



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**TECHNOLOGICKÉ MOŽNOSTI NÁSTROJE PRO
OBRÁBĚNÍ OTVORŮ VELKÝCH PRŮMĚRŮ**

TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES OF TOOL FOR MACHINING LARGE DIAMETER HOLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Václav Hapala

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Václav Hapala**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

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:

Technologické možnosti nástroje pro obrábění otvorů velkých průměrů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce je rozdělena na rešeršní a experimentální část. Součástí rešerše jsou možnosti výroby otvorů velkých průměrů, dále je popsána společnost SV Olšovec, která se zabývá touto problematikou, jsou představeny její řezné nástroje. Experimentální část je zaměřena na porovnání řezných nástrojů společnosti SV Olšovec s nástroji dostupnými na trhu. Zejména se jedná o porovnání výkonu a přípravných časů.

Cíle bakalářské práce:

Úvod

1. Technologie výroby otvorů velkých průměrů
 2. Představení firmy SV Olšovec
 2. Popis nástroje
 3. Experimentální část
 4. Vyhodnocení experimentu
- Závěr

Seznam literatury:

PTÁČEK, L. a kol.. Nauka o materiálu I. 2.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 392 s. ISBN: 80-7204-283-1.

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 255 s. ISBN 80-214-2374-9.

HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1.vyd. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 235s. ISBN 978-80-254-2250-2.

PÍŠKA, M. Speciální technologie obrábění. 1.vyd.. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 3. 11. 2015





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu



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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na porovnání technologických možností nástrojů pro obrábění otvorů velkých průměrů od společnosti SV Olšovec a konkurenčních společností. V teoretické části jsou popsány metody technologie vrtání, vyvrtávání a popis nástrojů pro vyvrtávání velkých průměrů. Experimentální část obsahuje porovnání nástroje společnosti SV Olšovec s konkurenčním nástrojem společnosti D'Andrea, použité řezné podmínky a porovnání technologických možností jednotlivých nástrojů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vrtání, vyvrtávání, strojní čas, porovnání

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused to compare technological possibilities of machines metalworking large diameters in company SV Olšovec and rival companies. There are methods such as technology of drilling, boring and description of tools for drilling large diameters described in practical part. Experimental part includes comparison of a tool from a company SV Olšovec and a tool from rival D'Andrea's company, cutting inserts used and comparison of technological possibilities particular machines.

KEYWORDS

Drilling, boring, unit machine time, compare

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HAPALA, V. *Technologické možnosti nástroje pro obrábění otvorů velkých průměrů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 36 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Aleše Jaroše, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 27. května 2016

.....

Jméno a přímení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu práce Ing. Aleši Jarošovi PhD. za cenné rady a připomínky při tvorbě této bakalářské práce. Děkuji panu Josefu Pavelkovi ze společnosti SV Olšovec s.r.o. za rady a pomoc při experimentu.

Děkuji své rodině za podporu v průběhu celého studia.

OBSAH

Úvod	8
1 Technologie výroby otvorů velkých průměrů	9
1.1. Vrtání	9
1.1.1 Kinematika vrtání	9
1.1.2 Rozdělení a charakteristika vrtacích nástrojů	12
1.2 Vyvrtávání	15
1.2.1 Kinematika vyvrtávání	16
1.2.2 Rozdělení a charakteristika vyvrtávacích nástrojů	16
2 Představení firmy SV Olšovec	18
2.1 Strojový park firmy SV Olšovec	19
3 Popis nástrojů	21
3.1 Vyvrtávací křídlo společnosti SV Olšovec	21
3.2 Hlava TRM řady testarossa společnosti D'Andrea	22
3.3 Vyvrtávací tyče BRIDGE společnosti SECO TOOLS	23
3.4 CoroBore 820 XL společnosti Sandvik Coromant	24
4 Experimentální část	25
4.1 Popis stroje	25
4.2 Popis nástroje	26
4.3 Materiál součásti	28
4.4 Řezné podmínky	28
4.5 Popis experimentu	29
5 Vyhodnocení experimentu	32
Závěr	34
Seznam použitých zkratk a symbolů	36

ÚVOD

Existuje velká řada obráběcích technologií, mezi které patří soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, obrážení, hoblování, broušení a další. Tato práce se zabývá technologií vyvrtávání.

Vyvrtáváním lze rozšiřovat předhotovené díry na požadovaný rozměr a tvar. Lze obrábět rotační plochy, které mají tvar válce, kužele, čelního mezikruží nebo rotační tvarové plochy, dále vnitřní zápichy a řezat vnitřní závity. Tato metoda má velké využití při výrobě otvorů velkých průměrů, kdy je výhodnější využít odlévání pro úsporu materiálu a menší množství odpadu například oproti vrtání do plného materiálu a následné rozšiřování otvoru. Používá se jak pro hrubování, tak pro obrábění na čisto. Vyvrtávání je technologie velmi podobná technologii vrtání, v obou případech je hlavní pohyb rotační a koná ho nástroj.

V rešeršní části práce je popsána technologie a kinematika procesu vrtání a vyvrtávání. Je zde představena společnost SV Olšovec s.r.o., která se zabývá komplexními službami v obrábění kovů, zejména soustružení, frézování, broušení a zámečnickými pracemi. Firma se také zabývá obráběním otvorů velkých průměrů a nástroji vhodnými pro tuto technologii, například vyvrtávacím křídlem, které je v této práci představeno.

V dnešní době je kladen velký důraz na produktivitu obrábění, technologické možnosti nástrojů a jejich využití, proto jsou v této práci dále popsány jednotlivé obráběcí nástroje vhodné jak pro technologii zabývající se vrtáním tak pro technologii vyvrtávání velkých a hlubokých otvorů jako jsou kopinaté vrtáky, šroubovitě vrtáky, ejektorové vrtáky, vyvrtávací tyče, hlavy a nože.

V experimentální části je porovnáván strojní čas hrubování při vyvrtávání zadaného dílce s otvory velkých průměrů nástrojem vyrobeného firmou SV Olšovec a konkurenčním nástrojem od společnosti D'Andrea S.p.A. Při dokončování je kontrolována správnost rozměrů děl a zadaná drsnost.

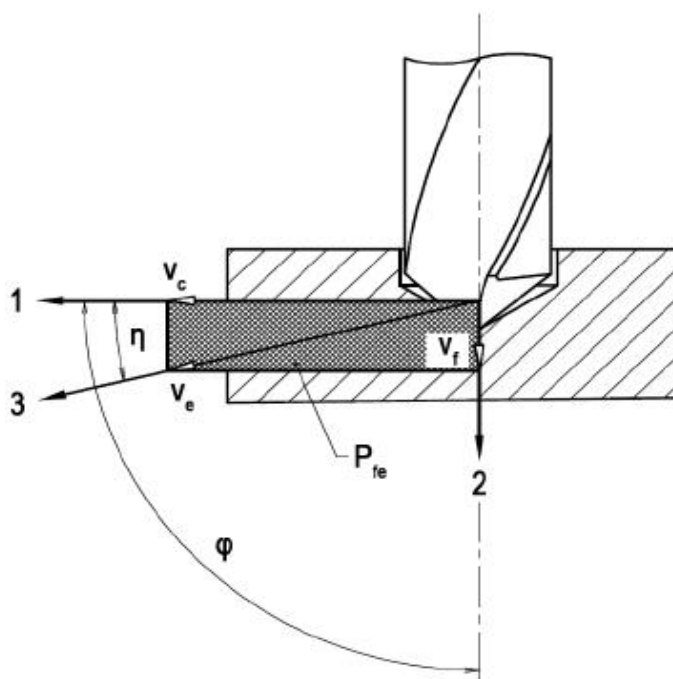
1 TECHNOLOGIE VÝROBY OTVORŮ VELKÝCH PRŮMĚRŮ

Otvorem velkého průměru máme na mysli otvor o velikosti 100 mm a více. Při vyvrtávání je možné rozšiřovat předvrtané nebo jinak předhotovené díry sériově vyráběnými vyvrtávacími nástroji až do průměru 3200 mm podle výrobce nástroje.

1.1. VRTÁNÍ

Vrtání je z historického hlediska jeden z nejstarších způsobů obrábění. Touto metodou obrábění se obrábí vnitřní rotační plochy. Mezi vrtání spadá i vyhrubování a vystružování, což jsou operace, které zlepšují přesnost otvoru a jeho jakost povrchu. Hlavní pohyb při vrtání je rotační a ve většině případů jej koná nástroj [1,2,8].

1.1.1 KINEMATIKA VRTÁNÍ



1 – směr hlavního pohybu; 2 – směr posuvového pohybu; 3 – směr řezného pohybu;
 v_c – řezná rychlost; v_f – posuvová rychlost; v_e – rychlost řezného pohybu; P_{fe} – pracovní boční rovina; φ – úhel posuvového pohybu; η – úhel řezného pohybu

Obr. 1.1. Kinematika vrtacího procesu při vrtání šroubovým vrtákem [1].

Řezná rychlost v_c – Řezná rychlost se ve směru od obvodu ke středu nástroje zmenšuje, až v ose dosahuje řezná rychlost nulové hodnoty. Za řeznou rychlost se tedy považuje obvodová rychlost na jmenovitém průměru nástroje [8].

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1.1.)$$

Kde: D [mm] - průměr nástroje
 n [min^{-1}] - otáčky nástroje

Rychlost posuvu v_f – Je posuv nástroje vůči obrobku, případně rychlost obrobku vůči nástroji. Vyjadřuje se délkou uražené dráhy za jednotku času. Při výpočtu je třeba znát posuv na otáčku f_r , který je vyjádřen jako posuv nástroje za jednu otáčku [8].

$$v_f = f_r \cdot n \quad (1.2.)$$

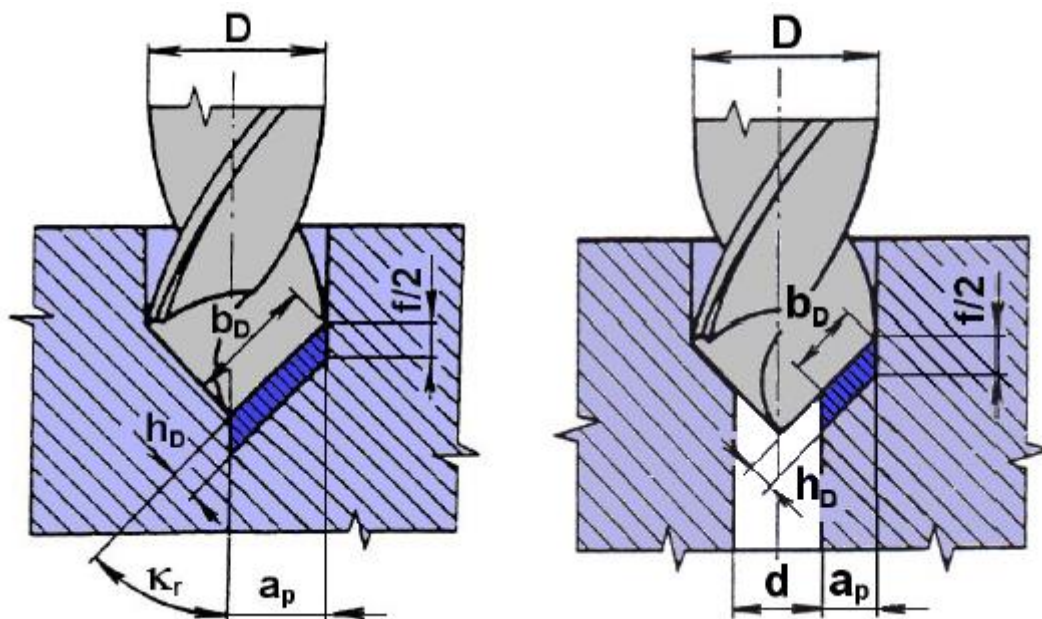
Kde: f_r [mm] - posuv na otáčku
 n [min^{-1}] - otáčky nástroje

Průřez třísky – Je vrstva obráběného materiálu, odebrána působením ostří nástroje. Rozlišujeme jmenovitý průřez třísky A_D , což je plocha průřezu třísky v rovině řezu v určitém čase a celkový průřez třísky A_{dtot} , který se při použití vícebřitých nástrojů stanoví jako součet jednotlivých ploch průřezů třísek vytvářených aktivními břity současně

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

Kde: b_d [mm] - jmenovitá šířka třísky
 h_d [mm] - jmenovitá tloušťka třísky
 a_p [mm] - šířka záběru ostří
 f_r [mm] - posuv na otáčku

$$A_{Dtot} = \sum A_{Di} \quad (1.4.)$$

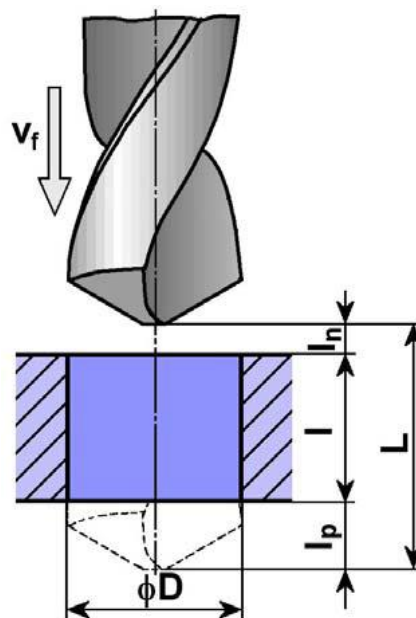


Obr. 1.2 Průřez třísky při vrtání dvoubřítým šroubovitým vrtákem [2].

Jednotkový strojní čas t_{AS} - čas chodu stroje, který odpovídá délce řezu L . Tato délka je včetně náběhu a přeběhu nástroje.

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \quad (1.5.)$$

Kde: l_n [mm] - náběh vrtáku
 l [mm] - délka vrtané díry
 l_p [mm] - přeběh vrtáku
 v_f [mm.min⁻¹] - posuvová rychlost
 n [min⁻¹] - otáčky vrtáku
 f [mm] - posuv na otáčku



Obr. 1.3 Dráha vrtáku [2].

1.1.2 ROZDĚLENÍ A CHARAKTERISTIKA VRTACÍCH NÁSTROJŮ

Nástroje sloužící k vrtání otvorů se dělí z technologického hlediska podle délky vrtaného materiálu na nástroje pro vrtání krátkých děr a na nástroje pro vrtání hlubokých děr.

Šroubovité vrtáky

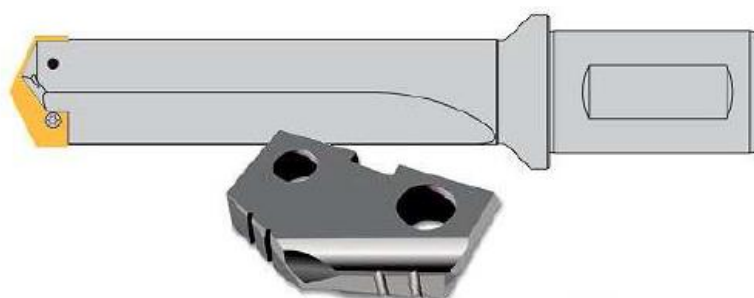
Šroubovité vrtáky jsou nejčastěji používané nástroje k vrtání krátkých děr. Tyto nástroje většinou mají dva břity a šroubovitě drážky, sloužící k odvodu třísky z místa řezu. Vedení ve vrtané díře zajišťuje válcová fazetka na vedlejším ostří vrtáku. Vrták je mírně kuželovitý s menším průměrem u stopky, čímž se zmenšuje tření v díře. Řezná část se skládá ze dvou ostří, symetrických vzhledem k ose vrtáku, které jsou na špičce spojeny příčným ostřím [1,2,10].



Obr. 1.4 Šroubovité vrtáky [7].

Kopinaté vrtáky

Kopinaté vrtáky také slouží k výrobě krátkých děr. Jsou nejstarší a mají nejjednodušší konstrukci. Řeznou část vrtáku tvoří dva hlavní břity a břit příčný. Moderní nástroje mají vyměnitelnou řeznou část ve formě břitové destičky z rychlořezné oceli nebo ze slinutého karbidu. Nevýhodou tohoto typu vrtáku je špatný odvod třísek z místa řezu [2,10].



Obr. 1.5 Kopinatý vrták [2].

Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami

Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami jsou vrtáky pro vrtání krátkých děr, jsou osazeny několika břitovými destičkami ze slinutých karbidů, upnutými v držáku pomocí šroubů se zapuštěnou hlavou. Odvod třísky zajišťují buď přímé drážky, nebo drážky se šroubovicí. Řezná kapalina je do místa řezu přiváděna dutinou v těle vrtáku [1,2,10].

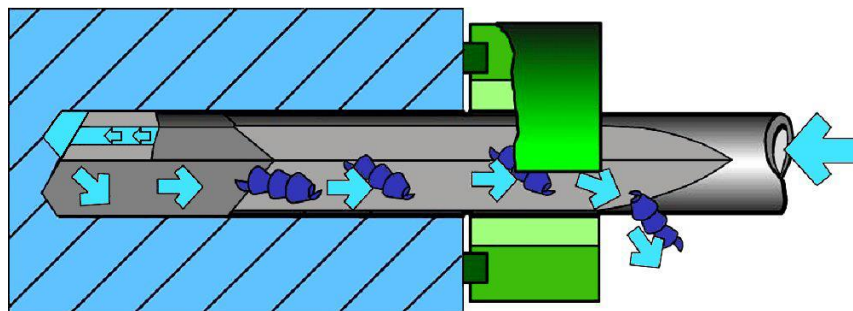
Vzhledem k vysoké řezné rychlosti je výkon vrtáku s vyměnitelnými břitovými destičkami 5 až 10 krát větší než u vrtáků šroubovitých [2].



Obr. 1.6 Vrtáky s vyměnitelnou břitovou destičkou [7].

Dělové a hlavňové vrtáky

Dělové a hlavňové vrtáky se používají pro vrtání hlubokých děr. Dělové vrtáky se používají pro menší hloubky, protože po vyvrtání určité hloubky se musí vrták vytáhnout, aby se z díry odstranily třísky (geometrie vrtáku nezajišťuje odvod třísek). Hlavňové vrtáky jsou určeny pro vrtání přesnějších děr. Řezná část nástroje je upevněna na trubku nebo tyč potřebné délky. Někdy je řezná část tvořena připájenými břitovými destičkami, středění je bezpečně zajištěno pomocí vodítek, které jsou také připevněny k tělesu vrtáku. Řezná kapalina je do místa řezu přiváděna dírami v tělese vrtáku a zajišťuje vyplavování třísek [2,10].



Obr. 1.7 Odvod třísky při vrtání hlavním vrtákem [2].

Ejektorový vrták

Ejektorový vrták se skládá z vrtací hlavice, která je našroubována do vnější vrtací trubky. Řezná kapalina je do místa řezu přiváděna mezikružím mezi vnitřní a vnější trubkou, přičemž malé množství kapaliny, odcházející štěrbinami v zadní části trubky, způsobuje tzv. ejektorový efekt. Ejektorovým efektem rozumíme nasávání kapaliny směrem od břitu vrtáku a strhávání vznikajících třísek [2].

Vrtáky BTA

Vrtáky BTA umožňují vrtat jak do předvrtaného materiálu, tak i do plné díry. Řezná kapalina je do místa řezu přiváděna mezerou mezi stěnou vrtané díry a trubicí vrtáku. Spolu se vznikající třískou je řezná kapalina odváděna z místa řezu středem trubky. Z toho důvodu musí být tlaková hlava pro přívod řezné kapaliny utěsněna z obou stran [2,4].

Vrtací hlavy

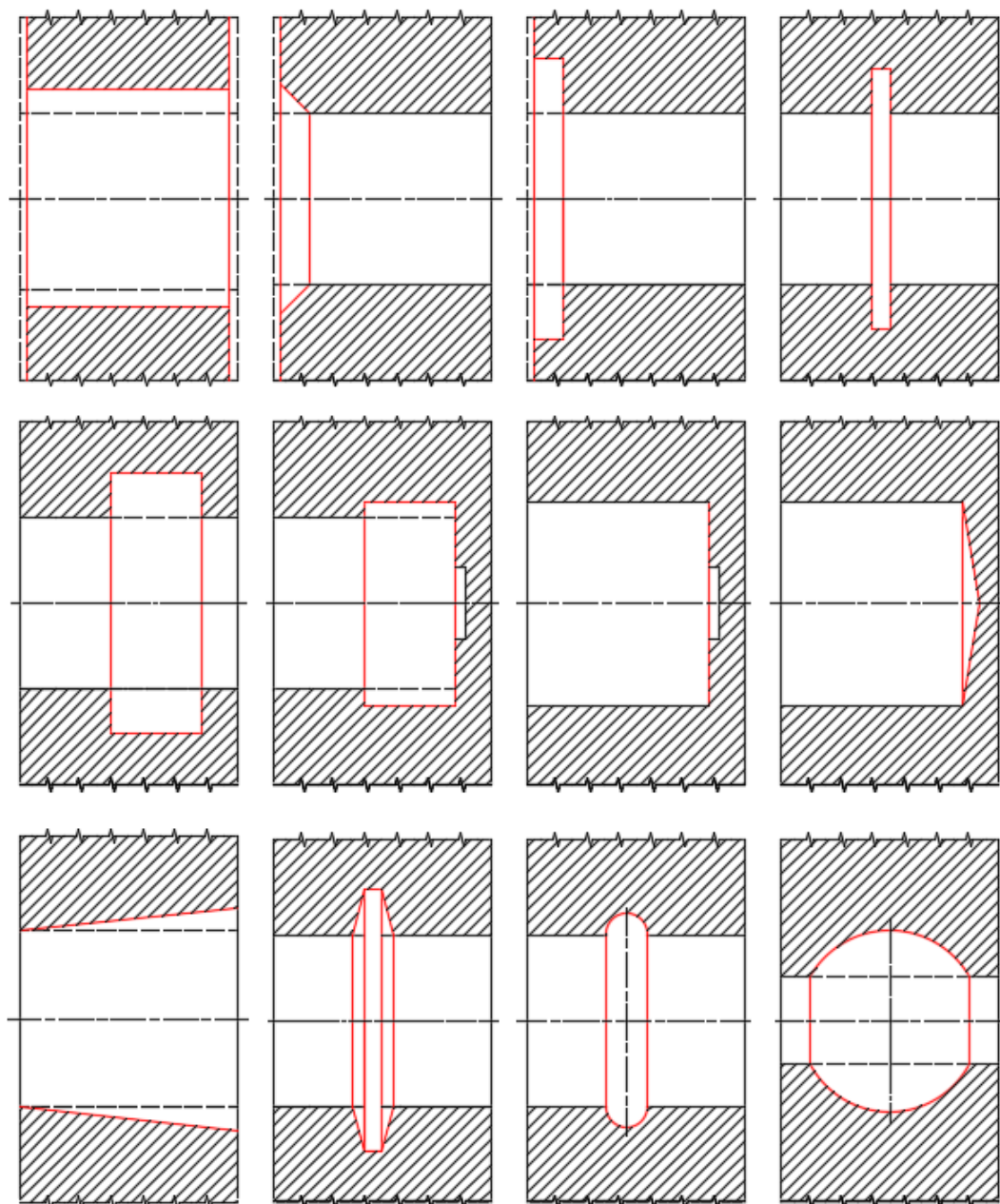
Vrtací hlavy slouží k vrtání děr velkého průměru. Jsou osazeny připájenými nebo mechanicky upnutými břitovými destičkami. Řezná kapalina je přiváděna buď mezi vrtákem a vrtanou dírou, nebo mezi pláštěm vrtací tyče a vnitřní trubicí, kterou je zajištěn odvod třísek [10].



Obr. 1.8 Vrtací hlava Perfomax SD602 [7].

1.2 VYVRTÁVÁNÍ

Vyvrátání je metoda třískového obrábění, při které se rozšiřují již předlité, předkované, předlisované, předvrtané nebo jiným způsobem předhotovené otvory na daný rozměr a tvar vyvrtávacím nožem. Tato metoda je využívána jak pro hrubovací, tak i pro dokončovací operace pro otvory ve tvaru válce, kužele, čelního mezikruží, rotační tvarové plochy nebo vnitřní zápichy, může nahradit práci výhrubníků a výstružníků [1,2,4].



Obr. 1.9 Příklady ploch obráběných vyvrtáním [2].

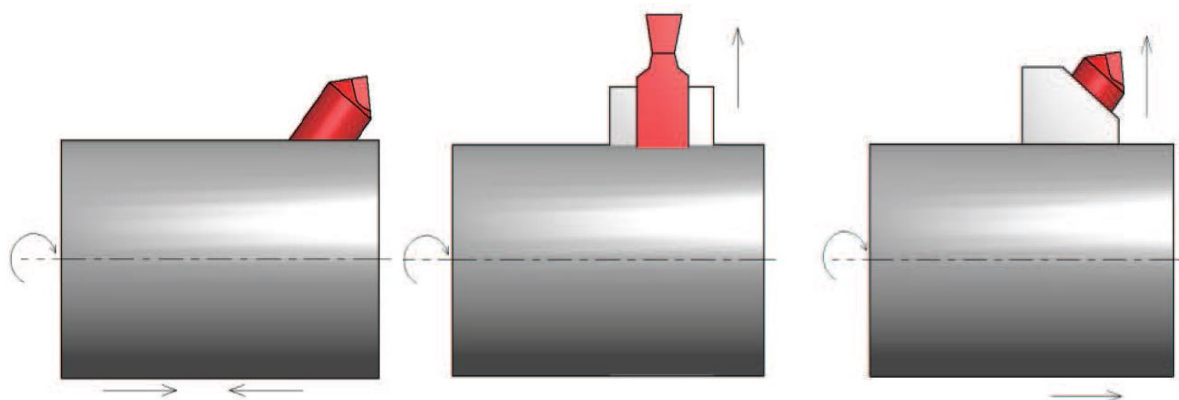
1.2.1 KINEMATIKA VYVRTÁVÁNÍ

Základní rozdělení kinematiky vyvrtávání je zobrazeno na obr. 1.1. Na obr. 1.2 jsou zobrazeny příklady ploch obráběných vyvrtáváním

a) „Nástroj koná hlavní pohyb, vyvrtávací nůž je pevně uložen ve vyvrtávací tyči nebo hlavě a obrobek (nebo vyvrtávací tyč) koná podélný posuv do řezu. Radiální posuv je roven nule, nůž je vůči obrobku nastaven na obráběný průměr.

b) Nástroj koná hlavní pohyb, nůž se vysouvá z vyvrtávací tyče nebo hlavy plynule nebo po přítržích (obvykle vždy za jednu otáčku) radiálním posuvem v příčném směru. V tomto případě je podélný posuv roven nule.

c) Nástroj nebo obrobek koná hlavní pohyb i podélný posuv, přičemž se nůž z tyče nebo hlavy plynule nebo po přítržích vysouvá v příčném směru radiálním posuvem“ [1].



Obr. 1.10 a) Podélný posuv

b) Příčný posuv

c) Podélný a příčný posuv [9].

1.2.2 ROZDĚLENÍ A CHARAKTERISTIKA VYVRTÁVACÍCH NÁSTROJŮ

Základní vyvrtávací nástroje jsou vyvrtávací tyče a vyvrtávací hlavy, do kterých se upínají vyvrtávací nože, které jsou většinou konstruovány jako nože soustružnické [1]. Nástroje se rozdělují podle několika hledisek. Podle konstrukce se dělí na vyvrtávací tyče, vyvrtávací hlavy a podle charakteru operace na hrubovací, dokončovací, pro jemné vyvrtávání apod. [1,2].

Vyvrtávací tyče

Vyvrtávací tyče se podle počtu břitů dělí na jednobřité, dvoubřité a vícebřité. Vždy je tyčí spojen jeden nebo více nožů, které tvoří jeden nedílný celek. Přesnost vyvrtávání je dána tvarem nože, geometrií břitu a celkovou tuhostí nástroje, stroje i obrobku [1,2].

Podle konstrukce se vyvrtávací tyče dělí na letmo upnuté, které mají malou tuhost a jsou vhodné pro vyvrtávání krátkých nebo neprůchozích děr a na vyvrtávací tyče opřené vodícím ložiskem, které se vyznačují několikanásobně vyšší tuhostí než tyče letmo upnuté [3].



Obr. 1.11 Vyrvtávací tyč firmy Sandvik Coromant [8].

Vyvtávací hlavy

Vyvtávací hlavy se nasazují na vyvtávací tyče a slouží k vyvtávání větších průměrů, obvykle do průměru 500 mm. Vyvtávací hlavy mohou být pevné, stavitelné nebo s nuceným posuvem. Pevné vyvtávací hlavy se nedají nijak nastavit a slouží tedy jen k vyvtávání otvoru daného průměru [1,2]. Stavitelné hlavy se mohou nastavit na jakýkoliv rozměr v daném rozsahu hlavy pomocí mikrometrického šroubu, mechanicky nebo za pomoci elektronického zařízení. Hlavy s nuceným posuvem při procesu obrábění (obrábění válcových, kulových, kuželových, čelních ploch v otvoru) jsou opět řešeny pomocí mechanického nebo elektronického řízení pohybu [1,2,4].



Obr. 1.12 vyvtávací hlava DuoBore firmy Sandvik Coromant [8].

Vyvtávací nože

Vyvtávací nože jsou podobné nožům soustružnickým, s geometrií břitu upravenou pro vyvtávací operace. Jsou vyráběny z rychlořezné oceli a s destičkami ze slinutých karbidů. Při práci na čisto se zvyšuje podíl řezné keramiky, nožů s diamantem nebo kubickým nitridem bóru [1,2,4].

Pro hrubování se zpravidla používá dvou nožů, pro operaci dokončovací pak jeden nůž s protizávažím. Nože jsou do vyvtávací tyče nebo hlavy upnuty vždy tak, aby bylo možné seřídit polohu nože a tím ovlivnit velikost obráběného rozměru [1,2].

2 PŘEDSTAVENÍ FIRMY SV OLŠOVEC

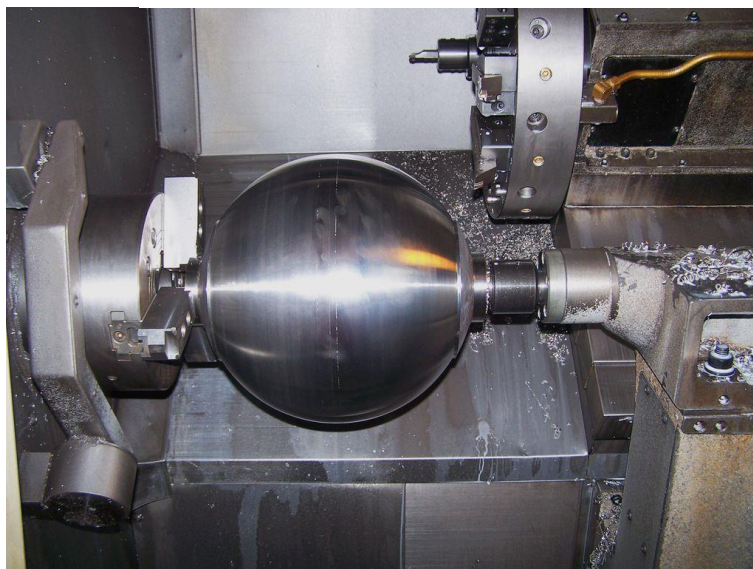
Firma SV Olšovec s.r.o. vznikla v roce 2005 a soustředí se na komplexní služby v obrábění kovů, zejména soustružení, frézování, broušení a zámečnické práce.

Hlavní část výrobního programu tvoří třískové obrábění na vysoce kvalitních a přesných CNC obráběcích strojích. Nabízí kompletní služby od řezání materiálu až po povrchové úpravy a tepelné zpracování finálních výrobků. Na CNC soustruzích a frézkách vyrábí jak velké série, tak i kusovou výrobu s velkou rozměrovou přesností.

Vysokou kvalitou výrobků a flexibilitou firma získala široké portfolio zákazníků nejen z České Republiky, ale i ze zahraničí. Výrobky firmy SV Olšovec tak putují například do Německa, Francie, Holandska, Belgie nebo Švédska [5].



Obr. 2.1 Příklad frézované součásti [5].



Obr 2.2 Příklad soustružené součásti [5].

2.1 STROJOVÝ PARK FIRMY SV OLŠOVEC

Firma vlastní stroje zobrazené v tabulce 2.1. Jedná se především o stroje s řízením CNC. Jde o stroje řízené řídicími systémy Siemens Sinumerik, Fanuc a Heidenhain.

Tab. 2.1 Strojový park firmy SV Olšovec [5].

Soustružení	Frézování	Broušení
Haas SL 20	TOS Varnsdorf WHQ 13 CNC	Studer S31 CNC
Haas SL 30	Haas VF-2SS	
Mori-Seiki NLX 2500/700	Haas VF-4	
Mori-Seiki NT 4250/1500 SZ	Tajmac 1260	
Spinner TC 800	Tajmac 2080	
	Hermle C42 U Dynamic	
Řezání	3D měření	Speciální
CNC pila Bianco	Carl Zeis Contura G2 10/16/6	TRUMARK STATION 5000
CNC pila Bomar		MITSUBISHI MV2400S

Soustruh Mori-Seiki NT 4250 / 1500 SZ

Tab. 2.2 Vlastnosti soustruhu Mori-Seiki NT 4250 / 1500 SZ [5].

Maximální točný průměr	460 mm
Maximální točná délka	1542 mm
Počet nástrojů	12 spodní hlava, 40 horní hlava
Navíc	Poháněné nástroje s otáčkami 6000 min^{-1} , řízená osa Y $\pm 210 \text{ mm}$ a $\pm 120^\circ$



Obr. 2.3 Mori-Seiki NT 4250/1500 SZ 1[5].

Frézka Hermle C42 U Dynamic

Tab. 2.3 Vlastnosti frézky Hermle C42 U Dynamic [5].

Maximální délka	300 mm
Maximální šířka	300 mm
Maximální výška	650 mm
Počet nástrojů	42
Počet otáček	18 000 min ⁻¹
Navíc	Řízená 4. (360°) a 5. (+/-130°) osa
Maximální hmotnost obrobku	1400 kg



Obr. 2.4 Hermle C42 U Dynamic [5].

Bruska Studer S31 CNC

Tab. 2.4 Vlastnosti brusky Studer S31 CNC [5].

Výška hrotu	175 mm
Maximální délka	1000 mm
Navíc	HSM modifikace – tvarové broušení, produkční měření +/- 0,002 mm



Obr. 2.5 Studer S31 CNC [5].

3 POPIS NÁSTROJŮ

V následující části jsou popsány nástroje vhodné pro vyvrtání díry o rozměru $502,8 \pm 0,15$ mm.

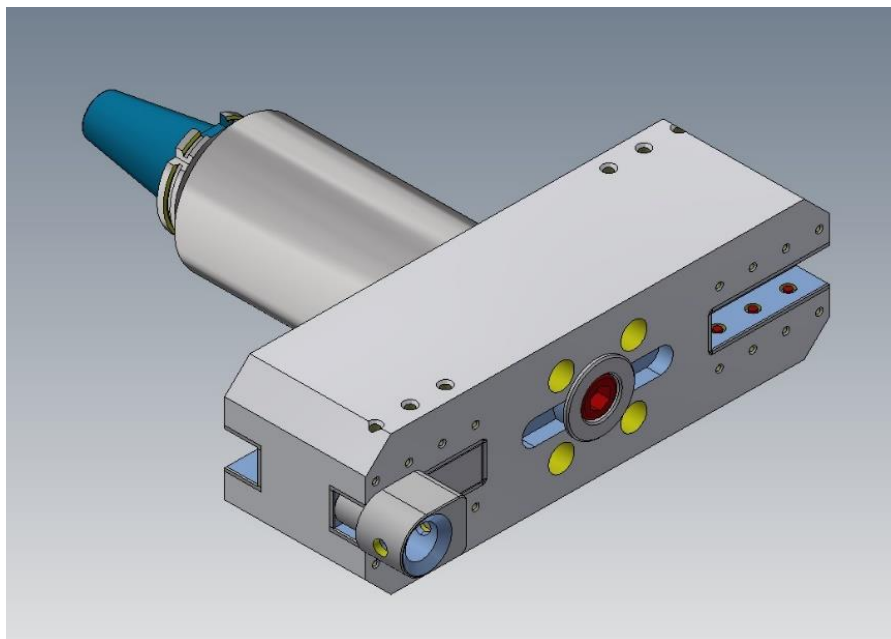
3.1 VYVRTÁVACÍ KŘÍDLO SPOLEČNOSTI SV OLŠOVEC

Vyvrtávací křídlo je vyrobeno z hliníkového bloku. Výhodou hliníkové slitiny je pozitivní vliv pohlcování vibrací z řezu, nízká hmotnost a příznivá cena. Oproti modulárně řešeným nástrojům je křídlo tužší a díky tomu je zajištěna větší možná šířka záběru hlavního ostří nástroje i při přerušovaném řezu, což má značný vliv na snížení celkového výrobního času a cenu výroby. Nástroj je možno použít pro hrubování, kdy se do pouzder připevní podle možného výkonu stroje 1 – 4 upravené soustružnické nože. Čím více dáme nožů, tím větší bude tloušťka odebraného materiálu na jeden záběr, ale také roste řezný odpor. Pro dokončování se do pouzdra upevní speciálně vyrobená redukce, do které se upevní mikropřídávací hlava. Vyvrtávací křídlo je možno použít jak pro dopředné, tak i pro zpětné vyvrtávání, pro čelní obrábění drážek jak dopředné, tak zpětné. Vyvrtávací křídlo společnosti SV Olšovec lze vyrobit do maximálního průměru obrábění až 2500 mm.

Pro vyvrtání součásti dle výkresu bylo použito vyvrtávací křídlo zobrazené na obrázku 3.1 s obráběcím rozsahem 480 – 640 mm.



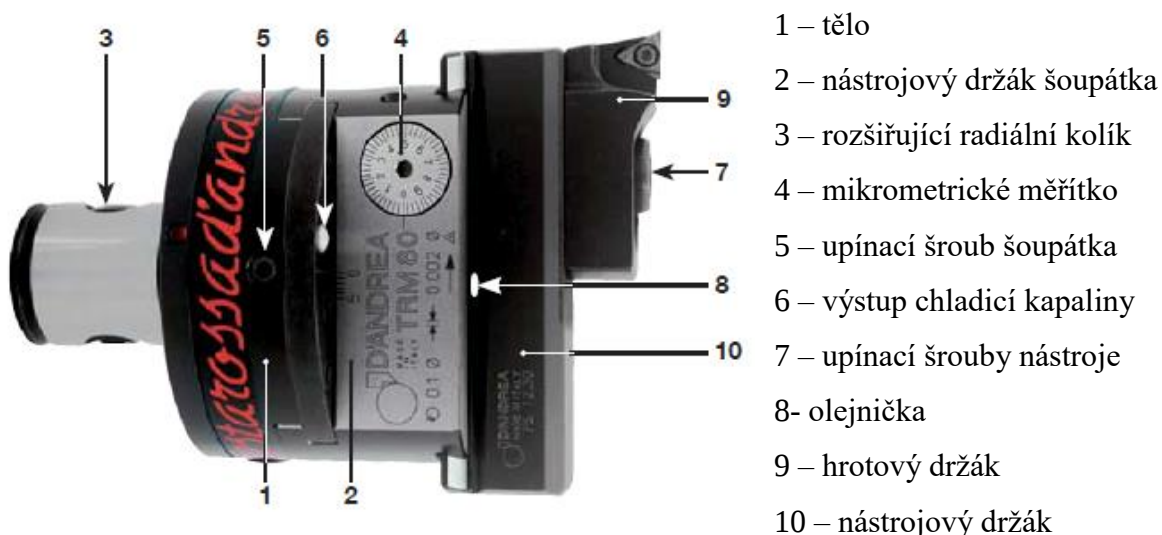
Obr. 3.1 Vyvrtávací křídlo společnosti SV Olšovec.



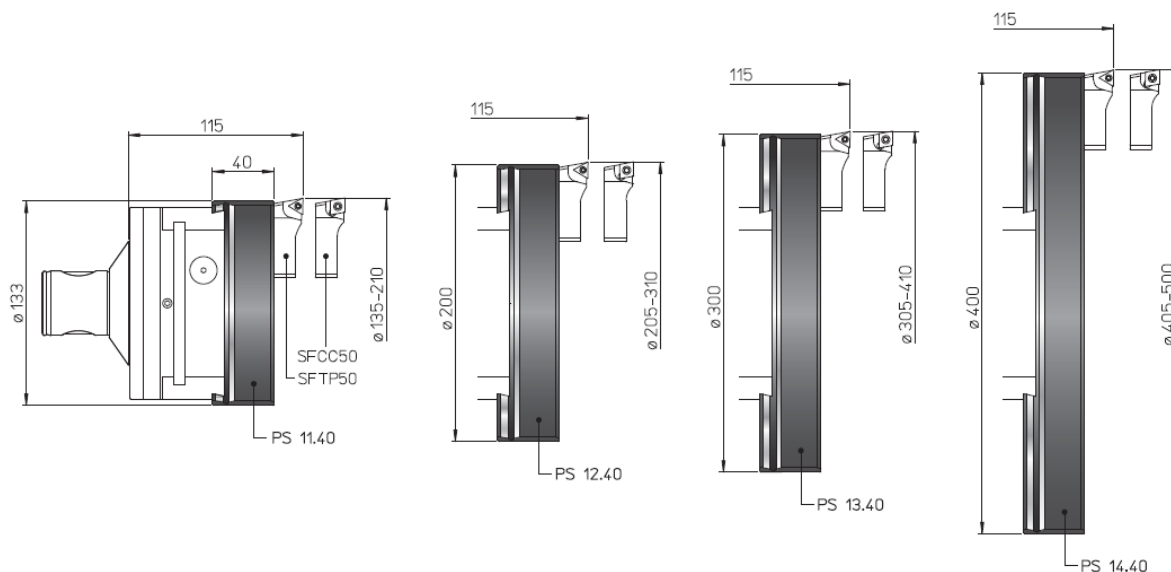
Obr. 3.2 Vytvářecí křídlo s adaptérem pro mikropřídávací hlavu.

3.2 HLAVA TRM ŘADY TESTAROSSA SPOLEČNOSTI D'ANDREA

Vytvářecí hlavy společnosti D'Andrea jsou modulární nástroje dodávané v sadách na určité rozmezí obráběných průměrů. Mají rezuvzdornou povrchovou úpravu. Pomocí vytvářecích hlav TRM se docílí vysoce přesného obrábění do tolerance IT6 s dobrou finální úpravou povrchu [6].



Obr. 3.3 Popis vytvářecí hlavy D'Andrea [6].



Obr. 3.4 Rozměrové rozdělení vyvrtávací hlavy [6].

3.3 VYVRTÁVACÍ TYČE BRIDGE SPOLEČNOSTI SECO TOOLS

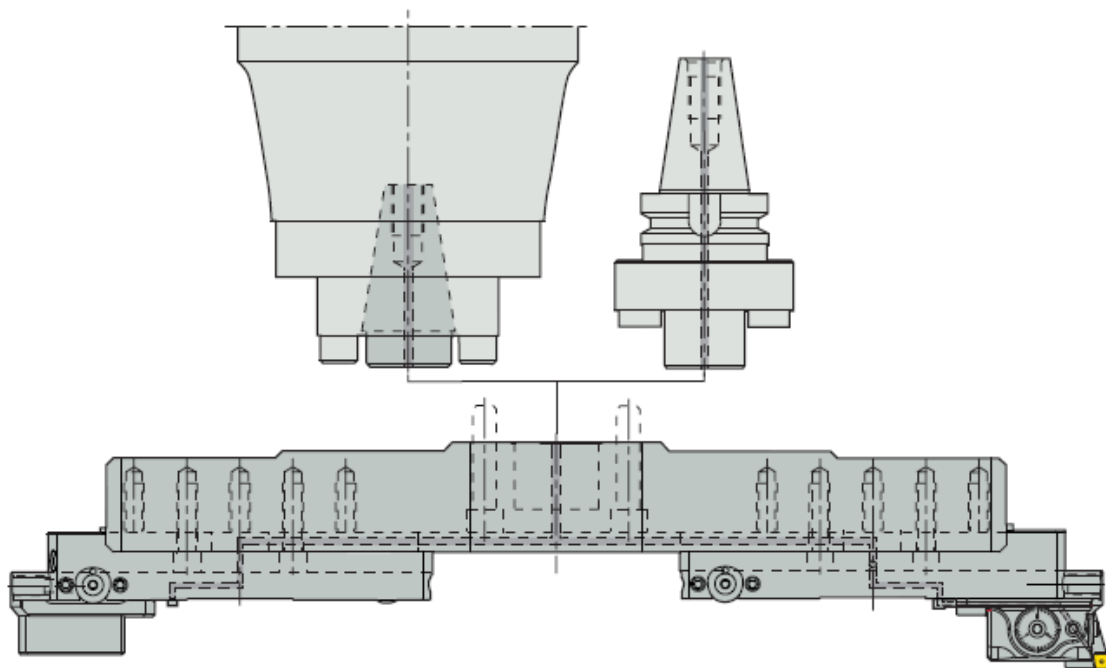
Vyvrtávací tyče Bridge se vyrábí v rozsahu obráběných průměrů 204 – 655 mm. Po sestavení dvou tyčí Bridge a můstkové tyče Jumbo Bridge je rozsah průměrů 654 – 3205 mm.

Tyče mohou nést upínací jednotky pro hrubování, jemné vyvrtávání, protizávaží nebo bloky pro vyvrtávací hlavy. Vyvrtávací bloky jsou na tyč Bridge připevněny pomocí dvou válců, zajišťovaných třemi šrouby. Blok lze posouvat přesně a plynule pro nastavení požadovaného průměru (zdvih 38 mm na poloměru), pomocí seřizovacího šroubu spřaženého se zádržným kolíkem tyče Bridge [7].

Tyče i bloky jsou opatřeny vnitřním chlazením a řezná kapalina je přivedena řeznou hranou [7].



Obr. 3.5 Vyvrtávací tyč Bridge [7].



Obr. 3.5 Vytvářecí tyč Jumbo Bridge [7].

3.4 CORO BORE 820 XL SPOLEČNOSTI SANDVIK COROMANT

CoroBore 820 XL jsou můstkové vyvrtávací tyče pro vyvrtávání otvorů velkých průměrů a to až do rozsahu 538 – 1260 mm. Jde o nástroje vhodné k hrubovacímu vyvrtávání. Systém nabízí poměrně vysokou tuhost, spolehlivou funkci a výkonnost při vyvrtávání [8].

Mezi výhody tohoto nástroje patří systém s tuhým rozhraním mezi řeznou hlavou a kazetou, umožňující stabilní vyvrtávání bez vzniku vibrací. K dispozici je odlehčená verze, díky které se snižuje hmotnost nástrojové sestavy, což umožňuje snadnější manipulaci s nástrojem při jeho výměně. Nástroj je vyroben z hliníkové slitiny s povrchem chráněným tvrdou povlakovou vrstvou. Přívod řezné kapaliny je tělem nástroje [8].



1. Kazeta
2. Posuvný držák
3. Nástavec můstkové tyče
4. Můstková tyč

Obr. 3.7 Přehled montážních prvků [8].

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V této části práce se porovnává vyvrtávání součástí nástrojem společnosti SV Olšovec popsaným v kapitole 3.1 s nástrojem společnosti D'Andrea popsaným v kapitole 3.2. Porovnávání se týká zejména velikosti posuvu, šířky záběru hlavního ostří nástroje a_p a řezné rychlosti.

4.1 POPIS STROJE

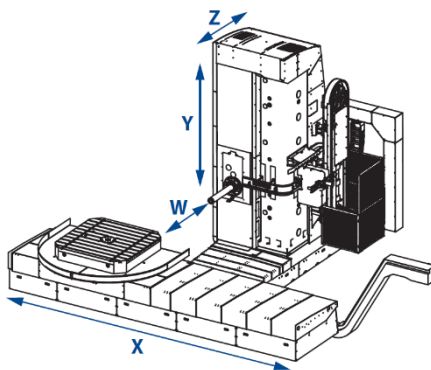
Experiment byl proveden na vodorovné vyvrtávače WHQ 13 firmy TOS Varnsdorf řízeným řídicím systémem Heidenhain iTNC 530.

Horizontální frézovací a vyvrtávací stroj WHQ 13 CNC je univerzální obráběcí stroj určený pro přesné frézování, souřadnicové vrtání, vyvrtávání a řezání závitů tvarově složitých obrobků z litiny a oceli s hmotností až 25 000 kg [11].

Tento stroj je nejúspěšnějším strojem z produkce firmy. První model byl vyroben již v roce 1969. Do současnosti firma vyrobila téměř 2500 těchto strojů. Stroj vyniká vysokou tuhostí konstrukce, vysokými strojními parametry a širokým rozsahem technologických funkcí [11].

Tab. 4.1 Vlastnosti WHQ 13 CNC [11].

Průměr pracovního vřetena	mm	130
Kuželová dutina pracovního vřetena		ISO 50 / ISO 50 BIG+
Rozsah otáček pracovního vřetena	min ⁻¹	10 - 3000
Jmenovitý výkon hlavního motoru S1 / S6	kW	37 / 46
Jmenovitý krouticí moment na vřetenu S1 / S6	Nm	2502 / 3111
Výsuv pracovního vřetena W	mm	800
Svislé přestavení vřeteníku Y	mm	2000, 3500, 4000, 5000, 6000
Podélné přestavení stojanu Z	mm	1250, 1600, 2200, 3200
Příčné přestavení stolu X	mm	2000, 3500, 4000, 5000, 6000
Max hmotnost obrobku	kg	12000
Rozměry upínací plochy stolu	mm	1800x1800
Rozsah pracovních posuvů – X, Y, Z, W	mm.min ⁻¹	4 – 5000
Rozsah pracovních posuvů – B	min ⁻¹	0,003 – 1,5
Rychloposuv – X, Y, Z, W	mm.min ⁻¹	10000
Rychloposuv - B	min ⁻¹	2



Obr. 4.1 Zobrazení os stroje [11].



Obr. 4.2 Horizontální vyvrtávačka WHQ 13 CNC [11].

4.2 POPIS NÁSTROJE

Pro experiment bylo použito vyvrtávací křídlo firmy SV Olšovec představené v kapitole 3.1 a hlava TRM řady testarossa společnosti D'Andrea představena v kapitole 3.2. Porovnání těchto dvou nástrojů bylo provedeno u hrubování zadané součásti. Dokončování bylo provedeno pouze vyvrtávacím křídlem SV Olšovec.

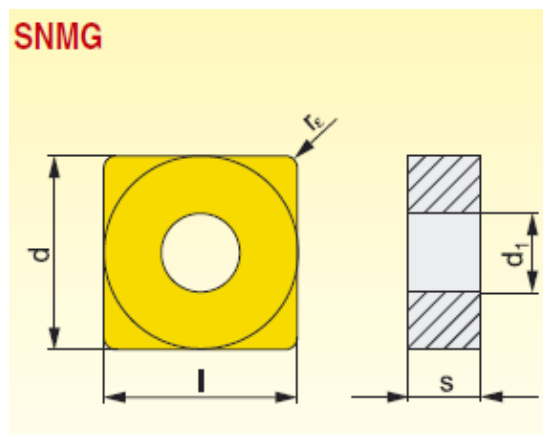
U vyvrtávacího křídla bylo použito dvou nožových držáků PSDNN 2525 M12 ve kterých byly upevněny břitové destičky SNMG 120408E – RM od společnosti Pramet tools.

Vysvětlivky k označení nástrojového držáku PSDNN 2525 M12 [14]:

- P – způsob upínání (upínání pomocí kolíku)
- S – tvar VBD (čtvercová)
- D – tvar nože – úhel nastavení (45°)
- N – úhel hřbetu ($\alpha_n=0^\circ$)
- N – směr řezu (pravý i levý)
- 25 – výška držáku (25 mm)
- 25 – šířka držáku (25 mm)
- M – celková délka (150 mm)
- 12 – velikost destičky (12,7 mm)

Vysvětlivky k označení VBD SNMG 120408E – RM [14]:

S – tvar VBD (čtvercová)
 N – úhel hřbetu (0°)
 M – tolerance
 G – provedení
 12 – délka řezné hrany (12 mm)
 04 – tloušťka (4,76 mm)
 08 – radius špičky (0,8 mm)
 E – provedení řezné hrany (zaoblené hrany)
 RM – utvařec



Obr. 4.3 VBD SNMG [14].

Jde o břitovou destičku se středním povlakem s nosnou vrstvou TiCN nanesenou metodou MTCVD. Tato destička je vhodná pro dokončovací až hrubovací operaci za středních nebo podmíněně vyšších řezných rychlostí pro kontinuální i přerušovaný řez [14].

MTCVD (medium-temperature CVD) – tato metoda byla vynalezena kvůli nevýhodě metody CVD (příliš vysoká teplota při povlakování). Tato metoda dovoluje nanášení v rozmezí teplot $700 - 850^\circ\text{C}$. U metody CVD je použit plynný metan CH_4 jako zdroj uhlíku a čistý dusík, u metody MTCVD je použit jako vstupní sloučenina acetonitril (CH_3CN). Rychlost růstu vrstvy TiCN je při metodě MTCVD přibližně třikrát vyšší než u metody CVD. Snížení teploty a rychlejší nanášení při MTCVD se projevuje na vyšší houževnatosti základového materiálu a snížení lomu ve struktuře povlaku [12].



Obr. 4.4 Použitý nožový držák PSDNN 2525 M12 5241 02.

4.3 MATERIÁL SOUČÁSTI

Obráběná součást je vyrobena odléváním z tvárné feritické litiny GJS 400 (ČSN 42 2304).

Tato litina je vhodná na odlitky s tloušťkou stěny 5 až 100 mm i více, např. pro dynamicky namáhané součásti, formy, ložiskové skříně, řemenice. Hlavními vlastnostmi jsou dobrá obrobitelnost, leštitelnost, kombinace tepelné vodivosti a magnetické permeability, nízká otěruvzdornost, svařitelnost je podmíněná kontrolovaným postupem svařování [13].

Výkres součásti není možné v této práci zveřejnit, rozměry potřebné pro účely experimentu jsou konečný průměr obráběných děr $502,8 \pm 0,15$ mm, délka děr 1150 mm a drsnost povrchu děr Ra 1,6.

Tab. 4.2 Mechanické vlastnosti GJS 400 [13].

Mechanické vlastnosti materiálu GJS 400	
Mez kluzu R_e nebo $R_p 0,2$ [MPa]	250
Mez pevnosti R_m [MPa]	400
Tažnost A_5 [%]	12
Tvrdost HB	150-200
Modul pružnosti E [GPa]	169

4.4 ŘEZNÉ PODMÍNKY

V následujících tabulkách jsou zobrazeny řezné podmínky pro hrubování součásti křídlem společnosti SV Olšovec a vyvrtávací hlavou D'Andrea. Porovnání nástrojů se týká pouze hrubování, hodnoty pro dokončování jsou tedy pouze pro křídlo společnosti SV Olšovec.

Tab. 4.3 Řezné podmínky pro křídlo společnosti SV Olšovec (hrubování).

Řezná podmínka	Jednotka	Hodnota
Řezná rychlost - v_c	$m \cdot min^{-1}$	150
Posuv f	$mm \cdot min^{-1}$	100
Šířka (hloubka) řezu a_p	mm	1 a předsazení 0,5 u druhého nože
Chlazení	-	Ne

Tab. 4.4 Řezné podmínky pro vyvrtávací hlavu společnosti D'Andrea (hrubování).

Řezná podmínka	Jednotka	Hodnota
Řezná rychlost - v_c	$m \cdot min^{-1}$	150
Posuv f	$mm \cdot min^{-1}$	11
Šířka (hloubka) řezu a_p	mm	0,5
Chlazení	-	Ano

Tab. 4.5 Řezné podmínky pro křídlo společnosti SV Olšovec (dokončování).

Řezná podmínka	Jednotka	Hodnota
Řezná rychlost - v_c	$m \cdot min^{-1}$	157
Posuv f	$mm \cdot min^{-1}$	11
Šířka (hloubka) řezu a_p	mm	0,2 – 0,8
Chlazení	-	Ano

4.5 POPIS EXPERIMENTU

Experiment se konal v sídle firmy SV Olšovec v Olšovci u Hranic na Moravě.

Měřený obrobek má dva stejné otvory obráběné z průměru 495 mm na průměr $502,8 \pm 0,15$ mm. Jeden otvor byl hrubován vyvrtávacím křídlem společnosti SV Olšovec (Obr. 4.4) popsaným v kapitole 3.1 a druhý otvor vyvrtávací hlavou D'Andrea (Obr. 4.5) popsaným v kapitole 3.2 na rozměr 501 mm.

Vzhledem k délce obráběné díry (1150 mm) byla vždy obrobena poloviční délka otvoru, následně otočení stolu o 180° a obrobení zbytku otvoru z důvodu zmenšení chyby v toleranci vzhledem k velkému vyložení nástroje.

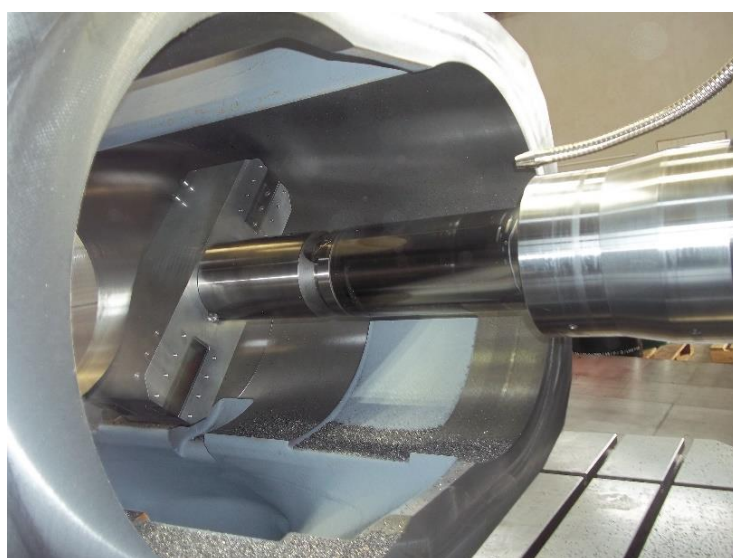
V následujících tabulkách (tab. 4.6 a tab. 4.7) jsou zobrazeny výsledné strojní časy pro hrubování zadané součásti odečtené z dat obráběcího stroje.

Tab. 4.6 Naměřené hodnoty pro vyvrtávací křídlo SV Olšovec (hrubování).

Vyvrtávací křídlo SV Olšovec		
Strojní čas na jeden průjezd t_{AS}	min	12,86
Celkový strojní čas t_{ASC}	min	25,72
Celková hloubka řezu a_p	mm	3
Počet řezů		2

Tab. 4.7 Naměřené hodnoty pro vyvrtávací hlavu D'Andrea (hrubování).

Vyvrtávací hlava D'Andrea		
Strojní čas na jeden průjezd t_{AS}	min	106,54
Celkový strojní čas t_{ASC}	min	639,24
Celková hloubka řezu a_p	mm	1
Počet řezů		6



Obr. 4.5 Hrubování vyvrtávacím křídlem.



Obr. 4.6 Hrubování vyvrtávací hlavou D'Andrea.

Po vyhrubování a uplynutí předepsané doby pro odepnutí obrobku z důvodu uvolnění vnitřního pnutí byl obrobek znovu upnut a dokončován pouze křídlem společnosti SV Olšovec tak, že bylo použito nástavce zkonstruovaného taktéž firmou SV Olšovec, na který byla upnuta mikropřídávací hlava společnosti D'Andrea s přesností přidávání 0,002 mm na průměr obrobku (Obr. 4.6). Při dokončování byl brán zřetel na dodržení předepsané tolerance, která byla následně měřena pomocí mikrometrického odpichu Somet 500 – 525 mm a drsnosti obrobeného povrchu měřeným drsnoměrem Mitutoyo surfest SJ – 210.



Obr. 4.7 Nástavec s mikropřídávací hlavou D'Andrea.



Obr. 4.8 Upevnění hlavy v nástroji.

Tab. 4.8 Naměřené hodnoty (dokončování).

Vývrtávací křídlo SV Olšovec s mikropřídávací hlavou D'Andrea		
Strojní čas na jeden průjezd t_{AS}	min	110
Celkový strojní čas t_{ASC}	min	440
Celková hloubka řezu a_p	mm	0,2-0,8
Počet řezů		2

Po dokončení byla daná součást proměřena a zkontrolována, měření bylo zaměřeno hlavně na rozměr daných děr a drsnost jejich povrchu.

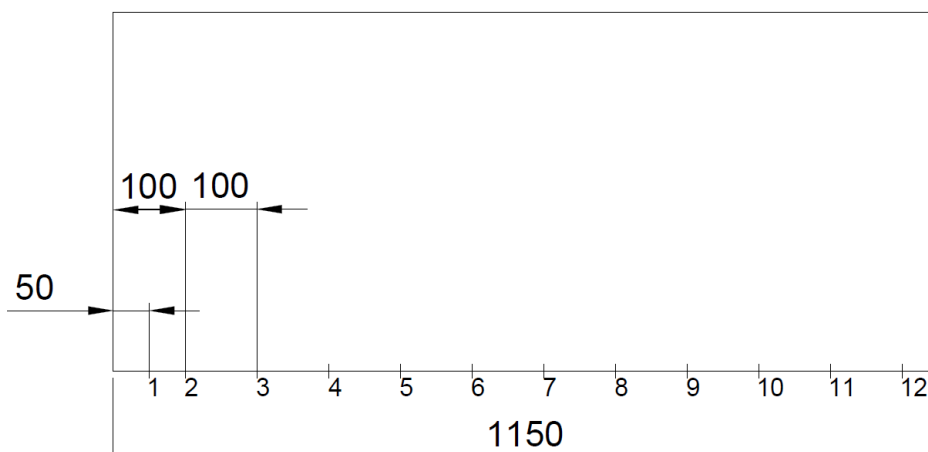
5 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

Celkový strojní čas pro vyvrtávací křídlo SV Olšovec – 25,72 min

Celkový strojní čas pro vyvrtávací hlavu D'Andrea – 639,24 min

Z celkových naměřených strojních časů při hrubování je zřejmé, že strojní čas vyvrtávacího křídla společnosti SV Olšovec je oproti času vyvrtávací hlavy společnosti D'Andrea nižší o 613,49 min, což má za následek podstatný rozdíl v celkové ceně výroby zadaného dílce. Tyto dva časy se od sebe liší z důvodu záběru ostří nástroje, který je u křídla 1,5 mm a u nástroje D'Andrea pouze 0,5 mm a tuhosti konstrukce, která u vyvrtávacího křídla dovoluje použít posuvu $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ u vyvrtávací hlavy D'Andrea však pouze $11 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Po dokončení součásti probíhalo měření zadaného průměru, který podle výkresu odpovídal rozměru $502,8 \pm 0,15 \text{ mm}$. Měření probíhalo podle schématu zobrazeného na obrázku 5.1 a byly naměřeny hodnoty zobrazené v tabulce 5.1.



Obr. 5.1 Schéma měření.

Tab. 5.1 Naměřené hodnoty.

Měření	Pozice [mm]	1. otvor [mm]	2. otvor [mm]	Měření	Pozice [mm]	1. otvor [mm]	2. otvor [mm]
1	50	502,85	502,81	7	600	502,85	502,84
2	100	502,84	502,79	8	700	502,87	502,81
3	200	502,86	502,82	9	800	502,86	502,85
4	300	502,85	502,83	10	900	502,84	502,84
5	400	502,86	502,81	11	1000	502,87	502,82
6	500	502,84	502,84	12	1100	502,86	502,83

Pozice v tabulce znamená vzdálenost od kraje součásti v milimetrech.

Aritmetický průměr hodnot pro 1. otvor:

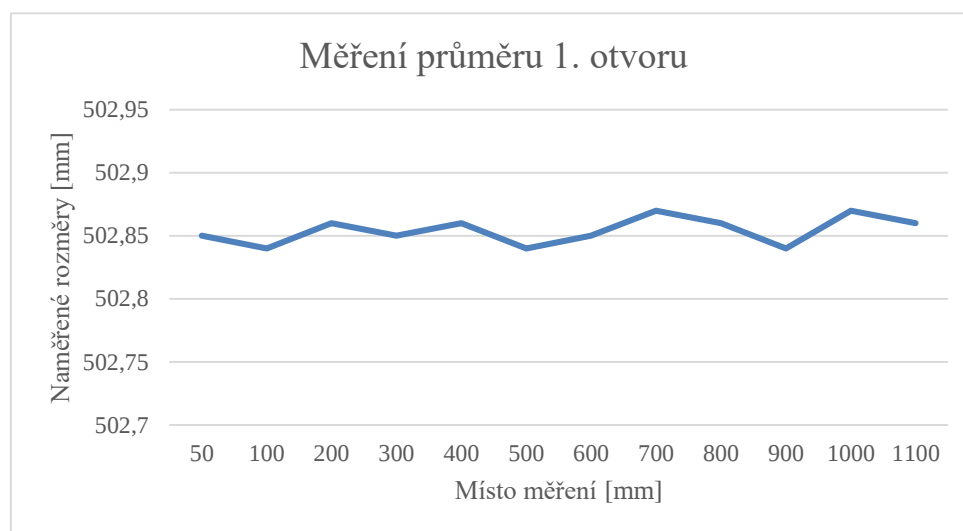
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5.1.)$$

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{12} \cdot (3 \cdot 502,85 + 3 \cdot 502,84 + 4 \cdot 502,86 + 2 \cdot 502,87)$$

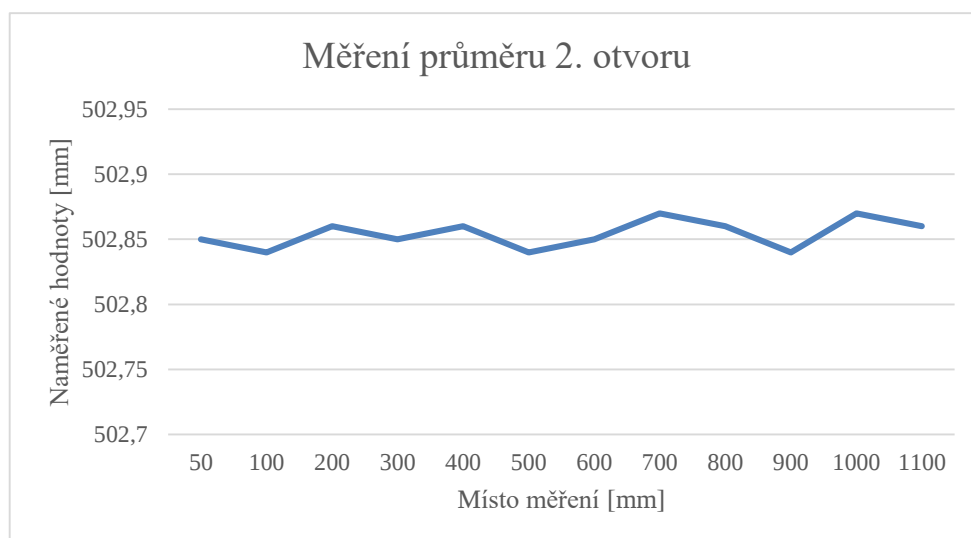
$$\bar{x}_1 = 502,8542 \text{ mm}$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{12} \cdot (3 \cdot 502,81 + 2 \cdot 502,82 + 2 \cdot 502,83 + 3 \cdot 502,84 + 502,85 + 502,79)$$

$$\bar{x}_2 = 502,8242 \text{ mm}$$



Obr. 5.2 Měření průměru 1. otvoru.



Obr. 5.3 Měření průměru 2. otvoru.

Z naměřených a vypočtených hodnot průměru 1. díry 502,8542 mm a průměru 2. díry 502,8242 mm lze vidět, že splňují rozměr zadaný ve výkresu $502,8 \pm 0,15$ mm a oba tyto otvory jsou tedy vyrobeny v dané toleranci.

Naměřená drsnost pomocí drsnoměru Mitutoyo surftest SJ – 210 měřená na několika místech v obou otvorech odpovídá hodnotě předepsané na výkresu a to Ra 1,6.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá přehledem jednotlivých nástrojů vhodných pro obrábění otvorů velkých průměrů technologií vrtání a vyvrtávání. V této technologii došlo k velké modernizaci nástrojů, které jsou vhodné nejen pro hrubování součástí, ale dosahují takových přesností, že jsou vhodné i pro dokončovací operace. Pro přesné a výkonné obrábění je však zapotřebí také moderních CNC strojů, které jsou charakteristické vysokou přesností a tuhostí.

V rešeršní části byly představeny jak nástroje vhodné pro vrtání, vyrobené především z rychlořezných ocelí nebo slinutých karbidů, tak i nástroje vyvrtávací, mezi které patří vyvrtávací tyče, vhodné především pro vyvrtávání děr menších rozměrů, vyvrtávací hlavy, které jsou nasazovány na vyvrtávací tyče a slouží k vyvrtávání větších otvorů a vyvrtávací nože, které se upevňují buď na vyvrtávací tyče, nebo hlavy. Podrobně popsané vyvrtávací nástroje pro obrábění velkých otvorů jsou vyrobeny z hliníkových slitin, především pro svou nízkou hmotnost a dobrou pevnost. U těchto nástrojů je brán zřetel na tuhost celé nástrojové sestavy, aby nedocházelo k nepřesnostem v řezu způsobených vibracemi a rychlejšímu opotřebení výměnných břitových destiček.

V experimentální části byly porovnány strojní časy vyvrtávacího křídla společnosti SV Olšovec a vyvrtávací hlavy společnosti D'Andrea, z jejichž výsledků jasně vyplývá, že vyvrtávací křídlo společnosti SV Olšovec je vhodnější pro obrábění daného otvoru díky možnosti většího záběru ostří, celkové tuhosti nástroje a s tím spojené možnosti použití vyšších posuvových rychlostí a to až o 89%. Porovnání těchto dvou nástrojů ale nevykazuje srovnatelné výsledky, nástroj společnosti SV Olšovec by bylo vhodnější porovnat s jiným nástrojem na trhu, například s vyvrtávací tyčí Bridge od společnosti Seco tools. Dá se předpokládat, že tento nástroj by byl pro experiment vhodnější, především díky možnosti použití dvou břitů. Tento nástroj je řešen modulárně, z čehož se dá předpokládat menší tuhost celého nástroje vlivem spojů mezi jednotlivými dílci, mezi výhody však patří přívod rezné kapaliny nástrojem, nižší hmotnost a možnost využití u většího rozsahu průměrů. Zásadní nevýhodou je cena nástroje, pro obrábění děr měřených v experimentální části by cena nástroje byla dle dostupných informací až třikrát vyšší než cena nástroje společnosti SV Olšovec.

Při hrubování zadané součásti byl brán především ohled na co nejmenší výrobní čas pro ušetření financí. Při dokončování bylo hlavní dodržet předepsanou toleranci a kvalitu obrobeneho povrchu, což se po kontrole měřením mikrometrickým odpichem a drsnoměrem prokázalo.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] KOCMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0.
- [2] HUMÁR, A. Technologie I: technologie obrábění - 2.část. [online]. [vid. 2016-05-21]. Studijní opory pro podporu samostudia v oboru "Strojírenská technologie" BS studijního programu "Strojírenství". VUT v Brně, FSI, 2004. 95 s. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/?page=opory>. (pozn.: materiál je dostupný pouze v síti VUT).
- [3] CHLADIL, J., *Přípravky a nástroje*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984.
- [4] ZEMČÍK, O., *Nástroje a přípravky pro obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2336-6.
- [5] Strojírenská výroba Olšovec. *SV Olšovec* [online]. 2009 [vid. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.sv-olšovec.cz/index.php>
- [6] Catalog 2015. *D'Andrea S.p.A.* [online]. 2015 [vid. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.dandrea.com/en/contents.asp?c=8>
- [7] Obrábění otvorů. *Seco tools* [online]. 2016 [vid. 2016-05-21]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/cs/Global/Services--Support/Machining-Navigator/>
- [8] Rotační nástroje. *Sandvik coromant* [online]. 2016 [vid. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/downloads/pages/default.aspx>
- [9] STRÁNSKÝ, M., *Moderní nástroje pro vyvrtávání*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 38 s. Vedoucí práce doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.
- [10] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-7183-337-1.
- [11] Výrobní program. *TOS Varnsdorf* [online]. 2016 [vid. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.tosvarnsdorf.cz/cz/produkty/horizontalni-vyvrtavacky-stolove/whnq-13-15-cnc/>
- [12] HUMÁR, A. Trendy v povlakování slinutých karbidů. *Průmyslové spektrum*. Leden 2001, s. 43, Kód článku 010705. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/trendy-v-povlakovanislinutych-karbidu>
- [13] Normy EN-GJS-400-15. *Focam spol s.r.o.* [online]. 2016 [vid. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.focam.cz/focam/souvisejici-normy>
- [14] Materiál VBD. *Pramet* [online]. 2014 [vid. 2016-05-21]. Dostupné z: https://katalog.mav.cz/data/upload/files/44677-1_rezne-materialy-vbd-pro-soustruzeni.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
CVD		Chemical vapour deposition – chemické napařování
MTCVD		Middle temperature chemical vapour deposition
PSDNN		Typ nástrojového držáku
SK		Slinutý karbid
SNMG		Typ výměnné břitové destičky
VBD		Výměnná břitová destička
A ₅	[%]	Tažnost
A _D	[mm ²]	Jmenovitý průřez třísky
A _{Dtot}	[mm ²]	Celkový průřez třísky
a _p	[mm]	Šířka záběru ostří
b _D	[mm]	Šířka třísky
D	[mm]	Průměr nástroje
E	[GPa]	Modul pružnosti
f _r	[mm]	Posuv na otáčku
f _z	[mm]	Posuv na zub
h _D	[mm]	Tloušťka třísky
L	[mm]	Dráha nástroje
l	[mm]	Délka vrtané díry
l _n	[mm]	Náběh nástroje
l _p	[mm]	Přeběh nástroje
n	[min ⁻¹]	Otáčky nástroje
R _a	[μm]	Střední aritmetická hodnota drsnosti
R _e	[MPa]	Mez kluzu
R _m	[MPa]	Mez pevnosti
t _{ASC}	[min]	Celkový strojní čas
t _{AS}	[min]	Jednotkový strojní čas
v _c	[m/min]	Řezná rychlost
v _f	[mm/min]	Posuvová rychlost
$\bar{x}$	[mm]	Aritmetický průměr