single flute gundrills: Katalog společnosti Botek* [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.botek.de/downloads-1/catalogue/single-flute-gundrills-type-110>
- [43] Company overview. In: Tungaloy [online]. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.tungaloy.com/about-us/>
- [44] *DeepTri-drill: Katalog společnosti Tungaloy* [online]. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.tungaloy.com/wp-content/uploads/430.pdf>

- [45] *Gun-drill: Katalog společnosti Tungaloy* [online]. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.tungaloy.com/wp-content/uploads/420.pdf>
- [46] DrillLine. In: Tungaloy [online]. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.tungaloy.com/product/deeptri-drill/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Symbol	Jednotka	Popis
v_c	[m/min]	Řezná rychlost
v_f	[mm/min]	Rychlost posuvu
A_d	[mm ²]	Jmenovitý průřez třísky
D	[mm]	Průměr vrtáku
f, f_n	[mm/ot]	Posuv
n	[min ⁻¹]	Otáčky vrtáku
b_d	[mm]	Šířka třísky
h_d	[mm]	Tloušťka třísky
K_r	[°]	Úhel hlavního ostří vrtáku
d	[mm]	Průměr předvrtané díry
F_f	[N]	Posuvová síla
F_{f1}, F_{f2}	[N]	Složky posuvové síly
F_p	[N]	Pasivní síla
F_{p1}, F_{p2}	[N]	Složky pasivní síly
F_c	[N]	Řezná síla
F_{c1}, F_{c2}	[N]	Složky řezné síly
C_{Ff}, C_{Fc}	[-]	Konstanty popisující vliv vrtaného materiálu
X_{Ff}, X_{Fc}	[-]	Exponenty popisující vliv průměru vrtáku
Y_{Ff}, Y_{Fc}	[-]	Exponenty popisující vliv posuvu na otáčku
M_c	[Nm]	Kroutící moment k ose vrtáku
C_M, X_M	[-]	Substituční konstanty
P_c	[kW]	Řezný výkon
P_f	[kW]	Výkon potřebný pro posuv
t_{as}	[min]	Jednotkový strojní čas
L	[mm]	Celková dráha vrtáku
l_n	[mm]	Náběh vrtáku
l_p	[mm]	Přeběh vrtáku
ε_r	[°]	Úhel špičky vrtáku
λ_s	[°]	Úhel sklonu drážek
α_r	[°]	Úhel hřbetu

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Popis
SK	Slinuté karbidy
VBD	Vyměnitelná břitová destička
RO	Rychlořezná ocel
HSS	High Speed Steel
STS	Single Tube System
CVD	Chemical Vapour Deposition
PVD	Physical Vapour Deposition
HIP	Hot Isostatic Pressing
PKNB	Polykrystalický kubický nitrid bóru
PD	Polykrystalický diamant
MT-CVD	Middle Temperature Chemical Vapour Deposition
HF-CVD	Hot Filament Chemical Vapour Deposition
LI-CVD	Laser Induced Chemical Vapour Deposition
CA-CVD	Cascade Arc Plasma-assisted Chemical Vapour Deposition
PA-CVD	Plasma Assisted Chemical Vapour Deposition
MWP-CVD	MicroWave Plasma Chemical Vapour Deposition