



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## TECHNOLOGIE VÝROBY VRTÁKU

PRODUCTION TECHNOLOGY OF DRILL

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Luboš Křehlík

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Karel Osička, Ph.D.

BRNO 2016

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Luboš Křehlík**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Karel Osička, 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:

### Technologie výroby vrtáku

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Stanovit technologii výroby vrtacího nástroje z materiálu slinutého karbidu za prioritního použití víceosé ostříčky s CNC řízením v podmínkách úzce specializované strojírenské firmy.

#### **Cíle bakalářské práce:**

Úvod.  
Rozbor teorie broušení slinutých karbidů.  
Rozbor technologických možností v daných podmínkách.  
Rozbor technologičnosti konstrukce vrtacího nástroje.  
Řešení technologického postupu.  
Řešení programu pro CNC ostříčku.  
Výpočet strojních časů pro jednotlivé operace.  
Diskuze.  
Závěr.

#### **Seznam literatury:**

AB Sandvik Coromant - Sandvik CZ, s.r.o. (1997): Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Scientia, Praha.  
Kocman, K. a Prokop, J. (2001): Technologie obrábění. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno.  
Forejt, M. a Píška, M. (2006): Teorie obrábění, tváření a nástroje. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno.  
Štulpa, M. (2008): CNC obráběcí stroje. BEN - technická literatura, Praha.

Svoboda, E. (1998): Technologie a programování CNC strojů. Fragment, Havlíčkův Brod.


Humár, A. (2008): Materiály pro řezné nástroje. MM Publishing, Praha.

Maslov, J. N. (1979): Teorie broušení kovů. SNTL, Praha.

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

V Brně, dne 30. 11. 2015



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.  
ředitel ústavu

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

## ABSTRAKT

Práce se zabývá technologií výroby stupňovitého vrtáku ze slinutých karbidů. Zpracovává základní metody a informace technologie broušení. Slinuté karbidy jsou stále častější volbou materiálu pro obrábění v mnoha průmyslových směrech. Umožňují široké využití vzhledem ke svým mechanickým i technologickým vlastnostem. Nástroje z tohoto materiálu jsou vyráběny na 5osých bruskách. Použití přesných CNC strojů umožňuje efektivní a přesnou výrobu jak jednoduchých, tak složitých obráběcích nástrojů. Softwary CNC strojů umožňují kontrolní 3D simulace ještě před zahájením výroby, jsou to vhodným nástrojem pro kontrolu funkčnosti programu. Také je možné na výrobu navázat následnou rozměrovou kontrolu hotového kusu. Těchto CNC strojů a nástrojů ze slinutých karbidů je možné využít jak pro sériovou tak kusovou výrobu.

### Klíčová slova

Brousicí kotouč, slinutý karbid, CNC bruska, broušení, SAACKE.

## ABSTRACT

The work deals with production technology stepped drill of cemented carbides. Handles the basic methods and information technology grinding. Cemented carbides are becoming more frequent choice of material for processing in many industrial directions. They allow widespread use due to their mechanical and technological properties. Tools of this material are manufactured on a 5-axis grinding machines. The use of precision CNC machines enables efficient and accurate production of both simple and complex cutting tools. Software CNC machines allow you to control the 3D simulation before production begins, it's a convenient tool for checking the functionality of the program. It is also possible to establish the production of the subsequent dimensional control of the finished piece. These CNC machines and cemented carbide tools can be used for both serial and piece production.

### Key words

Grinding wheel, cemented carbide, CNC grinder, grinding, SAACKE.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KŘEHLÍK, L. Technologie výroby vrtáku. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojího inženýrství, 2016. 55 s 3 příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Osička, Ph.D..

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Technologie výroby vrtáku** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

---

Luboš Křehlík

---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Karlu Osičkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Panu Radku Švihálkovi za umožnění spolupráce s firmou Rotana a.s. a Bc. Pavlovi Smejkalovi za pomoc a cenné rady.

---

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ .....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
OBSAH .....	7
ÚVOD .....	9
1 BROUŠENÍ .....	10
1.1 Rozdělení broušení .....	10
1.2 Broušící kotouče .....	11
1.2.1 Označování broušících kotoučů .....	11
1.2.2 Materiály a vlastnosti broušících kotoučů.....	11
1.2.3 Tvar kotouče.....	13
1.2.4 Vyvažování broušících kotoučů .....	13
1.2.5 Orovnávání broušících kotoučů.....	13
1.3 Teorie slinutých karbidů .....	15
1.3.1 Historie slinutých karbidů .....	15
1.3.2 Výroba slinutých karbidů.....	15
1.3.3 Rozdělení slinutých karbidů.....	15
1.3.4 Povlakování slinutých karbidů .....	16
1.3.5 Použití slinutých karbidů .....	17
1.3.6 Broušení slinutých karbidů .....	17
2 KONSTRUKCE VRTÁKU .....	18
2.1 Kontura nástroje .....	18
2.2 Tvar činné části.....	18
2.3 Tvar stopky.....	19
2.3.1 Mechanické upínače .....	19
2.3.2 Hydraulické upínače .....	20
2.3.3 Tepelné upínače .....	20
2.3.4 Weldon a Whistle-Notch upínače.....	20
2.4 Volba materiálu .....	20
3 TECHNOLOGICKÝ POSTUP .....	22
3.1 Dělit materiál .....	22
3.2 Broušit na kulato.....	23
3.3 Probroušit propojení chladících kanálek.....	24
3.4 Broušit .....	25
3.4.1 Upnutí a zaměření polotovaru .....	26
3.4.2 Poloha chladících kanálek.....	26

---

3.4.3	Brousit drážku .....	27
3.4.4	Zapevnit drážku .....	27
3.4.5	Dokončit drážku .....	28
3.4.6	Měřit pootočení .....	29
3.4.7	Brousit odlehčení .....	29
3.4.8	Brousit ostří 2. stupně .....	30
3.4.9	Stupeň zápichu.....	31
3.4.10	Hrubovat špici .....	31
3.4.11	Dokončovat špici .....	32
3.4.12	Brousit hlavní ostří .....	32
3.4.13	Dokončit hlavní ostří .....	33
3.4.14	Dokončit zatupení špice .....	33
3.5	Povýrobní kontrola rozměrů.....	34
3.6	Řízené otupení .....	36
3.7	Povlakování .....	37
4	ŘEŠENÍ CNC PROGRAMU.....	38
5	VÝPOČET STROJNÍCH ČASŮ .....	43
5.1	Broušení na kulato .....	43
5.2	Broušení drážky .....	44
5.3	Broušení odlehčení .....	45
5.4	Broušení hlavního ostří .....	45
5.5	Dokončení hlavního ostří .....	45
6	VÝPOČET A POROVNÁNÍ STROJNÍCH ČASŮ VRTÁNÍ .....	46
6.1	SK stupňový vrták .....	47
6.2	HSS vrták NAREX .....	47
6.3	HSS záhlubník .....	48
6.4	Porovnání .....	48
7	DISKUZE .....	49
	ZÁVĚR .....	50
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	51
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	53
	SEZNAM PŘÍLOH.....	55



---

## ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá popisem technologie výroby vrtáku ze slinutých karbidů. V práci je zpracována stručná charakteristika principu broušení. Jsou zde shrnuty základní informace, podmínky, principy a nástroje broušení. Technologie broušení vychází z dávné potřeby lidí vyrábět zbraně, nástroje pro úpravu jídla, nebo usnadnění práce pomocí otírání přírodních materiálů navzájem.

Slinuté karbidy jsou vhodným materiálem pro výrobu nástrojů určených pro obrábění těžko obrobitelných materiálů, přesných prvků, pro snížení výrobních časů a nákladů. Pro snížení výrobních časů se také používají speciální tvarové nástroje určené pouze pro konkrétní operace.

Tuto práci jsem v průběhu psaní konzultoval s technologií a vývojovými pracovníky firmy Rotana a.s. Kteří mi poskytli řadu cenných rad a informací z praxe.

V této práci je popsána technologie výroby stupňovitého vrtáku, ze slinutých karbidů. Jedná se o nástroj vyráběný speciálně na zakázku nezmiňovaného zákazníka firmy Rotana a.s. Vrták slouží k vyvrtání díry o průměru 9,25 mm a následnému sražení hrany. Tento nástroj nahradí použití dvou různých nástrojů.

Výroba tohoto nástroje probíhá na CNC bruskách. Průběh jeho výroby je podrobně zpracován v práci. Text práce zahrnuje popis přípravných operací, kterými je broušení na kulato pomocí letmé brusky Reinecker, probroušení chladících kanálků a sražení hran. Dále tato práce představuje samotnou výrobu pomocí brusky SAACKE, kdy probíhá broušení drážky, odlehčení i zhotovení špičky na jedno upnutí. V neposlední řadě je popsána konečná kontrola vrtáku po skončení výroby.

Práce je také zaměřena na popis tvorby a úpravy programu pro řízení výroby na CNC brusce. Posledním bodem je provedení výpočtu strojních časů pro hlavní operace.

## 1 BROUŠENÍ

Broušení patří mezi nejstarší metody obrábění, kdy již v době kamenné lidé používali při výrobě nástrojů otírání dvou předmětů navzájem. Těchto metod se využívalo především k výrobě zbraní a pracovních nástrojů. Broušení se postupně vyvíjelo a zdokonalovalo, až se stalo oblíbeným a produktivním způsobem výroby.

Mluví se tedy o abrazivním obrábění, při kterém dochází k úběru materiálu pomocí zrn brusiva. Lze jej přirovnat k opotřebení, vzniklém vzájemným otíráním dvou těles. Při broušení dochází k nepravidelnému úběru třísky, což je způsobeno volným uspořádáním, různou velikostí a geometrickou různorodostí zrn v broušicím nástroji. Do záběru se dostávají pouze zrna, která vystupují nad ideální válcový povrch. Tohoto se využívá při tzv. vyjiskřování, kdy dochází k odstranění drobných výstupků na obrobku, vzniklých při broušení. Při broušení se dosahuje vysokých řezných rychlostí, ty se pohybují v rozmezí 30 až 100 m.s<sup>-1</sup> [1].

Tato technologie se především využívá při dokončovacích operacích nebo pro přípravné práce u speciálních způsobů výroby. Broušení se vyznačuje především vysokou rozměrovou a geometrickou přesností, dobrou drsností povrchu, kvalitní povrchovou vrstvou na obrobku a vysokou produktivitou. Také se této metody využívá při obrábění velmi tvrdých materiálů, mezi které patří ušlechtilé oceli, slinuté karbidy, sklo a keramické materiály [1].

### 1.1 Rozdělení broušení

Broušení lze rozdělit podle několika různých hledisek a použití. Každá třída se používá pro specifické potřeby obrábění. Rozdělení lze provést dle následujících hledisek:

- **Podle tvaru obrobeného povrchu,**
  - rovinné broušení:
 

tento proces slouží k vytváření přesných rovinných ploch. Předcházející operaci bývá nejčastěji frézování nebo hoblování, broušením lze nahradit frézování během obrábění obrobků z tvrdých materiálů [1],
  - broušení do kulata:
 

během procesu vzniká rotační válcová plocha. Využívá se axiální a radiální broušení. Obrobek lze upnout mezi hroty nebo pomocí sklíčidla. Předchozí operaci je ve většině případů soustružení [1],
  - broušení na otáčivém stole:
 

využívá se k rovinnému broušení, při kterém se obrobek postupně otáčí [1],
  - tvarovací broušení:
 

použití při výrobě tvarových prvků, závitů, ozubených kol [1],
  - kopírovací broušení:
 

broušení pro výrobu tvarových obrobků na číslicově řízených strojích [1],
  - broušení tvarovými broušicími kotouči:

tvár kotouče určuje vytvářený profil na obrobku. Broušení se provádí profilovými kotouči. Při použití běžného kotouče se provádí kopírovací pohyb kotoučem, nebo obrobkem [1].

- **Podle aktivní části kotouče,**
  - obvodové broušení:  
do procesu broušení se zapojuje pouze obvodová část brousícího kotouče [1],
  - čelní broušení:  
broušení probíhá čelem kotouče, které je buď kolmé, nebo pod velkým úhlem k ose brousícího kotouče [1].
- **Podle vzájemné polohy kotouče a obrobku,**
  - vnější broušení:  
broušení vnějšího povrchu obrobku jak při rovinném tak při broušení do kulata [1],
  - vnitřní broušení:  
broušení ploch ve vnitřních dutinách obrobku. Při vnitřním broušení se využívá rotace obrobku kolem své osy nebo v případě, kdy obrobek nelze upnout do sklíčidla, se používá planetové broušení [1].
- **Podle typu brousícího nástroje,**
  - pevným brusivem,  
jemná zrna brusiva jsou pevně spojena pomocí pojiva. Tímto se docílí potřebného přesného tvaru brousícího nástroje, např. kotouče, brusného tělíska nebo brousícího pásu [1],
  - volným brusivem,  
brusivo je při volném broušení v podobě jemného prášku. Pro vyvození řezného pohybu brusného prášku se využívá kapalina, ultrazvuk a jiné podobné metody. Využití při leštění a lapování [1, 2].

## 1.2 Brousící kotouče

Brousící kotouče jsou nejčastěji využívaným brousícím prostředkem. Jemná brousící zrna jsou pomocí pojiva stmelená do definovaného tvaru, především kotouče. Brousící kotouče se vyrábí a používají v různých tvarových a materiálových provedeních, podle potřebného použití [1].

### 1.2.1 Označování brousících kotoučů

Při označování podle normy ČSN ISO 525 (22 4503) se označování skládá z nejdůležitějších parametrů nástroje. Tedy z charakteristiky tvaru, rozměru, složení brousícího materiálu a maximální obvodové rychlosti [1].

### 1.2.2 Materiály a vlastnosti brousících kotoučů

- **Parametry volby brousícího kotouče,**
  - druh brousícího materiálu:  
druh brousícího materiálu se volí v závislosti na požadavcích na obrábění materiálu obrobku [1],

- zrnitost broušicího materiálu:
 

zrnitost je závislá na předepsaných požadavcích drsnosti obrobené plochy, čím jsou vyšší požadavky na drsnost, tím je zapotřebí jemnější zrnitost kotouče. Při broušení nekovových materiálů, mosazi, slitin mědi a hliníku se volí hrubší zrnitost. Označení zrnitosti odpovídá světlosti ok kontrolních sít [1,3],
- tvrdost broušicího materiálu:
 

znamená soudržnost hmoty, ze které je broušicí nástroj vyroben. Volba závisí na tvrdosti broušeného materiálu, tak aby bylo zajištěno plynulé uvolňování otupených zrn brusiva z nástroje, to znamená, že čím tvrdší materiál obrobku, tím měkčí broušicí nástroj [1],
- struktura broušicího materiálu:
 

struktura nebo také sloh se dá charakterizovat jako vzájemná vzdálenost mezi jednotlivými zrny v broušicím kotouči. Hutné broušicí materiály, tedy s malou vzdáleností jednotlivých zrn se využívají pro broušení tvrdých a křehkých materiálů. Pro houževnaté materiály jsou vhodnější kotouče s většími vzdálenostmi mezi zrny neboli pórovité. Tyto kotouče jsou také vhodné pro snížení zahřívání broušeného tělesa [1],
- pojivo broušicího materiálu:
 

pojivo vytváří mezi broušicími zrny pojivé můstky. Vlastnosti pojiva vytvářejí efekt samoostření. Používá se několik různých materiálů s různými vlastnostmi. Magnesitové pojivo se používá u jemného broušení bez vzniku tepelného ovlivnění součásti. Tyto kotouče jsou křehké a skladování ve vlhkém, kyselém i zásaditém prostředí snižuje pevnost. Dalším druhem je pojivo z umělé pryskyřice, které slouží pro hrubovací operace, řezání kovů, kamene a keramiky. Jsou odolnější vůči nárazům a bočnímu zatížení. Kotouče s pryžovým pojivem jsou vhodné pro jemné broušení a jako podávací kotouče u bezhrotého broušení [1],
- **materiály broušicích nástrojů,**
  - umělý korund,  $Al_2O_3$ :
 

vyrábí se tavením látek bohatých na oxid hlinitý v obloukové peci. Je vhodný především pro broušení materiálů s vysokou pevností v tahu. Při obrábění nedochází k chemickým reakcím obrobku a brusiva ani za zvýšených teplot [2],
  - karbid křemíku, SiC:
 

jedná se o sloučeninu křemíku s uhlíkem. Vyrábí se za vysokých teplot z křemenného písku a látek bohaté na uhlík, především koks a antracit. Karbid křemíku s obsahem alespoň 97 % SiC se používá pro obrábění slinutých karbidů. Pokud obsahuje méně než 95 % SiC, používá se pro šedou litinu, bronz, mosaz, slitiny hliníku a mědi [2],
  - diamant:
 

diamant se díky svým vynikajícím mechanickým vlastnostem řadí do skupiny supertvrdých materiálů. Díky vysoké pevnosti v tlaku, která je 4,7 GPa a mikrotvrdosti pohybující se od 7 000 do 10 000 HV, se často používá jako nástrojový materiál. Použití diamantu jako rezného materiálu je možné pouze při teplotách do 800 °C, jelikož po překročení této teploty dochází k přeměně

diamantu na grafit. Také se diamant nehodí pro obrábění oceli a litin, kde hrozí difuze uhlíku mezi nástrojem a obráběným materiálem. Naopak se diamant často používá pro obrábění hliníkových slitin, mosazi, bronzu, titanu a pro velmi tvrdé materiály jako je přírodní žula nebo uměle vyrobené slinuté karbidy [4],

- kubický nitrid boru,

je zástupce uměle vytvořených rezných materiálů, který má velmi tvrdou strukturu. Má také vyšší stabilitu při vyšších teplotách ve styku s železem. Tento materiál se používá pro ostření rezných materiálů. Je dobrým prostředkem pro obrábění kovaných, ušlechtilých, žárovzdorných a korozivzdorných ocelí. Měkké materiály snižují trvanlivost břitu. Je důležité zajistit stabilitu stroje a nástroje [1, 5, 6].

### 1.2.3 Tvar kotouče

Tvary brousicích kotoučů jsou rozděleny do mnoha tvarových skupin (viz příloha 1). Základními tvary jsou:

- hrncovitý,
- plochý,
- čelní plochý,
- obvodově čelní,
- miskovitý,
- talířovitý,
- kuželový.

### 1.2.4 Vyvažování brousicích kotoučů

Vyvažování spočívá ve vyrovnání skutečného těžiště kotouče s geometrickým středem, kterým také prochází osa otáčení. Cílem vyvažování je zamezit nežádoucí kmitání rotujícího kotouče. Nevyvážený kotouč způsobuje při vyšších otáčkách vibrace, které negativně ovlivňují přesnost broušení. Nevyvážení je způsobeno nehomogenním uspořádáním brousicích zrn, nebo mechanickým poškozením. Vyvážení se provádí přidáním chybějícího, nebo naopak odebráním přebytečného materiálu. Dobře vyvážený kotouč zajistí přesnou výrobu i při velmi vysokých otáčkách. Vyvažování dělíme na dva základní druhy: statické a dynamické. Při statickém vyvažování se používá speciální stojánek, vyvážení se provádí pomocí přenastavení vyvažovacích tělísek v drážkách přírub. Dynamické vyvažování se provádí na speciálním vyvažovacím stroji, který eliminuje momentové dvojice nevyvážených hmot. Některé brusky umožňují vyvažování přímo za chodu stroje [1] [2].

### 1.2.5 Orovnávání brousicích kotoučů

Broušení může probíhat, pokud na brousicím kotouči jsou ostrá zrna a jsou zde dostatečné mezery pro odvod třísek. Ve chvíli, kdy se zrna otupí a zalepí, může se stát, že se kotouč dokonale uhladí. V této chvíli přestává brousicí kotouč řezat a začíná pálit. Aby se docílilo obnovení tvaru zrn a vyčištění mezer, provádí se orovnáání. Orovnávání probíhá pomocí speciálních nástrojů. Orovnávání můžeme označit jako ostření brousicích kotoučů. Dalším důvodem orovnáání je získání speciálního tvaru kotouče pro tvarové broušení. Orovnávání

lze provádět přímo na CNC strojích, což není z hlediska vysokých nákladů na provoz stroje vhodné. Výhodnější je použití speciálních přístrojů pro orovnávaní. Tyto stroje mohou mít různý stupeň automatizace. Proces orovnávaní lze též popsat jako jemné obrábění povrchu kotouče, při kterém dochází na povrchu k obnově řezné vrstvy, toto se provádí především vylamováním, tříštěním a přeřezáním zrn. Při orovnávaní je zapotřebí odebrat co nejmenší množství materiálu, 0,05 až 0,15 mm při jednom orovnávaní. Orovnávaní lze provádět nástroji z diamantového prášku, tužkovými diamantovými orovnávači, nebo orovnávaním bez použití diamantů [2, 7, 8].

Orovnávače brousicích kotoučů:

- **diamantové orovnávače:**

jedná se o přesnější, ale poněkud dražší prostředky. Orovnávací prvek je přírodní, nebo průmyslový diamant, vsazený v měděném pouzdře do ocelového držáku. Díky malé styčné ploše mezi diamantem a kotoučem vznikají malé síly, to zajistí přesný geometrický tvar kotouče [2, 7],

- **orovnávaní bez použití diamantů:**

jedním z nejjednodušších orovnávacích zařízení je soustružnický nůž. Slouží k odebrání nežádoucího materiálu a hrubému tvarování. Tento způsob není příliš přesný. Dalším orovnávacím nástrojem je brousicí kotouč, jehož brusivem je karbid křemíku spojený keramickým brusivem, přičemž zrnitost je hrubší než u orovnávaného brousicího kotouče, také je důležité zajistit vyšší tvrdost orovnávacího kotouče. Orovnávaní brousicího kotouče s diamantovým brusivem nebo s brusivem z kubického nitridu boru se provádí při zanesení, nepravidelném opotřebení brousicí vrstvy nebo při tvarování tvarových kotoučů. Diamantové brousicí kotouče se orovnávaní měkkými brusky nebo kotouči z karbidu křemíku. Zrnitost orovnávacího kotouče se volí podle druhu pojiva v orovnávaném kotouči [2, 7].

Samoostření brousicích kotoučů je optimální stav kotouče, kdy dochází k plynulému ostření kotouče, pomocí vylamování otupených zrn brusiva. Tento proces je schopen fungovat jedině při dodržení ideálních podmínek jako volba brusiva, slohu, pojiva, zrnitosti, ale také obvodové rychlosti. Za těchto podmínek by se zrna vylamovala dříve než by došlo k jejich otupení a tím by se zabránilo pálení kotouče. Samoostření je však proces, který není vždy ideální, dochází při něm k velmi rychlému úbytku brousicí vrstvy. Častěji využívána je tedy volba tvrdších kotoučů, které se pravidelně orovnávaní, tím se docílí vyšší životnosti kotouče [7].

## 1.3 Teorie slinutých karbidů

Slinuté karbidy jsou výsledek vývoje řezných materiálů. Vyznačují se přítomností tvrdých karbidických částí. Hlavními složkami slinutých karbidů je karbid wolframu, kubické karbidy TiC, TaC, NbC a kobalt (Co) [4].

### 1.3.1 Historie slinutých karbidů

Pro rozvoj výroby slinutých karbidů nejvíce přispělo zjištění, že funkční vlastnosti rychlořezných ocelí jsou zajištěny přítomností velmi tvrdých částic v kovové matici. Největší význam mají částice WC. Snaha tedy směřovala k vytvoření materiálu s vysokým podílem těchto částic. Vysokého procenta karbidických částí mohlo být docíleno až po zvládnutí výroby práškovou metalurgií. Výroba slinutého karbidu byla uvedena v roce 1926 firmou Krupp pod označením WIDIA (W<sub>I</sub>e – DIAmant = jako diamant). Tento materiál byl velmi dobrý pro obrábění barevných kovů a litin, bylo možné dosáhnout daleko vyšších řezných rychlostí než u řezných ocelí. Při obrábění oceli však velmi rychle vznikal výmol na čele a celková životnost nástroje nebyla vysoká. Proto byly vytvořeny slinuté karbidy na bázi dvou karbidů. Dalším směrem vývoje bylo přidávání kubických karbidů TiC, TaC nebo NbC do slinutého karbidu WC-Co [4].

### 1.3.2 Výroba slinutých karbidů

Slinuté karbidy se vyrábí procesem, který se nazývá prášková metalurgie. Podstatou této technologie je lisování směsí karbidických částic s práškem kovového pojiva. Slinování probíhá při teplotě blízké teplotě tavení pojiva. Tímto vznikne kompaktní materiál, který tvrdostí odpovídá tvrdosti výchozích karbidů, také se vyznačuje vysokou pevností [4].

Postup výroby lze popsat v několika krocích:

- výroba práškového wolframu,
- výroba práškových karbidů,
- příprava směsí prášků,
- formování směsí,
- předlisování zformovaných směsí,
- slinování,
- vysokoteplotní izostatické lisování,
- dodatečné úpravy povrchu [4].

### 1.3.3 Rozdělení slinutých karbidů

V současné době rozdělujeme běžné, nepovlakované, slinuté karbidy do několika skupin, které jsou vytvořeny na základě jejich ideálního využití. Každá skupina je označena písmenem a barvou [4]:

- skupina K, označení červenou barvou. WC + Co + (TaC.NbC):  
tato skupina slinutých karbidů je přednostně určena pro obrábění materiálů s krátkou drobnou třískou, jako jsou litiny, nezelezné slitiny a nekovové materiály. Strukturní

složkou této skupiny je karbid wolframu, ten má za teploty kolem 20 °C přibližně stejnou tvrdost jako TiC, ale se zvyšující se teplotou velice rychle ztrácí tvrdost. Proto jsou vhodné pro materiály s krátkou třískou, která rychle odchází a nezatěžuje nástroj [4],

- skupina P, označení modrou barvou, WC + TiC + Co + (TaC.NbC):

je určena pro obrábění materiálu vytvářející dlouhou třísku. Typickým představitelem obráběného materiálu je uhlíková, slitinová a feritická korozivzdorná ocel. Dlouhá tříška způsobuje delší styk třísky s nástrojem, tedy vyšší zahřívání. Odolnost vůči difúzi za vyšších teplot umožňuje přítomnost přísady TiC. Příklad TiC má také vlastnost zvyšující tvrdosti s rostoucí teplotou. Nevýhodou této skupiny je vyšší křehkost [4],

- skupina M, označení žlutou barvou, WC + TiC + TaC.NbC + Co:

tato skupina má univerzální využití díky své poměrně vysoké houževnatosti. Používají se pro hrubovací operace nebo pro přerušované řezy při obrábění materiálů se střední, nebo dlouhou třískou. Představitelé obráběného materiálu touto skupinou jsou lité oceli, austenitické korozivzdorné oceli a tvárné litiny [4],

- skupina N, označení zelenou barvou. Tato skupina je určena pro obrábění materiálů z neželezných kovů a kompozitních materiálů [4],
- skupina S, označení hnědou barvou. Přednostně určeno pro obrábění speciální žárupevné slitiny na bázi niklu, kobaltu, železa, titanu a superslitin typu Inconel [4],
- skupina H, označení šedou barvou. Skupina je vhodná pro obrábění ocelí zušlechťených na tvrdost HRC 48-60 a tvrzených litin [4].

### 1.3.4 Povlakování slinutých karbidů

Zavedení tenkých vrstev povlaku z tvrdého materiálu bylo jedním z významných kroků ve vývoji slinutých karbidů. Povlak, který měří 7- 12 μm, velmi zvyšuje výkonost nástroje. Díky povlaku lze zvýšit řeznou rychlost a trvanlivost břitu.

Materiály pro povlakování jako karbid titanu (TiC) a oxid hlinitý (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) vytvoří velice tvrdou vrstvu, která zajistí vznik fyzikální a chemické bariéry, ta zlepšuje odolnost vůči opotřebení a chemickou stabilitu. Nitrid titanu (TiN) sníží na čele nástroje součinitel tření, tím sníží opotřebení. Nitrid titanu také dodá nástroji atraktivní zlatou barvu. Dnešní moderní povlakovací technologie umožňují nanést na nástroj kombinaci různých povlakovacích materiálů tzv. vícevrstvý povlak. Při vícevrstvě povlaku se nejprve nanáší vrstvy s lepší přilnavostí k podkladu, ale s nižší odolností proti opotřebení. Teprve poslední vrstvy tvoří tvrdší povrch, ale nemají dobrou přilnavost [4, 6].

Tvrdost povlaku vyplývá ze struktury materiálu. Povlak, který je tvořen tenkou vrstvou, má vyšší tvrdost než tentýž homogenní materiál. Tato vlastnost je způsobena nepřítomností pojiva, materiál má i o několik řádů jemnější zrnitost bez pórů a dutin [4].

Nanášení povlakové vrstvy se provádí metodou CVD a PVD:

- metoda CVD,

jedná se o chemické napařování plynné fáze. Tato metoda patří mezi hlavní metody povlakování slinutých karbidů. Proces probíhá za vysokých teplot, které se pohybují kolem 1000 °C, z čehož plyne použití pouze pro materiály, které nepodléhají teplotnímu ovlivnění. Výhodou této metody je vysoká přilnavost na podklad



---

a možnost nanesení vrstvy o vyšší tloušťce, 10-13 $\mu$ m. Metoda je schopna nanést povlak na složité tvary, ale neumožňuje povlakovat ostré hrany [4].

- Metoda PVD,

metoda je založena na fyzikálním napařování. Proces je prováděn na nižších teplotách než u metody CVD. Teploty se pohybují mezi 350 až 600 °C, což umožňuje také použití pro nástroje vyrobené z rychlořezné oceli. Hlavní výhodou této metody je schopnost povlakovat ostré hrany. Vyžaduje však pracnější přípravu podkladové plochy a umožňuje povlakovat jen vrstvy o tloušťce 5  $\mu$ m [4].

### 1.3.5 Použití slinutých karbidů

Oblast použití slinutých karbidů zahrnuje širokou škálu procesů. Tento materiál má nejširší využití v oblasti střední tvrdosti a houževnatosti. Využívají se jak pro jemné, tak pro hrubovací obrábění různorodých materiálů. Slinuté karbidy se využívají především při soustružení, frézování a vrtání. Nástroje vyrobené z tohoto materiálu se mohou používat jak ve formě monolitních nástrojů jako vrtáků a fréz tak, v podobě vyměnitelných břitových destiček. Při použití vyměnitelných břitových destiček se používá těl nástrojů z nástrojové oceli, do kterých jsou vloženy břitové destičky. Upevnění břitových destiček je buď pevné pomocí letování, nebo rozebíratelné pomocí systémů šroubů, kolíků a upínek [4].

### 1.3.6 Broušení slinutých karbidů

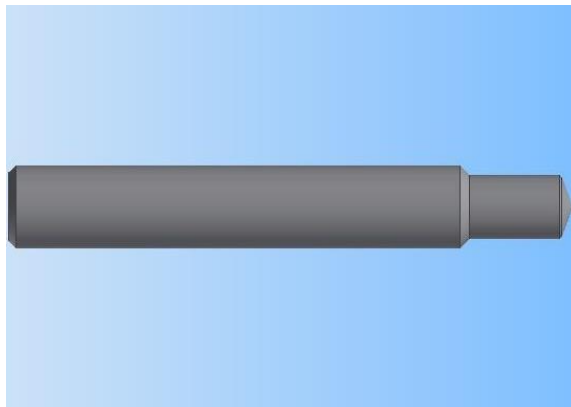
Při broušení slinutých karbidů se nejlépe prosadil diamantový brousící kotouč. Kvalita broušení závisí na druhu pojiva, koncentraci brusiva a řezných podmínkách. Pro dokončovací operace broušení slinutých karbidů se používají diamantové brousící kotouče s organickými pojivy B1 a B156. Tato pojiva mají vysokou schopnost samoostření. Pro hrubovací operace se používají kotouče s pojivy M5. Tyto zaručují vysoký úběr slinutého karbidu. Hrubovací kotouče mají více jak trojnásobnou produktivitu než kotouče dokončovací, volba závisí na požadované drsnosti obráběné plochy [2].

## 2 KONSTRUKCE VRTÁKU

Konstrukce vrtáku vychází z požadavku zákazníka na potřebu vrtat daný otvor. Výchozím podkladem pro konstrukci je výrobní výkres vyráběného dílce (viz příloha 2). Podle geometrie vrtaného otvoru se dále upravuje tvar vrtáku. Stupňovité povedení vrtáku se volí za účelem snížení výrobních strojních časů. Důležitými faktory při výrobě jsou přesnost obráběného prvku, rychlost výroby, cena a životnost nástroje, proto je snaha najít optimální kombinaci těchto faktorů.

### 2.1 Kontura nástroje

Celkový tvar vrtáku vychází jednak z požadavku na tvar obráběného prvku obrobku, ale také ze snahy o co nejnižší cenu. Konstruovaný vrták má největší rozměr na zahloubení, a to 11 mm. Nejbližší vyšší průměr polotovarové tyče je 12 mm, z toho také vychází průměr druhého stupně vrtáku. Broušení na průměr 11 mm by bylo zbytečně nákladné. Délka 82 mm je dána jako nejkratší možná pro dodržení podmínek bezpečného upnutí v upínači stroje, plynulého odvodu třísky a procesní kapaliny od obrobku. Zároveň je to rozměr, při kterém bude možné z polotovarové tyče vyrobít 4 kusy, bez vytvoření zbytkového odpadního materiálu. Což také odpovídá snaze snížení ceny vrtáku. Jelikož na stroji, který bude provádět vrtací operace tímto nástrojem, chybí možnost korekce délky nástroje, musí zde být předepsána tolerance celkové délky. Celková délka je tedy  $82 \pm 0,1$  mm.



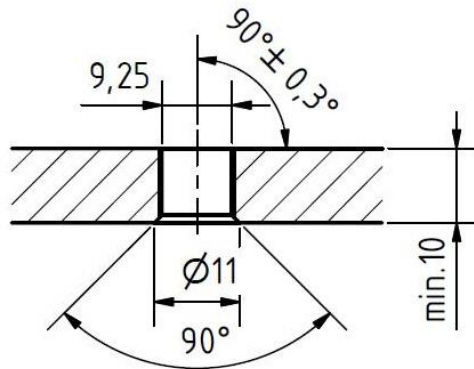
Obr. 1 Kontura nástroje

### 2.2 Tvar činné části

Nutnými vstupními informacemi pro návrh nástroje jsou velikost a tvar obrobku před a po operaci vykonané navrhovaným nástrojem, obráběný materiál, včetně způsobu tepelného zpracování, povrchové úpravy, ale i mechanické vlastnosti, především tvrdost. Vrták je navrhován tak, aby co nejlépe a nejpresněji dokázal obrobek daný otvor [9].

Dle podkladu obráběného dílce se jedná o nástroj, který bude vrtat čtveřicí děr pro tvářený závit M10 (viz příloha 2). Jedná se o otvor s průměrem 9,25 mm a zahloubením pod úhlem  $45^\circ$ . Konstrukce stupňovitého vrtáku nahrazuje použití dvou nástrojů, a to vrtáku a záhlubníku, čímž šetří strojní čas.

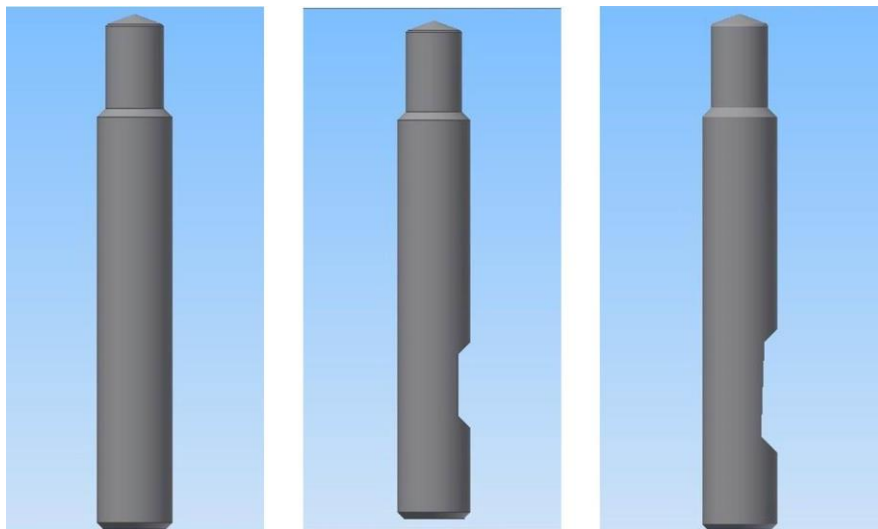
Průměr jádra je 25-50% průměru vrtáku. V tomto případě 30 % z průměru prvního stupně vrtáku, tedy 2,775 mm. Stoupání šroubovice 25° je standardní pro obrábění pevnějších materiálů, které tvoří kratší třísku [10].



Obr. 2 Detail vrtané díry

## 2.3 Tvar stopky

Délka stopky je dána podmínkou bezpečného upnutí vrtáku v upínacím zařízení stroje. Pro tento nástroj je zvolena hladká válcová stopka. Označení této stopky je HA. Stopka HA je určena pro použití hydraulického nebo tepelného upínače.



Obr. 3 Upínací stopky; hladká, Weldon, Whistle Notch.

### 2.3.1 Mechanické upínače

Tyto upínače jsou využívány pro jednoduchou obsluhu a univerzální použití. Nevýhodou však je nedostatečná upínací síla a vysoké radiální házení. Při použití mechanických upínačů hrozí uvolnění nástroje z kleštin při obrábění [9].

### 2.3.2 Hydraulické upínače

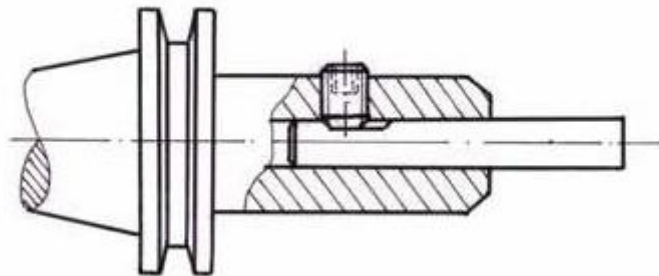
Hydraulické upínací zařízení pracuje na základě působení tlaku kapaliny. Šroub působí na hydraulickou kapalinu, která způsobí pružnou deformaci ve vnitřní upínací části. Při použití vhodných redukcí lze hydraulické upínače použít pro různé průměry nástrojů. Výhodou tohoto systému je přesné a pevné upnutí nástroje a minimální házení. Hydraulické upnutí také dokáže dostatečně tlumit vibrace. Také se vyznačuje rychlou a snadnou obsluhou [11].

### 2.3.3 Tepelné upínače

Pracují na základě tepelné roztažnosti kovů. Při ohřevu upínacího pouzdra dojde k roztažení kovu. V této chvíli se do upínače vloží nástroj a těleso se ochladí. Po ochlazení a smrštění kovového těla dojde k pevnému a přesnému upnutí. Pro vyjmutí nástroje je zapotřebí opět upínač ohřát, aby došlo k rozepnutí upínače. Nevýhodou tohoto systému je poměrně dlouhá doba upínání, asi 35 sekund, při kterém jsou pouzdra velmi horká. Pevné upnutí také přenáší nežádoucí vibrace na stroj [11].

### 2.3.4 Weldon a Whistle-Notch upínače

Jedná se o mechanické upínače, při kterých upnutí dopomáhá šroub působící na rovinnou plochu na nástroji. Toto upínání je oblíbené především u hrubovacích operací frézování. Výhodou je snadné a rychlé upínání. Nevýhodou je však nutnost použití různých upínacích hlavíc pro různé průměry stopek nástrojů. Také upínací šroub vytlačuje nástroj mimo osu upínače. To způsobuje házení a vibrace nástroje. Pro tento systém je také nutné použít nástroje s připravenou upínací plochou, která je dána normou [11, 12].



Obr. 4 Upínání Weldon [12]

## 2.4 Volba materiálu

Pro výrobu rotačních nástrojů typu vrták, fréza, záhlubník a dalších se volí výchozí polotovary ve formě polotovarové tyče. Tyto tyče délky 330 mm jsou výrobcem dodávány ve dvojitě provedení. Prvním provedením je požadovaný průměr tyče s přídatkem na dokončovací broušení. Tento polotovar se volí v případě potřeby vyšší přesnosti finálního povrchu než h6 a je nutno ho zohlednit při přípravě výroby na brusce na kulato. Druhým provedením je tyč v požadovaném průměru s tolerancí h6, tato varianta šetří výrobní čas, kdy není třeba tento povrch upravovat. Jelikož výrobní stroj, na kterém se bude vrták používat, umožňuje středové

chlazení, volí se polotovar se dvěma vnitřními kanály. Chladicí kanály jsou stočené ve šroubovici, tak aby bylo možné vyrobít drážky vrtáku.

Pro výrobu tohoto stupňového vrtáku byl zvolen polotovar s označením:

30 G2 1200/6,3/1,7/65,3-330 CTS 20D [13]

- 30 - úhel šroubovice chladících kanálků,
- G2 - 2 chladicí kanálky,
- 1200 -  $\phi 12$  mm,
- 6,3 - roztečná kružnice chladících kanálků,
- 1,7 -  $\phi 1,7$  mm chladících kanálků,
- 65,3 - stoupání šroubovice chladících kanálků,
- 330 - celková délka polotovarové tyče,
- CTS 20D - norma kvality, dle ISO K20-K40 [13].

Složení a vlastnosti zvoleného materiálu:

CERATIZIT značení	ISO značení	Pojivo [%]	Hustota [g.cm <sup>-2</sup> ]	Tvrдость [HRA]
CTS20D	K20-K40	10	14,38	91,9

Tabulka 1 Složení a vlastnosti materiálu [13]

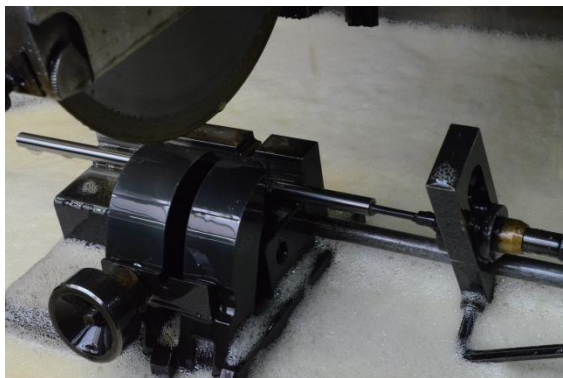
### 3 TECHNOLOGICKÝ POSTUP

Výroba vrtáku se dělí do jednotlivých technologických kroků tak, aby byla zajištěna pokud možno co nejefektivnější výroba. Cílem technologického postupu je sestavit vhodný plán výroby, který umožní vhodné podmínky výroby, vytížení výrobních strojů, volbu nástrojů a optimálního ekonomického průběhu výroby.

#### 3.1 Dělit materiál

Zvolený materiál je nutno dělit na potřebnou délku podle výrobní dokumentace. Musíme dbát na kvalitu u řezané plochy, zabránění prasknutí a efektivitu procesu. Pro menší výrobu, které odpovídá kusová výroba speciálních nástrojů, je vhodné zvolit poloautomatickou děličku. Jelikož se jedná o výrobu ze slinutého karbidu je nutno volit dělení pomocí řezacího kotouče. Příkladem vhodného stroje v daných podmínkách je třeba již využívaná poloautomatická řezačka Anton Wimmer TM 374. Tento univerzální stroj umožňuje řezání různých materiálů, především však kruhového průřezu. Ve stroji je umístěno spolehlivé tří bodové upínání obrobku (obr. 5), které zabrání vylamování a odštěpům. Stroj lze také osadit pneumatickým upínáním. Pohon řezného kotouče je zajištěn servopohonem. Pracovní výšku lze volně programovat, je možné bezpečně sjet k obrobku rychloposuvem a jen pracovní část provést pracovním posuvem. Během procesu je obrobek i kotouč chlazen procesní kapalinou. Chlazení je možno provádět z vlastního zásobníku procesní kapaliny, nebo stroj připojit k centrálnímu olejovému hospodářství [14].

Dle výrobního výkresu je třeba polotovar dělit na délku  $82 \pm 0,1$  mm.



Obr. 5 Upnutí obrobku v řezačce.



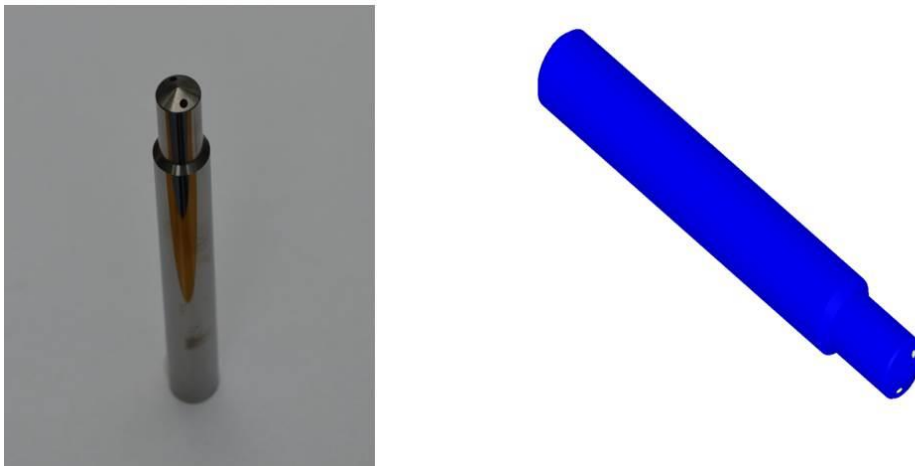
Obr. 6 Poloautomatická řezačka.

### 3.2 Brousit na kulato

Broušení na kulato je první brousicí operací výrobního procesu. Při této operaci se provede buď broušení na požadovaný průměr při potřebné vyšší přesnosti, kdy byl polotovár dodán s přídávkem, nebo se připraví různé průměrové stupně u nástroje, který je odstupňovaný.

V našem případě se připraví osazení prvního stupně a potřebný úhel na špici nástroje. Broušení z důvodu dodržení rozměrové přesnosti je nutné provádět na CNC bruskách. Můžeme se rozhodovat mezi dvěma dostupnými stroji. Jedním strojem je Junker Grindor Allround. Tento stroj je určen pro výrobu rotačních součástí, především však hřídelí. Stroj je plně programovatelný a vyznačuje se širokým rozsahem délek a průměrů obrobku. Druhým strojem je bruska Reinecker SF40. Tato bruska je určena pro obrábění vrtacích nástrojů ze slinutých karbidů. Stroj se vyznačuje velkou tuhostí a vysokou přesností. Bruska má 3 řízené osy a umožňuje obrábět do průměru obrobku 32 mm při broušení upnutím do sklíčidla. Při použití letmého broušení je nutno obrobek přesně upnout a toto upnutí ověřit pomocí číselníkového úchylkoměru. Volba stroje vychází z požadavku na přesnost výrobku a drsnost povrchu, proto je vhodnějším strojem Reinecker SF40, který se vyznačuje vyšší tuhostí a dokáže zajistit vhodnější řezné podmínky [15, 16].

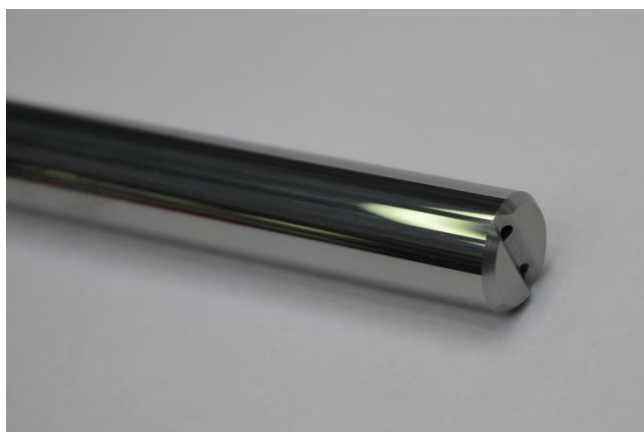
V tomto případě se v procesu připraví osazení dle výrobního výkresu na průměr 9,25 mm. Dalším krokem je broušení úhlů. Jedná se úhel špice, který je  $140^\circ$ , a zkosení  $70^\circ$  v délce 0,4 mm. Posledním úhlem je přechodové zkosení mezi průměry 9,25 mm a průměrem 12 mm, tento přechod později vytvoří druhé ostří, které bude při vrtání srážet hranu na obrobku.



Obr. 7 Polotovár po broušení na kulato.

### 3.3 Probrousit propojení chladících kanálků

Při obrábění nástroji ze slinutých karbidů se často upravuje prostředí v řezné zóně. Vhodnou úpravou prostředí v oblasti řezu lze docílit zvýšení hospodárného úběru o 50 až 200% oproti obrábění v suchém prostředí. Hlavními požadavky na procesní kapaliny jsou chladicí, mazací, čistící a ochranné účinky. Úpravou řezného prostředí lze výrazně prodloužit životnost nástroje a zlepšit kvalitu obrobenej plochy. Pro přívod procesní kapaliny do řezné zóny se používají kanálky v těle nástroje. Toho se využívá převážně při vrtání hlubokých děr nebo těžko obrobiteľných materiálů. Řezná kapalina je přiváděna tlakem ke stopce vrtáku, aby se docílilo stejnoměrného proudění procesní kapaliny do obou kanálků v těle nástroje je zapotřebí probrousit kanálky ve stopce. Pro snazší upínání nástroje a z důvodu menšího opotřebení kleštin je také nutné zkosit hranu [5].

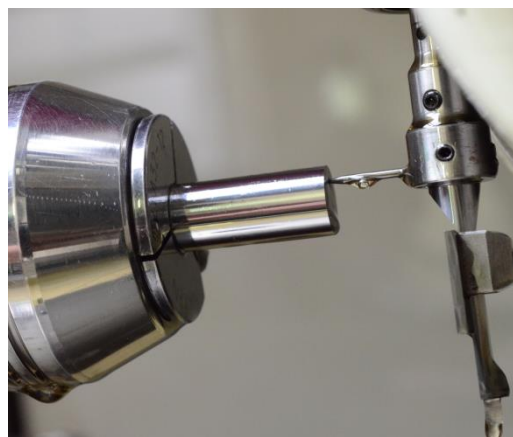


Obr. 8 Probroušení chladících kanálků.

Polotovaru je nutno do stroje spolehlivě upnout pomocí kleštin a kleštinových upínačů. Důležitým prvkem před zahájením procesu je zjištění polohy polotovaru a pozice chladících kanálků. Zaměření provede mechanická sonda.



Obr. 9 Zaměření polotovaru.



Obr. 10 Zaměření pozice chladících kanálků.

Pro tuto operaci opět můžeme vybírat z několika vhodných strojů. K dispozici jsou stroje firmy SAACKE, které patří mezi špičku výrobců CNC strojů. Mezi strojní vybavení firmy patří 5osé brusky UW I D, UW I E, UW I F a UW I G. Jelikož všechny tyto stroje disponují 5 řízenými osami, lze na každé z uvedených CNC brusek zhotovit celý nástroj. Z hlediska ekonomičnosti jsou stroje určeny pro různé operace. Každý ze strojů má různé vybavení a každý umožňuje nastavení různého počtu brousicích kotoučů. Neposledním kritériem volby stroje je samotná vlastní tuhost stroje a kvalita obsluhy. Bruska UW I E je tuhostí a vybaveností předurčena pro jednodušší přípravné procesy. Tedy vhodná pro tuto operaci.



### 3.4 Brousit

Samotné broušení, tedy hlavní výroba vrtáku, se provádí na 5osé CNC brusce. Volba tohoto stroje vychází z potřeby dodržet přesnost a efektivitu výroby. Výhodou těchto strojů je vysoká automatizace výrobního procesu, tedy odstranění nutnosti nepřetržité obsluhy. Při broušení slinutých karbidů je nutno využít tuhý stroj, z důvodu zabránění poškození materiálu. Programovací řídicí systém umožňuje na strojích vyrobit specifické ať již tvarové, stupňové nebo vícebřité nástroje. Software navádí obsluhu stroje při tvorbě řídicího programu, nabízí vhodné nebo dostupné brousící kotouče, umožňuje vytvářet 3D simulace a kontrolu kolizí [17].



Element	Operace	Kotouč	Posuv	Rueme
1	Dráčka ruční	mar1	80.0	Rueme
2	Dráčka 1	D-194	80.0	Rueme
3	Dráčka V2	D-194	120.0	Rueme
4	Dráčka	R-1173-0_kaple	40.0	Rueme
5	Ment pozicovan			Rueme
6	Podřívus	D-194_0haha_jaha	60.0	Rueme
7	Zábřv nebo stupne	D-8	50.0	Rueme
8	Stupen zapachu	D-8-1	50.0	Rueme
9	Vypřicovani	D-10	20.0	Rueme
10	Vypřicovani V3	D-12	20.0	Rueme
11	Plochy 2	D-71	70.0	Rueme
12	Plochy 1	D-71	35.0	Rueme
13	Face 18 vřvna plocha 2	D-71	50.0	Rueme
14	Face 18 vřvna plocha 1	D-71	20.0	Rueme

Obr. 11 Řídicí CNC program.

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.3 tento proces lze provést na všech CNC bruskách ve firmě. Zohledníme-li určení stroje UW I E pro přípravné operace, zbývají 3 dostupné stroje. Jelikož tento stupňovitý vrták patří mezi ty jednodušší, je vhodné tuto výrobu provést na stroji UW I F.



Obr. 12 CNC UW I F a UW I E [16].

Tento stroj disponuje dostatečnou tuhostí a umožňuje ustavit potřebný počet brousících kotoučů na to, aby bylo možné celý nástroj zhotovit bez potřeby zastavení procesu a ruční výměny brousících kotoučů.



Obr. 13 Upnutí brousících kotoučů.

### 3.4.1 Upnutí a zaměření polotovaru

Prvním nutným krokem výroby je upnutí polotovaru. Upnutí se provádí pomocí kleštin. Toto upínání zajistí přesné a stabilní ustavení. Nutným krokem je také přesné zaměření polohy polotovaru v kleštinách. Přesné polohy se při ručním upínání nedá docílit, je tedy nutné tuto polohu zaměřit mechanickou sondou. Důležité je také zaměření pozice chladících kanálků, tak aby při broušení drážky vrtáku nedošlo k porušení chladicího kanálku. Pro zaměření se používá sonda pro ustavování a měření obrobku RENISHAW LP2, což je standardní dotyková sonda. Tato sonda je prioritně určená pro měření v omezeném prostoru [19].

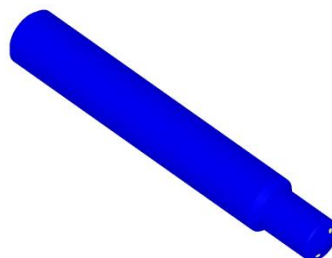


Obr. 14 Dotyková sonda RENISHAW LP2.

### 3.4.2 Poloha chladících kanálků

První krok řídicího programu odpovídá operaci s názvem „drážka ručně“. Názvy operací programu vychází z volného překladu názvů softwaru NUMROTOplus.

Operace s názvem „drážka ručně“ je jen simulační položkou v programu, není zahrnuta ve výrobě. Slouží k simulování polohy chladících kanálků v materiálu. Jedná se o ruční definování.

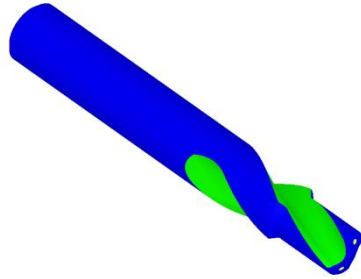


Obr. 15 Simulace chladících kanálků, NUMROTOplus.

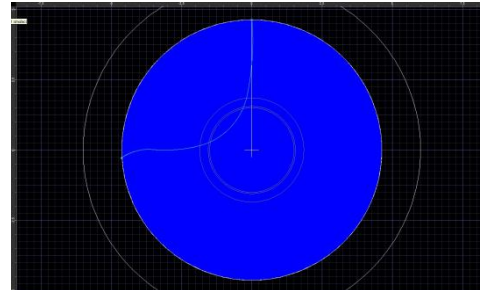
### 3.4.3 Brousit drážku

Bod odpovídá programové operaci drážka.

V této operaci se zhotovuje šroubovitá drážka. Jedná se o první, tedy hrubé, vybroušení tvaru šroubovice. Na obr. 16 znázorněno zelenou barvou.



Obr. 16 Broušení drážky.



Obr. 17 Profil drážky.

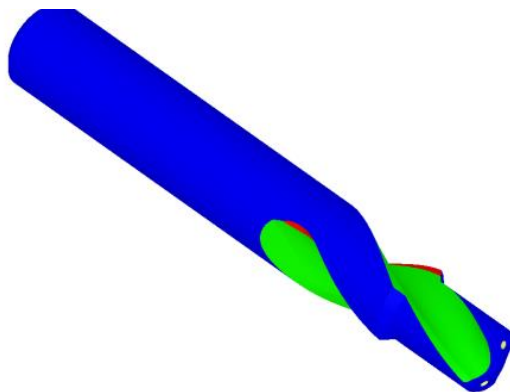
Broušení se provádí kotoučem s označením D-194, (obr. 18). Kotouč je orovnan do specifického, definovaného tvaru tak, aby bylo dosaženo požadovaného profilu. Kotouč je určen pro velké úběry materiálu. Jelikož se jedná o hrubovací operaci, kotouč podléhá rychlému opotřebení, a proto nelze zajistit přesný tvar během celé série, a bude třeba tuto drážku obrábět ještě jednou pro docílení požadovaného tvaru a drsnosti.



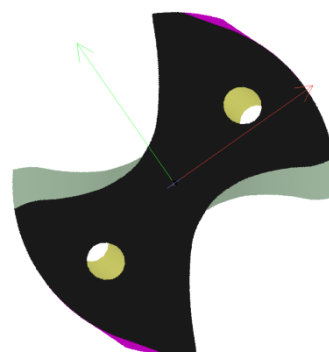
Obr. 18 Brousící kotouč D-194.

### 3.4.4 Zapevnit drážku

Krok v programu s názvem drážka V2, je proces broušení drážky. Jedná se o zatupení drážky. Na obr. 19 znázorněno červenou barvou.

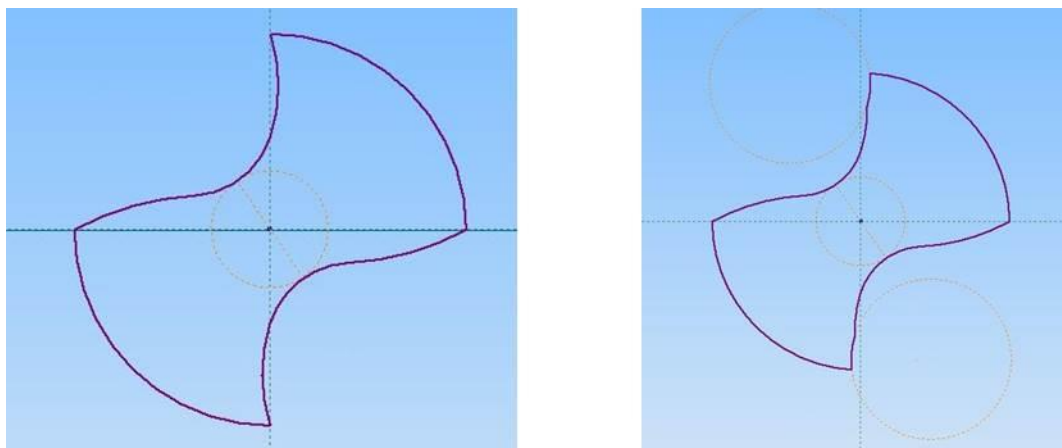


Obr. 19 Zapevnění drážky.



Obr. 20 Průřez drážkou vrtáku.

Jelikož vyráběným nástrojem je vrták, nejedná se zde o ostří. Obráběný materiál, slinutý karbid je velmi křehký, je tedy nutné zohlednit tuto vlastnost při výrobě. Cílem této operace je otupení hrany šroubovice tak, aby se docílilo vyšší pevnosti nástroje a zamezilo se vyštipování vedlejšího ostří. Pokud by tento stupňovitý vrták byl vyroben z běžné rychlořezné oceli, tohoto kroku by nebylo zapotřebí.

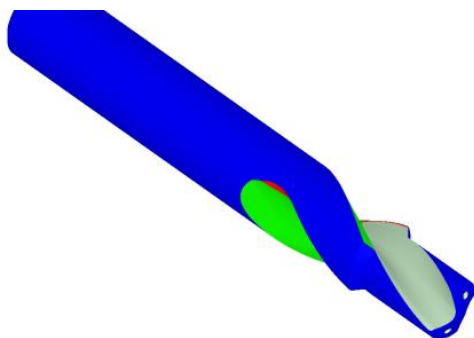


Obr. 21 Schématické znázornění zapevnění drážky.

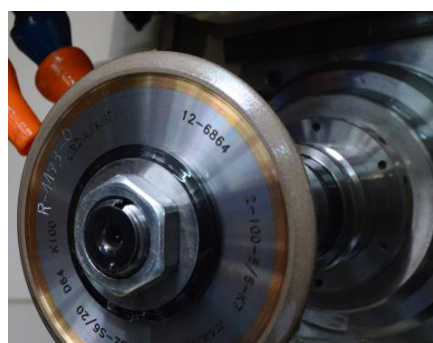
Tato operace se provádí pomocí kotouče D-194 (obr. 18), stejně jako v operaci brousit drážku.

### 3.4.5 Dokončit drážku

Proces dokončit drážku je dokončovací operace broušení drážky. Odpovídá programu drážka. Dosáhne se zde přesného požadovaného tvaru. Používá se kotouč s označením R-173-0 (obr. 23) jedná se o kotouč s přesně definovaným tvarem. Na obr. 20, obrábění znázorněno šedou barvou.



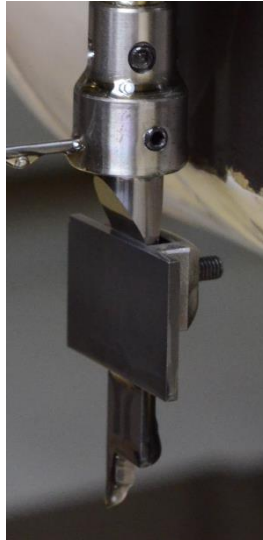
Obr. 22 Dokončení drážky.



Obr. 23 Brousící kotouč R-173-0.

### 3.4.6 Měřit pootočení

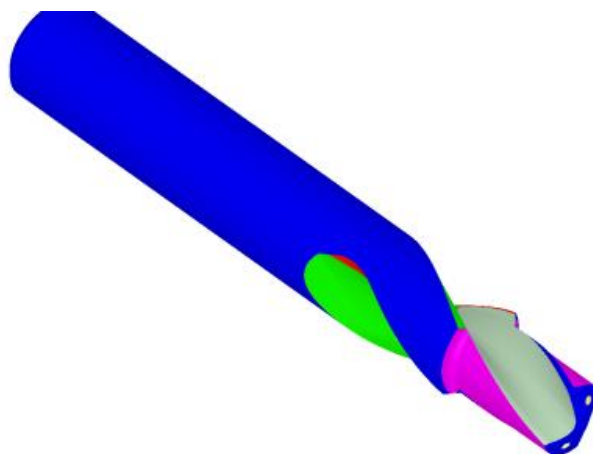
Během výroby dochází stále k výskytu nepřesností, přestože CNC stroje pracují velice přesně, nedokáží eliminovat veškeré negativní vlivy. Aby se zamezilo dalšímu šíření a navazování nepřesností, je zapotřebí znovu zaměřit obrobek. Zaměření se provádí pomocí mechanické nástrojové sondy, stejně jako před zahájením první operace. Tentokrát se však nezaměří chladicí kanálky, ale již vyrobené drážky. K změřeným drážkám se přesně zaměří následující operace tak, aby byla zajištěna co nejvyšší přesnost.



Obr. 24 Nástrojová sonda RESISHAW LP2.

### 3.4.7 Brousit odlehčení

V této operaci se zhotovuje válcová plocha (na obrázku znázorněna růžovou barvou). Vzniká fazeta. Tato plocha není zcela válcová, musí mít částečný tvar kužele, a to tak, že průměr u stopky je menší už u špice vrtáku, tzv. padání. Zpětná kuželovitost je zavedena z důvodu zamezení zadírání vrtáku ve vrtaném otvoru. Hodnota zpětné kuželovitosti je 0,3 mm na 100 mm délky, tato hodnota vychází ze zkušeností firmy Rotana. Operace je znázorněna na obr. 25 růžovou barvou.



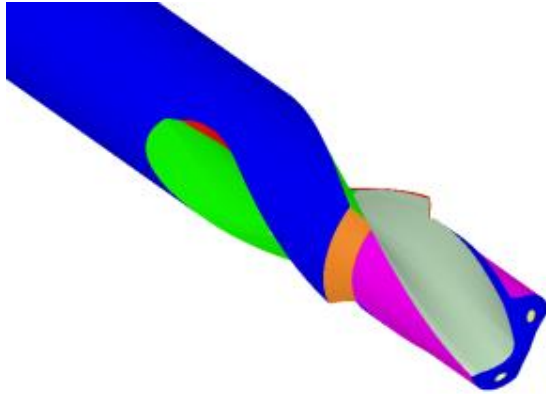
Obr. 25 Broušení odlehčení.

Podbrus se provádí kotoučem určeným pro velký úběr materiálu s označením D-194 (obr. 18). Jelikož do procesu vrtání se zapojuje pouze válcová fazeta, která slouží k vedení vrtáku ve vrtaném otvoru, není nutné tuto část obrábět dokončovacím kotoučem.

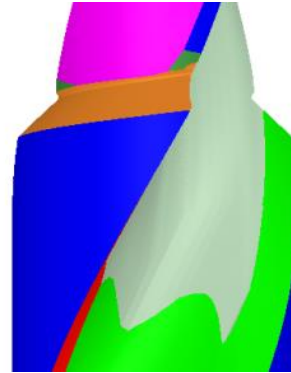
### 3.4.8 Brousit ostří 2. stupně

Tato operace odpovídá názvu procesu zdvih čela stupně, což je pracovní označení operace.

V této operaci se vyrábí druhé ostří, které je umístěno mezi jednotlivými stupni. Na obrázku znázorněn oranžovou barvou. Aby byl vrták schopen tímto ostřím obrábět, nesmí být přechodová plocha mezi stupni kuželová, musí být radiálně podtočená ke stopce vrtáku. Znázorněno na obr. 26 oranžovou barvou.



Obr. 26 Zdvih čela stupně.



Obr. 27 Detail zdvihu stupně.

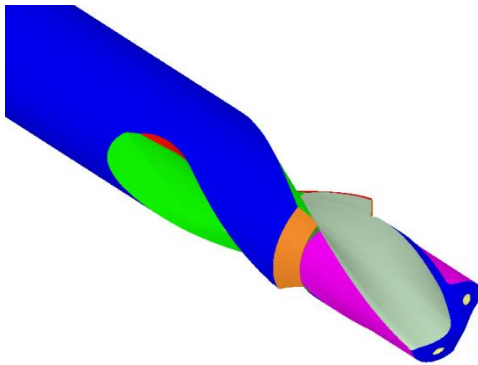
Zdvih čela se provádí kotoučem s označením D-8.



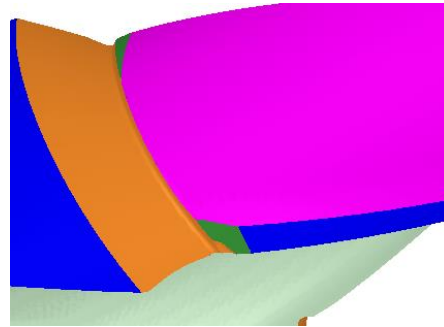
Obr. 28 Brousící kotouč D8.

### 3.4.9 Stupeň zápichu

Stupeň zápichu je operace určená pro odstranění přebytečného materiálu při tvorbě zdvihu čela. Během předchozí operace, která se prováděla natočeným kotoučem, zůstal v místě před druhým ostřím zbytek materiálu. Tímto krokem se zamezí výskytu tohoto zůstatku. Vytvořením zápichu se vybrousí část fazety v tomto místě, to však vrták ovlivní pouze ve chvíli, kdy zabrání opětovnému naostření vrtáku, po již několikátém předchozím ostření, tzn. vrták lze ostřit jen dokud, je na válcové ploše prvního stupně dostatečně dlouhá fazeta. U tohoto konkrétního nástroje se však ostření nebude provádět. Na obr. 29 znázorněno tmavě zelenou barvou.



Obr. 29 Zápich.

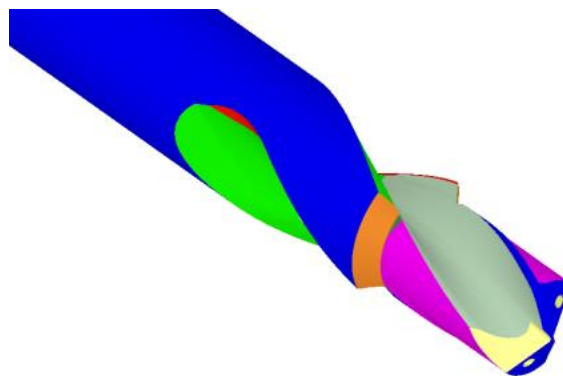


Obr. 30 Detail zápichu.

Zápich se provádí stejně jako v předchozí operaci kotoučem D-8, na obr. 26.

### 3.4.10 Hrubovat špici

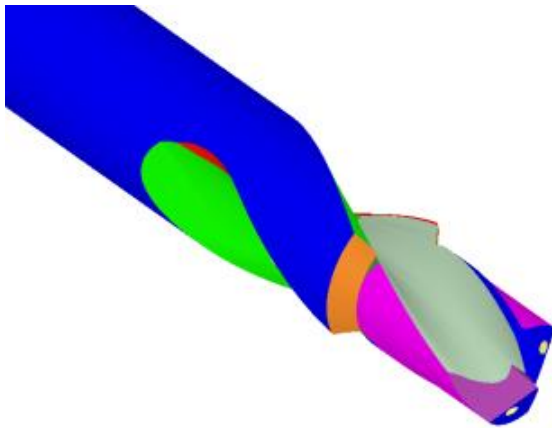
Výroba špice vrtáku je pracovním nazvaná „vyšpicování“. Jedná se o hrubovací operaci tvorby špice vrtáku, na obr. 31 znázorněno béžovou barvou.



Obr. 31 Hrubování tvaru špice.

### 3.4.11 Dokončovat špici

Zde se jedná o dokončovací operaci tvorby špice, zde se určuje konečný tvar špice na čele nástroje. Na obr. 32 znázorněno fialovou barvou.



Obr. 32 Hrubování špice.

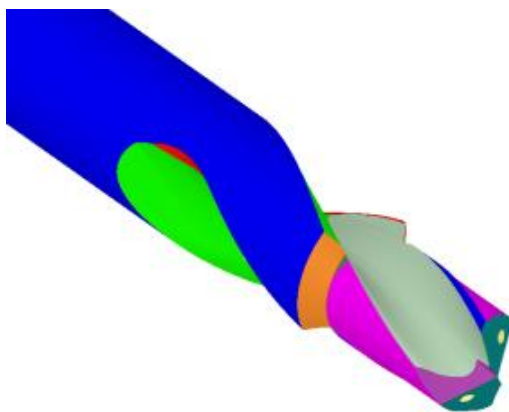


Obr. 33 Taliřový kotouč D-12 v upínacím zařízení.

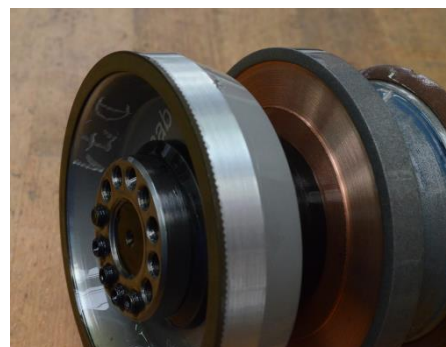
Tento proces se provádí taliřovým kotoučem s označení D-12 (obr. 33). Tento kotouč se používá pro jemné dokončovací práce, je ořvnán do požadovaného tvaru, tak aby co nejlépe vybrousil danou plochu při použití pouze jednoho brousicího kotouče.

### 3.4.12 Brousit hlavní ostří

V této operaci se zhotovuje hlavní hřbet vrtáku. Tmavozeleně znázorněno na obr. 34. Jedná se zde o první operaci zhotovení hlavního ostří, určuje se zde úhel hrotu vrtáku, v tomto případě 140°. Tento úhel je jednak vhodný zejména pro nástroje určené k vrtání těžkoobrobitelných materiálů, jednak se běžně používá u vrtáků vyrobených ze slinutých karbidů. Jedná se o běžně používaný úhel špičky tohoto typu nástroje. Na obrázku znázorněno tmavozelenou barvou [3].



Obr. 34 Dokončení tvaru špice.



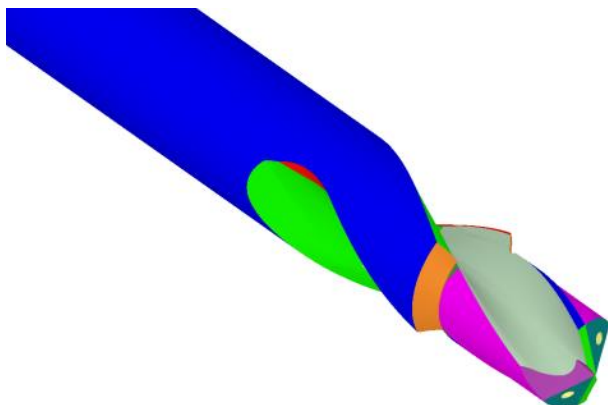
Obr. 35 Brousicí kotouč D-71.

Pro tuto a všechny ostatní operace výroby se používá hrncový kotouč s označením D-71 (obr. 35). Je to kotouč určený výhradně pro dokončovací operace špice nástroje.

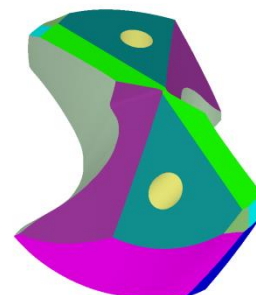


### 3.4.13 Dokončit hlavní ostří

Operace „Plochy 1“ vytváří konečnou podobu a úhel hlavního břitu. Jedná se zde o částečné zatupení hrany po předchozí operaci. Znázorněno na obr. 36 a obr. 37 světle zelenou barvou. Je to z důvodu vysoké náchylnosti slinutých karbidů k vylamování. Obecně nástroje z rychlořezné oceli jsou ostřejší než nástroje ze slinutých karbidů, což je závislé na vlastnostech materiálu. Toto zatupení výrazně zvyšuje životnost nástroje.



Obr. 36 Zatupení špice.

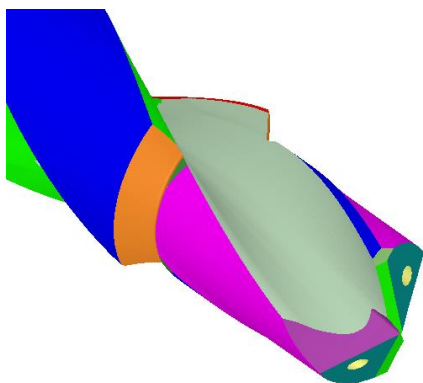


Obr. 37 Detail špice vrtáku.

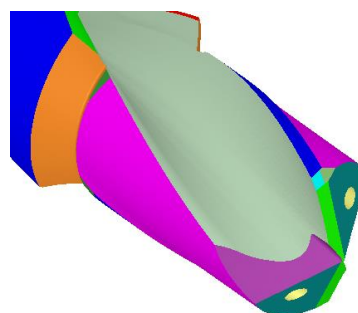
### 3.4.14 Dokončit zatupení špice

Operace s označením „fase liti volna plocha 2“ a „faselí liti volna plocha 1“ je volný překlad softwaru NUMROTOplus.

Tyto dvě operace jsou opět dokončováním tvaru špice. Slouží ke snížení úhlu na vnější špičce nástroje. Tato vnější špička by byla velmi ostrá a velice náchylná na lomové poškození, proto se provede rohové sražení hrany na polovinu úhlu špičky, tedy na  $70^\circ$ . Tyto operace rovněž slouží, ke zvýšení životnosti nástroje, tedy odolnosti vůči opotřebení. Tyto kroky opět vychází z vlastností slinutých karbidů.



Obr. 38 „Fase liti volna plocha 2“.



Obr. 39 „Fase liti volna plocha 1“

### 3.5 Povýrobní kontrola rozměrů

Po ukončení výrobních operací je zapotřebí provést kontrolu předepsaných rozměrů a tolerancí. Kontrolní zařízení je nezbytné pro dodržení přesnosti a kvality. Dle zásad kontrolních operací se začíná vizuální kontrolou kompletnosti a neporušenosti výrobku.



Obr. 40 Zhotovené vrtáky.

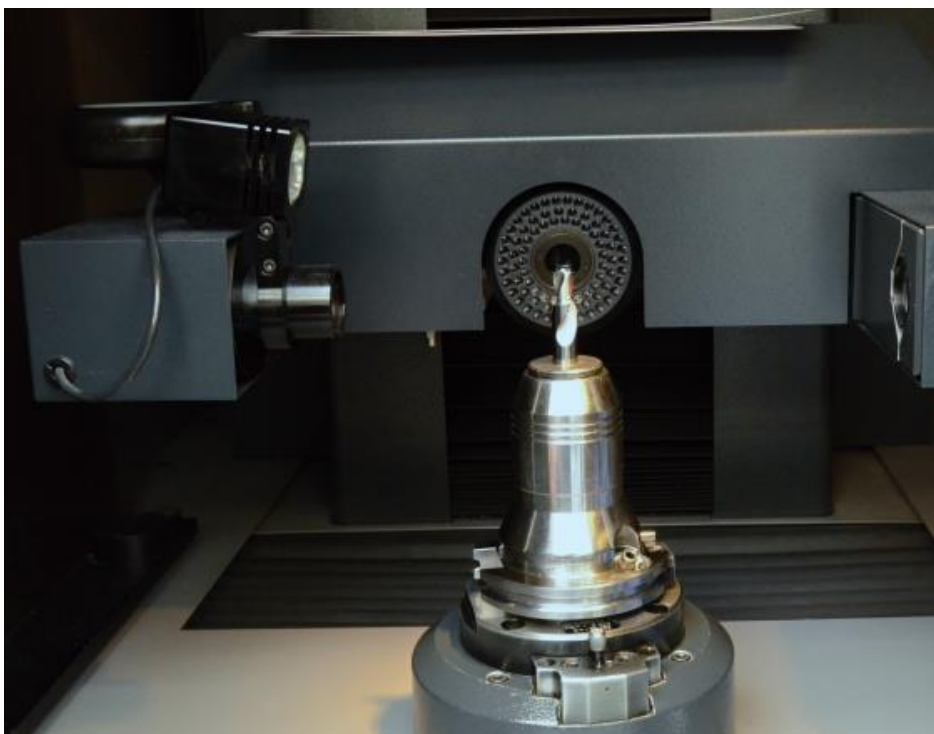
Po vizuální kontrole se přechází na přesné proměření všech zadaných parametrů. Příkladem vhodného přístroje je optické měřicí zařízení Zoller Genius 3 [20].



Obr. 41 Měřicí zařízení Zoller Genius 3.

Tento přístroj představuje neodmyslitelnou součást při výrobě přesných nástrojů. Zoller Genius 3 je vybaven 5 CNC řízenými osami, výklopnou 3D násvitovou kamerou a vysoce přesným upínacím vřetenem. Stroj je také vybaven speciálně vyvinutým softwarem pro bezdotykové a plně automatizované měření. Nastavení pro zaměření nástroje lze archivovat v paměti stroje a později lze další nástroj proměřit bez zadávání nových dat. Je možné opakovaně provést celé proměření, nebo pouze vybranou část, tzv. měření pouhým

stisknutím tlačítka. Knihovna automatizovaných programů také obsahuje řadu předdefinovaných měřících programů pro různé typy nástrojů [20].



Obr. 42 Měření 3D kamerou.

Zkušební protokol

»genius Standard« - GEN3-00087

Uživatel zoller

1 / 1

18.3.2015

14:31:15

rotana

Ident.-č. R

Ozn. SK-stupnovy vrtak

Komentář

Zkušební technik

Stup/Výsledek	Požad.hodn.	H. tol.	S. tol.	Skut.hodn.	1.hodn.	Tolerance
1 Výška fazetky	0,400			0,376	-0,024	
2 Délka	-13,000	0,050	-0,050	-13,002	-0,002	
3 Průměr	9,250	0,021	0,007	9,257	0,007	
4 Házení	0,000			0,000	0,000	
5 Úhel	140,00			140,13	0,13	
6 Úhel	90,00			90,09	0,09	

Obr. 43 Zkušební protokol.

Stroj také vytváří výstupní protokol o průběhu měření. V tomto případě se provádí proměření a archivace zkušební protokolu od každého desátého vyrobeného kusu.

Kontrola se provádí u hlavních parametrů nástroje. Hlavními tolerovanými rozměry jsou délka prvního stupně  $13 \pm 0,05$  mm a průměr prvního stupně  $9,25^{+0,021}_{+0,006}$  mm. Dalšími kontrolovanými rozměry jsou úhly prvního ostří  $140^\circ$  a druhého ostří  $90^\circ$ , výška fazety a hodnota házení.

Parametr	Předepsaný rozměr [mm]	Naměřená hodnota [mm]	Odchyłka [mm]
Výška fazety	0,400	0,376	0,024
Délka prvního stupně	13,000±0,05	13,002	0,002
Průměr	9,250 <sup>+0,021</sup> <sub>+0,006</sub>	9,257	0,007
Házení	0,000	0,000	0,000
Úhel čela	140,00	140,13	0,13
Úhel 2. ostří	90,00	90,09	0,9

Tabulka 2 Kontrolované rozměry.

### 3.6 Řízené otupení

Během výroby vrtáku vznikají velmi ostré hrany s minimálním zaoblením. Tyto hrany jsou velice náchylné na lomové poškození, tím se negativně ovlivňuje životnost nástroje. Abychom zvýšili životnost, je nutné tyto ostré hrany otupit a vytvořit rádius na ostří. Také během výroby dochází k narušení povrchu nástroje brousicím kotoučem, kdy vznikají na povrchu drobné rýhy, které mohou způsobit horší přilnavost povlaku. Otupení se provádí na omílacím stroji OTEC (obr. 44). Metoda je založena na rotaci nástroje vnořeném do práškové směsi rozdrčených kokosových ořechů, diamantového prášku a práškového umělého korundu. Pohybem nástroje dochází k drobnému úběru materiálu, především zaoblení hran a vyhlazení povrchu.



Obr. 44 Omílací stroj OTEC.

45 Upnutí vrtáků v omílacím stroji.

### 3.7 Povlakování

Pro zvýšení životnosti nástroje je možné provést povlakování. Tato operace se neprovádí u každého nástroje, je to volba objednavatele. Druh povlaku závisí na obráběném materiálu, materiálu nástroje, tvaru nástroje, tvaru špice a dalších faktorech. Z dlouholetých zkušeností firmy Rotana byl pro tento stupňovitý vrták zvolen povlak s obchodním označením RotalH. Tento povlak je na bázi povlaku Al-TiN. Povlakování se provádí metodou PVD. Pro tento proces firma nedisponuje technologií, proto využívá povlakování u specializovaných firem.



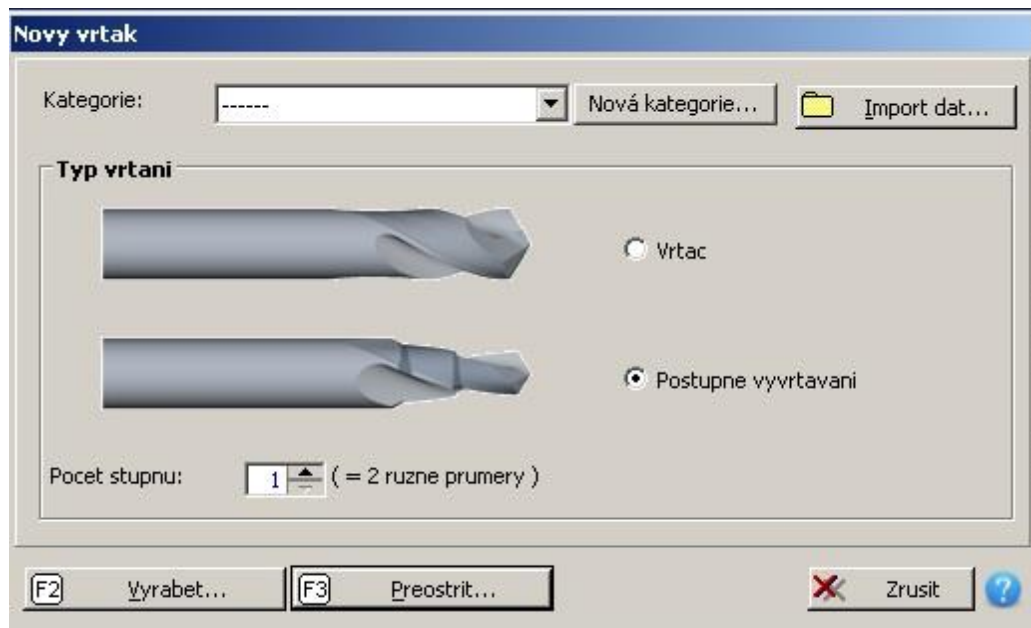
**Obr. 46** Vrták po nanesení povlaku.

## 4 ŘEŠENÍ CNC PROGRAMU

V současné době CNC strojů a obráběcích center, se tvorba řídicích programů tvoří pomocí softwaru, který obsluhu stroje navádí pomocí dialogových oken. Software pro tvoření programu a řízení CNC strojů se nazývá NUMROTOplus. Jedná se o specializovaný software pro výrobu a ostření nástrojů pomocí CNC strojů. Tento software je navržen tak, aby plně respektoval geometrii brousicího kotouče, tím zajistil přesné dodržení definovaného tvaru. Software umožňuje jak 2D tak 3D simulace pro ověření. Systém vychází z vlastní databáze definovaných geometrií nástrojů. Operátor může jednotlivé předem definované strategie volně kombinovat a přizpůsobovat reálnému procesu broušení. Program je tvořen postupným definováním geometrií vyráběného nástroje pomocí dialogových oken softwaru. Pomocí tohoto prostředí lze naprogramované nástroje uchovat v databázi pro budoucí další použití, nebo je možné pro další výrobu vycházet z předem definovaného nástroje, jen upravit potřebné parametry. Tvorba programu je tvořena nejprve definováním základního tvaru a následném vyladění parametrů. Do vytvořeného programu je nutné doplnit rozměry a vlastnosti brousicích kotoučů, doplnit otáčky a posuvy. Je možné také upravovat sled operací dle potřebné návaznosti obráběných prvků [21].

Postup při tvorbě programu:

- definování tvaru vrtání, zde se definuje potřeba stupňovitého vrtáku se dvěma stupni,



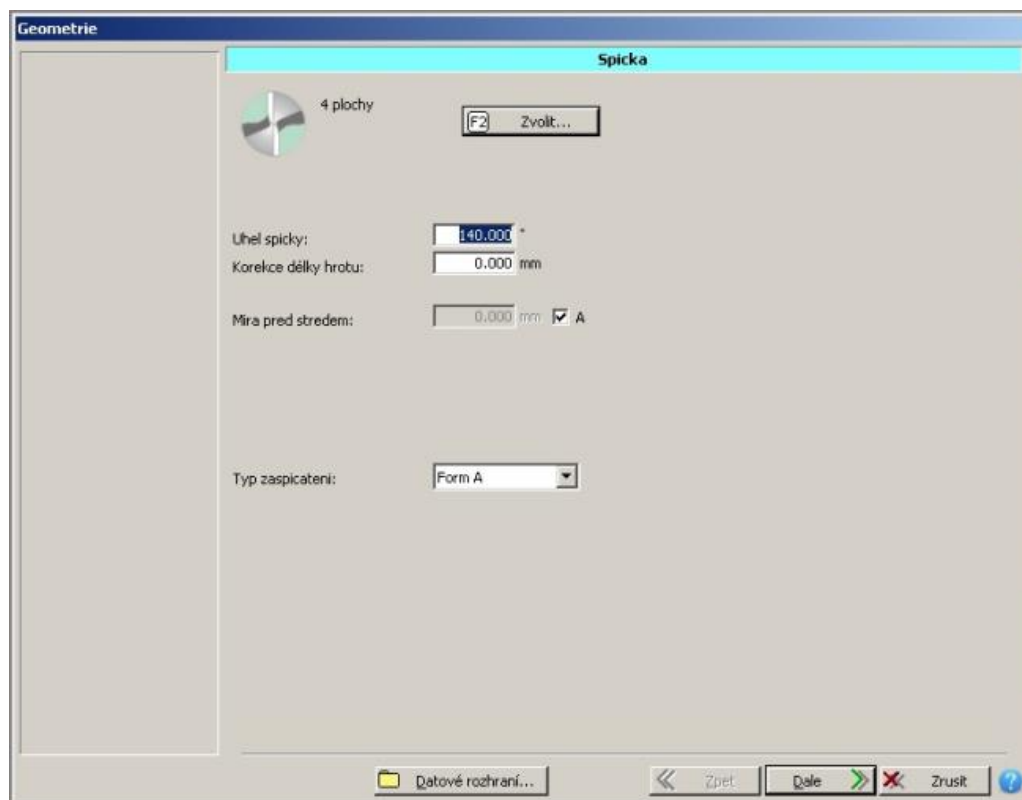
Obr. 47 Definování tvaru vrtání.

- výběr tvaru špice vrtáku,



Obr. 48 Definování tvaru špice.

- definování geometrie špice,



Obr. 49 Geometrie špice.

- definování geometrie jednotlivých stupňů, viz obr. 50 a obr. 51,

**Geometrie stupne - Stupen 1**

Prumer:  mm  
 Delka:  mm   
 Zuzeni (Ř) :  mm/100mm  °  
 Omezit délku zmenšení

Metoda brouseni:  Zdvih  
 Hrbet

**forma prechodu**

Zadny  
 Faze liti

Uhel:  °  
 Delka:  mm

Obr. 50 Geometrie prvního stupně.

**Geometrie stupne - Stupen 2**

Prumer:  mm  
 Delka:  mm   
 Zuzeni (Ř) :  mm/100mm  °  A  
 Omezit délku zmenšení

Typ stupne:  Normalni krok  °  
 Normovane kroky

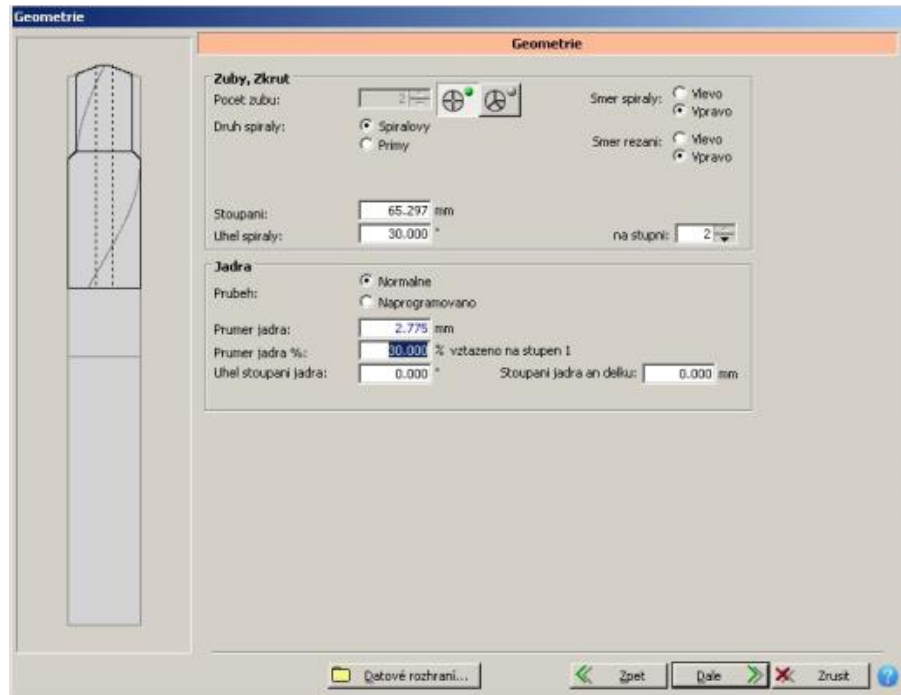
Metoda brouseni:  Zdvih  
 Hrbet

Korekce stupnovitého bitu existuje

Obr. 51 Geometrie 2. stupně.

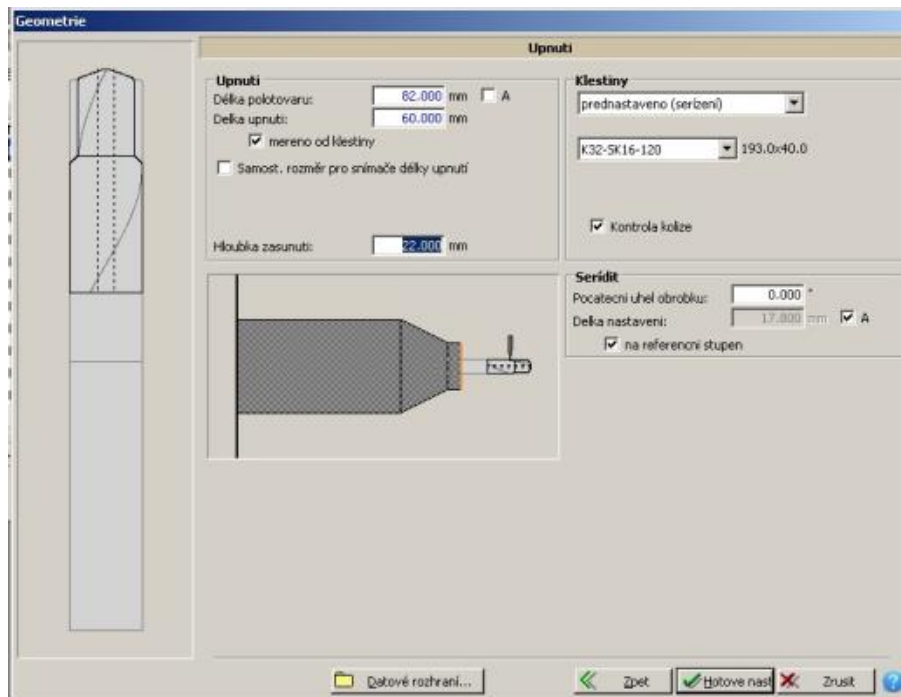


- geometrie zubů a jádra, viz obr. 52,



Obr. 52 Geometrie zubů a jádra.

- způsob upnutí, viz obr. 53,



Obr. 53 Způsob upnutí.

- program vytvořený systémem NUMROToPlus.

O	Ba.	Element	Operace	Kotouč	Posuv
1	✓	St..	Dražka	...	80.0
2	✓	St..	Zdvih cela stupne	...	80.0
3	✓	St..	Faze liti Zdvih	...	80.0
4	✓	St..	Podbrus	...	80.0
5	✓	St..	Podbrus	...	80.0
6	✓	Sp..	Vyspicovani	...	50.0
7	✓	Sp..	Plochy 2	...	50.0
8	✓	Sp..	Plochy 1	...	50.0

Obr. 54 Vygenerovaný program.

Software NUMROToPlus vygeneruje hrubý program na základě nadefinovaných prvků. Program je nutno doplnit o specifické požadavky výroby, jako je simulace chladících kanálků, otupení drážky, dokončování broušení drážky nebo měření pootočení. Také je vhodné účelně změnit pořadí jednotlivých operací tak, aby byl proces výroby co nejpřesnější a nejefektivnější. V této fázi je také nutno doplnit parametry broušících kotoučů a řezné podmínky.

O	Ba.	Element	Operace	Kotouč	Posuv
		St..	Dražka rucne	5 warle1	80.0
✓		St..	Dražka	5 D-194	80.0
✓		St..	Dražka V2	5 D-194	120.0
✓		St..	Dražka	5 R-1173-0_Kopie	40.0
✓			Merit pootoceni		
✓		St..	Podbrus	5 D-194_druha_stra..	60.0
✓		St..	Zdvih cela stupne	5 D-8	50.0
✓		St..	Stupen zapichu	5 D-8-1	50.0
✓		Sp..	Vyspicovani	5 D-10	20.0
✓		Sp..	Vyspicovani V3	5 D-12	20.0
✓		Sp..	Plochy 2	5 D-71	70.0
✓		Sp..	Plochy 1	5 D-71	35.0
✓		St..	Faze liti volna plocha 2	5 D-71	50.0
✓		St..	Faze liti volna plocha 1	5 D-71	20.0
✓		Sp..	Vyspicovani V2	5 D-159	25.0

Obr. 55 Upravený a dokončený program.

## 5 VÝPOČET STROJNÍCH ČASŮ

$$t_{ASB} = \frac{L \cdot i}{v_f} \quad (1)$$

kde:  $t_{ASB}$  [min] – strojní čas broušení,  
 $L$  [mm] – dráha pohybu,  
 $i$  – počet třísek,  
 $v_f$  [mm·min<sup>-1</sup>] – rychlost posuvu.

### 5.1 Broušení na kulato

Hrubovací operace:

- radiální směr:

$$L_1 = L_n + L + L_p = 1 + 1,38 + 1 = 3,38 \text{ mm} \quad (2)$$

$$t_{ASB1} = \frac{L_1}{v_f} = \frac{3,38}{6} = 0,56 \text{ min} \quad (3)$$

- axiální směr:

$$L_2 = L_n + L + L_p = 1 + 15,4 + 5 = 21,4 \text{ mm} \quad (4)$$

$$t_{ASB2} = \frac{L_2 \cdot i}{v_f} = \frac{21,4 \cdot 3}{50} = 1,29 \text{ min} \quad (5)$$

- celkem:

$$t_{ASB3} = t_{ASB1} + t_{ASB2} = 0,56 + 1,29 = 1,85 \text{ min} \quad (6)$$

kde:  $L_1$  [mm] – dráha pohybu při broušení na kulato v radiálním směru,  
 $L_2$  [mm] – dráha pohybu při broušení na kulato v axiálním směru,  
 $L_n$  [mm] – dráha nájezdu,  
 $L_p$  [mm] – dráha přejezdu,  
 $v_f$  [mm·min<sup>-1</sup>] – velikost posuvu,  
 $t_{ASB1}$  [min] – strojní čas hrubovací operace broušení v radiálním směru,  
 $t_{ASB2}$  [min] – strojní čas hrubovací operace broušení v axiálním směru,  
 $t_{ASB3}$  [min] – celkový strojní čas hrubovací operace broušení.

Dokončovací operace:

$$L_2 = L_n + L + L_p = 1 + 15,4 + 5 = 21,4 \text{ mm} \quad (7)$$

$$t_{ASB4} = \frac{L_2 \cdot i}{v_f} = \frac{21,4 \cdot 2}{40} = 1,07 \text{ min} \quad (8)$$

kde:  $t_{ASB4}$  [min] – strojní čas dokončovací operace broušení.

## 5.2 Broušení drážky

Hrubovací operace:

$$L_3 = L_n + L + L_p = 1 + 36 + 5 = 42 \text{ mm} \quad (9)$$

$$t_{ASB5} = \frac{L_3 \cdot i}{v_f} = \frac{42 \cdot 2}{80} = 1,05 \text{ min} \quad (10)$$

Zapevnění drážky:

$$t_{ASB6} = \frac{L_3 \cdot i}{v_f} = \frac{42 \cdot 2}{120} = 0,7 \text{ min} \quad (11)$$

Dokončovací operace:

$$L_3 = L_n + L + L_p = 1 + 36 + 5 = 42 \text{ mm} \quad (12)$$

$$t_{ASB7} = \frac{L_3 \cdot i}{v_f} = \frac{32 \cdot 2}{400} = 0,21 \text{ min} \quad (13)$$

kde:  $L_3$  [mm] – dráha pohybu při broušení drážky,

$t_{ASB5}$  [min] – strojní čas hrubovací operace broušení,

$t_{ASB6}$  [min] – strojní čas zapevnění drážky broušení,

$t_{ASB7}$  [min] – strojní čas dokončovací operace broušení.

### 5.3 Broušení odlehčení

$$L_4 = L_n + L + L_p = 1 + 13 + 5 = 19 \text{ mm} \quad (14)$$

$$t_{ASB8} = \frac{L_4 \cdot i}{v_f} = \frac{19 \cdot 2}{60} = 0,63 \text{ min} \quad (15)$$

kde:  $L_4$  [mm] – dráha pohybu při broušení odlehčení,  
 $t_{ASB8}$  [min] – strojní čas broušení odlehčení.

### 5.4 Broušení hlavního ostří

$$L_5 = L_n + L + L_p = 1 + 4,9 + 5 = 10,9 \text{ mm} \quad (16)$$

$$t_{ASB9} = \frac{L_5 \cdot i}{v_f} = \frac{10,9 \cdot 22}{70} = 3,43 \text{ min} \quad (17)$$

kde:  $L_5$  [mm] – dráha pohybu při broušení hlavního ostří,  
 $t_{ASB9}$  [min] – strojní čas broušení hlavního ostří.

### 5.5 Dokončení hlavního ostří

$$L_6 = L_n + L + L_p = 1 + 4,9 + 5 = 10,9 \text{ mm} \quad (18)$$

$$t_{ASB10} = \frac{L_6 \cdot i}{v_f} = \frac{10,9 \cdot 2}{35} = 0,62 \text{ min} \quad (19)$$

kde:  $L_6$  [mm] – dráha pohybu při dokončovacím broušení hlavního ostří,  
 $t_{ASB10}$  [min] – strojní čas broušení hlavního ostří.

## 6 VÝPOČET A POROVNÁNÍ STROJNÍCH ČASŮ VRTÁNÍ

Výpočet strojního času:

$$t_{ASV} = \frac{L}{f_n \cdot n} [min] \quad (20)$$

kde: L [mm] – pracovní dráha, (dráha náběhu + vrtaná dráha + dráha přeběhu)  
 n [min<sup>-1</sup>] – otáčky nástroje,  
 f<sub>n</sub> [mm/ot] – posuv na otáčku,  
 t<sub>ASV</sub> [min] – strojní čas vrtání.

Výpočet otáček:

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot d} [min^{-1}] \quad (21)$$

kde: v<sub>c</sub> [m/min] – řezná rychlost,  
 d [mm] – průměr vrtáku.

Výpočet počtu děr:

$$p = \frac{T}{t_{ASV}} [ks] \quad (22)$$

kde: T [min] – životnost vrtáku,  
 t<sub>ASV</sub> [min] – strojní čas vrtání.

Výpočet počtu nástrojů pro 6 000 děr:

$$p_{6000} = \frac{6\,000}{p} [ks] \quad (23)$$

kde: p [ks] – počet děr za životnost,

Cena nástrojů potřebných pro 6000 děr:

$$c_{6000} = c_n \cdot p_{6000} [Kč] \quad (24)$$

kde: c<sub>n</sub> [Kč] – cena nástroje,  
 p<sub>6000</sub> [ks] – počet nástrojů pro 6 000 děr.

## 6.1 SK stupňový vrták

Životnost:	$T_1 = 270 \text{ min}$
Dráha:	$L_7 = 18,4 \text{ mm}$
Doporučené řezné podmínky:	$v_{c1} = 80 \text{ m/min}$
	$n_1 = 2753 \text{ min}^{-1}$
	$f_{n1} = 0,15 \text{ mm/ot}$

$$t_{ASV1} = \frac{L_7}{f_{n1} \cdot n_1} = \frac{18,4}{0,15 \cdot 2753} = 0,045 \text{ min} \approx 2,7 \text{ s} \quad (25)$$

kde: $T_1$	[min] – životnost vrtáku ze slinutého karbidu,
$L_7$	[mm] – pracovní dráha, (dráha náběhu + vrtaná dráha + dráha přeběhu)
$v_{c1}$	[m/min] – řezná rychlost,
$n_1$	[ $\text{min}^{-1}$ ] – otáčky nástroje,
$f_{n1}$	[mm/ot] – posuv na otáčku,
$t_{ASV1}$	[min] – strojní čas vrtání.

## 6.2 HSS vrták NAREX

Životnost:	$T_2 = 21 \text{ min [23]}$
Dráha:	$L_8 = 18,4 \text{ mm}$
Řezné podmínky:	$v_{c2} = 27 \text{ m/min [23]}$
	$n_2 = 929 \text{ min}^{-1}$
	$f_{n2} = 0,3 \text{ mm/ot [23]}$

$$t_{ASV2} = \frac{L_8}{f_{n2} \cdot n_2} = \frac{18,4}{0,3 \cdot 929} = 0,066 \text{ min} \approx 3,96 \text{ s} \quad (26)$$

kde: $T_2$	[min] – životnost vrtáku z rychlořezné oceli,
$L_8$	[mm] – pracovní dráha, (dráha náběhu + vrtaná dráha + dráha přeběhu),
$v_{c2}$	[m/min] – řezná rychlost,
$n_2$	[ $\text{min}^{-1}$ ] – otáčky nástroje,
$f_{n2}$	[mm/ot] – posuv na otáčku,
$t_{ASV2}$	[min] – strojní čas vrtání.

### 6.3 HSS záhlubník

Životnost:  $T_3 = 42 \text{ min}$   
 Dráha:  $L_9 = 3 \text{ mm}$   
 Řezné podmínky:  $v_{c3} = 24 \text{ m/min}$   
 $n_3 = 477,5 \text{ min}^{-1}$   
 $f_{n3} = 0,12 \text{ mm/ot}$

$$t_{ASV3} = \frac{L_9}{f_{n3} \cdot n_3} = \frac{3}{0,12 \cdot 477,5} = 0,052 \text{ min} \approx 3,12 \text{ s} \quad (27)$$

kde:  $T_3$  [min] – životnost záhlubníku [23],  
 $L_9$  [mm] – pracovní dráha, (dráha náběhu + vrtaná dráha),  
 $v_{c3}$  [m/min] – řezná rychlost [23],  
 $n_3$  [ $\text{min}^{-1}$ ] – otáčky nástroje,  
 $f_{n3}$  [mm/ot] – posuv na otáčku,  
 $t_{ASV3}$  [min] – strojní čas zahloubení.

### 6.4 Porovnání

	Slinutý karbid	Rychlořezná ocel	
	SK vrták	HSS vrták	HSS záhlubník
Cena 1 nástroje $c_n$ [Kč]	2000	71	238
Počet děr $p$ [ks]	6 000	318	807
Cena nástrojů pro 6 000 děr $c_{6000}$ [Kč]	2 000	1 349	1 904



## 7 DISKUSE

Tento stupňovitý vrták byl konstruován dle zákazníkem dodané skici s tvarem a popisem obráběného polotovaru. Jedná se o polotovar ze sériové automobilní výroby. Nástroj je navržen tak, aby vyvrtal otvor 9,25 mm a srazil hranu 0,9x45° v jedné operaci. Vrtákem se bude vrtat čtveřice děr na roztečné kružnici 65 mm. Vrtaný otvor je určen pro následnou výrobu závitu M10 tvářením. Jelikož vrtání bude probíhat na CNC stroji, který mimo jiné umožňuje chlazení vrtání, je vrták navržen s vnitřním chlazením.

Volba materiálu vychází ze zkušeností a know-how technologů firmy Rotana. Zvolený materiál 30 G2 1200/6,3/1,7/65,3-330 CTS 20D byl již v minulosti dostatečně testován a představil se jako vhodný pro tento typ nástroje.

Stupňový vrták je určen pro velkosériovou výrobu v automobilním průmyslu. Vrtákem se bude obrábět na vrtacím automatu. Tento stroj umožňuje obrábět jedním nástrojem, zatímco lze připravit nový nástroj pro následnou automatickou výměnu s minimálním zpožděním výroby. Nevýhodou tohoto stroje je nemožnost korekce délky nástroje. Z tohoto plyne nutnost používat pouze nové vrtáky s přesnou délkou, nelze ostřit.

Životnost tohoto SK vrtáku je stanovena a vyzkoušena na 270 minut. Tato životnost odpovídá, při použití doporučených rezných podmínek. Maximální životnost SK vrtáku je tedy 6 000 děr. Pro porovnání životnost běžného vrtáku z HSS je 21 minut. To odpovídá zhotovení 318 děr, přičemž musí být přidána další operace, zahloubení. Životnost běžného záhlubníku, vhodného pro tuto operaci je 42 minut, tedy 807 děr. Porovnáme-li strojní časy potřebné pro zhotovení stejných děr, SK vrták 2,7 s oproti tomu kombinace HSS nástrojů 7,08 s na jednu operaci. Výrobní čas u HSS je tedy více než dvojnásobný. To u výroby zákazníkem požadovaného dílce činí úsporu času 16,3 s při použití slinutého karbidu, nehledě na prodloužení výrobních časů způsobeném výměnou nástrojů mezi operací vrtání a operací zahloubení. Další výhodou SK vrtáku je potřeba výměny otupeného nástroje každých 6 000 děr, zatímco u HSS záhlubníku každých 807 děr a u HSS vrtáku dokonce každých 341 děr.

Porovnáme-li pořizovací náklady nástrojů, dojdeme i zde k výhodě použití SK vrtáků. Prodejní cena SK vrtáku je 2 000 Kč při zakázkové výrobě 5 kusů, při vyšším množství bude cena nižší. Cena HSS vrtáku je 71 Kč, cena HSS záhlubníku je 238 Kč. Přepočteme-li cenu nástrojů potřebných na výrobu 6 000 děr, což odpovídá životnosti jednoho SK vrtáku (tedy ceně 2 000 Kč), pro výrobu 6 000 děr potřebujeme 19 HSS vrtáků a 8 HSS záhlubníků. Cenově tedy 1 349 Kč za HSS vrták a 1 904 Kč za HSS záhlubník, celkově tedy 3 253 Kč. Pořizovací náklady vrtáku ze slinutých karbidů jsou tedy o více než 1/3 nižší než nástrojů z HSS, určené pro stejnou operaci.

## ZÁVĚR

V předkládané práci je uvedena problematika týkající se broušení. Jsou zde shrnuty základní procesy a metody broušení, charakterizovány nástroje a nástrojové materiály této technologie. Největší část této práce je zaměřena na konstrukci a výrobu speciálního vrtáku v podmínkách specializované zakázkové výroby. Taková výroba představuje výhodu při potřebě speciálních nástrojů určených většinou pro jedinou operaci. Takto lze vyrábět speciální stupňové vrtáky, složité tvarové frézy, výstružníky netypických rozměrů a dalších speciálních nástrojů využívaných v moderní sériové výrobě.

Práce představuje broušení jako významnou a nenahraditelnou technologii obrábění. Trend vede k stálému zvyšování přesnosti a úspoře výrobních časů. K těmto faktorům velkou měrou přispívá vývoj CNC brusek a obráběcích center.

Možnosti využití slinutých karbidů jsou stále rozvíjeny, přestože slinutý karbid je jako nástrojový materiál využíván již desetiletí. Vývoj je veden ve složení karbidových směsí, tak především v povlakování. Povlaky slinutých karbidů, navzdory tomu že se jedná o vrstvu v řádech 0,001 mm, dokáží několikanásobně zvýšit životnost nástrojů.

Nejdůležitější částí práce je konstrukce vrtáku. V této kapitole byla rozvinuta problematika konstrukce nástroje pro specifickou operaci. Jsou zde zmíněny potřebné informace důležité pro návrh nástroje. V jednotlivých krocích jsou rozepsány všechny důležité aspekty a prvky jednotlivých částí vrtáků. Hlavní částí konstrukce je návrh kontury, materiálu, činné části a stopky nástroje.

Konstrukce nástroje je doplněna také nahlédnutím do tvorby řídicího programu CNC stroje. Stručné představení principu tvorby je ilustrováno obrázky dialogových oken softwaru NUMROTO v jednotlivých krocích tvorby programu.

Výpočtová část práce se zabývá výpočtem výrobních časů při výrobě vrtáku. Jsou zde vypočteny orientační strojní časy broušení na kulato, broušení drážky, odlehčení a ostří. Tyto strojní časy jsou orientační, neboť se mohou lišit při použití odlišných strojů, což je v praxi běžné. Dále jsou v práci vypočteny strojní časy při výrobě děr pomocí navrhovaného vrtáku. Tyto strojní časy jsou v diskuzi porovnány se strojními časy při použití nástrojů z rychlořezné oceli. Následně byly tyto časy přepočteny v závislosti na ceně a životnosti nástrojů na cenu za nástroje pro vyvrtání a zahloubení 6000 děr. Závěrem diskuze bylo provedeno porovnání ceny vrtáku ze slinutých karbidů a ceny HSS vrtáků. Z tohoto porovnání vyšlo výhodněji použití slinutých karbidů jako nástrojových materiálů.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- 1 KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. 1. vydání Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- 2 MASLOV, J. N. *Teorie broušení kovů*. Přeložil J. Klůna. 1. vydání. Praha: SNTL, 1979. 246 s.
- 3 HUMÁR, Anton. *Technologie I: Studijní opory pro magisterskou formu studia, část III*. Brno, 2003, 57 s. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/dtb/eopory.php>
- 4 HUMÁR, Anton. *Technologie I: Studijní opory pro magisterskou formu studia, část I*. Brno, 2003, 138 s. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/dtb/eopory.php>
- 5 FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vydání Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- 6 AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ, s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- 7 TUMLIKOVO.CZ: Metal Cutting Technologies [online]. [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/orovnavani-brusnych-keramickych-kotoucu/>
- 8 Nové stroje pro orovnávaní brusných kotoučů. *MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM*. [online]. 17.5.2004 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nove-stroje-pro-orovnavani-brusnych-kotoucu.html>
- 9 *Rotana: Produkty* [online]. Velké Meziříčí: Webrex, 2015 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://rotana.cz/32-poptavka.html>
- 10 HUMÁR, Anton. *Technologie I: Studijní opory pro magisterskou formu studia, část II*. Brno, 2003, 57 s. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/dtb/eopory.php>
- 11 František Plánička. Precizní nástroje vyžadují precizní upínače. *MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM*. [online]. 4.9.2014 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/precizni-nastroje-vyzaduji-precizni-upinace.html>
- 12 Petr Borovan. Upínače nástrojů. *Technický týdeník*. [online]. 7.2.2012 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: [http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/upinace-nastroju/upinace-nastroju-2\\_8498.html](http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/upinace-nastroju/upinace-nastroju-2_8498.html)
- 13 CERATIZIT GROUB. *CARBIDE GRADES* [online]. 2015 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: <http://www.ceratizit.com/products/rods-preforms/carbide-grades/>
- 14 ANTON WIMMER MASCHINENFABRIK. Anton Wimmer Maschinenfabrik. *Anton Wimmer Trenntechnik für Profis*. [Online] [Citace: 03. 05. 2015.] Dostupné z: <http://www.antonwimmer.de/produkte.php?id=0&details=TM374&link=1>.
- 15 JUNKER. *GRINDOR® speed* [online]. 2010 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.junker-group.de/grinding/aktuelles/grindor-speed.php>
- 16 ULMER WERKZEUG SCHLEIFTECHNIK. *End Profile Grinding Machine SF 40 REINECKER* [online]. 2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.ulmerwerkzeugschleiftechnik.de/index.php?id=2070&L=1>

- 
- 17 Milan Šimák. CNC nástrojařská bruska pro 21. století. *MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM*. [online]. 13.10.2014 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/cnc-nastrojarska-bruska-pro-21-stoleti-2.html>
- 18 SAACKE - GROUP. *SAACKE CNC-Grinding Center Model* [online]. 2008 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: [http://www.saacke-group.com/scom/machines\\_model\\_uw1f.php#](http://www.saacke-group.com/scom/machines_model_uw1f.php#)
- 19 RENISHAW apply innovation. *Sondy pro obráběcí stroje* [online]. 2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/lp2-a-lp2h--6750>
- 20 WOLFGANG HUEMER. VÝKONNÉ MĚŘENÍ A KONTROLA NÁSTROJŮ PRO TRÍSKOVÉ OBRÁBĚNÍ. *MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM*. [online]. 9.2008 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: [http://www.zoller.cz/wp-content/uploads/2014/03/Clanek\\_Zoller\\_2008-09.pdf](http://www.zoller.cz/wp-content/uploads/2014/03/Clanek_Zoller_2008-09.pdf)
- 21 Software pro výrobu a broušení nástrojů. *MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM*. [online]. 5.2.2003 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/software-pro-vyrobu-a-brouseni-nastroju.html>
- 22 TUMLIKOVO.CZ. Základní rozdělení brusných kotoučů k ostření nástrojů. *tumlikovo -Metal Cutting Technologies*. [Online] 20. 11. 2011. [Citace: 03. 04 2016.] Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/zakladni-rozdeleni-brusnych-kotoucu-k-ostreni-nastroju/>
- 23 LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. ISBN 80-7361-033-1.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
2D	Two Dimensional/dvourozměrný
3D	Three Dimensional/třírozměrný
CNC	Computer Numerical Control
CVD	Chemical Vapour Deposition (Chemické napařování povlaku)
ČSN	Česká státní norma
ISO	International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)
HA	Hladká stopka
HSS	High speed steel
HV	Tvrдость podle Vickerse
SK	Slinutý karbid
PVD	Physical Vapour Deposition (Fyzikální napařování povlaku)

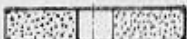
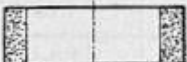

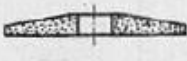
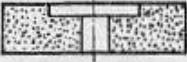

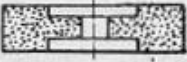
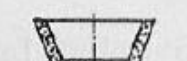



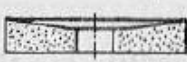
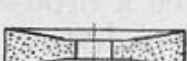

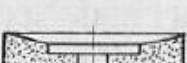
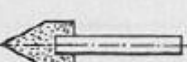
Značka	Jednotka	Popis
$C_{6000}$	[Kč]	cena nástrojů pro 6 000 děr
$C_n$	[Kč]	cena 1 nástroje
d	[mm]	průměr vrtáku
$f_n$	[mm/ot]	posuv na otáčku
i	[-]	počet třísek
L	[mm]	dráha pohybu
$L_n$	[mm]	dráha nájezdu
$L_p$	[mm]	dráha přejezdu
n	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky nástroje
p	[ks]	počet děr

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

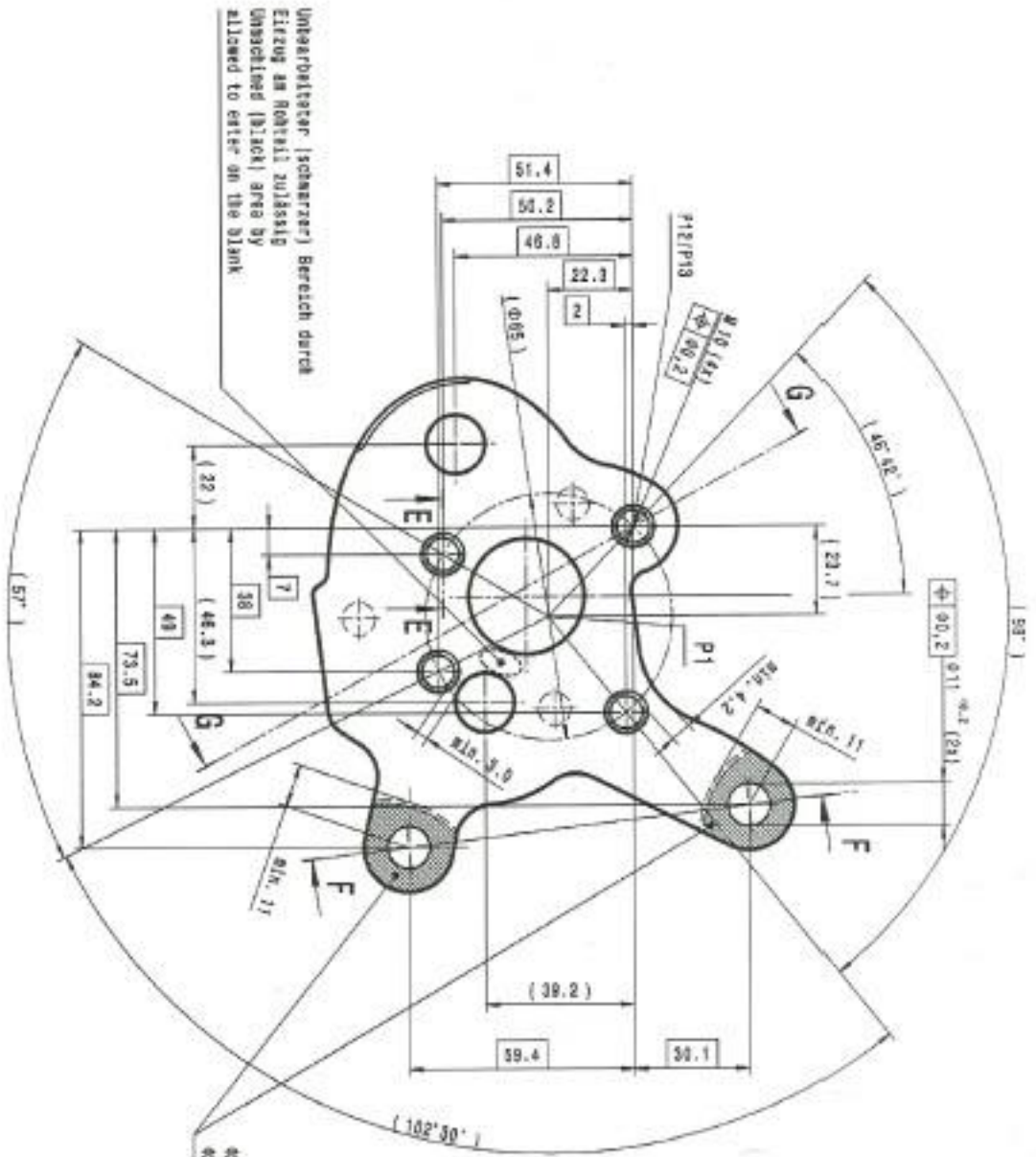
$P_{6000}$	[ks]	počet nástrojů pro 6 000 děr
$T$	[min]	životnost nástroje
$t_{AS}$	[min]	strojní čas
$t_{ASB}$	[min]	strojní čas broušení
$t_{ASV}$	[min]	strojní čas vrtání
$v_c$	[m/min]	řezná rychlost
$v_f$	[mm·min <sup>-1</sup> ]	velikost posuvu

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1      Základní tvary brousicích kotoučů [20]  
Příloha 2      Výkres vyráběného prvku, podklad pro konstrukci nástroje.  
Příloha 3      Výrobní výkres stupňovitého SK vrtáku.

Tvar č.	Náčrt	Název	Odpovídá ČSN
1		rovný	22 4515, 22 4518
2		prstencový	22 4530
3		oboustranně zkosený	
4		jednostranně zkosený	22 4560
5		jednostranně vybraný	22 4520, 22 4521, 22 4524
6		hrncový	22 4550, 22 4551
7		oboustranně vybraný	22 4524
8		miskovitý	22 4552
9		talířový	22 4580
10		talířový plochý	
11		rovný s vydutým středem	
12		rovný s jednostranným šikmým vybráním	
13		rovný s oboustranným šikmým vybráním	
14		na třmenové kalibry	22 4570
15		rovný s vybráním a úkosem na jedné nebo obou stranách	22 4522
16		brusná tělíska	22 4610 až 22 4619





420mm Schraubenauflegelaeche  
420 mm screws bearing surface

Důležitý měřítek

Rotana a.s.  
Rozmnožení nebo zrušení tohoto dokumentu je podle zákona trestné. Přijímá výkresu nůž za škodu vzniklou zneužitím.

Platí pro všechny rezné části

Obráběný materiál Kovana ocel

Počet bitů 2

Sroubovice prava 25°

Otacky nástroje prave

Povlak RotallH+superfinis

Sírka VF 0.6


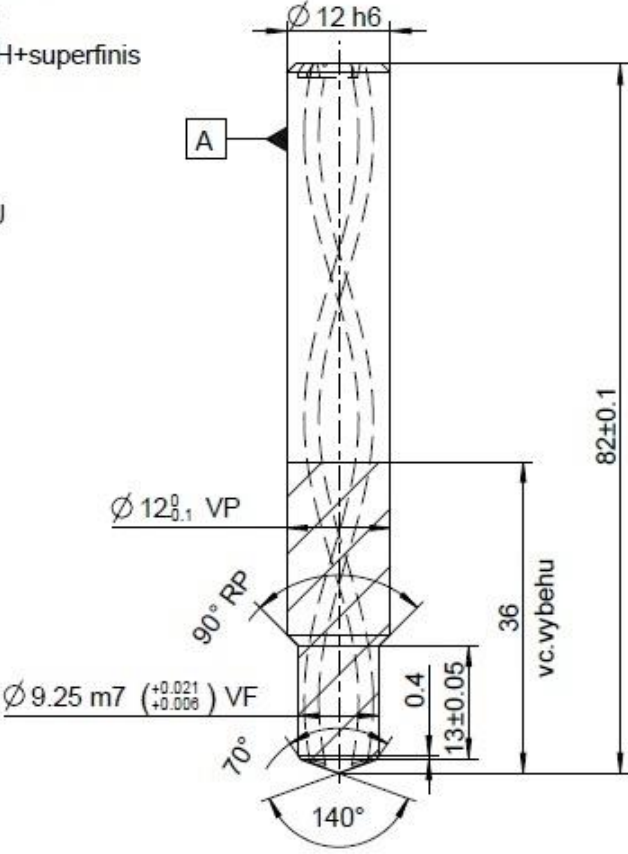
Ø jadra 3

Delka příčného ostří 0.16

Plochy 1 přes sebe

Spicka SL-RATIOBOHRER U

Padání 0.3/100






Mezi úhly		Mezi úhly	
1	2	3	4
+0.1	+0.1	+0.2	+0.5
+0.1	+0.1	+0.2	+0.5

Mezi úhly		Mezi úhly	
1	2	3	4
+0.1	+0.1	+0.2	+0.5
+0.1	+0.1	+0.2	+0.5

Mezi úhly		Mezi úhly	
1	2	3	4
+0.1	+0.1	+0.2	+0.5
+0.1	+0.1	+0.2	+0.5

Znacení ploch	
Válcové bez fazet	VP
Válcové fazety	VF
Rezné plochy	RP
Nerezné plochy	NP

	Rotana a.s. Průmyslová 2066 CZ- 594 01 Velké Meziříčí tel.: +420 566 521 948 fax: +420 566 522 057 e-mail: rotana@rotana.cz	
	Změna	Datum
	Index	Podpis

PROMÍTÁNÍ 	Material	—
	Položova	Ø 12x52
Čistá hmotnost		0.1016 kg

Název <h2 style="margin: 0;">SK stupňový vrták</h2>	
Označení <h3 style="margin: 0;">Ø 9.25/90°</h3>	
Čís. výkresu List 1/1	