

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ A
METROLOGIE



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

TECHNOLOGIE SUPER PŘESNÉHO VRTÁNÍ MALÝCH OTVORŮ

HIGH PRECISION MICRODRILLING

AUTOR: František Kovařík

STUDIJNÍ PRGRAM: Teoretický základ strojního inženýrství

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Zdeněk Pitrmuc

PRAHA 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kovařík** Jméno: **František** Osobní číslo: **474835**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Technologie super přesného vrtání malých otvorů

Název bakalářské práce anglicky:

High precision microdrilling

Pokyny pro vypracování:

- 1) Vrtání - kinematický rozbor, geometrie řezného nástroje
- 2) Nástrojové materiály pro výrobu vrtáků
- 3) Upínání vrtáků
- 4) Průzkum trhu v oblasti mikrovrtání

Seznam doporučené literatury:

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

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:


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

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

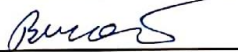
Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2020**

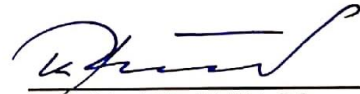
Platnost zadání bakalářské práce: _____



Ing. Zdeněk Pitrmuc
podpis vedoucí(ho) práce



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



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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

23.6.2020

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne:

.....

Podpis

Anotace

Bakalářská práce pojednává o technologii vrtání a o problematice super přesného vrtání malých otvorů neboli technologii mikrovrtání. První část se zaměřuje na technologii vrtání. Je popsán kinematický rozbor vrtání a geometrie řezného nástroje. Dále popisují nástrojové materiály pro výrobu vrtáků a možnosti upínání vrtáků. V druhé části se věnuji technologii mikrovrtání. Zaměřil jsem se na základní druhy mikrovrtáků a průzkumu trhu v oblasti strojů a nástrojů vhodných k mikrovrtání.

Klíčová slova

Vrtání, mikrovrtání, nástrojové materiály, upínání vrtáků

Annotation

This bachelor thesis is about the technology of drilling and the issue of high precision microdrilling. The first part focuses on technology of drilling, where I do kinematic analysis of the drilling and explain geometry of the cutting tool. I also describe the cutting tool materials, which are used for production of drills and different ways of fastening those drills. In the second part I explain the technology of microdrilling. I focused on basic types of microdrills and market analysis in the field of machinery and tools used for microdrilling.

Keywords

Drilling, microdrilling, cutting tool materials, drill fastening

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Zdeňku Pitrmucovi za odborné vedení, cenné rady a čas, který mi věnoval při vypracování bakalářské práce.

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Vrtání	11
2.1	Druhy vrtáků.....	11
2.1.1	Šroubovité vrtáky	11
2.1.2	Kopinaté vrtáky	12
2.1.3	Hlavňové a dělové vrtáky.....	12
2.1.4	Středící vrták	13
2.1.5	Korunkový vrták	13
2.2	Drsnost a přesnost povrchu při vrtání.....	14
2.3	Kinematika vrtání	14
2.4	Průřez třísky.....	15
2.5	Geometrie vrtáku	15
2.6	Nástrojové materiály.....	16
2.6.1	Rychlořezná ocel = RO (High speed steel = HSS).....	17
2.6.2	Slinuté karbidy – SK	17
2.6.3	Povlakované slinuté karbidy	18
2.6.4	Cermet	19
2.6.5	Keramika	19
2.6.6	Kubický nitrid boru – KBN.....	20
2.6.7	Diamant	20
2.6.8	Hodnocení a využití při vrtání.....	20
2.7	Upínání nástrojů	20
2.7.1	Vrtáky s kuželovou stopkou.....	20
2.7.2	Vrtáky s válcovou stopkou.....	21
2.7.3	Kleštinové upínače	22
2.7.4	Hydraulické upínače.....	23
2.7.5	Tepelné upínače.....	23
2.7.6	Hodnocení a využití při vrtání.....	24
3	Mikrovrtání	25
3.1	Historie a vývoj vrtání a mikrovrtání, rozměrová definice	25
3.2	Konvenční a nekonvenční mikrovrtání.....	26
3.3	Upínání mikrovrtáků.....	27

3.4	Geometrie vrtáků pro mikrovrtání	27
3.5	Základní druhy mikrovrtáků	29
3.5.1	Twist drill = šroubovitý mikrovrták se dvěma drážkami pro odvádění třísek	29
3.5.2	Single flute = šroubovitý mikrovrták s jednou drážkou pro odvádění třísek	30
3.5.3	Kopinatý mikrovrták	31
3.5.4	Mikrovrták ve tvaru písmene D	32
3.5.5	Složený mikrovrták	33
3.5.6	Pointing drill = navrtávák (středící vrták)	34
3.5.7	Povlakované mikrovrtáky	36
3.6	Nástrojové materiály pro mikrovrtání	36
3.6.1	Rychlořezná ocel – HSS	37
3.6.2	Slinuté karbidy	37
3.7	Řezné kapaliny	38
3.8	Zásadní faktory ovlivňující mikrovrtání:	39
3.9	Shrnutí konvenčního mikrovrtání	39
4	Stroje pro mikrovrtání	40
4.1	Přehled obráběcích center dle nabídky firem:	40
4.1.1	Kern	40
4.1.2	Makino	41
4.1.3	Yasda	41
4.1.4	Mauser Krauseco Praezoplan	42
4.1.5	Mikron	42
4.2	Běžné stroje pro obrábění	43
4.2.1	Okuma MU-400	43
4.2.2	Haas VF-2	44
4.2.3	Porovnání strojů vhodných pro mikrovrtání s běžnými stroji	44
5	Přehled výrobců mikrovrtáků	45
5.1	Atom	45
5.2	Iwata Tool	45
5.3	Axis	46
5.4	Mikron Tool	46
5.5	MPK Kemmer	46
5.6	Inovatools	47

5.7	Harvey Tool.....	47
6	Mikrovrtání o průměru 0,125 mm	48
6.1	Atom.....	48
6.1.1	Modelová řada ADRL-SV	49
6.1.2	Modelová řada ADRL-SUS	49
6.2	Axis.....	50
6.3	Mikron Tool.....	50
6.3.1	Modelová řada MiquDrill 210.....	50
6.3.2	Modelová řada CrazyDrill Flex.....	51
6.4	Harvey Tool.....	51
6.5	Inovatools	52
6.6	Hodnocení mikrovrtáků o průměru 0,125 mm	52
7	Závěr	53
8	Literatura.....	54
9	Seznamy	56
9.1	Obrázky	56
9.2	Tabulky.....	58

1 Úvod

V této bakalářské práci se budu zabývat technologií vrtání a technologií super přesného vrtání malých otvorů neboli technologií mikrovrtání. Se zaměřením na nástrojové materiály pro výrobu vrtáků a upínání vrtáků.

Vrtání patří mezi nejčastější a velmi staré operace obrábění. Jedná se o výrobu vnitřních rotačních ploch v plném materiálu. Na tento výrobní způsob navazuje obvykle celá řada dalších metod obrábění jako je vyhrubování, vystružování, vyvrtávání a další dokončovací metody. Jedná se o obrábění jedno i vícebřitými nástroji, nazývanými vrtáky, kdy většinou hlavní pohyb rotační i přímočarý posuvný pohyb vykonává řezný nástroj. Technologie vrtání se neustále rozvíjí a má v sobě skrytý potenciál. [1]

V dnešní době se výroba mikrootvorů stává stále více využívanější, z důvodu vysoké poptávky. To dělá z vrtání stále zajímavé odvětví pro výzkum kinematiky vrtání, geometrii řezného nástroje, nástrojových materiálů, upínání nástrojů atd. Termínem mikrootvor se rozumí otvor o průměru v řádech mikrometrů, neexistuje žádné přesné rozměrové vymezení dané normou. Obecně je možné se shora omezit průměrem 1 mm. Výroba mikrootvorů se stává vysokým trendem v oblastech jako elektronika, automobilismus, lékařství nebo kosmonautika. Mikrovrtání se realizuje konvenční a nekonvenční metodou. V této práci se zaměřím na metodu konvenční. [27]

Bakalářská práce nejprve seznamuje s technologií vrtání. Jaké existují typy nástrojů, s kinematikou vrtání, geometrií nástroje, nástrojovými materiály a možnostmi upnutí vrtáků. Druhá část je již zaměřena na mikrovrtání její historii, druhy mikrovrtáků a průzkumu trhu v oblasti strojů a nástrojů se zaměřením na současnou nabídku.

2 Vrtání

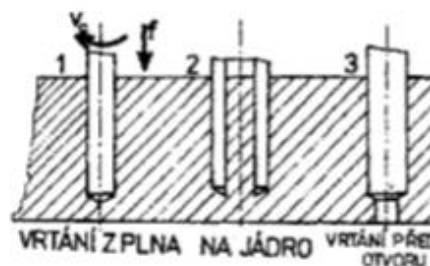
Technologie vrtání je základním druhem třískového obrábění, jehož výsledkem je válcová díra. Na vrtání mohou navazovat dokončovací (obráběcí) metody např. vyvrtávání, vyhrubování, vystružování, válečkování atd. Vrtáním se zhotovují dva základní druhy děr – průchozí a neprůchozí (slepé), daného průměru v různých materiálech a o různých hloubkách vrtání.

Základní rozdělení druhů vrtání (obr. 1):

Vrtání z plna – díra se v jediné operaci vrtá přes celou tloušťku do plného materiálu

Vrtání na jádro – toto vrtání se využívá pro postupné vrtání a pro velké průměry děr

Vrtání předvrtaného otvoru – využívá se při vrtání větších průměrů děr



Obrázek 1 – Základní způsoby vrtání [1]

Při vrtání rozlišujeme:

- Vrtání hlubokých děr; $D < 30 \text{ mm}$, $L < (\text{až}) 100D$
- Vrtání krátkých děr; $D > 30 \text{ mm}$, $L < 2-3D$

2.1 Druhy vrtáků

2.1.1 Šroubovitě vrtáky

Šroubovitě vrtáky se používají nejčastěji. Do materiálu vchází břity a vytváří se tříska, kterou odvádí šroubovitě drážky. Pomocí šroubovitě drážky se v případě potřeby přivádí také chladicí kapalina do místa řezu.

Šroubovité vrtáky můžeme rozdělit podle:

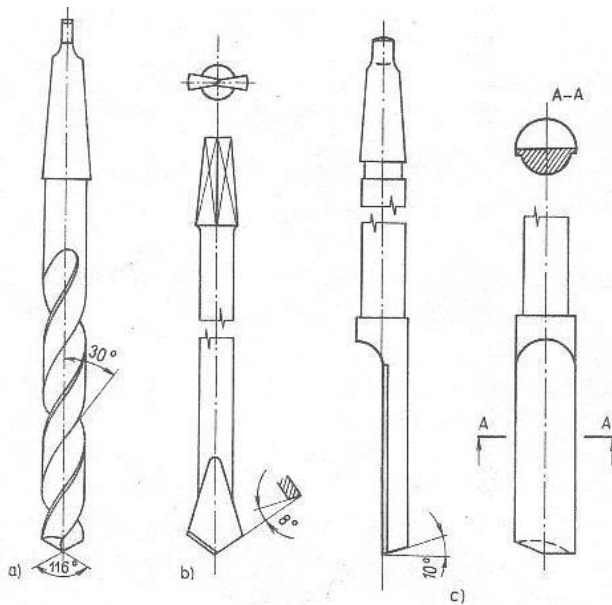
- a) tvaru stopky – s válcovou nebo kuželovou stopkou
- b) směru otáčení – pravotočivé nebo levotočivé
- c) délky – normální nebo prodloužené
- d) podle úhlu stoupání šroubovice – s velkým, středním nebo malým úhlem stoupání (10° až 45°, obvykle 30°)

2.1.2 Kopinaté vrtáky

Kopinatý vrták se využíval k vrtání otvorů do průměru 0,5 mm. Nyní se využívá pro vrtání krátkých otvorů. Většinou má vnitřní přívod kapaliny a je vysoce tuhý.

2.1.3 Hlavňové a dělové vrtáky

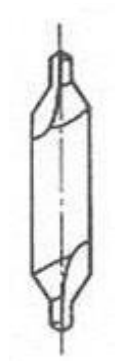
Těmito vrtáky se vrtají hluboké díry. Obrobek vykonává rotační pohyb, posuvný pohyb nástroj.



Obrázek 2 - Vrták: a - šroubovitý, b - kopinatý, c - dělový [2]

2.1.4 Středící vrtáky

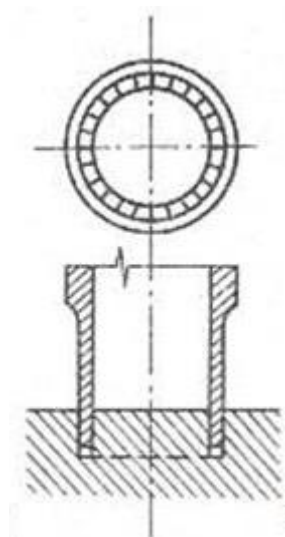
Středící vrták se používá pro předvrtání díry pro šroubovité vrták, aby se určila přesná poloha. Také se pomocí nich navrtávají středící důlky, pro uchycení do stroje a jsou velmi tuhé.



Obrázek 3 - Vrták středící [2]

2.1.5 Korunkový vrták

Korunkový vrták se využívá při vrtání na jádro nebo k vypichování děr v tenkostěnných odlitcích.



Obrázek 4 - Vrták korunkový [2]

2.2 Drsnost a přesnost povrchu při vrtání

Dosahovaná přesnost a jakost obrobené plochy závisí na typu použitého nástroje:

Tabulka 1 - Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu [2]

Nástroj	Přesnost rozměrů IT	Drsnost obecného povrchu Ra (μm)
Šroubovitý vrták	11 až 13	6,3 až 25
Šroubovitý vrták s vodícím pouzdrem	10	6,3 až 25
Kopinatý vrták	10	6,3 až 25
Dělový vrták	8	1,6 až 6,3

2.3 Kinematika vrtání

Hlavním pohybem při vrtání je rotační pohyb nástroje a vedlejším pohybem je přímočarý posuvný pohyb, který také koná nástroj. Obrobek je statický, pevně upnutý. Ve výjimečných případech, např. při vrtání na soustruhu, koná hlavní pohyb rotační obrobek, vedlejší pohyb koná nástroj.

Při vrtání děr se řezná rychlost zmenšuje od obvodu do středu nástroje (na ose je nulová). Řezná rychlost je tedy obvodová rychlost na maximálním ostří nástroje.

Platí vztahy:

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

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

$$f = f_z \cdot z \text{ [mm]}$$

v_c ... řezná rychlost

D ... průměr obráběné díry [mm]

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

v_f ... posuvná rychlost

f ... posuv nástroje na jednu otáčku

f_z ... posuv na zub [mm]

z ... počet břitů (zubů) nástroje [–]

2.4 Průřez třísky

Pro výpočet průřezu třísky do plného materiálu nebo při zvětšování předvrtané díry platí vztahy (odběr třísky jedním břitem):

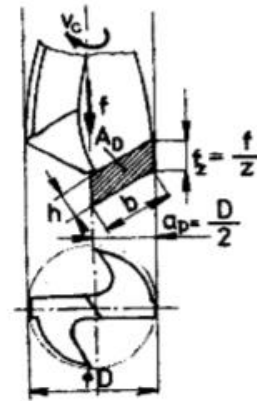
$$A_D = f_z \cdot a_p = \frac{f}{z} \cdot \frac{D}{2} \text{ [mm}^2\text{]} \quad \dots \text{vrtání do plného mat.}$$

$$A_D = f_z \cdot a_p = \frac{f}{z} \cdot \frac{(D-d)}{2} \text{ [mm}^2\text{]} \dots \text{pro předvrtaný otvor}$$

A_D ... průřez třísky [mm²]

f_z ... posuv na zub [mm]

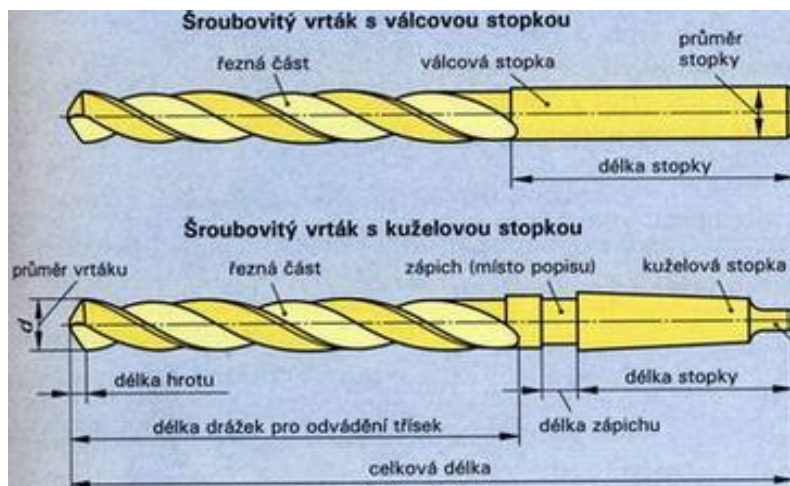
a_p ... hloubka řezu [mm]



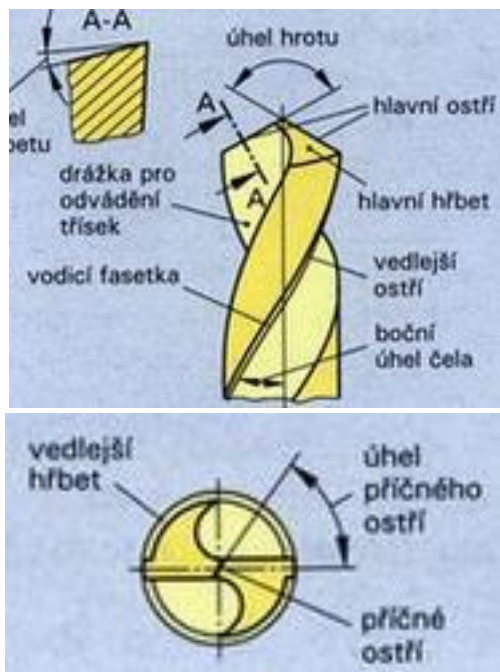
Obrázek 5 – Záběrové podmínky nástroje – průřez třísky [2]

2.5 Geometrie vrtáku

Pro vrtání se jako nástroj nejčastěji používá šroubovitý vrták nebo případně vrták kopinatý.



Obrázek 6 - Šroubovitý vrták – popis [4]

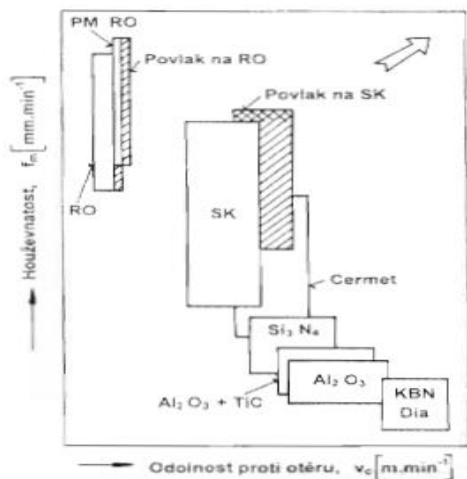


Obrázek 7 - Šroubovitý vrták – geometrie [4]

2.6 Nástrojové materiály

Požadavky na materiál nástroje s ideální řezivostí jsou:

- vysoká pevnost a tvrdost při pracovních teplotách, které zajišťují potřebnou odolnost proti deformaci břitu a opotřebení
- vysoká houževnatost, která eliminuje křehké porušení břitu
- chemická stálost, která zaručuje odolnost proti oxidaci a difúzi
- odolnost proti teplotnímu rázu [5]



Obrázek 8 - Trend vývoje nástrojových materiálů pro obráběcí nástroje [5]

Jak plyne z obrázku 8, dosud žádný dostupný řezný materiál není schopen zajistit všechny výše zmíněné požadavky. Rostoucí houževnatost umožňuje použít vyšší posuvy (v diagramu je použita rychlost posuvu f_m) a rostoucí odolnost proti otěru vyšší řezné rychlosti. [5]

2.6.1 Rychlořezná ocel = RO (High speed steel = HSS)

Významnými vlastnostmi RO je vysoká žárupevnost, houževnatost, tvrdost, v místě řezu vydrží zhruba teplotu 600 °C. Nevýhodami jsou rychlá opotřebení, nízká živostnost, drolení oceli při velkém zahřátí v místě řezu a nízká pracovní rychlost 60 m.min⁻¹.

Nejčastěji se používá pro výrobu dle ČSN ocel třídy 19 8XX, která je legovaná. Legujícími prvky jsou nejčastěji C, W, Mo, V, Co.

RO lze také rozdělit podle chemického složení:

- a) s převažujícím obsahem Mo
- b) s převažujícím obsahem W
- c) s podobným obsahem Mo, W a V

Přidáním Co do RO se zvyšuje pevnostní charakteristika za teplo, tím pádem i výkonnost → vysoko výkonné oceli, které se označují HSS-E.

RO se také povlakuje. Nejčastěji metodou PVD – Physical Vapor Deposition a CVD – Chemical Vapor Deposition. Snahou povlakování je zlepšení vlastností základního materiálu a zvýšení životnosti vrtáku.

2.6.2 Slinuté karbidy – SK

SK je ořezuvzdorný, tvrdý materiál, který vydrží teplotu zhruba 900 °C. SK tvoří tvrdé karbidové částice a vyrábí se metodou práškové metalurgie. Karbidy wolframu (WC), titanu (TiC), chromu (CrC) a dalších kovů tvoří strukturu SK. Při spékání se jako pojivo používá kobalt (Co).

SK se rozděluje do třech základních skupin s mezinárodním označením písmeny K, P, M.

a) skupina K se složením WC + Co, jsou ze všech skupin nejhouževnatější karbidy, avšak s nižší odolností proti difúznímu otěru. Jsou určeny především pro obrábění materiálů, u kterých se tvoří elementární tříška (např. šedá litina, tvrdý bronz). Tvorba této tříšky je spojena

se vznikem mikrochvění, které může způsobit u méně houževnatých slinutých karbidů praskání těchto materiálů při obrábění. [5]

b) skupina P se složením WC + TiC + Co obsahuje karbidy TiC. TiC vnáší do materiálu vyšší tvrdost a odolnost proti otěru. Tyto karbidy jsou náchylnější na křehký lom, než slinuté karbidy typu K. Jsou proto určeny pro obrábění materiálů, u kterých se netvoří elementární tříška. Především pro obrábění ocelí, litých ocelí, tvárných litin a lehkých kovů. [5]

c) skupina M se složením WC + TiC + TaC/NbC + Co je určitou, velmi kvalitní modifikací skupiny P a používají se především pro obrábění těžkoobrobitelných ocelí a těžkoobrobitelných slitin. [5]

SK se dnes aplikují především ve formě výměnných břitových destiček – VBD. Ovšem stále více se používají monolitní nástroje menších rozměrů ze slinutých karbidů. [5]

2.6.3 Povlakované slinuté karbidy

Jsou vyráběny tak, že na podklad z běžného slinutého karbidu, který je houževnatější, se nanáší tenká vrstva materiálu s vysokou tvrdostí a vynikající odolností proti opotřebení jako je TiC, TiN, TiCN nebo Al₂O₃. Tyto výhodné vlastnosti vyplývají zejména z toho, že povlakový materiál neobsahuje žádné pojivo, má jemnější zrnitost, málo strukturních vad a tvoří bariéru proti difúznímu mechanismu opotřebení nástroje. Dále se nanáší diamantový povlak.

Povlakování se dělí do dvou skupin, na metodu PVD a metodu CVD. [6]

PVD (Physical Vapour Deposition) – fyzikální nanášení povlaku. Povlak je vytvářen napařováním, napařováním nebo iontovým plátováním. Provádí se při nižších teplotách (nedojde k tepelnému ovlivnění nástroje) ve vakuu. Proces trvá několik hodin. U slinutých karbidů se používá méně často. Nevýhodou je složitý vakuový systém a požadavek na pohyb povlakovaného předmětu a není zde zaručeno rovnoměrné nanášení povlaku. [6]

CVD (Chemical Vapour Deposition) – chemické nanášení povlaku. Chemický proces povlakování je založen na reakci plynných chemických sloučenin v bezprostřední blízkosti povrchu podkladového slinutého karbidu a následném uložení produktů reakce na tomto povrchu. Jako nosný plyn je využíván Ar, H₂. Metody povlakování mohou být realizovány: tepelně indukovaná, plazmaticky aktivovaná, fotonově indukovaná (např.

laserem). Provádí se při vyšších teplotách (vysoká teplota může mít nepříznivý vliv na vlastnosti povlakovaného předmětu) ve vakuu. Tato metoda je nejvíce využívána u slinitých karbidů. Proces podle složení povlaku může trvat až 24 hodin. [6]

2.6.4 Cermet

Název vznikl složením slov CERamics (keramika) a METal (kov). Jde tedy o materiál, jehož mechanické vlastnosti vykazují kombinaci tvrdosti keramiky a houževnatosti kovu. Cermet se používá pro dokončovací obrábění, protože tento materiál dosahuje velmi nízké drsnosti povrchu. Jemná zrna cermetu vykazují obecně vyšší tvrdost, lomovou houževnatost a pevnost v ohybu, což se výrazně projeví na zvýšení řezivosti i trvanlivosti břitových destiček, které jsou z nich vyrobeny. Cermety mohou být povlakovány. Povlak prodlužuje trvanlivost břitu a můžeme zvýšit řeznou rychlost. Povlakování se provádí technologií CVD a PVD. [6]

2.6.5 Keramika

Keramika je krystalický materiál. Anorganické sloučeniny, které jsou nekovového charakteru, jsou hlavní složkou keramiky.

Vlastnosti keramiky:

- odolnost proti působení vysokých teplot
- odolnost proti opotřebení
- odolnost proti mechanickému namáhání
- odolnost proti korozi a chemickým vlivům
- vysoká trvanlivost a řezivost
- vysoká tvrdost

Keramiku můžeme rozdělit podle chemického složení:

- a) čistá oxidická keramika Al_2O_3
- b) vyztužená tvrdými částicemi, nejčastěji TiC
- c) neoxidická keramika Si_3N_4

2.6.6 Kubický nitrid boru – KBN

KBN je uměle vytvořený polykrystalický technický materiál, který má vysokou tvrdost a ořezuvzdornost srovnatelnou s diamantem. Je odolný teplotám do 1500 °C a chemicky stabilní k železným kovům. Využívá se ve dvou variantách: dvouvrstvé (KBN je přilísován na karbidovou podložku) a monolitní. Obrobený povrch dosahuje $R_a = 0,3-0,4 \mu\text{m}$ je možné nahradit broušením.

2.6.7 Diamant

Diamant je přírodní materiál, který je velmi tvrdý, odolný proti abrasivnímu opotřebení, má nízký koeficient tření, dobrou tepelnou vodivost a je trvanlivý. Nevýhodou je křehkost, nízká pracovní teplota 700 °C a afinita k Ni slitinám a železným kovům. Lze je rozdělit na syntetické a přírodní (minimálně se používají pro řezné nástroje). Diamantem se obrábí neželezné kovy a jejich slitiny nebo keramika

2.6.8 Hodnocení a využití při vrtání

V dnešní době je k dispozici velké množství nástrojových materiálů, proto je důležité před obráběcí operací (vrtáním) vhodně zvolit materiál nástroje, aby nedošlo k poškození nástroje a aby výsledný obrobek (otvor) vyhovoval daným přesnostem a tolerancím.

Při vrtání se nejčastěji setkáme s vrtáky z rychlořezné oceli s povlakem a z povlakovaných slinutých karbidů. Vyrábí se také vrtáky ze supertvrdých materiálů – kubický nitrid boru a diamant nebo z řezné keramiky, ale jejich využití není tak běžné.

2.7 Upínání nástrojů

Při upínání vrtáků a obecně všech rotačních nástrojů je potřeba vyhovět požadavkům zejména na přesnost upnutí, jednoduchou obsluhu, minimální obvodové házení a v neposlední řadě i dostatečnou tuhost upnutí nástroje. [7]

Vrtáky se upínají za stopku, která může být válcová nebo kuželová.

2.7.1 Vrtáky s kuželovou stopkou

Vrtáky s kuželovou stopkou MORSE se upínají přímo do kuželové dutiny vrtacího vřetene. Podélná drážka v dutině přitom zachycuje unášec na kuželové stopce vrtáku. Rozdíly

ve velikosti kuželové stopky a kuželové dutiny vřetene se vyrovnávají normalizovanými redukčními vložkami.

Při vrtání je vrták unášen třením kuželových ploch, které na sebe dosedají, proto je nutné, aby stopky nástrojů i dutiny byly naprosto čisté a nepoškozené. Unášec vrtáku slouží také k uvolnění nástroje z vřetene pomocí vyrážecího klínu. Při uvolňování dbáme na to, aby se hrot vrtáku při vypadnutí nepoškodil. [7]



Obrázek 9 - Vrtáky s kuželovou stopkou a redukční vložky [7]

2.7.2 Vrtáky s válcovou stopkou

Vrtáky s válcovou stopkou se vyrábějí zhruba do průměru 20 mm. Upnutí provádíme nejčastěji pomocí samostředícího tříčelistového vrtačkového sklíčidla, které může být zubové nebo rychloupínací. [7]

Zubové se ovládá klíčem s ozubeným kuželovým kolečkem, který se vloží do jedné z děr a otáčením zabírá do ozubeného věnce sklíčidla, čímž dojde k pootočení pouzdra, které pohybuje upínacími čelistmi. [7]



Obrázek 10 - Zubové sklíčidlo [7]

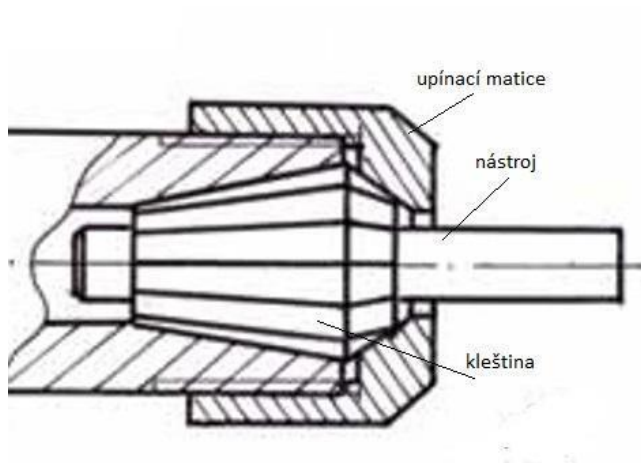
Rychloupínací sklíčidla se otáčí rukou pomocí vroubkovaného pouzdra. Pro spojení s vrtacím vřetenem vrtačky mají sklíčidla vnitřní kužel. [7]



Obrázek 11 - Rychloupínací sklíčidlo [7]

2.7.3 Kleštinové upínače

Kleštinové upínače se skládají z kleštiny a upínací matice, jsou univerzální – mohou upínat nástroje s hladkou stopkou nebo nástroje se zafrézovanou ploškou. Při upínání jiného průměru stačí vyměnit kleštinu a nemusí se měnit celý upínač. Moderní kleštinové upínače mají možnost přesného osového nastavení upnutého nástroje a jsou utěsněny tak, aby bylo možno použít nástroje s vnitřním přívodem řezné kapaliny. [7]

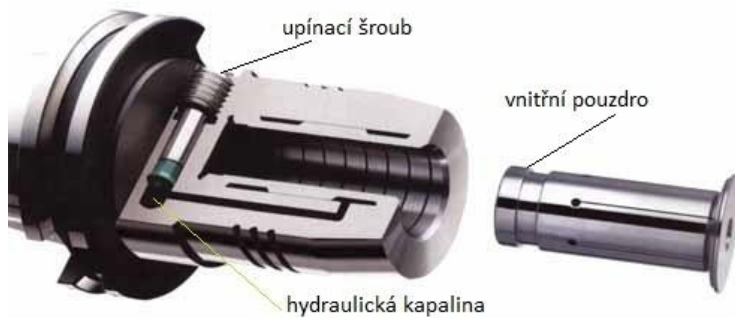


Obrázek 12 – Schéma kleštiny [8]

2.7.4 Hydraulické upínače

Hydraulické upínače se využívají k upnutí stopky díky deformaci vnitřního pouzdra, která je vyvolaná zvýšeným tlakem hydraulické kapaliny pomocí upínacího šroubu.

Jsou nenáročné na údržbu a mají malou házivost. Pomocí přesných vložek jsou snadno a rychle přestavitelné na jiný průměr upínané stopky. Pro hydraulické upínače obecně platí omezení provozní teploty na 50 °C. [7]



Obrázek 13 – Schéma hydraulického upínače [8]

2.7.5 Tepelné upínače

Tepelné upínače pracují tak, že ohřevem dříku upínače na přesnou teplotu se zvětší i průměr přesně opracovaného otvoru dříku, do něhož lze vsunout stopku upínaného nástroje. Po vychladnutí upínače se zmenší jeho vnitřní průměr a stopka je pevně upnuta.

Jsou vhodné pro stroje s velmi vysokými otáčkami, mají vysokou upínací sílu, minimální házivost (3 μm). Jejich výhodou je také úzký upínací držák. Jsou však citlivé na správně přiřazený průměr a toleranci upínané stopky, mají malý upínací rozsah. [7]



Obrázek 14 - Tepelný upínač [9]

2.7.6 Hodnocení a využití při vrtání

Při upínání vrtáků lze využít mnoho druhů upínačů – sklíčidla, kleštiny, termo a hydro upínače. Před procesem vrtání je třeba tento druh upnutí vhodně zvolit. Tuto volbu ovlivňuje několik faktorů – rozměry, přesnost, tolerance, materiál, druh stroje, atd... Při vrtání na NC stroji se využívají především termo a hydro upínače a kleština. Do sklíčidla se neupínají karbidové vrtáky, protože mají hladkou a tvrdou stopku a protáčí se.

3 Mikrovrtání

3.1 Historie a vývoj vrtání a mikrovrtání, rozměrová definice

Vrtání je jedna ze základních obráběcích technik, která se používá již od dob starověkého Egypta. Studie říkají, že vrtání zabere až 25 % výrobního času při obrábění.

První potřeby mikrovrtání byly ve 40. letech 20. století, kdy byly také poprvé učiněny pokusy o výrobu mikrovrtáků. V 70. letech 20. století se používali mikrovrtáky s jednou nebo dvěma drážkami pro vrtání děr o průměru 0,025 mm. Tyto mikrovrtáky byly vyrobené z rychlořezné oceli a karbidových materiálů. K použití se připravovali broušením. Jako stroje se používali soustruhy. Problémem byly příliš nízké otáčky vřetena. Obráběly se především ocel, mosaz, zlato, měď, nerez a plasty. V roce 1980 pan Sugawara upozornil na různé parametry, které ovlivňují mikrovrtání např. tvar vrtáků, velikost posuvu, řezná rychlost, struktura obrobku, formování třísky nebo řezné síly. V roce 1981 firma IWATA zveřejnila práci, ve které uváděla, že při mikrovrtání je třeba dosáhnout až 18 000 ot/min. Od konce 80. let 20. století se poptávka po mikrovrtání zvedla. Došlo k inovativnímu vývoji mikrovrtání s cílem uspokojit poptávku v různých odvětvích.

Termín mikrovrtání se uplatňuje při velikosti otvorů o průměru v řádech mikrometrů. Přesné vymezení není dané žádnou normou nebo definicí. Různé firmy nebo výrobci se liší v těchto hodnotách průměrů. Například firma Atom uvádí hodnoty průměrů pro mikrovrtání od 0,02 mm do 3 mm. Firma Iwata Tool uvádí průměry od 0,1 mm do 2 mm, firma Small hole drilling uvádí hodnoty od průměru 0,03 mm do 2,99 mm. Je zřejmé, že hodnoty průměrů, které se řadí do mikrovrtání má každý výrobce nebo firma různé. Obecně lze na základě mnoha studií říci, že mikrovrtání je vrtání, kdy je průměr otvoru menší nebo roven 1 mm. Na tomto rozmezí dochází ke změně geometrie a vzhledu. Navíc dochází k dřívějšímu zlomení vrtáku než k jeho opotřebení. Je tudíž důležité věnovat pozornost řezným podmínkám.

V současné době se vyrábění mikrootvorů stalo základním trendem v odvětvích jako například lékařství, kosmonautika, elektronika, automobilový průmysl. Konkrétnějšími případy jsou fotoaparáty, telefony, video kamery, notebooky, tablety, zubní implantáty, zapalovací systémy, mikrotrysky. Největší růst poptávky se předpokládá v elektronice, která z hlediska zájmu o mikrovrtání je na vrcholu. Snahou výzkumníků je posunout mikrovrtání na vyšší úroveň v širším spektru. Například zlepšit kvalitu a přesnost otvorů, mechanické vlastnosti

nástrojů, řezné podmínky, odvod a tvorbu třísek, výrobní metody a použití výrobních materiálů.
[10]

V mé bakalářské práci si definuji hodnoty průměrů mikrovrtání od 0,02 mm do 0,5 mm.

3.2 Konvenční a nekonvenční mikrovrtání

Technologie mikrovrtání se provádí dvěma způsoby, konvenčním a nekonvenčním.

Konvenční metoda se provádí mikrovrtákem, který je upnut ve vřetení, které se otáčí vysokou rychlostí. Mikrovrták prochází obrobkem a vytváří mikrootvor. Existuje několik různých typů mikrovrtáků. Liší se především tvarem. [10]

Základní typy mikrovrtáků pro konvenční metodu:

- a) šroubovitý mikrovrták se dvěma drážkami (twist drill)
- b) mikrovrták s jednou drážkou (single flute)
- c) kopinatý mikrovrták
- d) mikrovrták ve tvaru D
- e) složený mikrovrták
- f) mikrovrták s povlakem

[10]

Nekonvenční metoda je poměrně nová metoda, která je využívána v moderních aplikacích. Na rozdíl od konvenční metody, nekonvenční metoda využívá elektrické, chemické, mechanické, tepelné reakce a jejich kombinací k vyvrtání mikrootvorů. Nekonvenční metody, které se používají v moderních aplikacích, lze rozdělit na několik typů.

Základní metody nekonvenčního mikrovrtání:

- a) Laser
- b) Elektroerozivní obrábění (EDM)
- c) Elektrochemické mikrovrtání (ECMD)
- d) Mikrovrtání elektronovým paprskem

[10]

3.3 Upínání mikrovrtáků

Mikrovrtáky se vyrábějí s válcovou stopkou, která se vyrábí s minimálním průměrem 3 mm. Upínají se stejně jako vrtáky větších průměrů. Zásadní rozdíl je ovšem v tom, že při mikrovrtání je kladen velký důraz na přesnost polohy díry. Malé vychýlení – v řádech setin milimetru – může způsobit nepřesné vyvrtání otvoru a tím pádem vytvoření zmetku. Je proto nutné mít upnutí velice přesné, tuhé a s minimálním obvodovým házením. Často se používají hydraulické upínače, mikrokleštiny, tepelné upínače nebo sklíčidla. Hodnota přesnosti upnutí (házení) nástroje se obvykle pohybuje od 0,01 mm do 0,003 mm. Lze ovšem také na světovém trhu najít speciální upínače, jejichž přesnost upnutí (házení) je menší než 0,003 mm.



Obrázek 15 - Mikrokleštiny [11]



Obrázek 16 – Upnutí mikrovrtáku pomocí hydraulického upínače [14]

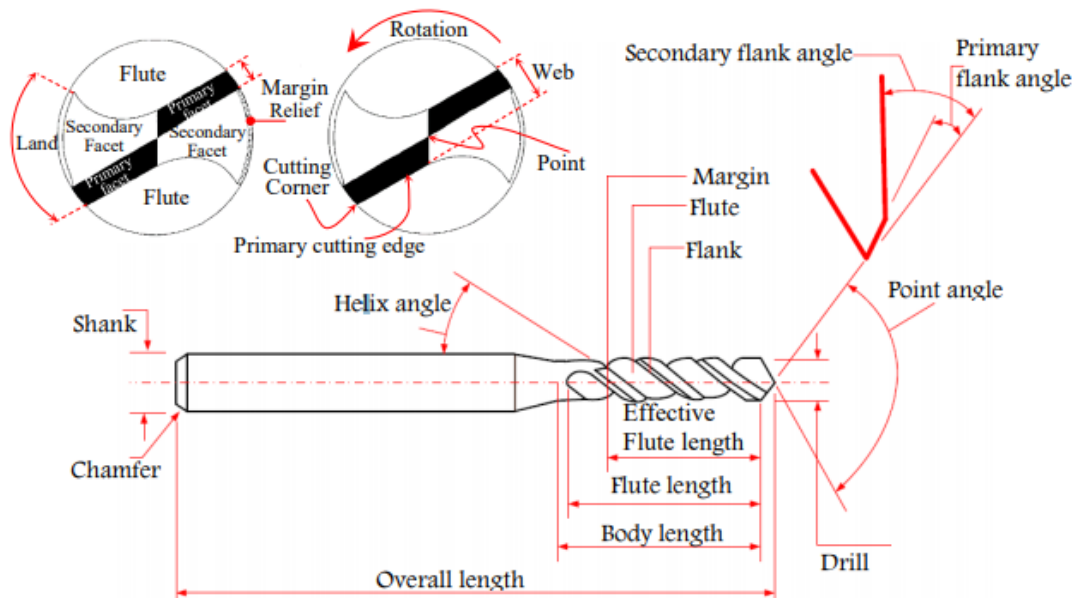
3.4 Geometrie vrtáků pro mikrovrtání

Jak již bylo zmíněno, je vyzorováno, že mikrovrták se častokrát zlomí před tím, než se opotřebuje. Životnost mikrovrtáků je proto nepředvídatelná. Je to způsobeno především velkým zatížením vrtáku ve srovnání s jeho pevností. Je třeba vhodně zvolit materiál nástroje, upnutí, řezné podmínky, řeznou geometrii, konstrukční provedení a chladicí kapaliny. Všechna tato kritéria ovlivňují dosažení ideálních podmínek pro mikrovrtání. I malá změna těchto parametrů může způsobit zlomení těchto nepevných nástrojů.

Geometrie vrtáku výrazně ovlivňuje způsob chování nástroje při vrtání. Vzhledem k odlišnostem v průřezových profilech, lze mikrovrtáky rozdělit do třech skupin na základě průměrů.

- 1) od $0,5 \text{ mm} < d < 1 \text{ mm}$, kde tvar mikrovrtáku je velmi podobný běžnému tvaru vrtáku s větším průměrem.
- 2) od $0,2 \text{ mm} < d < 0,5 \text{ mm}$. Tato skupina je charakterizována stejným průměrem na celém povrchu.
- 3) průměr $d < 0,2 \text{ mm}$. Mikrovrtáky o tomto průměru mají zesílenou stopku.

[10]



Obrázek 17 - Geometrie šroubovitého mikrovrtáku - [10]

Drill diameter = průměr vrtáku, point angle = úhel špičky, overall length = celková délka, flute length = délka šroubovice, effective flute length = efektivní délka šroubovice, body length = délka těla, shank = stopka, chamfer = zkosení, margin =okraj, flute = šroubovice, flank = fazeta, primary flank angle = primární úhel hřbetu, secondary flank angle = sekundární úhel hřbetu, helix angle = úhel šroubovice, land = vedlejší hřbet, primary facet = primární fazeta, secondary facet = sekundární fazeta, margin relief = pomocný kraj, rotation = rotace, web = příčné ostří, point = špička, primary cutting edge = primární ostří, cutting corner = řezací roh

Dle studií je dáno, že u tvrdších materiálů je nejlepší úhel ostří v rozmezí 120° až 130° . U měkkých materiálů se nejčastěji volí úhel 90° . Úhel šroubovice také významně ovlivňuje geometrii mikrovrtáku. Nejčastěji se volí úhel 30° . Také délka šroubovice hraje roli. Čím větší

délka šroubovice, tím menší tuhost nástroje. Dalším neméně důležitým faktorem je tření. Je snahou ho co nejvíce minimalizovat, aby se nezvyšovala teplota. Teplotu zvyšuje také nedokonalý odvod třísek. Drážky pro odvod třísek jsou velmi malé, proto se špatně odvádí. [10]

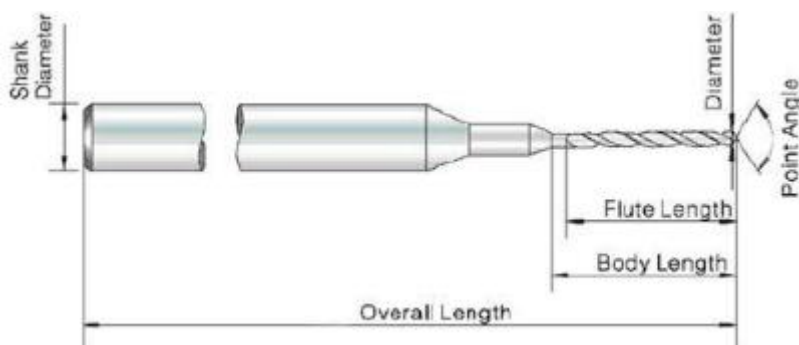
3.5 Základní druhy mikrovrtáků

K dispozici na trhu je spousta druhů mikrovrtáků. Mezi nejčastěji používané patří šroubovitě, kopinaté a ve tvaru písmene D. Z těchto typů má nejvýhodnější a zároveň nejsložitější tvar řezné části mikrovrták šroubovitý. Ten se na trhu vyskytuje nejvíce. Zbylé dva druhy jsou jednodušší, z tohoto důvodu se i snadno vyrábí. Jejich řezné vlastnosti jsou omezené, proto se používají ojediněle. [10]

3.5.1 Twist drill = šroubovitý mikrovrták se dvěma drážkami pro odvádění třísek

Twist drill je nejvíce vyráběný a využívaný mikrovrták. Ve srovnání s laserem jsou vyvrtané díry kvalitnější. Další výhodou je vysoká dostupnost na trhu, vysoká rychlost výroby a rozměrová přesnost.

Nevýhodou je předčasné zlomení nástroje, krátká životnost nástroje a nízká mechanická pevnost. Tyto nevýhody lze kompenzovat tím, že zvýšíme pozornost při výběru nástroje při výrobě. Základními parametry, kterými můžeme minimalizovat nevýhody při vrtání mikrovrtákem se dvěma drážkami jsou geometrie a tvar nástroje, úhel šroubovice, úhel bříty, řezné podmínky, odstraňování třísek nebo použití chladicí kapaliny. [10]



Obrázek 18 - Šroubovitý mikrovrták se dvěma drážkami [12]

Overall length = celková délka, body length = délka těla, flute length = délka šroubovice, shank diameter = průměr stopky, diameter = průměr (vrtáku), point angle = úhel hrotu

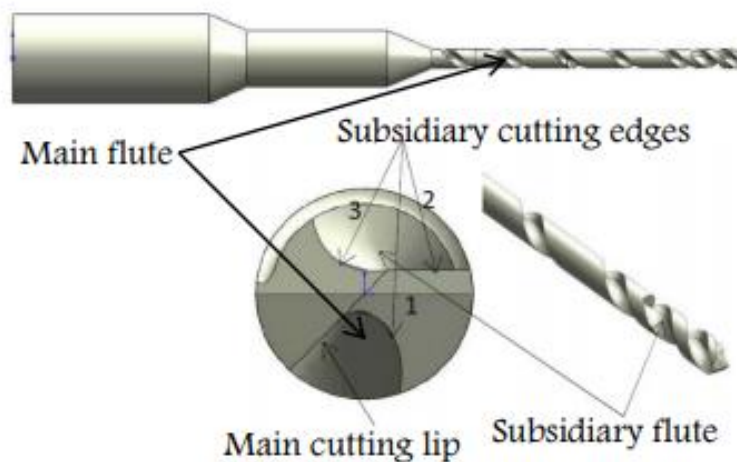


Obrázek 19 - Mikrovrták se dvěma drážkami [13]

3.5.2 Single flute = šroubovitý mikrovrták s jednou drážkou pro odvádění třísek

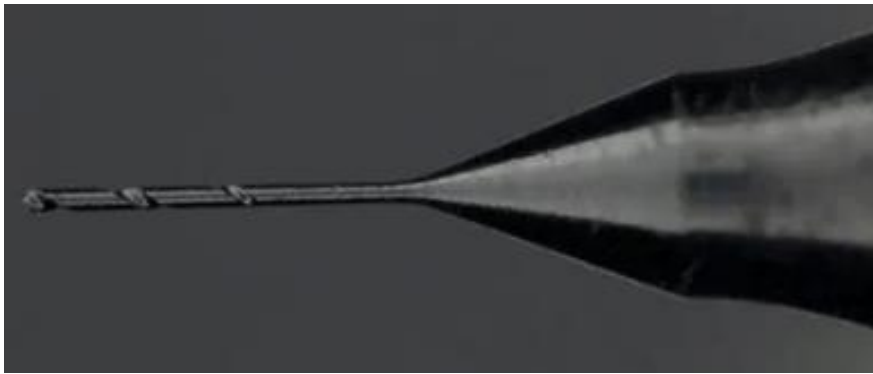
Šroubovitý mikrovrták se dvěma drážkami má nižší tuhost oproti mikrovrtáku s jednou drážkou. Jedna drážka pro odvádění třísek tuhost nástroje zvyšuje. Mezi další významné výhody mikrovrtáku s jednou drážkou patří snížená tvorba tepla v důsledku malé kontaktní plochy, vysoká přesnost polohy, menší pravděpodobnost destrukce a snadné odstranění třísky.

Mezi nevýhody patří nízká řezná rychlost a záporný úhel čela. Záporný úhel čela způsobí, že dochází ke zvýšení teploty a řezné síly v důsledku toho, že hrot mikrovrtáku je tupý. První mikrovrták s jednou drážkou byl vyroben v roce 1996 firmou Houser. V současné době mikrovrták s jednou drážkou vyrábí málo výrobců. [27]



Obrázek 20 - 3D model mikrovrtáku s jednou drážkou [10]

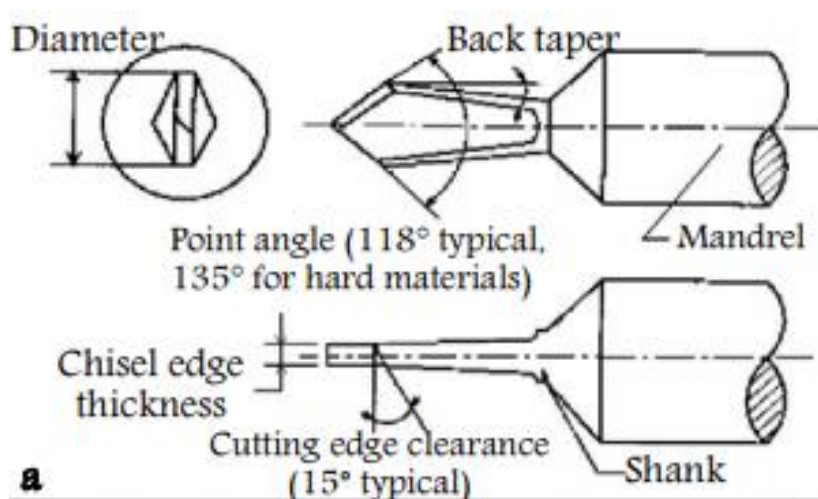
Main flute = hlavní drážka, main cutting lip = hlavní ostří, subsidiary flute = vedlejší drážka, subsidiary cutting edges = vedlejší ostří



Obrázek 21 - Mikrovrták s jednou drážkou [13]

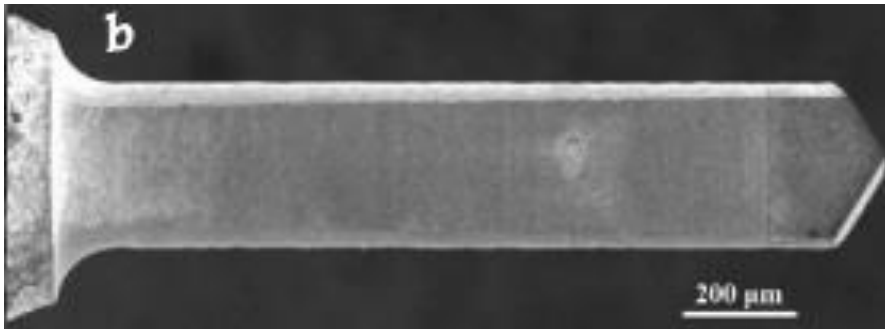
3.5.3 Kopinatý mikrovrták

Jde o nejmenší typ mikrovrtáku. Když je třeba vyvrtat díru o průměru menší než 10 μm , tak již šroubovitý mikrovrták nestačí. Je to z toho důvodu, že takto malý šroubovitý mikrovrták se velmi obtížně vyrábí, protože kopinatý mikrovrták nemá drážky pro odvod třísek (šroubovici), což znesnadňuje vyjmutí třísek. Tento důvod významně ovlivňuje špatné rezné vlastnosti. [10]



Obrázek 22 - Geometrie kopinatého mikrovrtáku - [10]

Shank = stopka, chisel edge thickness = tloušťka ostří, cutting edge clearance(15°typical) = úhel hřbetu, Diameter = průměr, mandrel = trn, back taper = zpětné zúžení, point angle (118° typical, 135°for hard materials) = úhel špičky (118° typický, 135° pro tvrdé materiály),



Obrázek 23 - Kopinatý mikrovrták o průměru 300 μm - [10]

Zajímavostí může být, že firma National Jet vyrobila kopinatý mikrovrták o průměru 2,5 μm . Tento podnik také dokázal vyvrtat díru o průměru 30 μm do lidského vlasu, který má průměr 70 μm viz. obrázek 24. [10]

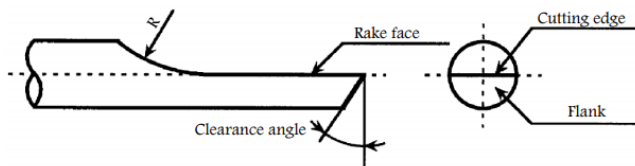


Obrázek 24 - Mikrovrtání do lidského vlasu firmou Najet - [10]

3.5.4 Mikrovrták ve tvaru písmene D

Obvykle se tento typ mikrovrtáku používá pro průměry menší než 50 μm . Mikrovrták má jednu přímou drážku a jeho obrys je půlválcový. Výhodou mikrovrtáku ve tvaru písmene D je nenáročná výroba. Ovšem špatné odstranění třísek patří mezi hlavní nevýhody.

Podobně jako kopinaté mikrovrtáky, i mikrovrtáky tvaru D nejsou tolik využívány jako šroubovité mikrovrtáky. Studie v oblasti tohoto mikrovrtáku nejsou tolik obsáhlé a dá se očekávat, že v nejbližší době se výzkumníci na tento typ mikrovrtáku zaměří. Důvody, proč se zaměřit na tento typ mikrovrtáku jsou snadná výroba, nízké náklady a malé průměry. [10]



Obrázek 25 - Geometrie mikrovrtáku ve tvaru písmene D - [10]

Flank = fazeta, cutting edge = řezné ostří, rake face = úhel čela, clearance angle = úhel hřbetu

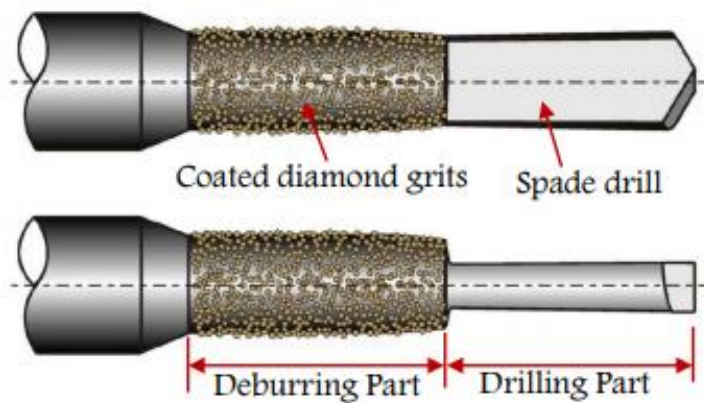


Obrázek 26 - Mikrovrták tvaru D o průměru 17 μm - [10]

3.5.5 Složený mikrovrták

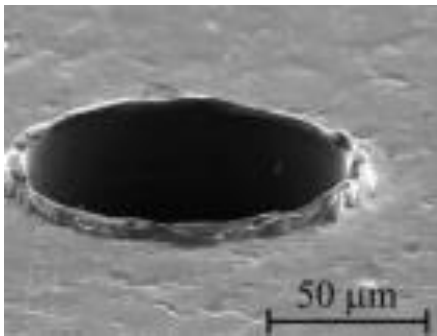
Název vychází z dvojité operace při vrtání. Ze samotného vrtání otvoru a následného odstranění otřepů. Ostatní mikrovrtáky obvykle obrobí otvor s mikrootřepy kolem otvoru. Tyto otřepy mohou následně způsobit problémy, proto se musí odstranit. To není snadné. Nástroj na odstranění těchto otřepů musí být přesně uvnitř díry, což je těžko dosažitelné, při velmi malých rozměrech. Tato přídatná operace navíc vyžaduje další náklady a prodlužuje výrobní čas. Z toho důvodu je velmi výhodná kombinace těchto dvou operací.

Tuto techniku je možné použít pouze pro průchozí otvory, což je značná nevýhoda. Při neprůchozím otvoru nelze provést tuto kombinaci operací, jelikož část, která má zbavit díru otřepů se nedostane do záběru. Při porovnání se šroubovitými mikrovrtáky mají složené mikrovrtáky hladší povrch stěny, lepší kvalitu povrchu a nízkou tvorbu otřepů. [10]

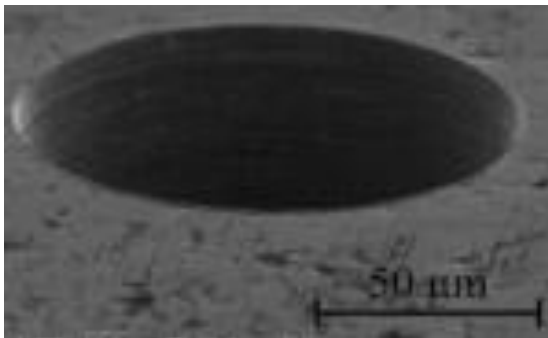


Obrázek 27 - Složené mikrovrtačky - [10]

Coated diamond grits = diamantový povlak, spade drill = kopinatý vrták, deburring part= část na odstranění otřepů, drilling part = řezná část



Obrázek 28 - Mikrootvor po vrtání šroubovým mikrovrtačkem [10]



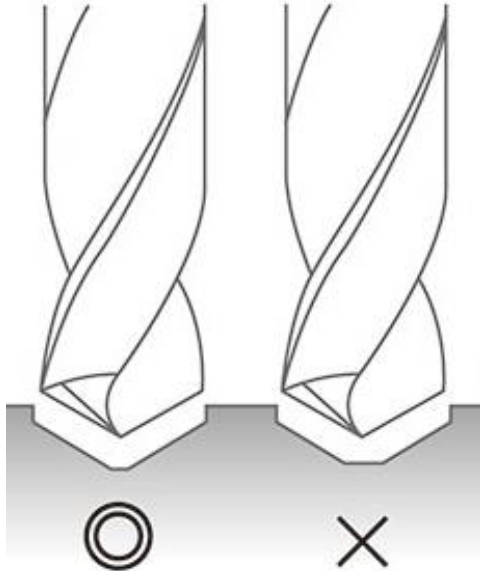
Obrázek 29 - Mikrootvor po vrtání složeným mikrovrtačkem [10]

3.5.6 Pointing drill = navrtávák (středící vrták)

Během mikrovrtačení je výhodné s ohledem na přesnost polohy díry a průměru otvoru nejdříve použít středící vrták. Použitím navrtáváku se snižuje riziko zlomení mikrovrtačky, zabránuje se vrtání otvorů pod úhlem, zvyšuje se odolnost proti opotřebení, prodlužuje se životnost nástroje. Středící mikrovrtačky jsou krátké a tuhé.

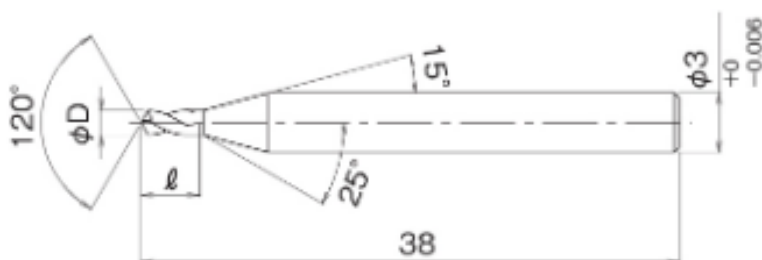
Při vrtání středícím mikronavrtákem jsou otáčky vřeteny na hodnotách okolo 10 000 ot/min a posuv nástroje se pohybuje mezi hodnotami 0,001 – 0,01 mm/ot.

Mikronavrtávák se použije tak, že se vytvoří základna vodícího otvoru, která ovšem nesmí být příliš široká, protože by došlo k nepřesné poloze otvoru. Viz obrázek 34. [14]



Obrázek 30 - Použití středícího vrtáku [14]

Firma Atom vyrábí středící mikronavrtáky s úhlem špičky 90° nebo 120°. Průměr stopky je obvykle 3 mm. Průměr D mikronavrtáváku je dán dle požadovaného průměru mikrootvoru. Délka řezné části l se odvíjí podle velikosti průměru. Celková délka je 38 mm a úhel sklonu šroubovice je 25°. Středící mikronavrtáky mohou být povlakované. Nejčastěji se používá povlak TiAlN. Mikronavrtáky se mohou použít do všech materiálů, do kterých chceme vyvrtat mikrodíru. [14]



Obrázek 31 - Rozměry středícího navrtáváku firmy ATOM – modelová řada ADPF30 [14]

3.5.7 Povlakované mikrovrtáky

Aby se zlepšil výkon mikrovrtáků, mnoho vědců pracovalo na vývoji povlakování mikrovrtáků. Povlak se nanáší na řeznou část. Obvykle se nanáší tenká vrstva tvrdšího materiálu tloušťky 2 μm až 15 μm . Nanáší se z toho důvodu, že výrazně zlepšuje otěruvzdornost, tvrdost, odolnosti vůči teplu a opotřebení. Nejčastěji se používá mikrokrystalický diamant, diamantový uhlík, chrom, titan atd. Různými metodami lze povlaky na nástroj nanést.

Největší výhodou povlakování je prodloužení životnosti nástroje. Avšak příliš velká vrstva povlaku může mít za následek snížení ostrosti břitu a zvětšení rozměrů špičky. Občas se stane, že poměr nákladů a výnosů není příliš výhodný. Z tohoto důvodu se stává, že se od povlaků upustí. Tato situace ovšem nenastává příliš často.

Dá se očekávat, že povlaků se bude využívat v budoucnosti dále. Analýzy ukazují, že povlakované vrtáky vydrží až 2,5krát více než nepovlakované. [10]

3.6 Nástrojové materiály pro mikrovrtání

Na rozdíl od běžného vrtání, u kterého je veliké množství materiálů a slitin, ze kterých je možné si vybírat, pro mikrovrtání je tento výběr omezený. V současné době jsou nejběžnější a nejvíce používané řezné materiály pro mikrovrtání rychlořezná ocel HSS, slinuté karbidy SK (nejvíce WC – karbid wolframu), polykrystalický diamant PCD a cermet. Ze zmíněných materiálů se nejvíce používá rychlořezná ocel a slinuté karbidy. Především z toho důvodu, že poměr kvality a ceny vychází nejvíce výhodně.

Vývoj navrhování řezných nástrojů v oblasti materiálových věd a výrobních technologiích se za posledních pár let velmi zlepšil. Díky tomuto vývoji lze navrhnout materiály, které budou disponovat mimořádnými vlastnostmi. Lze vyrobit slitiny se skvělými vlastnostmi jako například vysoká tuhost a tvrdost, odolnost proti opotřebení při zvýšených teplotách. Tato výroba se provádí práškovou metalurgií.

Během mikrovrtání se nástroje upnuté ve vřetenu otáčí vysokou rychlostí. V důsledku tření vznikají velmi vysoké teploty. Kromě toho, se během vrtání tvoří třísky, které způsobují namáhání břitu mikrovrtáku. To vede k únavě materiálu a k následnému zlomení nástroje. Tudíž je velmi důležitý správný výběr vhodného řezného materiálu. Mezi hlavní vlastnosti těchto řezných materiálů se řadí odolnost proti opotřebení, tvrdost, houževnatost a tuhost.

V současné době jsou nároky na mikrovrtáky vysoké. Například přesný tvar, nízké tolerance, vysoká integrita povrchu. Toto všechno je nezbytné pro zajištění toho, že se

nástroje budou méně opotřebovávat.

3.6.1 Rychlořezná ocel – HSS

Rychlořezná ocel se využívá pro výrobu mikrovrtáků velmi často. Je to z toho důvodu, že má vysokou životnost a na výrobu nejsou potřeba velké náklady. Z materiálového hlediska je HSS vysoce uhlíková. Obsahuje ovšem také mnoho legujících prvků – molybden (Mo), wolfram (W), kobalt (Co) a chrom (Cr). Tyto legující prvky se do rychlořezné oceli přidávají z toho důvodu, že zlepšují mechanické vlastnosti, tvrdost nebo prodloužení doby, při které nástroj pracuje při vysoké teplotě. Množství jednotlivých legujících prvků je řízeno a kombinováno v požadovaném množství. Špatná odolnost, nízká pracovní teplota 500°C, nízká tvrdost – to jsou hlavní nevýhody rychlořezné oceli. Ve světě existuje veliký počet druhů HSS, ovšem pro mikrovrtáky se využívá jen málo z nich.

HSS typu M1, M2, M7 se používají především na uhlíkové oceli, hliník a mosaz. HSS typu M35 (HSS-E), M42 (HSS-Co) mají větší množství Co. Ten zlepšuje především tepelné vlastnosti a využívá se především na tvrdé materiály. HSS typu HSS-PM se vyrábí práškovou metalurgií. Má vysokou tvrdost, odolnost proti opotřebení, houževnatost, životnost, odolnost proti vysokým teplotám. Nástroje z HSS-PM mají vyšší výkon – posuv a řeznou rychlost.

Rychlořezné oceli vyráběné práškovou metalurgií, obsahující slitinu Co, mají homogenní strukturu. Ta pozitivně způsobuje výkon mikrovrtáků. V budoucnu se dá očekávat, že se těchto HSS bude hodně využívat. Je ovšem ještě potřeba mnoho výzkumu, aby se našla ta správná kombinace legujících prvků, díky kterým dosáhneme ideálních vlastností pro mikrovrtání. Cílem by měla být kombinace HSS s karbidovou slutinou. Toto spojení by mohlo nabídnout celou další řadu možností pro vývoj v oblasti řezných materiálů.

[15] [10]

3.6.2 Slinuté karbidy

Karbidové nástroje se pro mikrovrtání využívají velice často. Vyrábí se směsí karbidu wolframu a kobaltu za vysokého tlaku a teploty. Karbidy vanadu nebo titanu se při výrobě mohou také použít. Jako vazební prvek se používá kobalt.

WC – karbid wolframu se pro výrobu mikrovrtáků používá nejčastěji. Je dvakrát tvrdší než ocel a má výborné materiálové vlastnosti. Má vysokou teplotu tání (2 870 °C) a vysoký bod

varu (6 000 °C). Je extrémně tvrdý, odolný proti opotřebení, velmi tuhý (až 3x třikrát více než ocel), má vysokou mez pevnosti a nízkou teplotní roztažnost.

Nástroje ze slinutých karbidů mají vysokou polohovou a rozměrovou přesnost. Díky těmto vlastnostem je možné slinutými karbidy vrtat při vyšší řezné síle (3x větší než u HSS).

Mezi hlavní nevýhody slinutých karbidů patří krátká životnost (dřívější zlomení než opotřebení), křehkost, vysoká cena (až 5x dražší než HSS) a nízká lomová houževnatost a pevnost.

Je třeba nalézt metodu, jak snížit výrobní náklady a současně zvýšit životnost nástroje. Existuje mnoho faktorů, které mohou mít za následek deformaci a zničení mikrovrtáku. Mezi ně patří špatné seřízení stroje a nástroje, vysoká přitlačná síla, nevhodné řezné podmínky, neodstranění třísek nebo nevhodná geometrie. Toto všechno může vést ke zničení nástroje obrobku, ztrátě času a peněz. [10]

3.7 Řezné kapaliny

Použitím řezných kapalin při (mikro)vrtání dochází ke zlepšení odvodu třísky z místa řezu, snížení tření mezi obrobkem a nástrojem, snížení intenzity otupování, zvýšení trvanlivosti nástroje a snížení teploty nástroje. Je nutné, aby tyto kapaliny byly nekorozivní.

Řezné kapaliny lze rozdělit na:

- s chladicím účinkem
- s mazacím účinkem
- s chladicím a mazacím účinkem

Chladicím účinkem se rozumí schopnost odvádět teplo z místa řezu.

Mazacím účinkem se rozumí schopnost snižovat tření.

[16] [5]

3.8 Zásadní faktory ovlivňující mikrovrtání:

- a) Tvorba třísek
- b) Tvorba otřepů
- c) Poloměr břitu
- d) chladicí kapalina
- e) rezné podmínky (otáčky, posuv, ...)
- f) úhel špičky
- g) počet vyvrtávaných vrstev
- h) použití navrtávačku (pointing drill) [10]

3.9 Shrnutí konvenčního mikrovrtání

Makro a mikrovrtání jsou v mnoha ohledech totožné. Avšak miniaturizace rozměrů sebou nese řadu problémů, které mají vliv na proces vrtání a kvalitu mikrootvorů. Hlavními rozdíly mezi makro a mikrovrtáním jsou vysoké otáčky, které způsobují velké vibrace, šířka příčného ostří a větší průměr stopky oproti rezné části. Vrtáky normálních rozměrů mají průměr stopky a rezné části totožný. U mikrovrtáků toto nelze, jelikož by nebylo možné upnout do vřetena nástroj o průměru desetin (setin) milimetrů.

Největším problémem při mikrovrtání je, že se nástroj zlomí dříve, než se opotřebuje. U vrtání obvyklých rozměrů dojde k dřívějšímu opotřebení než ke zlomení nástroje. Mikrovrtáky se používají při vysokých otáčkách až 30 000 ot/min a malých rychlostech posuvu 0,001 – 0,01 mm/ot (30-300 mm/min), což je činí mnohem více náchylnější k poškození. Aby se zvýšila produktivita, zlepšila se kvalita a byla dodržena bezpečnost, je třeba zlomení vrtáku při výrobě zabránit. Toho lze také docílit tím, že se analyzují při výrobě kroutící momenty, rezné účinky, ohyb a opotřebení nástroje. I matematickým modelováním lze předejít zlomení mikrovrtáku.

Bez ohledu na typ mikrovrtáku je velmi důležité vybrat vhodný materiál s jemnou velikostí zrn a optimalizovat výrobu. Tyto aspekty ovlivňují náklady na výrobu, produktivitu výroby a trvanlivost nástrojů. Před samotným vrtáním, lze v dnešní době tento proces simulovat a předejít tak možným komplikacím a nežádoucím jevům (zlomení nástroje). [10]

Postup při mikrovrtání je takový, že nejdříve se použije mikronavrtávaček (pointing drill), poté se najede standardním mikrovrtákem do otvoru při malých otáčkách, aby se zvýšila přesnost polohy díry a v díře jde nástroj do velkých otáček. Během toho se díra intenzivně vyplachuje, aby došlo k ideálnímu odvodu třísek.

4 Stroje pro mikrovrtání

Při vrtání se nejčastěji využívají vrtačky. Je možné také využít soustruhy nebo obráběcí centra.

Při mikrovrtání jsou na stroje vysoké nároky v podobě velmi vysokých otáček, malých minutových posuvů, velmi vysoké přesnosti vyvrtání mikrootvorů. Těchto náročných požadavků lze dosáhnout pouze za použití speciálních obráběcích center. Existuje mnoho výrobců, kteří se zabývají výrobou obráběcích center, které se dají využít při technologii mikrovrtání. Mezi tyto výrobce patří například firmy KERN, MAKINO, YASDA, MAUSER KRAUSECO PRAEZOPLAN, MIKRON a další.

4.1 Přehled obráběcích center dle nabídky firem:

4.1.1 KERN



Obrázek 32 - KERN Micro HD [17]

Obrázek 33 - KERN Micro Vario [17]

Obrázek 34 - KERN Micro Pro [17]

Tabulka 2 - Porovnání obráběcích center firmy KERN [18]

	KERN Micro HD	KERN Micro Vario	KERN Micro Pro
Výkon [kW]	15	15	7
Otáčky [ot/min]	42 000	42 000	32 000
Max. rychlost posuvu [m/min]	60	30	30
Přesnost	<2 μm	<5 μm	<10 μm
Typ upínače	HSK 40	HSK 40	HSK40

4.1.2 MAKINO



Obrázek 35 - D200Z [19]



Obrázek 36 - L2 APC [19]



Obrázek 37 - D300 [19]

Tabulka 3 - Porovnání obráběcích center firmy MAKINO [19]

	MAKINO D200Z	MAKINO L2 APC	MAKINO D300
Výkon [kW]	N/A	15	11
Otáčky [ot/min]	30 000	16 000	15 000
Max. rychlost posuvu [m/min]	60	48	60
Přesnost	N/A	N/A	<5 μm
Typ upínače	HSK-E50	HSK-A50	HSK-A63

4.1.3 YASDA



Obrázek 38 - YBM-640V [20]



Obrázek 39 - YMC430 RT10 [20]



Obrázek 40 - PX-30i [20]

Tabulka 4 - Porovnání obráběcích center firmy YASDA [20]

	YASDA YBM-640V	YASDA YMC430-RT10	YASDA PX-30i
Výkon [kW]	22	7,5	18,5
Otáčky [ot/min]	24 000	40 000	20 000
Max. rychlost posuvu [m/min]	12	12	20
Přesnost	<2 μm	<2 μm	<3 μm
Typ upínače	SA40	HSK-E32	SA40

4.1.4 MAUSER KRAUSECO PRAEZOPLAN

Tabulka 5 - Technická data obráběcího centra PRAEZOPLAN 300 [21]



Obrázek 41 - PRAEZOPLAN 300 [21]

	PRAEZOPLAN 300
Výkon [kW]	18
Otáčky [ot/min]	30 000
Max. rychlost posuvu [m/min]	60
Přesnost	< 1 μm
Typ upínače	HSK-E25

4.1.5 MIKRON



Obrázek 42 - MICRON VX-10 [22]



Obrázek 43 - MICRON MULTISTAR NX-24 [22]

Tabulka 6 - Porovnání obráběcích center firmy MIKRON [22]

	MICRON VX-10	MICRON MULTISTAR NX-24
Výkon [kW]	15	7,5
Otáčky [ot/min]	21 000	24 000
Max. rychlost posuvu [m/min]	20	15
Přesnost	< 2 μm	< 2,5 μm
Typ upínače	HS--	HSK 25

4.2 Běžné stroje pro obrábění

4.2.1 OKUMA MU-400

Tabulka 7 - Technická data obráběcího centra OKUMA MU-400 [23]



Obrázek 44 - Obráběcí centrum OKUMA MU-400 [23]

	OKUMA MU-40
Výkon [kW]	15
Otáčky [ot/min]	15 000
Max. rychlost posuvu [m/min]	32
Přesnost	$\pm 4 \mu\text{m}$
Typ upínače	BT40

4.2.2 HAAS VF-2

Tabulka 8 - Technická data obráběcího centra HAAS VF-2 [24]



Obrázek 45 - Obráběcí centrum HAAS VF-2 [24]

	HAAS VF-2
Výkon [kW]	22,4
Otáčky [ot/min]	8 100
Max. rychlost posuvu [m/min]	16,5
Přesnost	5 μ m
Typ upínače	BT40

4.2.3 Porovnání strojů vhodných pro mikrovtání s běžnými stroji

Když porovnáme stroje pro mikrovtání a běžné stroje, dojdeme k výsledku, že hlavní nedostatek u běžných strojů je v nedostatečných otáčkách vřetena a nedostatečné přesnosti polohování. Pro mikrovtání je třeba alespoň 20 000 (lépe 30 000) ot/min. Těchto hodnot normální obráběcí centra nedosahují. V důsledku toho by mohlo dojít k nepřesnému a málo kvalitnímu vyvrtání mikrootvoru, což je nežádoucí. Přesnost polohy je potřeba snížit na jednotky mikrometrů. Běžné stroje pro obrábění jsou méně přesné oproti speciálním strojům pro mikrovtání.

5 Přehled výrobců mikrovrtáků

5.1 Společnost ATOM

Japonská firma ATOM nabízí různé specifikace nástrojů – krátké, středně dlouhé, dlouhé délky šroubovice, bez povlaku nebo s povlakem. Úhel šroubovice je 30°, úhel špičky je nejčastěji 120°, u některých druhů mikrovrtáků je 135° nebo 140°. Firma ATOM vyrábí mikrovrtáky od průměru 0,02 mm, od průměru 0,03 mm i s povlakem. Jako povlak se využívá TiAlN. Nástroje jsou ze slinutých karbidů (nejvíce WC). Obráběný materiál může mít tvrdost až 50 HRC. Průměr stopky u mikronástrojů je 3 mm a celková délka mikrovrtáku je 3,8 mm. Hloubka otvorů pro mikrovrtání začíná na 5xD a může dosáhnout dle průměru a specifikace až 25xD. Nástroje od ATOMu lze vrtat do uhlíkové oceli, nástrojové oceli, slitin oceli, hliníku, titanu, mědi, niklu, technického plastu, nerezové oceli a litiny. Řezné podmínky viz. tabulka 8. [25]

Tabulka 9 – Doporučené řezné podmínky pro mikrovrtání dle firmy ATOM [25]

Materiál	Ocel	Nerezová ocel	Slitiny hliníku a mědi	Technický plast
Otáčky [ot/min]	6 500-20 000	4 500-20000	11 000-30 000	10 000-20 000
Řezná rychlost [mm/min]	20-240	2,5-25	10-165	10-300

5.2 IWATA TOOL

IWATA TOOL je thajská firma, která se zabývá výrobou vrtáků, včetně mikrovrtáků. Vyrábí jednobřité mikrovrtáky od průměru 0,008 mm. Nástroje jsou ze slinutých karbidů. 3 mm je průměr stopky a celková délka vrtáku je 40 mm. Délka šroubovice je max. 4xD. Nástroje se povlakuji diamantem.

Firma IWATA TOOL vyrábí mikrovrtáky ve třech řadách délek – 3xD – krátké, 6xD – středně dlouhé, 12xD – dlouhé. Řadu 3xD od průměru 0,008 mm do 0,1 mm, řada 6xD v rozsahu 0,01 mm do 0,1 mm a řada 12xD v mezích od 0,02 mm do 0,1 mm. [26]

5.3 AXIS

Jde o indickou firmu, která vyrábí mikrovrtáky od průměru mikronástroje 0,02 mm v celkové délce 38 mm. Průměr stopky jsou 3 mm. Tyto mikrovrtáky jsou použitelné do oceli, nerezové oceli, plastu, mosazi, hliníku, mědi, titanu, dřeva, vosku, kompozitů a litiny. Firma Axis aplikuje na některé své mikrovrtáky povlaky – TiAlN, TiB₂. Šroubovice může být pravotočivá nebo levotočivá, její úhel šroubovice je 24° nebo 30°. Úhel špičky je 118°, 120°, 130°. Mikrovrtáky jsou vyrobeny ze slinutých karbidu a mají 2 (dvě) drážky pro odvádění třísek. Hloubka vrtání je v rozmezí 5xD až 15xD. Délka řezné části bývá 10x větší než průměr. [27]

5.4 MIKRON TOOL

Švýcarská společnost MIKRON TOOL se zabývá výrobou mikrovrtáků. Vyrábějí mikrovrtáky od průměru 0,1 mm. Těmito mikronástroji lze vrtat do legované a nelegované oceli, nerezové oceli, litiny, titanu, neželezných materiálů (hliník, měď, mosaz), kalené oceli nebo Cr-Co slitiny. Násobky průměru začínají na 5xD a končí speciální řadou pro hluboké vrtání až do hloubky 50xD (titan do hloubky 30xD). Od průměru 0,3 mm se mikrovrtáky povlakuji. Nástroje se vyrábí ze slinutých karbidů a jsou typu twist drill. Úhel špičky je 118°, 130°, 140°. Celková délka nástroje je 30 mm nebo 45 mm a průměr stopky je 1 mm nebo 3 mm. Firma Mikron Tool uplatňuje na své nástroje vnitřní nebo vnější chlazení. Díky tomu dokáží zvýšit produktivitu výroby a prodloužit životnost nástroje. Jako chlazení používají řezný olej nebo emulzi s aditivy. Otáčky vřetena se při mikrovrtání nástroji od Mikron Tool doporučují okolo hodnot 15 000-20 000 ot/min. [28]

5.5 MPK Kemmer

Německá firma MPK Kemmer vyrábí mikrovrtáky ze slinutých karbidů. Minimální průměr mikrovrtáku, který vyrábějí je 0,025 mm. Průměr stopky mikronástroje je 3,175 mm a celková délka nástroje je 38 mm. Úhel špičky je 130° a úhel šroubovice 30°. Hloubka otvorů se pohybuje mezi 6xD až 25xD. Společnost MPK Kemmer doporučuje jejími mikronástroji vrtat otvory do PCB materiálů. Při vrtání mikrootvorů doporučuje firma MPK Kemmer, aby otáčky vřetena byly mezi hodnotami 95 500 - 160 000 ot/min a posuv 0,15 mm/min. [29]

5.6 INOVATOOLS

Německá firma INOVATOOLS vyrábí mikrovrtáky ze slinutých karbidů typu twist drill, a to od průměru 0,1 mm. Některé mikrovrtáky se povlakuji. Jako povlak se využívá nanosit. Nástroje se mohou použít do oceli, litiny, neželezných kovů. Průměr stopky jsou 3 mm, celková délka mikrovrtáku je 38 mm, úhel špičky 130°. Délky vrtáků společnost Inovatools vyrábí ve třech řadách – 3xD, 5xD a 8xD. Mikrovrtáky nemají vnitřní chlazení. Minutový posuv je setinou otáček. Při 30 000ot/min je tedy posuv 300 mm/min. [30]

5.7 HARVEY TOOL

HARVEY TOOL je americká společnost, která vyrábí mikrovrtáky s minimálním průměrem 0,05 mm. Mikronástroje vyrábí ze slinutých karbidů. Od průměru 0,2 mm se mikrovrtáky povlakuji. Povlakem je AlTiN. Průměr stopky je 3,175 mm, celková délka nástroje je 38,1mm a úhel špičky je 130°. Mikrovrtáky mají dvě drážky pro odvádění třísek, jsou tedy typu twist drill. Mikronástroje mohou vrtat do hloubky v rozmezí 6-20xD. Vrtat mikrovrtáky od společnosti Harvey Tool lze do ocelí (tvrdost až 45 HRC), nerezových ocelí, slitin titanu, hliníku, zinku, mědi. [31]

6 Mikrovrtání o průměru 0,125 mm

V této kapitole se zaměřím na srovnání mikrovrtáků o průměru 0,125 mm, které výrobci nabízejí na trhu.

Tento průměr jsem zvolil z toho důvodu, že je v oblasti mikrovrtání velmi využívaný a jeden z nejdůležitějších. Má nepřímý vliv na běžný život. Jedná se o nejčastější rozměr optických vláken nebo se také využívá při výrobě komunikační a zbraňové techniky.

Po důkladném prozkoumání katalogů výrobců vrtáků pro mikrovrtání, dojdeme k zjištění, že průměr 0,125 mm se běžně nevyrábí. Výrobci obvykle vyrábějí vrtáky o průměru 0,12 mm nebo 0,13 mm. Když budeme uvažovat tolerance při vrtání otvoru, které jsou způsobeny vlivem házení vrtáku nebo upínače, dostaneme se na požadovaný průměr 0,125 mm. Proto průměry 0,12 mm a 0,13 mm můžeme zařadit do stejné kategorie s průměrem 0,125 mm.

Běžnou praxí v dnešní době je, že výrobci vrtáků nemají problém požadovaný průměr zákazníkovi vyrobit zakázkově.

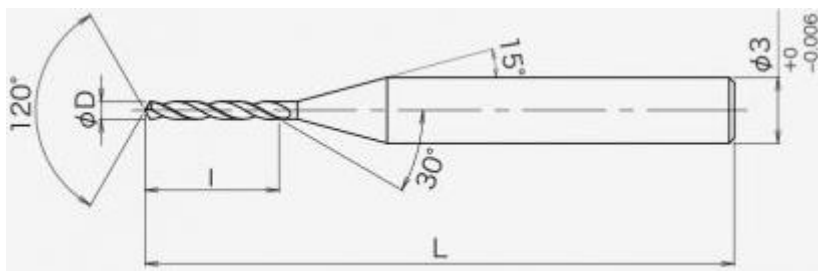
6.1 Společnost ATOM

Firma ATOM vyrábí mikrovrták o průměru $D=0,125$ mm pouze v modelové řadě ADR-SP. Tato modelová řada se vyznačuje tím, že tolerance průměru D je $+0/-0,003$, tolerance průměru stopky je $+0/-0,006$ a tolerance házení je 0,002. Nástrojovým materiálem je karbid s jemným zrnem, délka řezné části je 1,4 mm a celková délka mikrovrtáku je 38 mm. Tímto mikrovrtákem lze vrtat do hloubky až 10D. Firma Atom doporučuje těmito vrtáky vrtat především do neželezných kovů – hliníkové slitiny, slitiny mědi, pryskyřice nebo plastu. Lze s nimi vrtat také do železných kovů, ovšem výsledný otvor není tak kvalitní a přesný.

Doporučené řezné podmínky: otáčky: 13 000 – 20 000 1/min

posuv: 0,005 – 0,02 mm/ot

Cena tohoto vrtáku je 77,50 USD. [25][32]

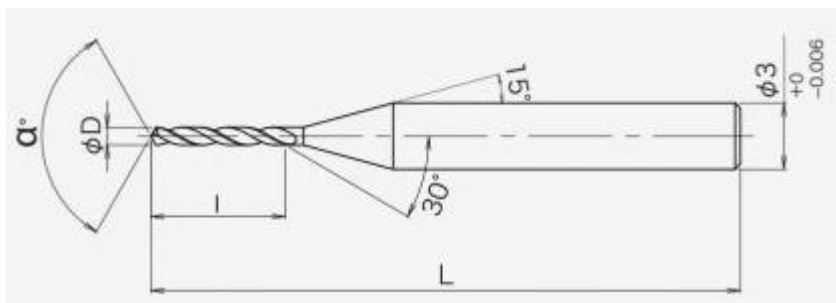


Obrázek 46 - Mikrovrták firmy Atom modelová řada ADR-SP, $D=0,125$ mm [32]

Firma Atom vyrábí celou řadu vrtáků o průměru 0,12 mm nebo 0,13 mm. Zmíním dvě modelové řady – ADRL-SV a ADRL-SUS. Vrtáky z těchto řad jsou vyráběny ze slinitých karbidů s jemným zrnem a mají povlak – TiAlN. Průměr stopky jsou 3 mm s tolerancí $+0/-0,006$. [25][33][34]

6.1.1 Modelová řada ADRL-SV

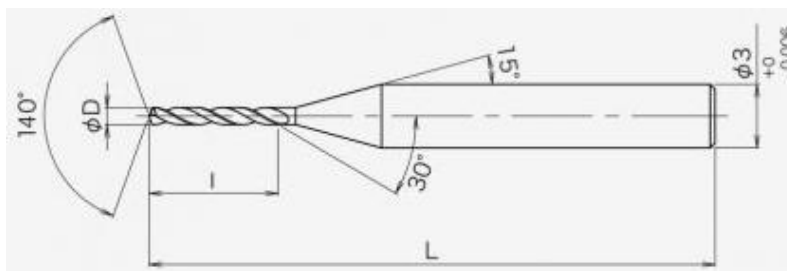
Tolerance průměru D je $+0/-0,005$, hloubka vrtání jsou 3 mm, vrtáky z této řady jsou vhodné k vrtání do nízkolegovaných ocelí a austenitických korozivzdorných ocelí do 50HRC, slitin niklu a titanu. Úhel špičky je 120° . Řezné podmínky jsou velmi podobné těm z modelové řady ADR-SP. Cena vrtáku je 73,70 USD. [25][33]



Obrázek 47- Mikrovrták firmy Atom modelová řada ADR-SV, $D=0,12/0,13$ mm [33]

6.1.2 Modelová řada ADRL-SUS

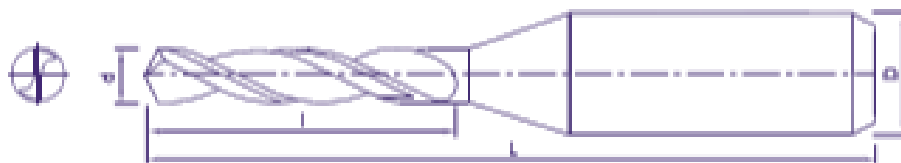
Tolerance průměru D $+0/-0,01$, hloubka vrtání pro průměr $D=0,12$ mm je 1,8 mm a pro průměr 0,13 mm 2 mm. Vrtáky z této modelové řady je doporučeno vrtat do korozivzdorné oceli, nízkolegované oceli a niklových slitin. Řezné podmínky jsou velmi podobné těm z modelové řady ADR-SP. Cena vrtáku je 78,50 USD. [25][34]



Obrázek 48 - Mikrovrtač firmy Atom modelová řada ADR-SUS, $D=0,12/0,13$ mm [34]

6.2 Axis

Firma Axis vyrábí šroubovitě mikrovrtačky o průměru $d=0,12/0,13$ mm v modelové řadě T6961. Tolerance průměru vrtačky je $+0/-0,006$. Průměr stopky pro upnutí jsou $D=3$ mm s tolerancí $+0/-0,006$. Vrtač je vyroben ze slinutého karbidu s jemným zrnem s povlakem – Tialox. Hloubka vrtání je $l=1,5$ mm. Mikrovrtačky doporučuje společnost Axis použít do ocelí s tvrdostí maximálně 50 HRC nebo slitin titanu a hliníku. [26]



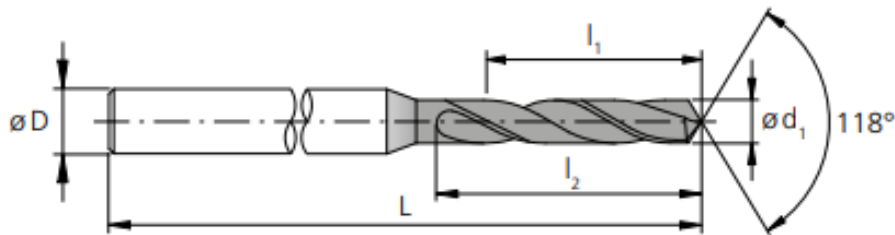
Obrázek 49 - Mikrovrtač firmy Axis modelová řada T6961-, $D=0,12/0,13$ mm [35]

6.3 Mikron Tool

Firma Mikron Tool vyrábí šroubovitě mikrovrtačky o průměru $d=0,12/0,13$ mm v modelových řadách MiquDrill 210 a CrazyDrill Flex. Hlavní rozdíl mezi těmito typy vrtaček je v hloubce vrtání.

6.3.1 Modelová řada MiquDrill 210

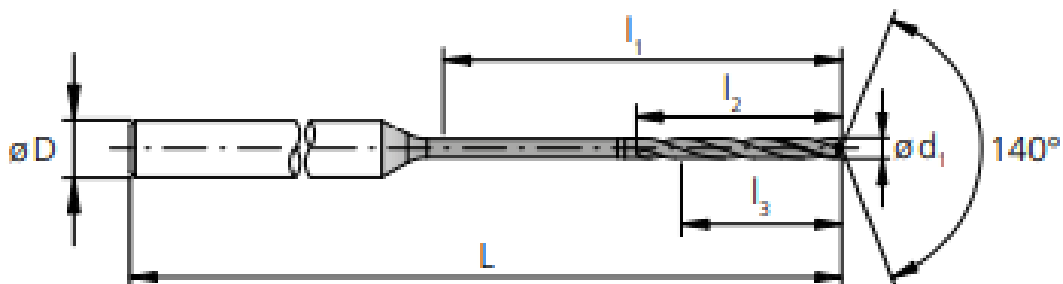
Vrtačky této modelové řady nemají povlak. Těmito vrtačky lze vrtat do legovaných i nelegovaných ocelí, tvrzené oceli (do 55HRC), litiny nebo neželezných materiálů. Vrtačky se chladí externě. Nástrojovým materiálem je slinutý karbid. Hloubka vrtání dle výrobce je pro $d=0,12$ mm 0,6 mm a pro průměr $d=0,13$ mm 0,8 mm. Tolerance průměru d $+0/-0,004$ a průměr stopky pro upnutí je dle katalogu 1 mm. [28]



Obrázek 50 - Mikrovrták firmy Mikron Tool modelová řada MiquDrill 210-, $d=0,12/0,13$ mm [36]

6.3.2 Modelová řada CrazyDrill Flex

Společnost Mikron Tool v této modelové řadě nabízí speciální mikrovrtáky pro hluboké vrtání – 20xd a 30xd. Vrtáky jsou ze slinutého karbidu bez povlaku a jsou chlazeny externě. Tolerance průměru d je $-0,003/-0,006$. Hloubka vrtání pro průměr 0,13 mm je v řadě 20xd 2,4 mm a v řadě 30xd 3,9 mm. Průměr stopky jsou 3 mm. Vrtáky z modelové řady CrazyDrill Flex jsou vhodné pro vrtání do nízkolegovaných ocelí, litiny, slitin hliníku a titanu. [27]



Obrázek 51- Mikrovrták firmy Mikron Tool modelová řada CrazyDrill Flex - $d=0,12/0,13$ mm [27]

6.4 Harvey Tool

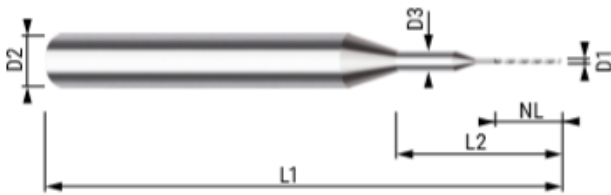
Firma Harvey Tool vyrábí šroubovité mikrovrtáky s průměrem $D=0,13$ mm a tolerancí průměru $+0/-0,003$. Tyto vrtáky jsou vyráběny ze slinutého karbidu a nejsou povlakované. Průměr stopky pro upnutí je 3,175 mm a úhel špičky 130° . Hloubka vrtání je 1,4 mm. Cena vrtáku je 25,40 USD. [31]



Obrázek 52- Mikrovrták firmy Harvey Tool – $D=0,13$ mm [31]

6.5 Inovatools

Společnost Inovatools vyrábí mikrovrtáky o průměru 0,12 mm a 0,13 mm. Vrtáky o těchto rozměrech jsou k dispozici v řadách 5xD a 8xD. Hloubka vrtání v řadě 5xD je pro průměr 0,12 mm je 0,7 mm a pro průměr 0,13 mm 0,8 mm. V řadě 8xD odpovídá průměru 0,12 mm hloubka vrtání 1 mm a průměru 0,13 mm hloubka vrtání 1,2 mm. Co se týče materiálu, do kterých lze vrtat, mají tyto mikrovrtáky označení universal. Lze s nimi vrtat tedy do velké většiny materiálů – oceli, litiny, neželezné kovy atd. Vrtáky nejsou povlakované a jsou vyrobeny ze slinutého karbidu. Průměr stopky pro upnutí jsou 3 mm. [30]



Obrázek 53 - Mikrovrták firmy Inovatools – $D=0,12/0,13$ mm [30]

6.6 Hodnocení mikrovrtáků o průměru 0,125 mm

Ve světě existuje mnoho firem, které vyrábí mikrovrtáky vhodné k vrtání mikrootvoru o průměru 0,125 mm, ačkoli se přesně tento průměr příliš často nevyrábí, jsme schopni ho dosáhnout, díky tolerancím (nepřesnostem), které vznikají při procesu vrtání.

Při výběru, od kterého prodejce si mikrovrták koupím, je třeba si nejdříve určit, jaké mám nároky na přesnost, kvalitu, hloubku otvoru, zda chci mikrovrták s povlakem, či nikoli, do jakého materiálu budu vrtat, jaký mám stroj pro vrtání a v neposlední řadě také jaké mám k dispozici finance. Výběr není malý a každý by měl svůj ideální mikrovrták na trhu najít.

Obvykle každý výrobce nemá problém vyrobit mikrovrták přímo na míru, ovšem musí se počítat s tím, že náklady na takový nástroj budou výrazně vyšší, oproti mikrovrtákům, které výrobce vyrábí běžně.

7 Závěr

V této bakalářské práci jsem se zabýval technologií vrtání a mikrovrtání. Vrtání je velice důležitou součástí způsobu obrábění obrobku. Slouží k vyhotovení válcových otvorů za použití vrtáků. Na proces vrtání navazují dokončovací operace s úběrem materiálu případně i bez úběru materiálu. Tato technologie má své pevné místo ve strojírenské výrobě a výrobci se snaží vyrábět stroje i nástroje pro vrtání stále více přesnější a kvalitnější.

V první části zaměřenou na technologii vrtání jsem popsal základní typy vrtáků, popsal kinematiku vrtání, geometrii nástroje. Zaměřil jsem se také na nástrojové materiály pro výrobu vrtáků a popsal jejich výhody a nevýhody. Zabýval jsem se i možnostmi upnutí nástroje.

V druhé části jsem se zabýval technologií mikrovrtání a průzkumu trhu v oblasti mikrovrtání. Pro svou práci jsem si určil, že hodnoty průměru budu uvažovat v rozmezí od 0,02 mm do 0,5 mm. Mikrovrtáky se z důvodu své velikosti dříve zlomí, než opotřebí, je velmi důležité věnovat pozornost správnému výběru vhodného materiálu, upnutí, geometrii a volbě řezných podmínek. Jako materiál se nejčastěji volí slinutý karbid wolframu nebo rychlořezná ocel. Jako způsob upnutí se nejvíce využívají mikrokleštiny, hydraulické nebo tepelné upínače. Existuje velká řada typů (mikro)vrtáků. Pro mikrovrtání se nejvíce využívá šroubovitý mikrovrták, který je nejčastěji poptávaný, má nejpříznivější tvar řezné části, ale není jednoduchý na výrobu. Řezné podmínky při mikrovrtání se určují především podle typu materiálu obrobku a materiálu nástroje a jsou u každého mikrovrtáku v odlišných rozmezích. Tyto podmínky – otáčky vřetena, rychlost posuvu – se pohybují v jiných řádech než při běžném vrtání, a proto jsou kladeny vysoké nároky na obráběcí stroje.

V poslední části jsem se zaměřil na průzkum trhu v oblasti mikrovrtání. Věnoval jsem se strojům a nástrojům vhodných pro mikrovrtání, které výrobci pro tuto oblast vrtání nabízejí.

V závěru jsem se zaměřil také na konkrétní průměr 0,125 mm, který je velmi důležitý při výrobě otvorů pro optická vlákna nebo při výrobě zbraňové techniky.

8 Literatura

- [1] MÁDL, Jan a Jaroslav BARCAL. Základy technologie II. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02610-8.
- [2] ŠVAGR, Jiří a Jan VOJTÍK. Technologie ručního zpracování kovů. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985
- [3] Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://player.slideplayer.cz/7/1919648/#>
- [4] Nástroje pro výrobu děr. Vrtání děr [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/vrtani/nastroje.html>
- [5] MÁDL, Jan. Technologie obrábění. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02091-6.
- [6] Nástrojové materiály [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1206>
- [7] Upínání vrtáků [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1211>
- [8] Ing. Petr Borovan. Technický týdeník - Upínače nástrojů. [online]. [cit. 2014-08-24]. Dostupný na WWW: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/upinace-nastroju/upinace-nastroju-2_8498.html
- [9] Tepelné upínání nástrojů [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/tepelne-upinani-nastroju-11885.html>
- [10] Hasan, Mahadi; Zhao, Jingwei; and Jiang, Zhengyi, "A review of modern advancements in micro drilling techniques" (2017). Faculty of Engineering and Information Sciences - Papers: Part B. 758.
- [11] Tooling. Najet [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://www.najet.com/tooling/>

- [12] LIANG, Xiong, Bing LI, Lianyu FU, Xiaoyu WU, Hongyan SHI, Taijiang PENG a Bin XU. Mechanical drilling of PCB micro hole and its application in micro ultrasonic powder molding. Circuit World [online]. 2015, 41(2), 87-94 [cit. 2020-07-22]. DOI: 10.1108/CW-12-2014-0057. ISSN 0305-6120. Dostupné z:
<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/CW-12-2014-0057/full/html>
- [13] Drill Bits. TAIWAN MICRODRILL CO., LTD. [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z:
<http://www.microdrillingbit.com/>
- [14] Pointing Drill. Atom [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z:
https://www.atom21.co.jp/dcms_media/other/ATOM_ADPF30.pdf
- [15] Rychlořezná ocel. Svět dílny [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z:
<http://www.svetdilny.cz/co-je-to-hss/>
- [16] Řezné kapaliny. COPTel [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z:
<https://coptel.cz/mod/resource/view.php?id=8085>
- [17] KERN Microtechnik [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://www.kern-microtechnik.com/>
- [18] KERN Microtechnik [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://www.kern-microtechnik.com/wp-content/uploads/2019/09/MachineComparison.pdf>
- [19] MAKINO [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://www.makino.eu/cs-cz>
- [20] MAKINO [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z:
<https://www.methodsmachine.com/products/?b=5>
- [21] PRÄZOPLAN [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z:
<http://www.praezoplan.com/de/home/>
- [22] MIKRON [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://www.mikron.com/>
- [23] OKUMA. Misan [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z:
<http://www.misan.cz/okuma/katalog-detail/mu-400v-ii-okuma-mu-400v-ii/>
- [24] HAAS [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z:
<https://www.haascnc.com/cs/machines/vertical-mills/vf-series/models/small/vf-2.html>
- [25] Catalog. ATOM [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z:
<http://atomprecision.com/pub/media/pdf/ATOM-Cutting-Tools-General-Catalog-Vol-3.pdf>

- [26] Catalog. IWATA TOOL [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z:
https://www.precisiondrills.co.uk/pdfs/iwata-micro-tools-140114_rainford-precision-2014.pdf
- [27] AXIS [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <http://axis-microtools.com/>
- [28] Brochures. MIKRON TOOL [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z:
<https://www.mikrontool.com/en/Download/Brochures>
- [29] Catalog. MPK KEMMER [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <http://www.mpk-pcb.de/downloads/>
- [30] Catalog. INOVA TOOLS [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z:
<https://www.inovatools.eu/V2/Katalog/Inovatools/>
- [31] Miniature Drills. HARVEY TOOL [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z:
http://www.harveytool.com/prod/Miniature-Drills/Holemaking---Threading/Browse-Our-Products_275/Miniature-Drills_126.aspx
- [32] Products - ADR-SP-00125. ATOM [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z:
<http://atomprecision.com/products/adr-sp-00125.html>
- [33] Products - ADRL-SV-0012. ATOM [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z:
<http://atomprecision.com/products/adrl-sv-0012.html>
- [34] Products - ADRL-SUS-0012. ATOM [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z:
<http://atomprecision.com/products/adrl-sus-0012.html>

9 Seznamy

9.1 Obrázky

Obrázek 1 – Základní způsoby vrtání [1].....	11
Obrázek 2 - Vrták: a - šroubovítý, b - kopinatý, c- dělový [2].....	12
Obrázek 3 - Vrták středící [2]	13
Obrázek 4 - Vrták korunkový [2].....	13
Obrázek 5 – Záběrové podmínky nástroje – průřez třísky [2]	15
Obrázek 6 - Šroubovítý vrták – popis [4].....	15
Obrázek 7 - Šroubovítý vrták – geometrie [4]	16
Obrázek 8 - Trend vývoje nástrojových materiálů pro obráběcí nástroje [5]	16

Obrázek 9 - Vrtáky s kuželovou stopkou a redukční vložky [7].....	21
Obrázek 10 - Zubové sklíčidlo [7]	21
Obrázek 11 - Rychloupínací sklíčidlo [7]	22
Obrázek 12 – Schéma kleštiny [8]	22
Obrázek 13 – Schéma hydraulického upínače [8].....	23
Obrázek 14 - Tepelný upínač [9].....	23
Obrázek 15 - Mikrokleštiny [11].....	27
Obrázek 16 – Upnutí mikrovrtáku pomocí hydraulického upínače [14].....	27
Obrázek 17 - Geometrie šroubovitého mikrovrtáku - [10]	28
Obrázek 18 - Šroubovitý mikrovrták se dvěma drážkami [12].....	29
Obrázek 19 - Mikrovrták se dvěma drážkami [13]	30
Obrázek 20 - 3D model mikrovrtáku s jednou drážkou [10]	30
Obrázek 21 - Mikrovrták s jednou drážkou [13].....	31
Obrázek 22 - Geometrie kopinatého mikrovrtáku - [10].....	31
Obrázek 23 - Kopinatý mikrovrták o průměru 300 μm - [10]	32
Obrázek 24 - Mikrovrtání do lidského vlastu firmou Najet - [10].....	32
Obrázek 25 - Geometrie mikrovrtáku ve tvaru písmene D - [10]	33
Obrázek 26 - Mikrovrták tvaru D o průměru 17 μm - [10].....	33
Obrázek 27 - Složené mikrovrtáky - [10].....	34
Obrázek 28 - Mikrootvor po vrtání šroubovitým mikrovrtákem [10].....	32
Obrázek 29 - Mikrootvor po vrtání složeným mikrovrtákem [10].....	34
Obrázek 30 - Použití středícího vrtáku [14]	35
Obrázek 31 - Rozměry středícího navrtáváku firmy ATOM – modelová řada ADPF30 [14]..	35
Obrázek 32 - KERN Micro HD [17]	38
Obrázek 33 - KERN Micro Vario [17]	38
Obrázek 34 - KERN Micro Pro [17]	40
Obrázek 35 - D200Z [19]	39
Obrázek 36 - L2 APC [19]	39
Obrázek 37 - D300 [19]	41
Obrázek 38 - YBM-640V [20]	39
Obrázek 39 - YMC430 RT10 [20]	39
Obrázek 40 - PX-30i [20].....	41
Obrázek 41 - PRAEZOPLAN 300 [21]	42

Obrázek 42 - MICRON VX-10 [22]	40
Obrázek 43 - MICRON MULTISTAR NX-24 [22]	42
Obrázek 44 - Obráběcí centrum OKUMA MU-400 [23].....	43
Obrázek 45 - Obráběcí centrum HAAS VF-2 [24]	44
Obrázek 46 - Mikrovrták firmy Atom modelová řada ADR-SP, D=0,125 mm [32].....	49
Obrázek 47- Mikrovrták firmy Atom modelová řada ADR-SV, D=0,12/0,13 mm [33]	49
Obrázek 48 - Mikrovrták firmy Atom modelová řada ADR-SUS, D=0,12/0,13 mm [34].....	50
Obrázek 49 - Mikrovrták firmy Axis modelová řada T6961-, D=0,12/0,13 mm [35].....	50
Obrázek 50 - Mikrovrták firmy Mikron Tool modelová řada MiquDrill 210-, d=0,12/0,13 mm [36]	51
Obrázek 51- Mikrovrták firmy Mikron Tool modelová řada CrazyDrill Flex - d=0,12/0,13 mm [27]	51
Obrázek 52- Mikrovrták firmy Harvey Tool – D=0,13 mm [31].....	51
Obrázek 53 - Mikrovrták firmy Inovatools – D=0,12/0,13 mm [30].....	52

9.2 Tabulky

Tabulka 1 - Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu [2]	14
Tabulka 2 - Porovnání obráběcích center firmy KERN [18]	40
Tabulka 3 - Porovnání obráběcích center firmy MAKINO [19].....	41
Tabulka 4 - Porovnání obráběcích center firmy YASDA [20]	42
Tabulka 5 - Technická data obráběcího centra PRAEZOPLAN 300 [21].....	42
Tabulka 6 - Porovnání obráběcích center firmy MIKRON [22]	43
Tabulka 7 - Technická data obráběcího centra OKUMA MU-400 [23]	43
Tabulka 8 - Technická data obráběcího centra HAAS VF-2 [24].....	44
Tabulka 9 – Doporučené řezné podmínky pro mikrovrtání dle firmy ATOM [25]	45