



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## PROCESNÍ KAPALINY PŘI OBRÁBĚCÍCH OPERACÍCH

PROCESS FLUIDS IN MACHINING OPERATIONS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Róbert Vondra

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2018

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Róbert Vondra**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**  
Akademický rok: 2017/18

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

### Procesní kapaliny při obráběcích operacích

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rešerše zabývající se podmínkami použití či nepoužití procesní kapaliny. Doloženo přehledem produktů na světovém trhu. Rozpracovaná vzorová situace obrábění. Dopady na životní prostředí.

#### Cíle bakalářské práce:

- Druhy obráběcích operací
- Sortiment procesních kapalin
- Podmínky použití
- Vzorová situace použití procesní kapaliny

#### Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 234 s.

HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. Praha: MM publishing, s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

Kompletní program pro manipulaci a skladování nebezpečných látek. Strakonice: DENIOS, s. r. o., 2005. 180 s.

LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

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

V Brně, dne 20. 10. 2017



prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

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

## ABSTRAKT

Bakalárska práca sa zaoberá tematikou procesných kvapalín. V prvej časti práce sú charakterizované základné metódy trieskového obrábania s využitím procesných kvapalín. Následne popisuje funkcie procesných kvapalín a jednotlivé technologické požiadavky, ktoré sú na média kladené, spolu s ich prednosťami a nevýhodami. Nasledujúca kapitola je venovaná konkrétnemu sortimentu od svetových výrobcov procesných kvapalín. V závere práce je zobrazené použitie procesnej kvapaliny v praxi na CNC brúske, pri vyrábaní tvaru špirály mikrofrézovacieho nástroja.

### Kľúčové slová

obrábanie, procesné kvapaliny, kvalita povrchu, CNC stroje

## ABSTRACT

This bachelor thesis deals with a process fluids. The first part of the thesis characterizes the fundamentals of machine cutting with the use of the process liquids. Further, there are described the functions of the process fluids and the individual technological requirements placed on the liquids, along with their advantages and disadvantages. The following chapter deals with a specific range of process fluid manufacturers in the world. At the end of this thesis, a use of process fluid in practice is illustrated. CNC grinding machine was used, in order to machine the spiral shape of a micro mill.

### Key words

machining, process fluids, surface quality, CNC machines

## BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

VONDRA, R. *Procesní kapaliny při obráběcích operacích*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 53 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.



## PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému **Procesní kapaliny při obráběcích operacích** vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a zdrojov, uvedených na zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práci.

---

Dátum

---

Róbert Vondra

## **POĎAKOVANIE**

Ďakujem Ing. Milanovi Kalivodovi za cenné pripomienky a rady, ktoré mi poskytol pri vypracovávaní bakalárskej práce.

---

**OBSAH**

|   |    |
|---|----|
| ABSTRAKT .....  | 3  |
| PREHLÁSENIE .....   | 4  |
| POĎAKOVANIE .....   | 5  |
| OBSAH.....  | 6  |
| ÚVOD.....   | 8  |
| 1 DRUHY OBRÁBACÍCH OPERÁCIÍ.....                          | 9  |
| 1.1 Charakteristika obrábania .....                       | 9  |
| 1.2 Tvorba triesky pri rezaní.....                        | 11 |
| 1.3 Charakteristika sústruženia .....                     | 12 |
| 1.4 Charakteristika frézovania.....                       | 14 |
| 1.5 Charakteristika vŕtania.....                          | 16 |
| 1.6 Charakteristika brúsenia.....                         | 18 |
| 2 SORTIMENT PROCESNÝCH KVAPALÍN .....                     | 21 |
| 2.1 Funkcie procesných kvapalín .....                     | 21 |
| 2.2 Procesné prostredie .....                             | 21 |
| 2.3 Technologické a procesné požiadavky na kvapaliny..... | 22 |
| 2.3.1 Chladiaci účinok.....                               | 22 |
| 2.3.2 Mazací účinok.....                                  | 23 |
| 2.3.3 Čistiaci účinok.....                                | 23 |
| 2.3.4 Prevádzková stálosť .....                           | 24 |
| 2.3.5 Ochranný účinok.....                                | 24 |
| 2.3.6 Zdravotná neškodnosť .....                          | 24 |
| 2.3.7 Primerané náklady .....                             | 24 |
| 2.4 Vodou miešateľné procesné kvapaliny.....              | 25 |
| 2.4.1 Vodné roztoky.....                                  | 25 |
| 2.4.2 Emulzné kvapaliny .....                             | 26 |
| 2.4.3 Syntetické a polysyntetické kvapaliny .....         | 26 |
| 2.4.4 Špeciálne kvapaliny .....                           | 27 |
| 2.5 Vodou nemiešateľné procesné kvapaliny.....            | 28 |
| 2.5.1 Minerálne oleje .....                               | 28 |
| 2.5.2 Syntetické oleje.....                               | 28 |
| 2.5.3 Koncentráty vysokotlakových prísad.....             | 28 |
| 2.6 Produkty od výrobcov procesných kvapalín .....        | 29 |
| 2.6.1 Grindex 10 .....                                    | 30 |

---

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.6.2 | Vasco 5000.....                                     | 31 |
| 2.6.3 | Blasocut 4000 Strong .....                          | 32 |
| 2.6.4 | Cimstar 700 .....                                   | 33 |
| 2.6.5 | Paramo FIN 2 .....                                  | 34 |
| 3     | PODMIENKY POUŽITIA .....                            | 35 |
| 4     | VZOROVÁ SITUÁCIA POUŽITIA PROCESNEJ KVAPALINY ..... | 36 |
| 4.1   | Technický popis stroja Helitronic Micro .....       | 36 |
| 4.1.1 | Pracovný priestor stroja .....                      | 37 |
| 4.1.2 | Osy stroja .....                                    | 38 |
| 4.1.3 | Brúsna hlava stroja .....                           | 38 |
| 4.2   | Rozsah sortimentu výroby .....                      | 39 |
| 4.3   | Použité brúsne kotúče.....                          | 40 |
| 4.4   | Použitá procesná kvapalina .....                    | 41 |
| 4.5   | Priebeh ukážky použitia procesnej kvapaliny .....   | 42 |
| 5.    | DISKUSIA .....                                      | 48 |
|       | ZÁVER .....   | 49 |
|       | ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV .....                      | 50 |
|       | ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK .....          | 53 |

## ÚVOD

Strojárstvo je priemyselné odvetvie, ktoré je nezabudnuteľnou súčasťou Slovenskej ako aj Českej Republiky a je najväčším prvkom rastu ekonomiky. Naše krajiny v porovnaní s priemerom priemyselnej výroby v Európe patria na popredné priečky. Aj preto mňa, ako budúceho Strojného inžiniera, toto odvetvie zaujíma a stáva sa súčasťou môjho každodenného života.

Keď pominiem všetky technologické prípravy, návrhy modelov a postupov, základným kameňom výroby je získať správne vyrobený obrobok s charakterizovanými rozmermi a stavom obrobených plôch. K tomu sa aj v dnešnej dobe stále najviac používajú základné metódy trieskového obrábania – sústruženie, frézovanie, vrtanie a brúsenie. V súčasnom stave sa stále zvyšujú požiadavky na výrobu. Požiadavky pre lepšiu kvalitu povrchu, trvanlivosť nástroja, presnosť metódy obrábania a zároveň rýchlejšie obrábanie znížením strojného času a zvýšením rezných rýchlostí. Efektivita technológie obrábania je ovplyvnená výberom vhodného nástroja a stroja, rezných podmienok a výberom procesnej kvapaliny. Práve procesným kvapalinám je venovaná táto bakalárska práca. Vďaka svojim chemickým a mechanickým vlastnostiam sú tieto média schopné ovplyvniť obrábací proces. Medzi kľúčové pozitívne znaky patria účinky chladiace, mazacie, čistiace, teplotná stabilizácia obrobku a vlastnosti povrchovej vrstvy obrobku. Použitie procesných kvapalín dovoľuje dosiahnuť lepších výsledkov v rámci trvanlivosti obrobku a akosti obrobeného povrchu ako bez nich.

Ďalšie dôležité požiadavky sa vzťahujú na environmentálnu šetrnosť, ľahkú likvidáciu kvapalín pri nevyvolávaní ekologických problémov a zdravotnú neškodnosť pri kontakte procesného média s obsluhou stroja.

Charakter bakalárskej práce je rešeršného typu s vlastnou ukážkou využitia procesnej kvapaliny v praxi. Rešeršná časť sa v prvej kapitole zaoberá opisom jednotlivých druhov trieskových obrábaní, ich charakteristické znaky a rozdelenie. Nasledujúca kapitola sa už venuje procesným kvapalinám. Rozoberá všeobecne ich funkcie a jednotlivé technologické požiadavky. Rozdelenie a popis na vodou miešateľné a nemiešateľné kvapaliny. Nasleduje konkrétny sortiment procesných médií od svetových výrobcov z ich katalógov.

Posledná časť zadanej témy je venovaná ukážke vzorovej situácie použitia procesnej kvapaliny v praxi. Ukážka je realizovaná na CNC brúske pri vytváraní tvaru špirály nástroja frézy.

---

# 1 DRUHY OBRÁBACÍCH OPERÁCIÍ

## 1.1 Charakteristika obrábania

Obrábanie je technologický proces, v ktorom sa na základe pôsobenia britu nástroja na materiál obrobku, postupne odoberá trieska a to spôsobuje výrobu súčiastky požadovaného tvaru, rozmerov a kvality výsledného povrchu.

Tento proces môžeme skonzkretizovať do pojmu obrábací proces, ktorý sa realizuje rôznymi metódami obrábania. K základným metódam patrí sústruženie, frézovanie, vrtanie, vyhrubovanie, vystružovanie a zahlbovanie, vyvrtávanie, brúsenie, hobľovanie a obrážanie, pretahovanie a pretlačovanie.

Vlastný proces fyzikálne-mechanického oddeľovania materiálu obrobku sa špecifikuje ako rezný proces. Vzhľadom na spôsob oddeľovania materiálu obrobku sa rezný proces delí na kontinuálny (sústruženie, vrtanie, vyvrtávanie), diskontinuálny (hobľovanie, obrážanie) a cyklický (frézovanie, brúsenie).

Jedny z najdôležitejších sledovaných parametrov výstupu obrábacieho procesu sú parametre kvality povrchu obrobených plôch a ich presnosť rozmerov. Pozri tab. 1.1. [1, 2]

Tab. 1.1 Dosahované parametre presnosti obrobených plôch pre základné metódy obrábania [2]

| Metóda obrábania                   |   | Presnosť rozmerov IT |          | Hodnota Ra [μm] |             |
|------------------------------------|---|----------------------|----------|-----------------|-------------|
|                                    |   | stredná              | rozsah   | stredná         | rozsah      |
| Vonkajšie rotačné plochy           | <b>Sústruženie:</b><br>hrubovanie                   | 13                   | 11 až 14 | 25              | 12,5 až 50  |
|                                    | dokončovanie  | 10                   | 9 až 11  | 3,2             | 1,6 až 12,5 |
|                                    | jemné spekaným karbidom                             | 8                    | 7 až 9   | 0,8             | 0,4 až 1,6  |
|                                    | jemné diamantom                                     | 6                    | 5 až 7   | 0,4             | 0,2 až 0,8  |
| Vnútorne rotačné plochy            | <b>Sústruženie:</b><br>hrubovanie                   | 12                   | 11 až 13 | 25              | 12,5 až 50  |
|                                    | dokončovanie  | 10                   | 9 až 12  | 3,2             | 1,5 až 12,5 |
|                                    | <b>Vŕtanie skrutkovitým vrtákom:</b><br>bez vedenia | 13                   | 12 až 14 | 6,3             | 6,3 až 25   |
|                                    | s vedením   | 12                   | 10 až 13 | 3,2             | 3,2 až 25   |
|                                    | <b>Vyhrubovanie</b>                                 | 9                    | 9 až 11  | 3,2             | 1,6 až 3,2  |
|                                    | <b>Vystružovanie</b>                                | 8                    | 7 až 9   | 0,8             | 0,8 až 3,2  |
|                                    | <b>Zahlbovanie:</b><br>hrubovanie                   | 12                   | 11 až 14 | 3,2             | 1,6 až 12,5 |
|                                    | dokončovanie  | 9                    | 7 až 10  | 1,6             | 1,6 až 6,3  |
|                                    | <b>Vyvtávanie:</b><br>hrubovanie                    | 12                   | 11 až 14 | 25              | 12,5 až 50  |
|                                    | dokončovanie  | 10                   | 9 až 11  | 3,2             | 1,6 až 6,3  |
| jemné spekaným karbidom            | 6   | 5 až 8               | 0,8      | 0,4 až 1,6      |             |
| jemné diamantom                    | 5   | 4 až 7               | 0,4      | 0,2 až 0,8      |             |
| <b>Preťahovanie:</b><br>hrubovanie | 8   | 7 až 8               | 1,6      | 0,8 až 3,2      |             |
| dokončovanie                       | 7   | 5 až 7               | 0,4      | 0,1 až 0,8      |             |
| Rovinné plochy                     | <b>Frézovanie:</b><br>hrubovanie válcovou frézou    | 12                   | 10 až 13 | 25              | 12,5 až 50  |
|                                    | dokončovanie válc. frézou                           | 10                   | 9 až 11  | 3,2             | 1,6 až 6,3  |
|                                    | hrubovanie nožovou hlavou                           | 11                   | 10 až 13 | 25              | 12,5 až 50  |
|                                    | dokončovanie nož. hlavou                            | 9                    | 8 až 9   | 3,2             | 0,8 až 6,3  |
|                                    | jemné spekané karbidy                               | 6                    | 5 až 7   | 0,8             | 0,4 až 1,6  |
|                                    | <b>Hobľovanie:</b><br>hrubovanie                    | 12                   | 12 až 13 | 50              | 25 až 100   |
|                                    | dokončovanie  | 10                   | 9 až 11  | 6,3             | 3,2 až 12,5 |
| jemné                              | 9   | 7 až 10              | 1,6      | 0,8 až 1,6      |             |

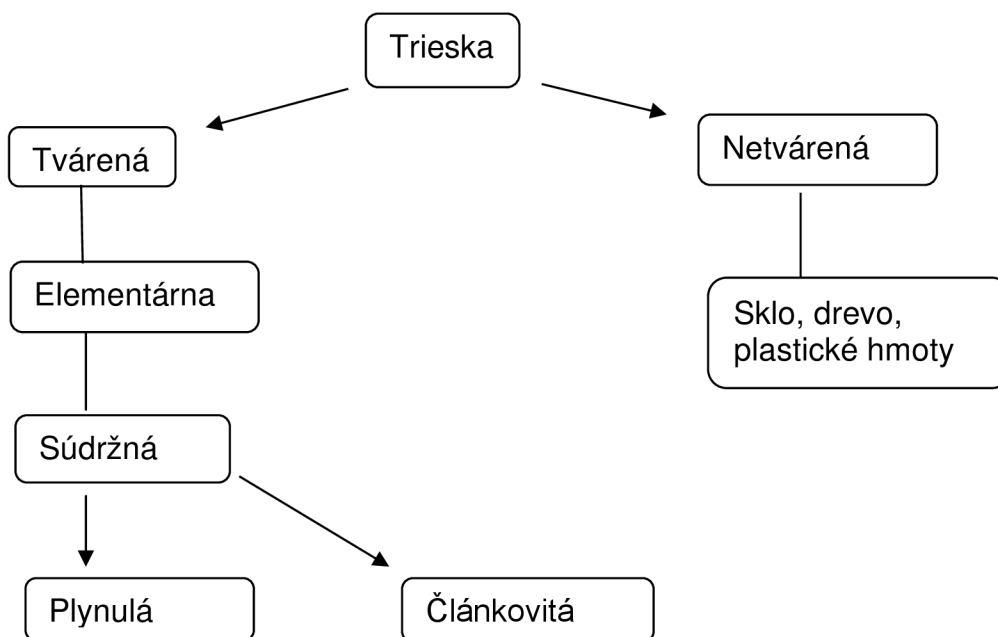


## 1.2 Tvorba triesky pri rezaní

Rezný proces je realizovaný v obrábanom systéme stroj-nástroj-obrobok, kde sa zvláštny význam priraduje ku kvalite obrobenej plochy a z tohto hľadiska má veľký význam problematika určenia mechanizmu tvorby triesky. Trieska v reznom procese zohráva úlohu vedľajšieho produktu, avšak jej technologické charakteristiky poukazujú na priebeh rezania. Z energetického hľadiska sa jedná o odchod triesky z pracovného priestoru stroja. Tvar triesky závisí na viacerých faktoroch, z ktorých sú najdôležitejšie tieto:

- vlastnosti obrábaného materiálu
- geometria nástroja
- rezné podmienky ako rezná a posuvná rýchlosť
- tribológia rozhrania trieska-nástroj [1, 2, 3]

Označovanie druhov triesky nie je úplne zjednotené, vďaka jej veľkej variabilite sa ale dá základné rozdelenie zjednodušiť do tejto schémy, pozri obr. 1.1.



Obr. 1.1 Schematické znázornenie základného rozdelenia druhov triesky [1, 3]

**Tvárená trieska** – veľký podiel plastickej deformácie, dochádza pri obrábaní kryštalických látok.

**Elementárna tvárená trieska** – materiál je pred oddelením čiastočne tvárený (pri obrábaní šedej liatiny, bronzu a iných krehkých kovov).

**Súdržná tvárená trieska** – materiál je vystavený plastickej tváreniu, dochádza k oddelovaniu a vzniku triesky tvárenej plastickej sklzom.

**Plynulá súdržná trieska** – vznik najmä pri uhlíkových oceliach, tvárnych liatinách, hliníkových a medených zliatinách.

**Článkovitá súdržná trieska** – vzniká hlavne pri obrábaní legovaných ocelí, titánových a niklových zliatin.

**Netvárená trieska** – malý podiel plastickej deformácie, výsledok lomového priebehu, dochádza pri obrábaní nekryštalických látok.

Doporučená trieska je delená a krátka, kde toto odporúčenie vychádza z manipulácie s trieskami, ich dodatočného chladenia a bezpečného obrábania. Z hľadiska manipulácie, hlavne pri použití obrábania s procesnými kvapalinami, sa berie ohľad na čo najmenší objem triesok. Táto požiadavka na tvar triesky je zvlášť dôležitá pri obrábaní na automatizovaných strojoch a výrobných systémoch bez obsluhy. [1, 3]

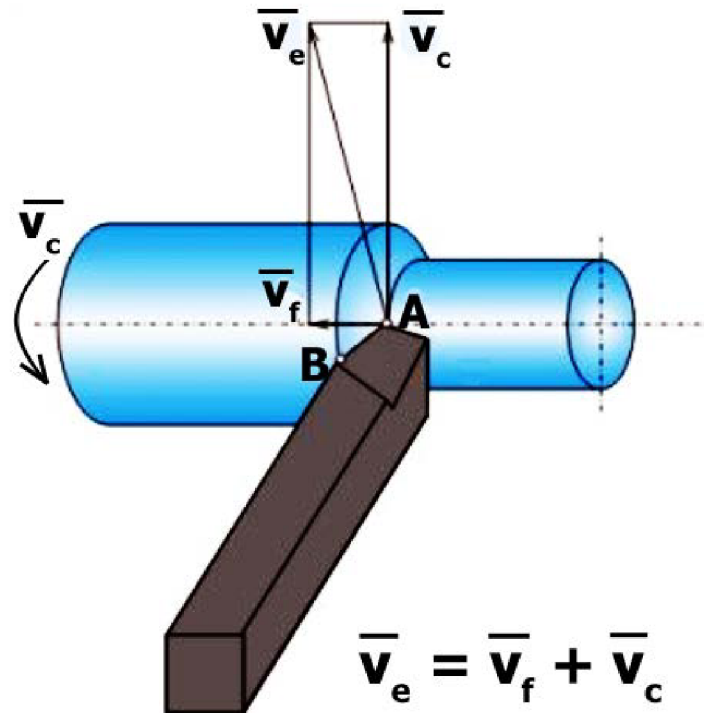
Pri obrábaní je veľký podiel vloženej práce transformovaný v teplo. Medzi hlavné zdroje tepla patrí oblasť plastickej deformácie pri tvorbe triesky, oblasť trenia triesky po čele nástroja a oblasť trenia chrbta po obrobenej ploche. V ideálnom prípade je teplo vzniknuté pri obrábaní odvádzané zo zóny rezania trieskou. V iných prípadoch je dominantným spôsobom odvodu tepla z oblasti primárnych a sekundárnych plastických deformácií triesky pôsobením procesných kvapalín. [1, 2, 3]

### 1.3 Charakteristika sústruženia

Sústruženie je obrábacia metóda používaná pre vytvorenie súčiastok rotačných tvarov. Využívajú sa jednobritové nástroje rôzneho druhu a modifikácií. Metóda patrí k základným a jednoduchým spôsobom obrábania s veľmi veľkým využitím v technickej praxi. Sústružením je možné obrábať vonkajšie ako aj vnútorné valcové plochy, kuželové aj tvarové plochy, rovinné čelné plochy a vytvárať zápichy.

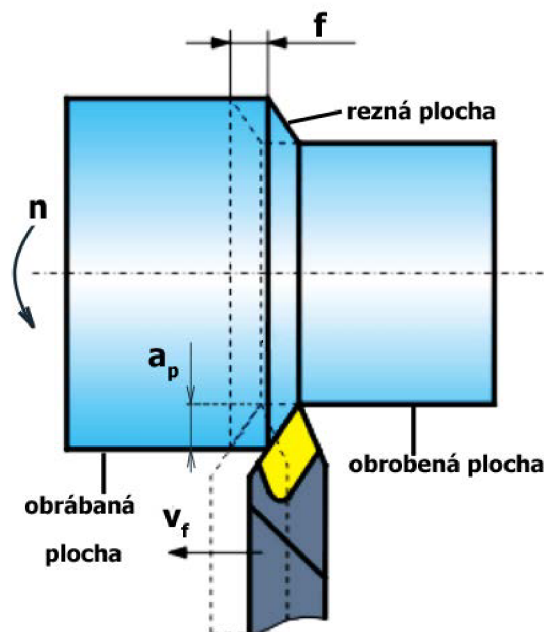
Pri tomto type obrábania je hlavný pohyb rotačný a vykonáva ho obrobok. Obrobok rotuje v sústruhu pri určitých otáčkach vretena  $n$ , pri určitom počte otáčok za minútu. Vedľajší pohyb je v tomto prípade posuvný pohyb, jedná sa väčšinou o priamočiary pohyb a vykonáva ho nástroj. Rýchlosť hlavného pohybu je súčasne aj reznou rýchlosťou  $v_c$ . Rýchlosť posuvného pohybu sa značí  $v_f$ . Celková rýchlosť rezného pohybu je  $v_e$ .

Rezný pohyb sa pri sústružení rôznych plôch realizuje vždy po inej trajektórii. Pri sústružení valcovej plochy je to špirála, pri čelnej ploche Archimedová špirála a pri rotačnej ploche obecného tvaru je to priestorová krivka. Pozri obr. 1.2. [1, 2, 3, 4]



Obr. 1.2 Pohyby vykonávané pri sústružení [7]

Rezná rýchlosť  $v_c$  je konštantná, pokiaľ sa nemenia otáčky vretena a priemer obrábanej súčasti. Pri posune nástroja smerom do stredu obrobku sa pri konštantných otáčkach obrobku  $n$  rezná rýchlosť  $v_c$  znižuje a to je nežiaduci fakt. Moderné CNC sústruhy otáčky obrobku  $n$  automaticky zvyšujú aby sa zachovala konštantná rezná rýchlosť. Pozri obr. 1.3. [5]



Obr. 1.3 Plochy obrábania sústružení s posuvom a šírkou záberu ostria [8]

Posuv  $f$  je pohyb nástroja voči otáčajúcejmu sa obrobku. Tento posuv je rozhodujúci faktor pri určovaní kvality obrobeného povrchu a či je trieska utváraná správne spadajúca do aplikačnej oblasti danej geometrie nástroja.

Šírka záberu ostria  $a_p$  je rozdiel medzi výškou pôvodného a obrobeného povrchu súčiastky. Jedná sa o polovicu rozdielu priemeru ich povrchov. Hĺbka rezu sa meria v smere kolmom k smere posuvu nástroja. [2, 3]

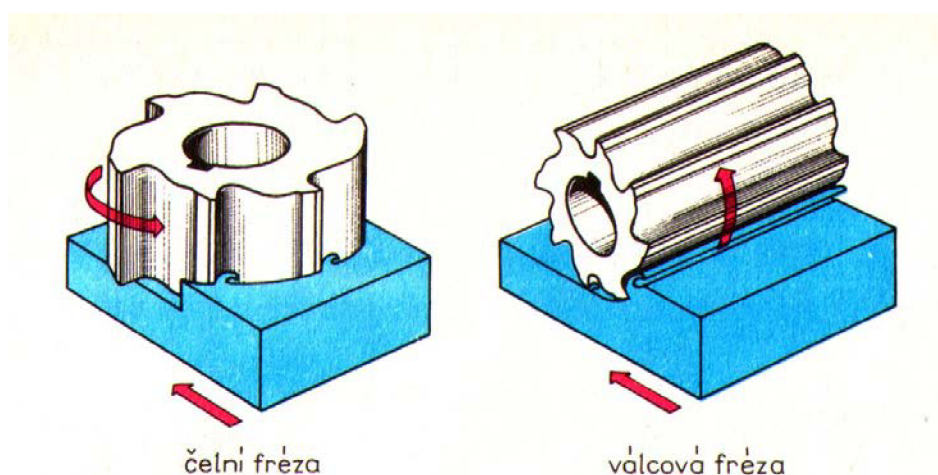
Pri sústružení charakterizujeme 3 plochy, sú to:

- **obrobená plocha** je plocha po obrobení nástrojom za jeden cyklus, ktorá ostane na obrobku
- **rezná plocha** je plocha vznikajúca bezprostredne za ostrím nástroja, na obrobku môže zostať alebo môže byť s ďalšou trieskou odstránená
- **obrábaná plocha** je to plocha na povrchu obrobku určená a čakajúca v danej operácii na odstránenie obrábaním [9]

## 1.4 Charakteristika frézovania

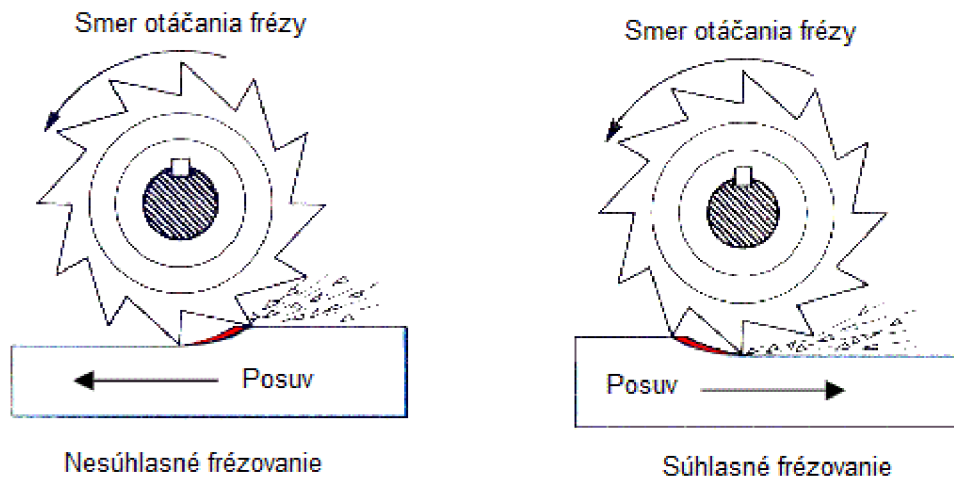
Frézovanie je obrábacia metóda, pri ktorej je obrábanie kovu spôsobené rotujúcim viac britovým nástrojom, ktorý sa posúva po určenej dráhe okolo obrobku, v takmer ľubovoľnom smere. Rezný proces je prerušovaný, keďže každý z britov odoberie určitý objem kovu pri obmedzenom zábere. Každý zub frézy odrezáva krátke triesky premennej hrúbky. Tento fakt odstraňuje problémy s utváraním a odvodom triesok. Posuv zvyčajne koná obrábaná súčiastka, hlavne v smere kolmej k ose nástroja. Frézovanie je stále najčastejšie používané k obrábaniu rovinných plôch. S rastúcim počtom obrábacích centier je metóda frézovania využívaná už aj na iné tvary a povrchy.

Základné rozdelenie frézovania z technologického hľadiska v závislosti na aplikovanom nástroji je frézovanie valcové – obvodové frézovanie, frézovanie čelné – frézovanie čelom nástroja. Pozri obr. 1.4. [1, 2, 3]



Obr. 1.4 Schéma čelného a valcového frézovania [10]

Rozdelenie z hľadiska kinematiky obrábacieho procesu sa rozlišuje na nesúhlasné a súhlasné, inými slovami na protismerné a súmerné obrábanie. Pozri obr. 1.5.



Obr. 1.5 Schéma nesúhlasného a súhlasného frézovania [11]

Pri súmernom frézovaní je smer posuvu obrobku rovnaký ako smer rotácie frézy v mieste záberu. Týmto spôsobom sa maximálna hrúbka triesky odoberá pri vnikaní zuby frézy do obrobku, potom sa do konca záberu znižuje. Pri frézovaní obodom je na konci záberu takmer nulová. Odber veľkou hrúbkou triesky je výhodou, lebo sa zamedzí vzniku vysokých teplôt a mechanickému vytvrdeniu obrobku. Výsledné rezné sily sa snažia obrobok vtiahnuť pod frézu, čo drží reznú plochu v zábere.

Prípadné triesky, ktoré sa dokážu nalepiť alebo navariť na brit frézy sú vtiahnuté na začiatok ďalšieho záberu a sú pri tomto type jednoducho preseknuté, brit ostáva nepoškodený.

Súhlasné frézovanie je primárnou a preferovanou možnosťou, pokiaľ to umožní uloženie a upnutie nástroja voči obrobku. Môže prebiehať jedine na prispôbennom stroji, kde musí byť odstránený mŕtvy chod posuvu stola. V opačnom prípade môže dôjsť ku nadmernému zvýšeniu hrúbky triesky a tým pádom ku poškodeniu nástroja, či až k ulomeniu britu. [1, 2, 5]

Protismerné frézovanie je charakterizované smerom posuvu obrobku opačným ako je rotácia frézy v mieste rezu. To znamená, že hrúbka triesky začína na nulovej hodnote a narastá v priebehu rezného procesu, až na jeho koniec. Pri zvolení nesúhlasného frézovania sa prejaví veľké rezné sily, ktoré sa snažia odtlačiť frézu od obrobku. Brit frézy je nutné silou vtlačať do záberu, a ako negatívnym javom sa ukazuje odieranie a hľadiaci efekt spolu s trením, vznik vysokých teplôt a mechanické vytvrzovanie povrchu. Výslednica rezných síl sa snaží obrobok zdvíhať z upínacieho stola. Zachytené triesky medzi britom nástroja a obrobkom môžu viesť až ku zlomeniu vymeniteľnej britovej doštičky. Protismerné frézovanie môže byť výhodnou voľbou pokiaľ sa do značnej miery mení hrúbka prídavku na obrábanie. Obrobok musí byť správne a pevne upnutý v upínacom prípravku a musí byť použitá vhodná fréza pre danú operáciu. [1, 2, 5]

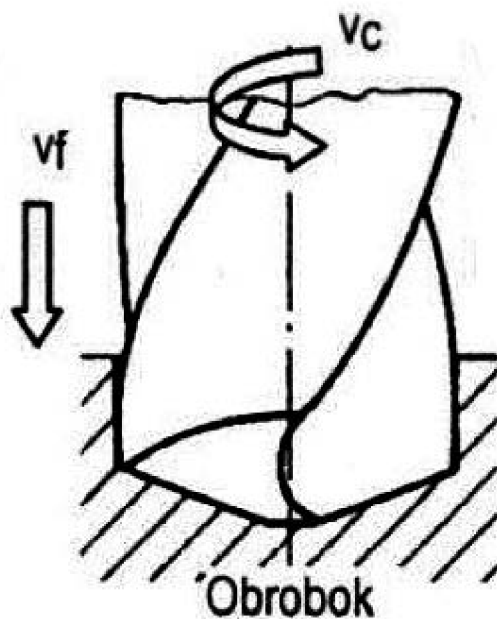


## 1.5 Charakteristika vrtania

Vrtanie je metóda obrábania valcových dier v obrobku pomocou kovoobrábacích nástrojov. Výrobnou metódou vrtania sa zhotovujú alebo zväčšujú už predvrtané diery. Pojem vrtanie v sebe zahŕňa ďalšie pridružené operácie ako vyhrubovanie, vystružovanie a zahlbovanie. Tieto operácie pracujú na spoločnom princípe hlavného rotačného pohybu, ktorý koná nástroj s kombináciou lineárneho posuvu. Osa vrtáku je najčastejšie kolmá na plochu obrobku, ktorou vrták vstupuje do obrábacieho procesu. Základným rozdelením je vrtanie krátkych a hlbokých dier. Vrtanie hlbokých dier je špecializovaná metóda obrábania, kde sa počíta hĺbka diery na mnohonásobok priemeru vrtáku.

Na proces vrtania sa dá v určitých ohľadoch pozrieť ako na frézovanie a sústruženie, lenže nároky na lámanie a odvod triesky sú pre vrtanie kritické, hlavne s narastajúcou hĺbkou diery.

Najbežnejším spôsobom vrtania je vrtanie do plného materiálu v jednej operácii do určitej hĺbky. Pozri obr. 1.6. [1, 2, 5]



Obr. 1.6 Schéma vrtania [12]

Za základné parametre sa považuje rezná rýchlosť  $v_c$ , ktorá sa určuje obvodovou rýchlosťou a môže byť spočítaná z otáčok nástroja  $n$ . Pri vrtaní nie je rezná rýchlosť konštantná v každom bode na ostrie nástroja. Jedná sa o najproblematickejší faktor pri tomto type obrábania. Smerom od kraja do stredu vrtáka sa plynule znižuje až do osy nástroja, kde je to nulová hodnota. Bodom presne v ose nástroja sa materiál obrobku nereže ale sa len vytlačuje a odiera. V miestach, kde je uhol čela negatívny, dochádza až k plastickej deformácii. Týmto tlakom vzniká nezanedbateľná zložka axiálnej sily. Pri slabom dimenzovaní stroja a upnutia, hrozí vychýlenie vretena a spôsobenie oválnej diery. [1, 2]

Ďalším parametrom je posuv na otáčku  $f_n$ , ktorý vyjadruje posunutie nástroja v smere osy počas jednej otáčky. Slúži na výpočet rýchlosti posuvu  $v_f$ , je to hodnota posuvu nástroja voči obrobku. Tento posuv sa koná v smere osy nástroja.

Dnešné moderné stroje priniesli možnosť vrtania celého prierezu diery v jednej operácii s dobrými kvalitami geometrie diery. Diery na výkrese predpísané s vysokými hodnotami tolerancie a požiadavkami na presnosť sa musia dokončiť vyhrubovaním a následne vystružovaním. Malé diery do priemeru 10 mm je možné len vystružiť, väčšie diery je nutné vyhrubiť a až potom vystružiť. Za pojmom vystružovanie je myslené dokončovacie obrábanie už vytvorenej diery. Metóda je založená na práci s malým prídavkom materiálu za účelom dosiahnutia kvalitného povrchu diery a zaručiť vysoké hodnoty tolerančných polí. Pre dosiahnutie je potrebné dodržiavať presný postup výberu priemeru nástroja. Vybrané hodnoty priemeru diery, vrtákov, výhrubníkov a výstružníkov sú uvedené v tab. 1.2. [1, 2]

Tab. 1.2 Menovité priemery vrtákov, výhrubníkov a výstružníkov pre menovité priemery vystružovaných dier [1]

| Priemer diery [mm] | Priemer vrtáka [mm] | Priemer výhrubníka [mm] | Priemer výstružníka [mm] |
|--------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|
| 4                  | 3,8                 | -                       | 4                        |
| 6                  | 5,8                 | -                       | 6                        |
| 8                  | 7,8                 | -                       | 8                        |
| 10                 | 9,8                 | -                       | 10                       |
| 12                 | 11,25               | 11,8                    | 12                       |
| 14                 | 13,25               | 13,8                    | 14                       |
| 16                 | 15,25               | 15,8                    | 16                       |
| 18                 | 17                  | 17,8                    | 18                       |
| 20                 | 19                  | 19,75                   | 20                       |
| 22                 | 20,5                | 21,75                   | 22                       |
| 24                 | 22,25               | 23,75                   | 24                       |
| 26                 | 24,25               | 25,75                   | 26                       |
| 28                 | 26,25               | 27,75                   | 28                       |
| 30                 | 28,25               | 29,75                   | 30                       |

Pre úspešne dokončený proces vrtania je dôležitým faktorom vplyv tvorby triesky, jej tvar, rozmery a odvod s miesta rezu. Pokiaľ nie sú tieto podmienky splnené, tak akýkoľvek vrták v krátkej dobe prestane pracovať. Dôvodom je upchatie drážok a zaseknutie v obrábanej diere vytvorenou a neodvedenou trieskou. O efektívny odvod sa postará procesná kvapalina, privedená pod vysokým tlakom vnútornou časťou nástroja. Pri navrhovaní dostatočného tlaku a prietoku kvapaliny, je nutné započítať odstredivú silu vznikajúcu rotáciou vrtáka, ktorá znižuje pôvodný tlak nástroja v kľudnom stave. Doporučené hodnoty prietoku a tlaku sa vzťahujú na brit vrtáka. Procesná kvapalina je počas obrábania vytlačovaná špičkou vrtáka priamo do miesta rezu, čím ho maže a vyplavuje triesky príslušnými obvodovými drážkami nástroja smerom na povrch obrobku.

Tvar triesky je najlepšie krátky, no za správnu veľkosť sa dá považovať vtedy, ak je vyplachovanie procesnou kvapalinou spoľahlivé. [5]



## 1.6 Charakteristika brúsenia

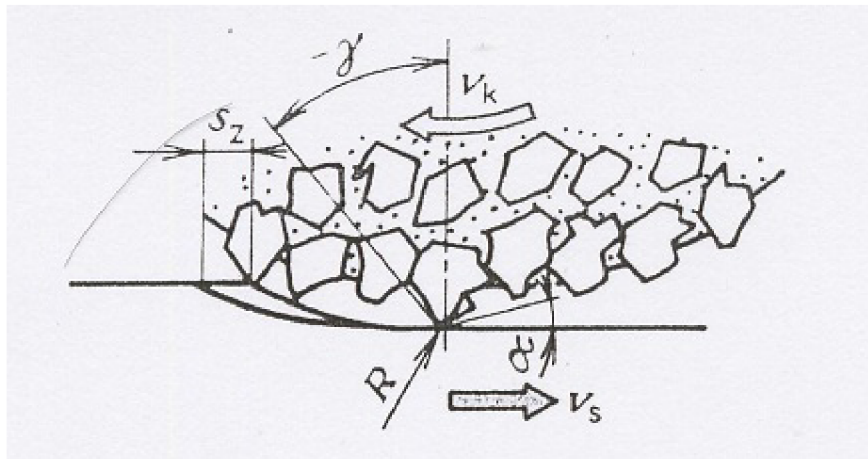
Brúsenie zapadá do abrazívnej metódy obrábania, ktorá je charakterizovaná použitím nástroja s nedefinovanou geometriou britu. Brúsne zrná sú nepravidelne rozmiestené po ploche brúsneho nástroja a majú špecifickú vlastnosť samo ostrenia. Proces brúsenia pracuje pri vysokých rezných rýchlostiach a s pomerne slabými silami upevnenia brúsnych zrn v tvare kotúča vytvára situáciu, kde sa otupené zrná vylomia a nahradia ich nové, ostré a neotupené. Veľké množstvo malých brúsnych zrn odoberá mnoho malých prierezov triesok. Menovitá plocha rezu odstránenej triesky je obvykle okolo 0,001 mm<sup>2</sup>. Vysoká rezná rýchlosť a negatívne uhly jednotlivých segmentov brúsneho kotúča vytvárajú vysokú teplotu, ktorá produkuje reziduálne napätie na povrchu obrobnku v tenkej vrstve niekoľko mikrometrov. Napätie môže skrátiť životnosť povrchov, hlavne pri dynamickom zaťažení. V tenkej povrchovej vrstve vzniká elastická a plastická deformácia. Ich dôsledkom spojeným s trením sa určitá časť triesky ohreje natoľko, že sa roztaví a vytvorí kvapky kovu sprevádzané iskrením. Okrem deformácií na báze elastickej a plastickej v danej oblasti je aj reziduálne napätie, ktoré sa delí na tlakové a ťahové napätie. Tlakové napätie je žiaduce, pretože zvyšuje únavovú pevnosť a zároveň aj odolnosť povrchu proti oteru. Na druhej strane ťahové napätie podporuje poškodenie dynamicky namáhaných povrchov a únavová pevnosť klesá.

Najhlavnejšie použitie procesu brúsenia je ako dokončovacia operácia, ktorá sa vyznačuje vysokou presnosťou rozmerov, tvarov a akosti povrchu. Z hľadiska technologického výstupu tohto obrábacieho procesu sú dôležité hlavne dosahované parametre presnosti a kvality obrobených plôch, zahrnuté v tab. 1.3. [1, 2]

Tab. 1.3 Dosahované presnosti obrobených plôch abrazívnej metódy brúsenia [1]

| Metóda obrábania         |   | Presnosť rozmerov IT |         | Hodnota Ra [ $\mu\text{m}$ ] |             |
|--------------------------|---|----------------------|---------|------------------------------|-------------|
|                          |   | stredná              | rozsah  | stredná                      | rozsah      |
| Vonkajšie rotačné plochy | <b>Brúsenie:</b><br>hrubovanie          | 10                   | 9 až 11 | 1,6                          | 0,8 až 3,2  |
|                          | dokončovanie                            | 5                    | 5 až 6  | 0,4                          | 0,2 až 0,6  |
|                          | jemné                                   | 4                    | 3 až 5  | 0,2                          | 0,05 až 0,4 |
| Vnútorne rotačné plochy  | <b>Vnútorne brúsenie:</b><br>hrubovanie | 9                    | 9 až 11 | 1,6                          | 1,6 až 3,2  |
|                          | dokončovanie                            | 7                    | 5 až 7  | 0,8                          | 0,4 až 1,6  |
|                          | jemné                                   | 5                    | 3 až 6  | 0,2                          | 0,05 až 0,4 |
| Rovinné plochy           | <b>Brúsenie:</b><br>hrubovanie          | 10                   | 9 až 11 | 1,6                          | 1,6 až 3,2  |
|                          | dokončovanie                            | 7                    | 5 až 7  | 0,8                          | 0,4 až 1,6  |
|                          | jemné                                   | 5                    | 3 až 6  | 0,2                          | 0,05 až 0,4 |

Brúsny kotúč vytvorený zo zrn brusiva, ktoré sú spojené spojivom, má nepravidelný geometrický tvar, vysokú tvrdosť a odolnosť proti vysokej teplote. Polomery zaoblenia ostria  $R$  nemajú jednotnú hodnotu. Geometria brúsneho zrna sa dá charakterizovať, že má spravidla negatívny uhol čela  $\gamma$  a dosť veľký uhol chrbta  $\alpha$ . Za reznú rýchlosť pri brúsení sa považuje obvodová rýchlosť brúsneho kotúča  $v_k$ . Posuvnú rýchlosť  $v_s$  vyjadruje posuv obrobku. Pozri obr. 1.7. [2, 4]



Obr. 1.7 Schéma brúsenia a geometria brúsnych zrn [13]

Podľa hlavného pohybu posuvu stola vzhľadom k brúsneho kotúča sa definuje:

- axiálne brúsenie
- tangenciálne brúsenie
- radiálne brúsenie
- obvodové zápichové brúsenie
- čelné zápichové brúsenie

Podľa aktívnej časti brúsneho kotúča sa špecifikuje:

- obvodové brúsenie
- čelné brúsenie

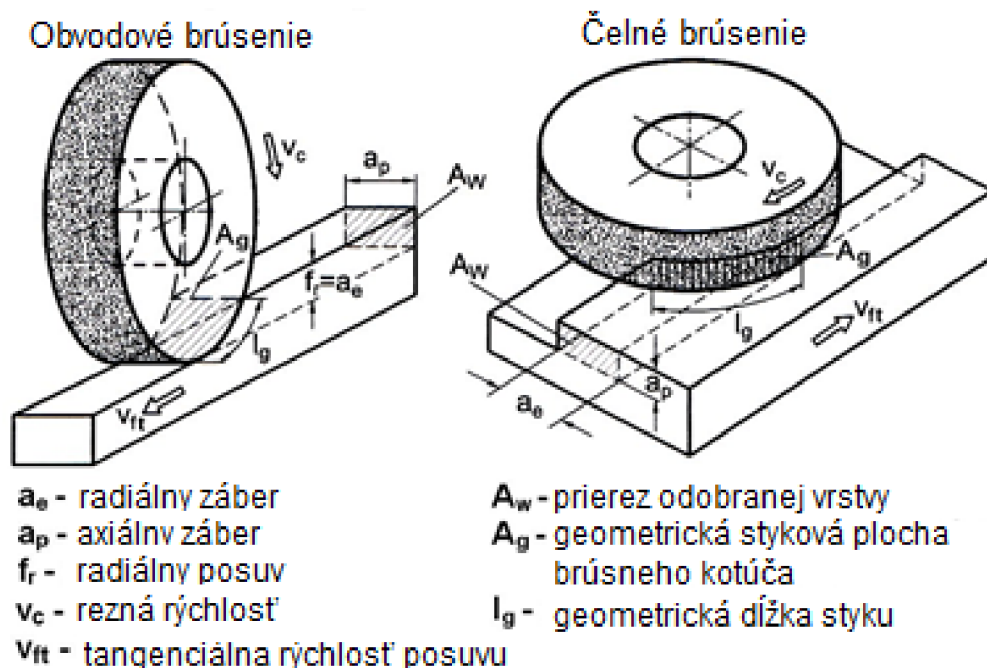
Podľa vzájomnej polohy brúsneho kotúča a obrobku sa charakterizuje:

- vonkajšie brúsenie
- vnútorné brúsenie

Podľa tvaru obrobeného povrchu a spôsobom akým sa vytvára, sa rozlišuje:

- rovinné brúsenie
- brúsenie do guľata
- brúsenie na otočnom stole
- tvarové brúsenie
- kopírovacie brúsenie
- brúsenie tvarovými brúsnymi kotúčmi [4]

Obvodové brúsenie patrí k najpresnejšiemu spôsobu brúsenia plôch, vďaka faktu, že sa brúsi úzkym kotúčom a obrobok sa deformuje len minimálne od tepla vzniknutého trením kotúča s obrobkom. Pri tomto type brúsenia sa obrobok môže otáčať alebo vykonávať vratný priamočiary posuv. V prípade priamočiareho vratného posuvu obrobku sa brúsny kotúč otáča obvodovou rýchlosťou  $v_c$ , obrobok vykonáva svoj vratný pohyb posuvnou rýchlosťou  $v_{ft}$ . V jednej alebo druhej úvrati kotúč mení svoju trajektóriu a posúva sa vzhľadom k obrobku priečne o hodnotu  $f_a$  a po obrúsení celej požadovanej plochy sa pomocou radiálneho posuvu  $f_r$  nastaví hĺbka pre ďalší opakovaný cyklus až po finálnu hodnotu prídavku pre brúsenie. Pozri obr. 1.8. [1, 2]



Obr. 1.8 Schéma obvodového a čelného brúsenia [14]

Čelné brúsenie dosahuje menšiu presnosť v porovnaní s obvodovým brúsením ale zase je oveľa výkonnejšie. Obrobok môže vykonávať podobne ako pri predchádzajúcom spôsobe priamočiary alebo otáčavý pohyb. Priamočiary pohyb stola sa využíva pri brúsení hlavne menších súčastí, napr. čela krúžkov ložísk. Pri väčších priemeroch obrobkov sú efektívne segmentové hlavy. Ich prednosti sú hlavne v lepšom využití brúsneho materiálu, kvalitnejší odvod triesok spojený s voľnejším prístupom procesnej kvapaliny, menšia styčná plocha nástroja s obrobkom a tým pádom menšie zahrievanie brúsenej súčiastky. [1, 2]

## 2 SORTIMENT PROCESNÝCH KVAPALÍN

V dnešnej dobe sa na svetovom trhu objavuje veľké množstvo procesných kvapalín a ich sortiment je rozsiahly. Za elementárne rozdelenie, aj z hľadiska ekológie, sa považuje delenie kvapalín na syntetické a prírodné. Pozri obr. 2.1.



Obr. 2.1 Ukážka syntetickej a prírodnej procesnej kvapaliny [29, 30]

### 2.1 Funkcie procesných kvapalín

Medzi kľúčové pozitívne účinky vplyvu kvapalín na proces obrábania patria účinky chladiace, mazacie, čistiace, teplotná stabilizácia obrobku a vlastnosti povrchovej vrstvy obrobku.

Účinné chladenie znižuje opotrebenie nástroja. Vďaka tomuto faktoru, je možné meniť rezné podmienky, tak aby sa urýchlila a zefektívnila výroba pri využití celého potenciálu rezného nástroja. Túto možnosť neponúka obrábanie na sucho. [2, 6] Ďalším pozitívnym faktorom je mazacia schopnosť procesných kvapalín, ktorá zvyšuje akosť povrchu obrobku a pritom znižuje rezný odpor. To má za následok zníženie potrebného výkonu pre danú operáciu, zníženie trenia a taktiež zredukovanie nežiaduceho tepla. Vedľa svojho chladiaceho a mazacieho účinku majú aj funkciu lepšieho odvodu triesky z miesta rezu, či čistiaceho a konzervačného charakteru. [1, 3]

### 2.2 Procesné prostredie

Procesné médium má významný vplyv na kvalitatívne a ekonomické parametre rezného procesu. Prírodným procesným médiumom je vzduch, ktorý obklopuje oblasť rezania ale nedosahuje potrebné chladiace a mazacie účinky ako umelo vytvorené médiá. Najčastejšie používané rezné médiá sú kvapaliny, plyny a hmly. Základné rozdelenie procesného prostredia v tab. 2.1. [6]

Tab. 2.1 Obecné rozdelenie typov procesného prostredia [6]

| Rozdelenie procesného prostredia |                              |   |
|----------------------------------|------------------------------|---|
| Skupina                          | Podskupina 1                 | Podskupina 2  |
| <b>Plynné prostredie</b>         | Vzduch<br>Interný plyn       |   |
|                                  | Hmla                         |   |
| <b>Kvapalné prostredie</b>       | Vodou miešateľné kvapaliny   | Minerálne<br>Polosyntetické<br>Syntetické<br>Špeciálne                        |
|                                  | Vodou nemiešateľné kvapaliny | Rastlinné<br>Syntetické<br>Minerálne<br>Koncentráty<br>vysokotlakových prísad |
| <b>Tuhé mazivá</b>               |                              |   |

Procesné prostredie vplýva na proces obrábania rôznymi faktormi, ktoré majú rôzne špecifiká a účinky. Medzi tými faktormi sú niektoré, ktoré nie sú úplne preverené a zmapované. Za základný účinok procesných kvapalín sa považuje chladiaci a mazací. K týmto dvom základným účinkom sa pripája menej dôležitý, a to čistiaci. Z hľadiska technologického a procesného sú toto ďalšie požiadavky:

- chladiaci účinok
- mazací účinok
- čistiaci účinok
- prevádzková stálosť
- ochranný účinok
- zdravotná neškodnosť
- primerané náklady [1]

## 2.3 Technologické a procesné požiadavky na kvapaliny

### 2.3.1 Chladiaci účinok

Chladiaci účinok má každá kvapalina a rozumie sa pod ním schopnosť procesnej kvapaliny odvádzať teplo z miesta rezu. Ochladzovanie sa koná, pokiaľ kvapalina smáča povrch obrobku a existuje tepelný spád medzi povrchom obrobku a kvapalinou. Vzniknuté teplo je odvádzané prúdom procesnej kvapaliny, ktorá oplachuje nástroj, triesku aj obrobok. Následne sa odvedené teplo rozptyľuje



kondukciou do nádrže stroja, stojanu a potom radiáciou do okolitého prostredia. Procesná kvapalina sa pri oplachovaní čiastočne odparuje, čo je nežiaduci stav, ako pre zdravotné dôvody obsluhy stroja, tak pre stratu časti objemu kvapaliny. Výrazný vplyv na účinné chladenie kvapaliny má povrchové napätie – čím je menšie, tým sa zväčšuje smáčavá schopnosť. Ďalší vplyv majú výparné teplo, rýchlosť vyparovania za určitých teplôt, tepelná vodivosť a merné teplo. Nezanedbateľná vlastnosť je penivosť procesnej kvapaliny. Ak pri obrábaní vzniká nadmerné množstvo peny, znižuje sa chladivá schopnosť. Miera vzniknutého tepla v mieste rezu je závislá na rezných podmienkach, hlavne na reznej rýchlosti a hĺbke záberu ostria. Pri vysokých nárokoch na produktivitu sa zvyšujú rezné rýchlosti a tým pádom aj hodnota tepla, ktorú je potrebné účinne odvádzať. U niektorých nástrojoch vplyvom vysokej teploty hrozí znehodnotenie v podobe popúšťania, napr. rýchlo rezné oceli. [1, 2, 3, 6]

### 2.3.2 Mazací účinok

Na vytvorenie účinnej schopnosti mazania je potrebná podmienka, aby procesná kvapalina bola schopná vytvoriť na povrchu kovu dostatočnú vrstvu, ktorá zabráni priamemu styku kovových povrchov. Vzniknutá vrstva znižuje trenie medzi nástrojom a obrobkom, nástrojom a trieskou. Pri obrábaní vznikajú vysoké tlaky, ktoré neumožňujú kvapalné trenie. Môže byť dosiahnuteľné medzné trenie, za predpokladu, že má kvapalina dostatočnú prilnavosť (afinitu) ku kovu alebo pokiaľ sa k obrobku viaže chemicky. Chemické viazanie sa prejavuje v mikroskopickej medznej vrstve, kde má malý súčiniteľ trenia. Užšia vrstva spôsobuje menší rezný odpor, ktorý sa prejaví zmenšením spotreby energie, zmenšením rezných síl, plynulejším chodom stroja a lepšou kvalitou obrobeného povrchu. Tento fakt je zásadný hlavne pre dokončovacie operácie a pri náročných operáciách ako je preťahovanie, výroba závitov alebo ozubenia. Dôležitá je pevnosť medznej vrstvy, ktorá sa docieli zvýšením viskozity danej procesnej kvapaliny. Daňou za vyššiu pevnosť je nedostatočné prenikanie kvapaliny do miest rezu, horšie prúdenie a odvod tepla. Vysoká viskozita tiež spôsobuje zachytávanie procesnej kvapaliny na trieskach obrobku. [1, 2, 3, 6]

### 2.3.3 Čistiaci účinok

Je charakterizovaný najmä odstraňovaním triesok a drobných častíc rezného materiálu z miesta rezu, pomocou prívodu procesnej kvapaliny. Ďalším aspektom je bránenie zlepovaniu častíc vzniknutých pri procese a zároveň neumožňovať ich usádzanie. Pri zlepovaní častíc môže za určitých podmienok dôjsť k účinnému zanášaniam brúsneho kotúča. Technológia brúsenia je závislá na rýchlom odvádzaní triesok z miesta rezu za účelom odvodu tepla z miesta rezu, ktoré tu vzniká kvôli vysokým rezným rýchlostiam a nedefinovanej geometrie nástroja. Veľký význam čistiaceho účinku je potrebný aj pri rezaní závitov a vrtaniu hlbokých dier. Najväčšiu efektivitu čistenia vykazujú kvapaliny s malou viskozitou, bez aktívnych prísad. Po odvedení triesok a nečistôt z miesta rezu je potrebné, aby procesná kvapalina umožnila nečistotám usadiť sa v nádrži, a tým bolo zabránené ich ďalšiemu pohybu v obehú systému. [1, 2, 3, 6]

### 2.3.4 Prevádzková stálosť

Je hodnota alebo interval výmeny procesnej kvapaliny. Interval výmeny procesného prostredia musí zabezpečiť konštantné vlastnosti danej náplne. Nežiaducim starnutím procesného prostredia na olejovej báze je tvorenie živcových usadenín, ktoré môžu spôsobiť aj poruchu stroja. Látky vznikajúce v starnúcej zmesi spôsobujú zhoršovanie funkčných vlastností procesného prostredia, jeho rozklad, zredukovanie mazacieho účinku, stratu ochranných schopností, korózie a hnilobný rozklad. Podstata prevádzkovej stálosti konkrétnej procesnej kvapaliny je vpísaná do jej fyzikálnych a chemických vlastností a na pracovnej teplote. Obecne platí pravidlo, ak je procesné prostredie zložitejšie, má väčšiu pravdepodobnosť viesť ku nestabilite. [1, 2, 3, 6]

### 2.3.5 Ochranný účinok

Pri obrábaní nie je pôsobenie procesnej kvapaliny fixované len na bod miesta rezu ale bezprostredne sa dostáva do kontaktu s obrobkom, vodiacich častí stroja, gumových tesnení stroja, prípravkov a nepriamo aj meradiel. Je nevyhnutné, aby kvapalina nebola agresívna a nenapadala kovy, pretože prípadná korózia je neakceptovateľná. Naopak je požiadavka, aby vytvárala konzervačnú ochrannú vrstvu, ktorá zabezpečuje ochranu stroja pri prestávkach a ochranu obrobku pred pôsobením atmosférickej vlhkosti. Na zlepšenie antikoročných účinkov sa do kvapalín pridávajú prísady, ktoré pasivujú kovy od nežiaducich vplyvov. Okrem ochrany kovových častí je potrebné dbať aj na gumové komponenty, či náter obrábacích strojov. [1, 2, 3, 6]

### 2.3.6 Zdravotná neškodnosť

Požiadavka na zdravotnú neškodnosť procesných kvapalín vyplýva z faktu, že pri obsluhu obrábacieho stroja prichádza obsluhujúci pracovník do styku s obsahom procesného prostredia. S vedomím tohto rizika nie je možná úplná sloboda chemických zmien zloženia média procesnej kvapaliny. Kvapaliny, v ktorých sú biologické zložky aktívne, znamenajú potencionálny zdroj vzniku kožných chorôb alebo alergií. Riziko sa môže dostaviť priamym kontaktom s ľudskou pokožkou alebo inhaláciou. V prevádzke je nutné zabezpečiť hygienické opatrenia ako je vetranie a umývanie. [1, 2, 3, 6]

### 2.3.7 Primerané náklady

Primerané náklady sa vzťahujú hlavne na spotrebu procesnej kvapaliny. Pri rozbore nákladov je dôležité posúdiť vplyv kvapaliny na proces obrábania ako je trvanlivosť nástroja a spotreba energie. Následne stálosť, spotrebu a výmenu danej náplne. Je finančne výhodné, pokiaľ sa výmena procesnej kvapaliny uskutoční v čase,



keď je stroj odstavený na pravidelnú údržbu. Znížia sa náklady spojené s odstávkou stroja. [1, 2, 3, 6]

## 2.4 Vodou miešateľné procesné kvapaliny

Hodnota pH je dôležitým parametrom vodou miešateľných procesných kvapalín. Pravidlom je, že hodnota musí byť vyššia ako 7, čo predstavuje zásaditú kvapalinu. Priemerná hodnota pH procesných kvapalín sa pohybuje v rozmedzí 9 – 9,4. Hraničná hodnota pH je 8,8 kedy môže dochádzať ku korózii materiálu. Vývojom nových generácií procesných kvapalín sa dosahuje hodnota pH 7,5 – 8,5 a to bez vplyvu na koróziu. Nižšia hodnota je výhodou, nakoľko dotyk kvapaliny s pokožkou obsluhy stroja, má menšie nepriaznivé účinky. Medzi ktoré patrí napríklad vysušovanie pokožky a pravdepodobnosť vzniku ekzémov. Hodnota pH sa meria buď lakmusovými papierikmi alebo digitálnymi pH metrami. [31]

Tvrdosť vody výrazne ovplyvňuje kvalitu a životnosť procesných kvapalín. So stúpajúcou hodnotou klesá chemická stabilita niektorých kvapalín. Tvrdosť vody sa určuje z nemeckej stupnice tvrdosti značenej °dH. Pozri tab. 2.2. [31, 32]

Tab. 2.2 Rozdelenie vody podľa jej tvrdosti [32]

| Číslo stupňa | Hodnota tvrdosti vody [°dH] | Názov vody    |
|--------------|-----------------------------|---------------|
| 1.           | 0 – 7 °dH                   | mäkká         |
| 2.           | 7 – 14 °dH                  | stredne tvrdá |
| 3.           | 14 – 21 °dH                 | tvrdá         |
| 4.           | nad 21 °dH                  | veľmi tvrdá   |

### 2.4.1 Vodné roztoky

Voda je veľmi lacná a dostupná surovina s účinným odvodom tepla, avšak nízkymi mazacími schopnosťami. Jej schopnosť odvodu tepla je daná, jej veľkou tepelnou kapacitou. Voda v jej základe nie je vhodná pre použitie ako procesná kvapalina. Nevhodnosť použitia je daná viacerými faktami. Jedným z nich je vysoká tvrdosť vody, daná obsahom solí, ktoré spôsobujú na povrchu kovu usadeniny a zalepujú funkčné plochy. Ďalším aspektom je reakcia vody na kov a ním je koróznym účinkom. Nízky bod varu vody spôsobuje nadmerné odparovanie. Voda trpí aj na vysoké povrchové napätie, čo neumožňuje dostatočné smáčanie povrchu, v spojení s neudržaním sa kvapiek vody na horúcich plochách znamená, zníženie chladiaceho účinku. Voda disponuje veľmi nízkym mazacím účinkom. Preto sú vyžadované rôzne úpravy ako zmäkčovanie, zlepšovanie smáčavosti a zabráneniu penivosti vody. Po realizácii daných úprav vznikajú vodné roztoky. Musia byť vždy alkalické. Tieto vodné roztoky obsahujú dobré životné prostredie pre mikroorganizmy, vzniká nebezpečie

rozmnožovania anaeróbných baktérií, ktoré spôsobujú tvorbu zápachu a zakalenie. [1, 6]

### 2.4.2 Emulzné kvapaliny

Emulzia je heterogénna zmes dvoch kvapalín, ktoré sa vzájomne samovoľne nezmiešajú. Sú schopné vytvoriť disperznú sústavu dvoch vzájomne nerozpustných kvapalín, kde jedna fáza tvorí mikroskopické kvapky rozptýlenej v druhej fáze. Jedná sa o olej vo vode. Pritom je potrebné do tejto sústavy pridať ďalšie zložky, emulgátory, ktoré zabránia opätovnému zhlukovaniu tukových zložiek, tým, že sa naviažu na fázové rozhranie olej-voda. Tieto látky majú za následok znižovanie povrchového napätia emulgovaných kvapalín a stabilizujú emulziu. Emulzia oleja vo vode predstavuje správny kompromis, ktorý spája prednosti vody a mazacích olejov. Olejová zložka vo forme malých kvapôčok o veľkosti 0,2 až 0,8 mm znižujú trenie v mieste rezu, medzi nástrojom a obrobkom. Vodná zložka na druhej strane ako lacné a dostupné médium slúži pre odvod tepla a vyplachovanie triesok materiálu. Na intenzite chladiaceho účinku závisí koncentrácia emulzie, s jej nárastom klesá. Emulzné kvapaliny dosahujú aj ochranu proti korózií, ktorá je závislá na hodnote pH, ale nie až v takej miere ako to je u vodných roztokov. Emulzia o hodnote pH 8 až 9 je dostatočná na ochranu proti korózií pre materiály zliatiny železa.

Na prípravu emulzných kvapalín je potrebné dodržanie určitého postupu:

- pre prípravu použiť vodu po správnej úprave
- koncentrát pridávame do vody a nie naopak, postupne a za stáleho miešania
- koncentráciu emulzie voliť podľa plánovej operácie, pohyb obvyklej hodnoty je medzi 2 až 10% [1, 2, 3]

### 2.4.3 Syntetické a polysyntetické kvapaliny

Tieto priehľadné kvapaliny neobsahujú minerálny olej, ktorý bol nahradený radou plne syntetických rozpúšťadiel na bázy polyglykolov a esterov. Tieto rozpúšťadlá sú vo vode veľmi dobre rozpustné alebo vo vode ľahko emulgujúce. Syntetické zložky neobsahujú žiadnu olejovú stopu, polysyntetické len jej malé množstvo. Polysyntetické zložky obsahujú hodnotu minerálneho oleja od 5 do 30%. Využívajú sa hlavne pri brúsení, pretože sú vhodné pre operácie s veľkou reznou rýchlosťou, sú schopné veľmi dobre odvádzať teplo, nezanášajú brúsny kotúč a umožňujú sledovať priebeh obrábania. Túto možnosť prinášajú prítomné glykoly, ktoré sú priesvitné, a robia kvapalinu priehľadnou. Majú podobné vlastnosti ako emulgačné kvapaliny, ale rozdiel je v ich stálosti voči baktériám. Chemické zloženie a molekulová štruktúra je omnoho viac homogénna ako je u prírodných alebo minerálnych olejoch. Nie sú závislé na kvalite vody, ich príprava je jednoduchá a bránia korózií účinne už pri nízkych koncentráciách, pretože obsahujú veľmi málo oleja alebo aj žiadny pri čisto syntetickom prevedení. Nakoľko tento druh procesných kvapalín obsahuje vodu, ktorá sa ľahko rozptyľuje a následne odparuje, čím sa v priebehu obrábania mení koncentrácia chladiacej kvapaliny. Je nutnosť pravidelne

kontrolovať ich stupeň koncentrácie, pretože tieto kvapaliny disponujú silnými čistiacimi a alkalickými vlastnosťami, ich pH sa pohybuje okolo 9 – 9,5. Prípadná zvýšená hladina pH môže spôsobiť u príslušnej obsluhy stroja podráždenie pokožky alebo alergie. Na rozdiel od procesných kvapalín, ktoré sú založené na ropnom základe, je možné dopredu stanoviť ich fyzikálne vlastnosti. [1, 2, 3, 6]

#### 2.4.4 Špeciálne kvapaliny

Použitie týchto kvapalín je výhradne jednoúčelové pre neobvyklé typy obrábania. Fungujú len v určitej špecifickej oblasti použitia. Takouto oblasťou môže byť technológia Flowdrill, ktorá používa rotačnej rýchlosti a axiálnej sily pre lokálne tvárenie materiálu pomocou trecej teploty. Hrot tváriaceho vrtáku sa maže špeciálnou kvapalinou, vyvinutou pre tento účel. Tváriaci vrták nie len odoberá triesku ale aj roztavuje obrábaný materiál. Pozri obr. 2.2 a obr. 2.3. [6, 33]



Obr. 2.2 Špeciálne mazadlá pre najlepšie prevedenie [33]



Obr. 2.3 Ukážka technológie Flowdrill [33]

## 2.5 Vodou nemiešateľné procesné kvapaliny

Sú to procesné kvapaliny na báze minerálnych olejov, nazývané rezné oleje. Za základnú stavbu sa považujú minerálne, živočíšne alebo rastlinné oleje. Rezné oleje majú oproti vodou miešateľným procesným kvapalín pomerne veľa pozitív. V rezných olejoch sa nenachádza voda, čo eliminuje predpoklad vzniku korózie na železných povrchoch a taktiež rozšírenie baktérií, ktorým sa vo vode darí. Olejové kvapaliny disponujú dobrou smáčavosťou, pretože ich povrchové napätie je podstatne nižšie ako u vody. Na druhej strane disponujú tiež negatívnou vlastnosťou, nízkym chladiacim účinkom, ktorý je spôsobený absenciou vody a jej dobrým výparným teplom. Rezné oleje môžu počas obrábania vyššími reznými rýchlosťami aj vzplanúť. Používajú sa pre dokončovacie operácie typu honovanie a lapovanie, kde sú v prevádzke nižšie rezné rýchlosti a vyžaduje sa vysoká akosť povrchu. Zmenou viskozity na nízku hodnotu sa dá doceliť lepšieho čistiaceho a vylachovacieho účinku.

Z dôvodu zlepšenia vlastností vodou nemiešateľných kvapalín sa obecné pridávajú rôzne prísady, ktoré sa dajú rozdeliť do troch skupín:

- masťné látky
- organické zlúčeniny obsahujúce síru, chlór a fosfor
- pevné mazivá [2, 6]

### 2.5.1 Minerálne oleje

Hlavnou zložkou je priehľadný, bezfarebný olej zložený z alkénov a cyklických parafínov, nazývaný minerálny olej, tiež ropný olej. Charakterizovaný je nízkou cenou a taktiež dostupnosťou. Pri obrábaní má dobrú mazaciu schopnosť, odolnosť voči starnutiu a vzniku baktérií. Nevýhoda je nižšia chladivá vlastnosť. [6]

### 2.5.2 Syntetické oleje

Základným stavebným kameňom týchto olejov je zloženie na báze polyglykolu. Vyrábajú sa umelo, syntézou. Sú zdravotne a ekologicky nezávadné, keďže nedochádza k bakteriálnemu rozkladu. Vyznačujú sa stálosťou a dlhou životnosťou. Výhodou sú vysoké body vzplanutia i tuhnutia, čo predurčuje možnosť širšieho nastavenia rezných podmienok pri obrábaní. [1, 2, 6]

### 2.5.3 Koncentráty vysokotlakových prísad

Sú zušľachtené alebo aditívované minerálne oleje. Prísady, ktoré sa pridávajú, majú vyššiu tlakovú únosnosť a tiež lepšie mazacie schopnosti. Inými slovami sú to aditívované rezné oleje. Látky, ktoré sa osvedčili ako vysokotlakové prísady sú na báze síry, chlóru alebo fosforu. Koncentráty majú veľký vplyv na tvorení výrastku.



Aktívne látky obsiahnuté v koncentrátu sa viažu na kovový povrch nástroja aj obrobku, kde vytvárajú vrstvičku kovových mydiel a tie pomáhajú klznému pohybu trecích plôch a tým aj samostatnej tvorby výrastku. Zlúčeniny s chlóróm znižujú trenie ale ich účinnosť klesá pri teplotách nad 400 °C a zvyšujú sa účinky korózie. Zlúčeniny s fosforom dosahujú ešte nižších hodnôt trenia ako s chlóróm a za najlepšiu kombináciu sa považuje zlúčenina síry, chlóróm a fosforu.

Ďalšou používanou prísadou sú pevné mazivá, ktoré pri rezaní pôsobia aj mechanickým účinkom. Vďaka svojej afinite ku kovom vytvárajú medznú vrstvu, ktorá je odolná voči tlakom, a tým zlepšujú mazáciu schopnosť oleja. Negatívnym faktom je, že sa pevné mazivá v kvapaline nerozpúšťajú a aby boli dostatočne účinné musia sa udržiavať v rozptýlenom stave. Tento proces je ale bohužiaľ dosť finančne náročný a aj to je dôvod prečo sa tento druh prísad v praxi príliš nerozšíril. Do tejto skupiny patrí grafit a sírnik molybdénu. [1, 3, 6]

## 2.6 Produkty od výrobcov procesných kvapalín

Koncentrácia procesnej kvapaliny je najdôležitejším parametrom vodou miešateľných kvapalín. V praxi sa meria refraktometrom. Na presné definovanie koncentrácie je potrebné poznať koeficient refraktometru, ktorý je uvedený v každom technickom liste príslušnej kvapaliny. Je to bezrozmerné číslo, ktorým sa násobí nameraná hodnota na prístroji. Výsledná skutočná hodnota koncentrácie procesnej kvapaliny sa stanoví až po vynásobení týchto dvoch čísiel. Pozri obr. 2.4. [31]



Obr. 2.4 Univerzálny refraktometer [34]

## 2.6.1 Grindex 10

Art.No 1101-04

**Grindex 10****Description**

Grindex 10 is a synthetic, water miscible, mineral oil free cutting fluid for grinding.

**Range of application**

Grindex 10 is designed for grinding cast iron and steel alloys. It is also suitable for machining glass and ceramic materials.

**Product properties**

Good rinsing behaviour



keeps grinding wheels and machines clean

Excellent foam behaviour



suitable for high pressure and high wheel peripheralspeeds

Efficient corrosion protection



no corrosion even at low concentrations

Good settling behaviour



grit and fines don't remain in suspension

Obr. 2.5 Grindex 10 katalóg [15]

Prvým zástupcom je Grindex 10, jedná sa o syntetickú, vodou miešateľnú procesnú kvapalinu bez minerálneho oleja na brúsenie. Je navrhnutá na brúsenie liatiny a zliatin ocele. Kvapalina je vhodná taktiež na obrábanie skla a keramických materiálov.

Špecifické vlastnosti:

- dobré oplachovanie schopnosti
- veľmi nízka penivosť
- účinná korózna ochrana
- správanie pri usadzovaní – jemné zrná sa nezachytávajú [15]

Tab. 2.3 Fyzikálne – chemické parametre procesnej kvapaliny Grindex 10 [15]

|                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| Farba                       | Žltá, priehľadná        |
| Obsah minerálneho oleja     | 0 %                     |
| Obsah vody                  | 40 %                    |
| Hustota kvapaliny pri 20 °C | 1,12 g.cm <sup>-3</sup> |
| Hodnota pH                  | 8,7 – 9,2               |
| Index refraktometru         | 1,6                     |

## 2.6.2 Vasco 5000

Art.No. 2850 - 05

### Vasco 5000

**Description**

Vasco 5000 is a chlorine-free, water miscible, ester-oil based, high performance cutting fluid.

**Range of application**

High performance cutting fluid for difficult to machine materials as e.g. titanium or Inconel and for heavy duty machining of cast iron, steel, aluminium alloys.

**Product properties**

Excellent cutting performance due to properties of ester



Vegetable oil-base ester



Applicable in hard and softwater



Good rinsing behavior


**Benefits**

 very long tool life  
for toughest operations and materials  
excellent surface finishes

 renewable raw materials  
biodegradable

low foam behavior in all water hardness

 clean machines  
economical through low consumption

Obr. 2.6 Vasco 5000 katalóg [16]

Ďalšou kvapalinou je Vasco 5000, vodou miešateľná procesná kvapalina bez chlóru na báze esterového oleja. Je to vysoko výkonná rezná kvapalina na obrábanie náročných materiálov ako je titán a zliatina typu Inconel. Vhodná na hrubovanie liatin, ocele a hliníkových zliatin.

Špecifické vlastnosti:

- vynikajúci rezný výkon vďaka vlastnostiam esterového oleja – dlhá životnosť nástroja, určené pre najťažšie operácie
- báze esterového oleja – obnoviteľná surovina, biologicky rozložiteľná
- použiteľné v tvrdých aj v mäkkých vodách – nízka penivosť [16]

Tab. 2.4 Fyzikálne – chemické parametre procesnej kvapaliny Vasco 5000 [16]

|                               |                                     |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| Farba                         | Svetlo hnedá, mliečna               |
| Obsah minerálneho oleja       | 0 %                                 |
| Obsah esteru                  | 52 %                                |
| Obsah vody                    | < 0,1 %                             |
| Hustota kvapaliny pri 20 °C   | 0,96 g.cm <sup>-3</sup>             |
| Viskozita kvapaliny pri 40 °C | 90 mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> |
| Bod vzplanutia                | 180 °C                              |
| Hodnota pH                    | 8,7 – 9,4                           |
| Index refraktometru           | 1,0                                 |



### 2.6.3 Blasocut 4000 Strong

Art.No 872-12

## Blasocut 4000 Strong

|                             |   |  |
|-----------------------------|---|--|
| <b>Description</b>          | Blasocut 4000 Strong is a water miscible, mineral oil-based, high performance cutting fluid.      |  |
| <b>Range of application</b> | High performance cutting fluid for heavy duty machining of cast iron, steel and aluminium alloys. |  |
|                             | <b>Product properties</b>   | <b>Benefits</b>  |
|                             | Excellent cutting performance due to EP additives   | → for toughest machining operations<br>excellent tool life<br>very good surface finishes |
|                             | Good stability  | → extended sump life<br>low disposal costs   |
|                             | Mild formulation without bactericides   | → good human and skin compatibility  |

Obr. 2.7 Blasocut 4000 Strong katalóg [17]

Procesná kvapalina Blasocut 4000 Strong je vysoko výkonná, vodou miešateľná rezná kvapalina na báze minerálneho oleja. Vyvinutá pre náročné obrábanie liatin, ocele a zliatin hliníka.

Špecifické vlastnosti:

- vynikajúce rezné výkony vďaka prítomnosti EP prísad (chlór, síra, fosfor) – určená pre najťažšie operácie, dlhá životnosť nástroja
- dobrá stabilita – predĺžená životnosť náplne, nízke náklady na likvidáciu
- zloženie bez baktérií – zdravotne nezávadné, nedráždi ľudskú pokožku [17, 18]

Tab. 2.5 Fyzikálne – chemické parametre procesnej kvapaliny Blasocut 4000 Strong [17]

|                               |                                     |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| Farba                         | Hnedá, mliečna                      |
| Obsah minerálneho oleja       | 45 %                                |
| Obsah chlóru                  | 6 %                                 |
| Obsah vody                    | 5 %                                 |
| Hustota kvapaliny pri 20 °C   | 0,99 g.cm <sup>-3</sup>             |
| Viskozita kvapaliny pri 40 °C | 58 mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> |
| Bod vzplanutia                | 144 °C                              |
| Hodnota pH                    | 8,3 – 9,2                           |
| Index refraktometru           | 1,0                                 |

## 2.6.4 Cimstar 700



Obr. 2.8 Cimstar 700 katalóg [19]

Cimstar 700 je polysyntetická kovoobrábacia vodou miešateľná kvapalina. Táto kvapalina bola vyvinutá na použitie pri obrábaní železných a väčšinu neželezných materiálov. Môže byť použitá pri obrábaní mäkkej, nerezovej i tvrdej ocele a väčšinu hliníkových zliatin. Nie je vhodná pri obrábaní zliatin horčíka. Odporúča sa používať pre ľahké až stredne náročné obrábanie ako je frézovanie, vŕtanie, vystružovanie a povrchové brúsenie.

Špecifické vlastnosti:

- dobré mazanie – fyzikálne a chemické lubrikačné činidlá poskytujú korektné opracovanie
- ochrana pred koróziou – olejovitý film udržuje obrábacie nástroje a obrobok bez korózie a zafarbenia
- mikrobiálna kontrola – pri udržiavaní správnej koncentrácie kvapaliny
- nízka penivosť [19]

Tab. 2.6 Fyzikálne – chemické parametre procesnej kvapaliny Cimstar 700 [19]

|                     |            |
|---------------------|------------|
| Farba               | Priehľadná |
| Obsah síry          | 0,2 %      |
| Obsah chlóru        | 0 %        |
| Bod počiatku varu   | > 100 °C   |
| Bod tuhnutia        | - 1,1 °C   |
| Hodnota pH          | 9,5        |
| Index refraktometru | 2,1        |

## 2.6.5 Paramo FIN 2

### Cutting oils PARAMO FIN 2, FIN 5, FIN 7, CUT 10, CUT 14, CUT BM

It is a set of cutting oil designed for finishing machining operations, where blade geometry is not accurately defined. During their formulation, there were used high-quality base oils of high flash point, minimal evaporation loss and ideal sedimentary ability. Maximally reduced fuzzing and suitable selection of AW and EP additives in a combination with efficient corrosion inhibitors allows them to guarantee optimally-cut attributes for efficient finishing technologies.

| TYPICAL PARAMETERS                      | FIN 2* | FIN 5* | FIN 7 | CUT 10 | CUT 14 | CUT BM |
|---|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| Viscosity at 40 °C (mm <sup>2</sup> /s) | 3      | 5      | 7,5   | 12,5   | 14     | 15     |
| Pour point ( °C)                        | -30    | -21    | -18   | -10    | -10    | -10    |
| Flash point ( °C)                       | 80     | 140    | 120   | 170    | 180    | 175    |
| Corrosion test on Brass 80 °C/3 h       | Pass   | Pass   | Pass  | Pass   | Pass   | Pass   |

Obr. 2.9 Paramo FIN 2 katalóg [20]

Rezné oleje PARAMO sú vytvorené najmä pre dokončovacie operácie, kde nie je presne definovaná geometria nástroja. Surovina použitá vo výrobe je vysoko kvalitný olej s vysokým bodom vzplanutia, s minimálnymi stratami odparovania a s ideálnym usadzovaním častíc. Maximálnym znížením stôp na povrchu a vhodným výberom EP prísad v kombinácii s efektívnou koróznou ochranou umožňuje týmto rezným olejom zabezpečiť optimálne podmienky pre dokončovacie operácie.

Rezný olej Paramo FIN 2 je špeciálne určený pre honovanie, super finišovanie a lapovanie kovov, konštrukčnej ocele a niektorých nekovových materiálov pri použití brúsneho materiálu ako je diamant, korund, karbid bóru alebo kremíka. [20]

Tab. 2.7 Fyzikálne – chemické parametre procesnej kvapaliny Paramo FIN 2 [20, 21]

|                           |                                    |
|---------------------------|------------------------------------|
| Farba                     | Svetlo žltá                        |
| Hustota oleja pri 15 °C   | 0,86 g.cm <sup>-3</sup>            |
| Viskozita oleja pri 40 °C | 3 mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> |
| Bod vzplanutia            | 80 °C                              |
| Bod tuhnutia              | - 30 °C                            |
| Rozpustnosť               | Nerozpustný vo vode                |

### 3 PODMIENKY POUŽITIA

Procesné kvapaliny sú pri obrábaní vďaka svojim chemickým a mechanickým vlastnostiam schopné ovplyvniť celý proces. Vo väčšine prípadov je ovplyvnenie pozitívne ale existujú aj negatívne účinky, ktoré sa vhodným zvolením a používaním procesnej kvapaliny dajú minimalizovať. Tieto kvapaliny dovoľujú dosiahnuť lepších výsledkov v rámci trvanlivosti nástroja a akosti obrobeného povrchu, ako pri obrábaní bez použitia procesných kvapalín, tzv. „na sucho“.

Počas obrábania sa väčšina dodanej práce mení v teplo. Teplota v oblasti rezania je závislá hlavne na kontakte triesky a nástroja, na veľkosti rezných síl a trecích procesoch medzi materiálom obrobku a britom nástroja. Pôsobením tepla a kontaktného tlaku vzniká výrastok na brite rezného nástroja, ktorý následne spôsobuje postupné otupenie ostria. Účinné chladenie tohto dôležitého miesta znižuje opotrebenie nástroja. Vďaka tomuto faktoru, je možné meniť rezné podmienky, tak aby sa urýchlila a zefektívnila výroba pri využití celého potenciálu rezného nástroja. Túto možnosť neponúka obrábanie na sucho. [2, 6]

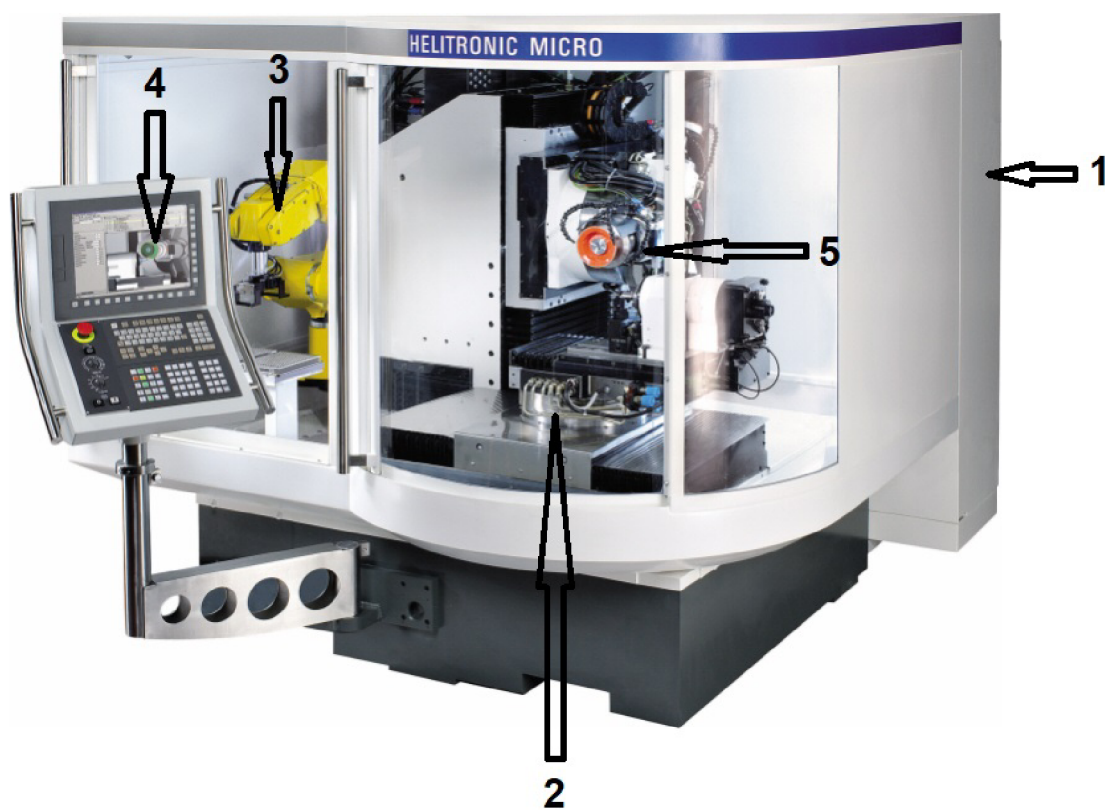
Na procesné kvapaliny sa kladú aj zdravotné, či bezpečnostné hľadiská. Je požadovaná environmentálna šetrnosť, ľahká likvidácia týchto mazív pri nevyvolávaní ekologických problémov. Aj tieto dôvody vedú k vývoju a skúšaní nových druhov procesných kvapalín. [1, 3]

Bližšie informácie ohľadom podmienok použitia procesnej kvapaliny sú už zahrnuté v predošlých kapitolách pri charakteristikách jednotlivých obrábacích operáciách a pri požiadavkách kladených na procesné kvapaliny.

## 4 VZOROVÁ SITUÁCIA POUŽITIA PROCESNEJ KVAPALINY

### 4.1 Technický popis stroja Helitronic Micro

Helitronic Micro je nástrojová brúska s 6 CNC riadenými osami a 1 automatickou osou pojazdu držiaku obrobku, špeciálne pre výrobu mikro nástrojov ako sú frézy, vrtáky, stupňovité vrtáky a stupňovité nástroje. V stroji je integrovaný robotický vkladací systém. Pomocou tohto stroja je možné vyrábať a prebrusovať nástroje od priemeru 0,1 do 12,7 mm. Pozri obr. 4.1. [28]



1. Skriňový rozvádzač
2. Osa C s držiakom obrobku
3. Robotický podávač
4. Pult obsluhy s ovládacím panelom
5. Brúsna hlava s 3 motorovými vretenami

Obr. 4.1 HELITRONIC MICRO s pozíciami [22]



#### 4.1.1 Pracovný priestor stroja

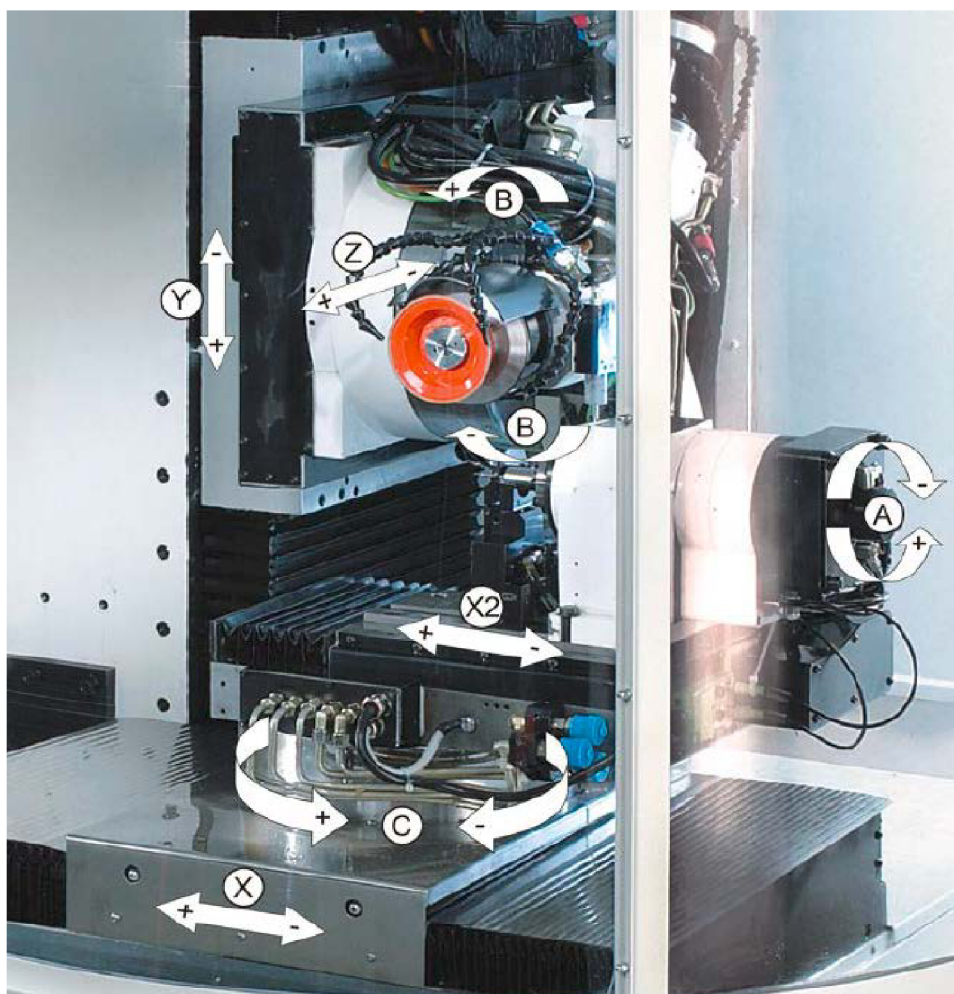
Stroj:

- 6 riadených CNC os (osa X, Y, Z, A, C a B)
- automatická osa X2 k pojazdu držiaku obrobku
- pohon brúsneho vretena s 3 motorovými vretenami
- 6 osí robotický podávač integrovaný v stroji [28]

Priame pohony:

- digitálne lineárne motory v osách X, Y a Z
- momentové motory na otočných osách A, B a C

(Všetky lineárne osy sú vybavené systémom priameho merania dĺžky). [28]



Obr. 4.2 Pracovný priestor stroja s označením os [28]



### 4.1.2 Osy stroja

Lineárne osy:

Maximálne dráhy pojazdu:

- |   |        |
|---|--------|
| - osa X (horizontálny pohyb)                  | 385 mm |
| - osa X2 (horizontálny pohyb držiaku obrobku) | 110 mm |
| - osa Y (vertikálny pohyb)                    | 320 mm |
| - osa Z (pričný pohyb)                        | 320 mm |

Maximálna rýchlosť pojazdu lineárnych os 30 m.min<sup>-1</sup>

Rotačné osy:

Rozsah natáčania osy C (otočný stôl) ± 200 °

- |                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| - maximálna rýchlosť | 20 min <sup>-1</sup> |
|----------------------|----------------------|

Rozsah natáčania osy B (brúsna hlava) ± 140 °

- |                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| - maximálna rýchlosť | 60 min <sup>-1</sup> |
|----------------------|----------------------|

Rozsah rotačnej osy A 360 °

- |                 |                            |
|-----------------|----------------------------|
| - rozsah otáčok | 0 – 1000 min <sup>-1</sup> |
|-----------------|----------------------------|

[28]

### 4.1.3 Brúsna hlava stroja

Maximálny priemer brúsneho kotúča 150 mm

Maximálna plocha prierezu obloženia 90 mm<sup>2</sup>

Ventily chladiva pre každú hlavu vretena 2

Otáčky brúsneho vretena 0 – 10 500 min<sup>-1</sup>

[28]

## 4.2 Rozsah sortimentu výroby

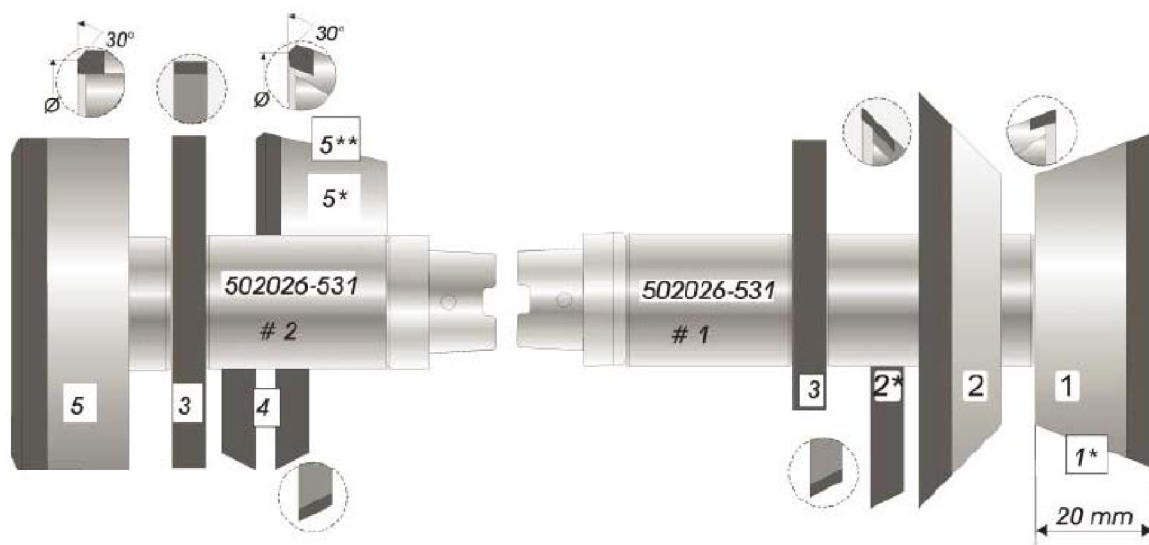


Obr. 4.3 Príklady vyrábaných nástrojov [23]

Legenda k obr. 4.3 (zľava doprava):

- kónický typ frézy
- vrták na kosti
- lekárske frézy
- lekárske vrtáčky
- mikrofrézovacie nástroje
- mikrovrtáky
- vnútorné sústružnícke nože
- ostruhy
- čepele
- vrtáky [23]

### 4.3 Použité brúsne kotúče



Obr. 4.4 Sada použitých brúsnych kotúčov pri ukážke [28]

Tab. 4.1 Charakteristika brúsnych kotúčov z obr. 4.4 [28]

| Brúsny kotúč č. : | Typ kotúča | Priemer kotúča [mm] | Materiál (*iná možnosť ) |
|-------------------|------------|---------------------|--------------------------|
| 1                 | 11V9       | 100                 | Nitrid diamantu          |
| 2                 | 12V9       | 125                 | Nitrid diamantu          |
| 3                 | 1A1        | 100                 | Nitrid diamantu          |
| 4                 | 1V1        | 125                 | Nitrid diamantu          |
| 5                 | 6V5        | 100                 | Nitrid diamantu          |
| 1*                | 11V9       | 100                 | *Alternatíva             |
| 2*                | 1V1        | 125                 | *Iný typ stroja          |
| 5*                | 11V9       | 100                 | *Alternatíva             |
| 5**               | 11V9       | 125                 | *Iný typ stroja          |

#### 4.4 Použitá procesná kvapalina

Pri ukážke je použité úplne syntetické, multifunkčné dielektrikum pre brúsenie a erodovanie nástrojov s britmy z polykryštalického diamantu a kubického nitridu bóru s využitím efektu satelitných elektród.

Jedná sa o značku Ionogrind Dielektrikum. Toto dielektrikum umožňuje zároveň použitie ako brúsny olej pre výkonné brúsenie nástrojových ocelí, spekaných karbidov a hlavne polykryštálov diamantu a kubického nitridu bóru na jednom stroji. [24]

Pre vzorovú ukážku využitia procesnej kvapaliny bolo dielektrikum použité ako brúsny olej. Pozri tab. 4.2.

Tab. 4.2 Fyzikálne – chemické parametre procesnej kvapaliny Ionogrind Dielektrikum [24,28]

|                                |                                      |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| Farba                          | Zeleno fluoreskujúca                 |
| Hustota oleja pri 15 °C        | 0,84 g.cm <sup>-3</sup>              |
| Viskozita oleja pri 20 °C      | 14 mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>  |
| Viskozita oleja pri 40 °C      | 7,3 mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> |
| Bod vzplanutia                 | 155 °C                               |
| Obsah aromatických uhľovodíkov | 0,01 %                               |
| Rozpustnosť                    | Ner rozpustný vo vode                |

Procesná kvapalina nie je výbušná, ale je možný vznik výbušnej zmesi hustých výparov a vzduchu pri teplotách nad bodom vzplanutia alebo pri silnom výskyte olejovej hmly.

Medza výbušnosti:

- dolná medza 0,6 Vol %
- horná medza 7,0 Vol % [28]

#### 4.5 Priebeh ukážky použitia procesnej kvapaliny

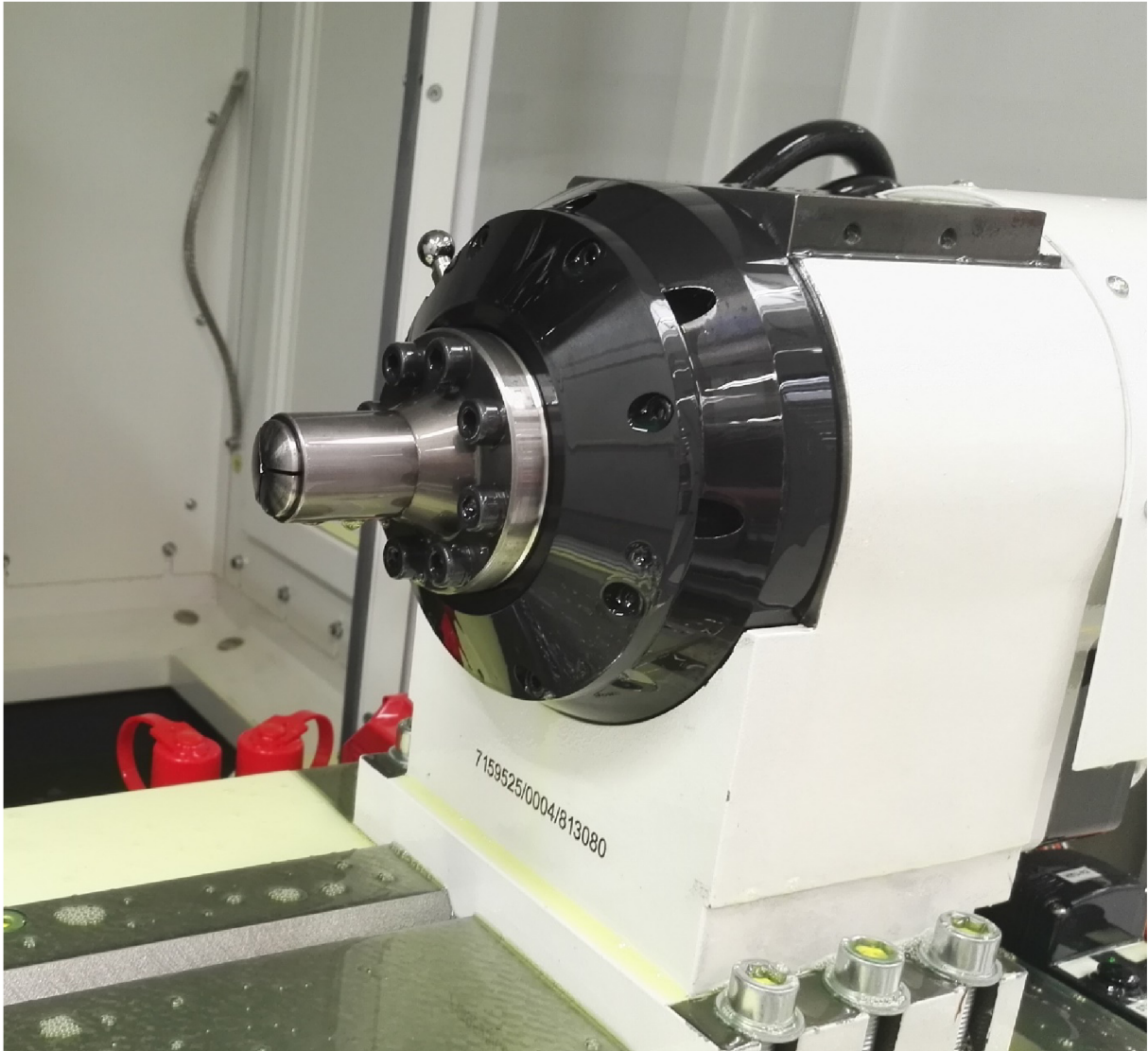
Ukážka bola realizovaná na nástrojovej CNC brúske HELITRONIC MICRO. Samotný technologický proces bolo odlaďovanie a skúšanie stroja na výrobe mikrofrézovacieho nástroja – mikrofrézy.

Ako polotovar je použitá plná tyč priemeru 6 mm a dĺžky 41 mm. Tyč je na svojom jednom konci už tvarovo pred chystaná a pripravená na vytvorenie profilu nástroja frézy. Materiál polotovaru je spekaný karbid. Chladenie a mazanie pri brúsení zabezpečoval brúsny olej Ionogrind Dielektrikum. Pozri obr. 4.5.



Obr. 4.5 Polotovar pre vytvorenie mikrofrézovacieho nástroja

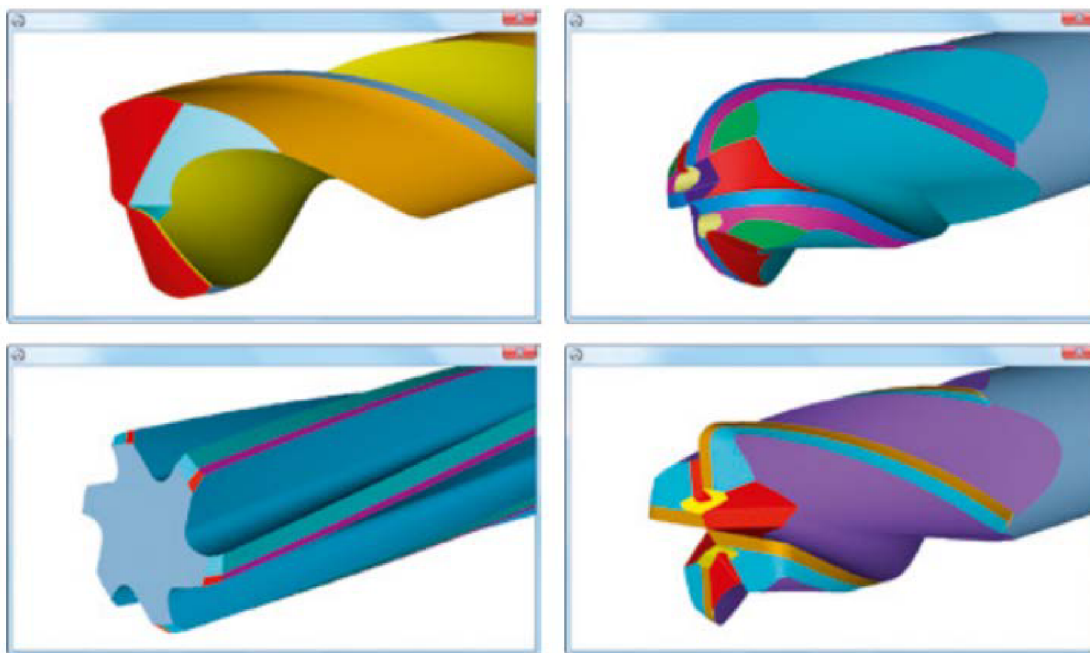
Výmena a upnutie obrobku bolo realizované ručne na prírubu so strediacim priemerom. Upínať je možné len nástrojové stopky podľa DIN 1835 tvar A a tvar B (do priemeru 20 mm). Pozri obr. 4.6. [28]



Obr. 4.6 Príruba so strediacim priemerom



Po upnutí obrobku do sklúčovadla nasledovalo spustenie programu Helitronic Tool Studio. Software pre výrobu valcových a kužeľových nástrojov so stopkou. Pomocou tohto programu je možné s minimálnou spotrebou času a práce vytvárať priebehy opracovania a pohybov, ako pre vysoko komplexné špeciálne nástroje, tak aj pre štandardné nástroje. Model nástroja, ktorý obsluha vidí na obrazovke, presne zodpovedá tomu, čo stroj vyrába. Obsluha je tým pádom schopná brúsenie v jeho priebehu kontrolovať alebo prípadne optimalizovať. Pozri obr. 4.7. [25]



Obr. 4.7 Software Helitronic Tool Studio - ukážka modelov nástrojov [25]

Pred samotným procesom brúsenia a vytváraním tvaru špirály mikrofrézovacieho nástroja, systém zmeria vzdialenosť obrobku a jeho polohu pomocou lineárnej osy pojazdu X2 a Heli-Sondy s dotykovou guľičkou o priemeru 0,5 mm. Jedná sa o automatický polohovací a merací systém pre:

- radiálne a axiálne polohovanie nástroja
- meranie
- stúpanie špirály
- meranie polohy rezných doštičiek [26, 28]

Pozri obr. 4.8.

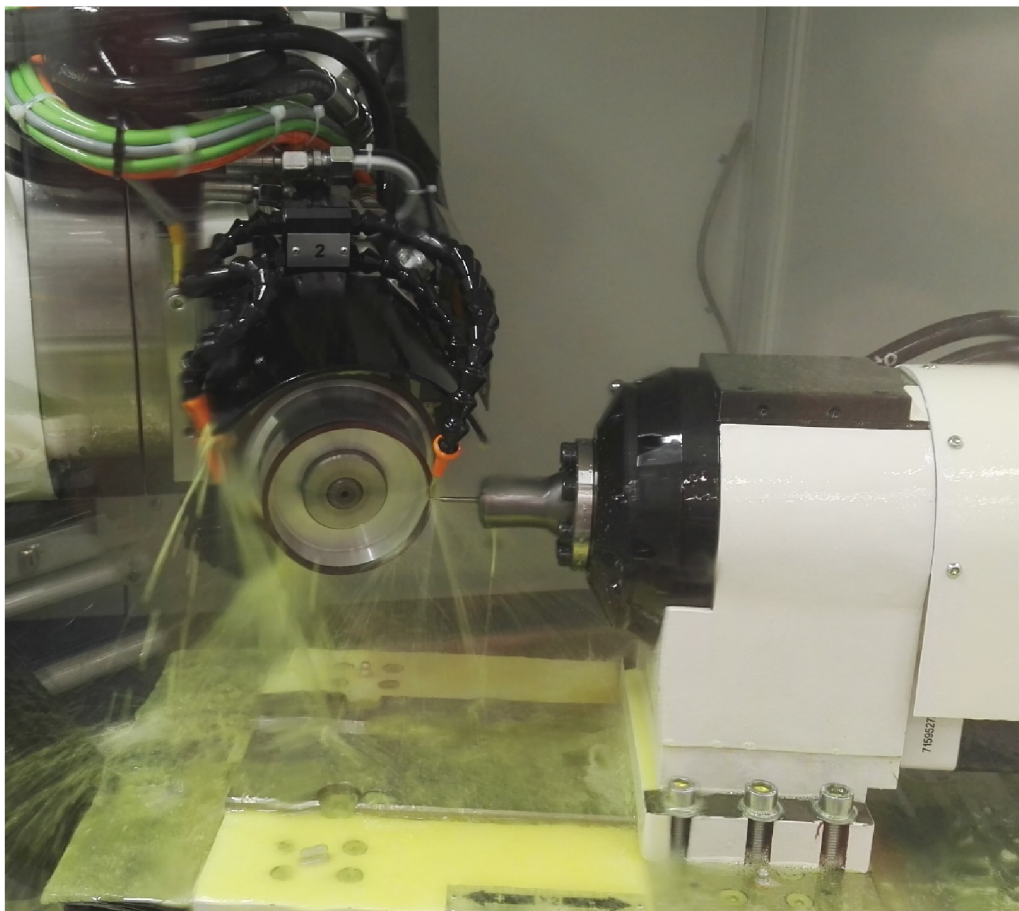


Obr. 4.8 Meranie a polohovanie obrobnku Heli-Sondou [26]

Obrábací proces brúsenia trval 3 minúty a 44 sekúnd. Chladienie a mazanie bolo zabezpečené brúsnym olejom Ionogrand Dielektrikum, ktorý bol privádzaný 2 chladiacimi ventilmi na každom konci vretena riadených pomocou programu na brúsenie. Situáciu dokumentujú obr. 4.9 a obr. 4.10. [27, 28]



Obr. 4.9 Vzorová ukážka použitia procesnej kvapaliny pri brúsení



Obr. 4.10 Vzorová ukážka použitia procesnej kvapaliny pri brúsení (iný pohľad)

Po ukončení procesu brúsenia a zastavení programu je na obrobku dokončená špirála nástroju frézy. Tento mikrofrézovací nástroj má následné základné parametre:

- materiál – spekaný karbid
- priemer reznej časti - 0,5 mm
- počet zubov – 2
- dĺžka nástroja – 41 mm
- dĺžka rezu – 2,5 mm [27]

Pozri obr. 4.11 a obr. 4.12.



Obr. 4.11 Mikrofrézovací nástroj [27]



Obr. 4.12 Mikrofrézovací nástroj (iný pohľad) [27]

---

## 5. DISKUSIA

Vzorová situácia použitia procesnej kvapaliny v praxi bola realizovaná na CNC brúske pri vyrábaní mikrofrézovacieho nástroja. Na presné odladenie stroja bolo potreba viacero pokusov, aby mal nástroj požadované uhly, stúpanie špirály a správnu kvalitu povrchu. Odladovanie brúsneho programu v softvare Helitronic Tool Studio vykonával príslušný pracovník. Procesy úprav a korekcií sa pohybovali v rámci mikrometrov. Pri vysoko výkonnom brúsení je nutné použitie procesnej kvapaliny. Otáčky brúsneho vretena môžu dosiahnuť až  $10\,500\text{ min}^{-1}$ . Za procesné prostredie bolo zvolené úplne syntetické, multifunkčné dielektrikum. Toto dielektrikum môže byť použité aj na obrábanie erodovaním. Použitie teda nie je jednúčelové a je vhodné pre výkonné brúsenie spekaných karbidov ako brúsny olej. Rozhodnutie používať toto dielektrikum aj pre mechanické brúsenie sa schováva vo finančnej stránke. Firma má ďalšie CNC brúsky založené na erodovaní nástrojov, takže je najvýhodnejšie použitie jednej procesnej kvapaliny na všetkých strojoch.

Ionogrand Dielektrikum má bod vzplanutia  $155\text{ °C}$  a je definovaný ako nevíbušný, ale pri vzniku hustých výparov a vzduchu pri teplotách nad bodom vzplanutia môže dôjsť k výbušnej zmesi. Ako opatrenie je zvolený automatický hasiaci systém, ktorým je vybavená každá CNC brúska rady Helitronic.



---

## ZÁVER

Bakalárska práca rešeršného typu predkladá charakteristiku základných metód trieskového obrábania ako sústruženie, frézovanie, vŕtanie a brúsenie vzťahnuté na použitie procesnej kvapaliny pri obrábaní. Pri obrábaní je aj prezentovaná tvorba triesky, jej tvar a vplyv na rezný proces. Následne popisuje jednotlivé technologické a procesné požiadavky kladené na kvapaliny. V ďalšej časti kapitoly je rozdelenie kvapalín na vodou miešateľné a na vodou nemiešateľné s podrobným popisom ich funkcií. Zaoberá sa aj konkrétnym sortimentom od svetových výrobcov procesných kvapalín vždy s jedným zástupcom od danej firmy a s jeho fyzikálne – chemickými parametrami. Zástupcovia od výrobcov sú Grindex 10, Vasco 5000, Blasocut 4000 Strong, Cimstar 700 a Paramo FIN 2.

Následuje kapitola s názvom podmienky použitia procesnej kvapaliny. Priamo tejto kapitole je venovaná len malá časť z bakalárskej práce. Bližšie informácie sú postupne rozobraté v charakteristikách jednotlivých obrábacích operáciách a pri požiadavkách kladených na tieto médiá. Popis nežiaduceho vzniku výrastku na brite nástroja pri nepoužití procesnej kvapaliny a dosiahnutiu vysokej teploty.

V poslednej časti bakalárskej práce je vzorová ukážka použitia procesnej kvapaliny v praxi na CNC brúske Helitronic Micro pri technológii brúsenia. Brúsením sa vyrábala špirála mikrofrézovacieho nástroja. Materiál vyrábaného nástroja je spekaný karbid. Sada použitých brúsnych kotúčov je z materiálu nitrid diamantu. Chladenie bolo zabezpečené prívodom procesnej kvapaliny dvoma chladiacimi ventilmi z každej strany brúsneho kotúča. Použitá kvapalina bola Ionogrind Dielektrikum. Brúsny olej zeleno fluoreskujúcej farby vhodný aj na erodovanie nástrojov s využitím satelitných elektród. Rezný proces trval 3 minúty a 44 sekúnd. CNC brúska Helitronic Micro je opísaná s jej technickými parametrami a pracovným priestorom stroja s pracovnými osami. Z katalógu danej firmy je krátka ukážka sortimentu výroby a možností stroja. V sortimente figurujú napríklad lekárske vŕtačky a frézy. Zdokumentovaný postupný priebeh ukážky od použitých brúsnych kotúčov, cez využitú procesnú kvapalinu, polotovár, upínanie obrobku, prostredie softwaru stroja až po konkrétny proces brúsenia s ukončeným vyrobeným mikrofrézovacím nástrojom.



---

## Zoznam použitých zdrojov

1. KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
2. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-1996-2.
3. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
4. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění – 1. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003, [cit. 13.02.2018]. Dostupné na: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-1cast.pdf)
5. *Technická příručka obrábění: soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů : příručka firmy Sandvik Coromant*. Praha: Sandvik Coromant, 2005.
6. ERSÁK, Jan a Alexey POPOV. *Ekologické obráběcí kapaliny nové generace*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014. ISBN 978-80-7494-142-9.
7. Pohyby vykonávané pri sústružení. In: *Strojárska technológia* [online]. [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: [http://www.strojarskatechnologia.info/wp-content/uploads/2009/05/26-sustruzenie\\_rezne\\_podmienky-pohyby\\_pri\\_rezani.jpg](http://www.strojarskatechnologia.info/wp-content/uploads/2009/05/26-sustruzenie_rezne_podmienky-pohyby_pri_rezani.jpg)
8. Plochy obrábania sústruženia s posuvom a šírkou záberu ostria. In: *Strojárska technológia* [online]. [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: [http://www.strojarskatechnologia.info/wp-content/uploads/2009/05/26-sustruzenie\\_plochy\\_obrabania-posuv\\_na\\_jednu\\_otacku.jpg](http://www.strojarskatechnologia.info/wp-content/uploads/2009/05/26-sustruzenie_plochy_obrabania-posuv_na_jednu_otacku.jpg)
9. Plochy pri obrábání. *Jhamernik.sweb* [online]. [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <http://jhamernik.sweb.cz/obrabeni.htm>
10. Schéma čelného a válcového frézovania. In: *DOCPLAYER* [online]. [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/45994764-Zakladni-charakteristika-frezovani-frezovani-triskove-obrabeni-rovinnych-i-vnitrnich-a-vnejsich-tvarovych-ploch-stroje-frezky-nastroje-frezy.html>
11. Schéma nesúhlasného a súhlasného frézovania. In: *Roymechx* [online]. [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: [http://www.roymech.co.uk/Useful\\_Tables/Manufacturing/Milling.html](http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Manufacturing/Milling.html)
12. Schéma vrtania. In: *Strojárska technológia* [online]. [cit. 2018-02-28]. Dostupné z: <http://www.strojarskatechnologia.info/wp-content/uploads/2009/05/26-vrtanie.jpg>
13. Schéma brúsenia a geometria brúsnych zrn. In: *Zozei.sssebrno* [online]. [cit. 2018-03-06]. Dostupné z: <http://zozei.sssebrno.cz/userdata/imagelibrary/upload/geometrie-brousiciho-nastroej.jpg>
14. Schéma obvodového a čelného brúsenia. In: *Eluc.kr-olomoucky* [online]. [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1278>

15. Grindex 10 katalóg. In: *Cuttingfluids* [online]. [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: [http://www.cuttingfluids.com.mx/es/wp-content/uploads/2014/09/Grindex\\_10.pdf](http://www.cuttingfluids.com.mx/es/wp-content/uploads/2014/09/Grindex_10.pdf)
16. Vasco 5000 katalóg. In: *Cuttingfluids* [online]. [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: [http://www.cuttingfluids.com.mx/es/wp-content/uploads/2014/09/Vasco\\_5000.pdf](http://www.cuttingfluids.com.mx/es/wp-content/uploads/2014/09/Vasco_5000.pdf)
17. *Blasocut 4000 Strong katalóg* [online]. In: . [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: [http://www.cuttingfluids.com.mx/es/wp-content/uploads/2014/09/Blasocut\\_4000\\_Strong.pdf](http://www.cuttingfluids.com.mx/es/wp-content/uploads/2014/09/Blasocut_4000_Strong.pdf)
18. Chladiace mazivá miešateľná s vodou. *Blaser* [online]. [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: [https://www.blaser.com/cs\\_CZ/our-solutions/water-miscible-coolants](https://www.blaser.com/cs_CZ/our-solutions/water-miscible-coolants)
19. Cimstar 700 katalóg. In: *Cimcool* [online]. [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: [http://www.cimcool.com/sds/uploads/SDS%20US%20English%20-%20CIMSTAR%20700%20BLUE\\_US.pdf](http://www.cimcool.com/sds/uploads/SDS%20US%20English%20-%20CIMSTAR%20700%20BLUE_US.pdf)
20. Paramo FIN 2 katalóg. In: *Loziska* [online]. [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: [https://www.loziska.com/store/katalog\\_paramo.pdf](https://www.loziska.com/store/katalog_paramo.pdf)
21. Bezpečnostný list Paramo FIN 2. In: *Eshop.paramo* [online]. [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: [https://eshop.paramo.cz/data/VyrobkovaDokumentace/bl10\\_paramo\\_fin2.pdf](https://eshop.paramo.cz/data/VyrobkovaDokumentace/bl10_paramo_fin2.pdf)
22. HELITRONIC MICRO s pozíciami. In: *Fplreflib.findlay* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <http://fplreflib.findlay.co.uk/engapp/Machinery%20November%202011%20grinding%20Walter%20-%20Marlor%20Micro.jpg>
23. Príklady vyrábaných nástrojov. In: *Walter-machines* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: [https://cdn.walter-machines.com/fileadmin/content/www.walter-machines.com/02\\_pdf/Literatur/WALTER\\_HELITRONIC\\_MICRO/132\\_WALTER\\_HELITRONIC\\_MICRO\\_DE.pdf](https://cdn.walter-machines.com/fileadmin/content/www.walter-machines.com/02_pdf/Literatur/WALTER_HELITRONIC_MICRO/132_WALTER_HELITRONIC_MICRO_DE.pdf)
24. Technické informácie Ionogrind Dielektrikum. In: *Interspark* [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://www.interspark.cz/files/IonoGrind.pdf>
25. Software Helitronic Tool Studio. In: *Walter-machines* [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: [https://cdn.walter-machines.com/fileadmin/\\_migrated/content\\_uploads/WALTER\\_HELITRONIC\\_TOOL\\_STUDIO\\_EN.pdf](https://cdn.walter-machines.com/fileadmin/_migrated/content_uploads/WALTER_HELITRONIC_TOOL_STUDIO_EN.pdf)
26. Heli-Sonda. In: *Walter-machines* [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: [https://cdn.walter-machines.com/fileadmin/content/www.walter-machines.com/02\\_pdf/Literatur/WALTER\\_HELITRONIC\\_MICRO/132\\_WALTER\\_HELITRONIC\\_MICRO\\_DE.pdf](https://cdn.walter-machines.com/fileadmin/content/www.walter-machines.com/02_pdf/Literatur/WALTER_HELITRONIC_MICRO/132_WALTER_HELITRONIC_MICRO_DE.pdf)
27. Mikrofrézovací nástroj. In: *Walter-machines* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: [https://cdn.walter-machines.com/fileadmin/content/www.walter-machines.com/02\\_pdf/Anwendungstechnische\\_Beispiele/Vollradiusfraeser-2734-eoa-de.pdf](https://cdn.walter-machines.com/fileadmin/content/www.walter-machines.com/02_pdf/Anwendungstechnische_Beispiele/Vollradiusfraeser-2734-eoa-de.pdf)
28. *Návod k provozu HELITRONIC MICRO: Technická dokumentace. 2.3.* Brno, 2016.
29. Syntetická procesná kvapalina. In: *Lubricantes-as* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.lubricantes-as.es/aceites-de-corte/>

- 
30. Prírodná procesná kvapalina. In: *Laugolubs* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: [http://www.laugolubs.sk/rezne\\_kvapaliny.php](http://www.laugolubs.sk/rezne_kvapaliny.php)
  31. Základné parametre vodou miešateľných kvapalín v prevádzke. In: *Tribotechnika* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32011/meranie-zakladnych-parametrov-vodou-rieditelnych-kvapalin-v-prevadzke.html>
  32. Hodnota pH a tvrdosť vody. In: *Greenpeace* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.greenpeace.org/slovakia/Global/slovakia/report/2006/7/hodnota-ph-a-tvrdos-vody.pdf>
  33. Technológia Flowdrill. In: *Kavon* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: [https://www.kavon.cz/katalogy/pdf/Flowdrill\\_Leaflet\\_v3.1\\_cz.pdf](https://www.kavon.cz/katalogy/pdf/Flowdrill_Leaflet_v3.1_cz.pdf)
  34. Univerzálny refraktometer. In: *Refraktometer-eshop* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.refraktometer-eshop.sk/rbr10-atc-univerzalny-refraktometer-brix-na-olejove-emulzie-a-velmi-nizke-koncentracie>

---

**Zoznam Použitých Symbolov a Skratiek**

| Skratka/Symbol  | Jednotka                | Popis  |
|-----------------|-------------------------|--|
| IT              | [ - ]                   | Presnosť rozmerov  |
| Ra              | [ $\mu\text{m}$ ]       | Kvalita povrchu  |
| n               | [ot.min <sup>-1</sup> ] | Otáčky   |
| v <sub>c</sub>  | [m.min <sup>-1</sup> ]  | Rezná rýchlosť   |
| v <sub>e</sub>  | [m.min <sup>-1</sup> ]  | Rýchlosť rezného pohybu  |
| v <sub>f</sub>  | [mm.min <sup>-1</sup> ] | Posuvná rýchlosť   |
| f               | [mm]                    | Posuv na otáčku obrobku  |
| f <sub>n</sub>  | [mm]                    | Posuv na otáčku  |
| a <sub>p</sub>  | [mm]                    | Šírka záberu ostria  |
| $\gamma$        | [ ° ]                   | Uhol čela  |
| $\alpha$        | [ ° ]                   | Uhol chrbta  |
| v <sub>k</sub>  | [m.s <sup>-1</sup> ]    | Obvodová rýchlosť brúsneho kotúča                                |
| v <sub>s</sub>  | [mm.min <sup>-1</sup> ] | Posuvná rýchlosť   |
| v <sub>ft</sub> | [mm.min <sup>-1</sup> ] | Tangenciálna rýchlosť posuvu                                     |
| f <sub>a</sub>  | [mm]                    | Axiálny posuv  |
| f <sub>r</sub>  | [mm]                    | Radiálny posuv   |
| R               | [mm]                    | Polomer zaoblenia ostria   |
| pH              | [ - ]                   | Stupnica kyslosti a zásaditosti                                  |
| CNC             | [ - ]                   | Computer Numerical Control – počítačom (číslicovo riadený stroj) |
| dH              | [ ° ]                   | Stupnica tvrdosti vody   |
| DIN             | [ - ]                   | Nemecká technická norma  |