

# ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

## **FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Strojírenská technologie – technologie obrábění

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Vliv mikrogeometrie dělového vrtáku na jeho trvanlivost

Autor: **Bc. Jakub Gärtner**  
Vedoucí práce: **Ing. Miroslav Zetek, Ph.D.**

Akademický rok 2015/2016

## **Zadání 1.strana**

## **Zadání 2.strana**

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## **Autorská práva**

Podle Zákona o právu autorském. č.35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků bakalářské práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků, nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

## **Poděkování**

Při tvorbě této diplomové práce se mi dostalo podpory od Ing. Petra Wintera, specialisty na hluboké vrtání a vlastníka firmy Winter-servis s.r.o., který je také zástupcem německé firmy Botek, jejíž specializací je výroba nástrojů pro hluboké vrtání. Diplomovou práci dokázal obohatit o cenné zkušenosti z praxe, a proto mu patří velký dík.

Také bych rád poděkoval Ing. Zetkovi, Ph.D. za poskytnuté konzultace, kvalifikované rady a neustálý kontakt při sepisování této práce.

Další můj vděk patří zmíněným dvěma firmám, které zdarma poskytly sadu třinácti dělových vrtáků a jednoho pilotního vrtáku, bez kterých by se experiment neobešel.

Na závěr, děkuji obsluze multifunkčního obráběcího centra Ing. Kroftovi.

## Anotační list diplomové práce

|                      |   |                              |                                 |
|----------------------|---|------------------------------|---------------------------------|
| <b>AUTOR</b>         | <b>Příjmení</b><br>Bc. Gärtner                          | <b>Jméno</b><br>Jakub        |                                 |
| <b>STUDIJNÍ OBOR</b> | N2301 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“ |                              |                                 |
| <b>VEDOUcí PRÁCE</b> | <b>Příjmení (včetně titulů)</b><br>Ing. Zetek, Ph.D.    | <b>Jméno</b><br>Miroslav     |                                 |
| <b>PRACOVISŤE</b>    | ZČU - FST - KTO   |                              |                                 |
| <b>DRUH PRÁCE</b>    | <b>DIPLOMOVÁ</b>  | <del><b>BAKALÁŘSKÁ</b></del> | <b>Nehodící se<br/>škrtněte</b> |
| <b>NÁZEV PRÁCE</b>   | Vliv mikrogeometrie dělového vrtáku na jeho trvanlivost |                              |                                 |

|                |         |                |     |                    |      |
|----------------|---------|----------------|-----|--------------------|------|
| <b>FAKULTA</b> | strojní | <b>KATEDRA</b> | KTO | <b>ROK ODEVZD.</b> | 2016 |
|----------------|---------|----------------|-----|--------------------|------|

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

|               |    |                     |    |                      |   |
|---------------|----|---------------------|----|----------------------|---|
| <b>CELKEM</b> | 62 | <b>TEXTOVÁ ČÁST</b> | 55 | <b>GRAFICKÁ ČÁST</b> | 7 |
|---------------|----|---------------------|----|----------------------|---|

|   |  |
|---|--|
| <b>STRUČNÝ POPIS</b><br><br><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL<br/>POZNATKY A PŘÍNOSY</b> | Cílem diplomové práce je zjistit vliv poloměru zaoblení řezné hrany na trvanlivost dělového vrtáku. Práce je zpočátku věnována jednotlivým faktorům ovlivňující trvanlivost dělového vrtáku. Další bod práce spočívá v návrhu a realizaci vlastního experimentu. Jednotlivá úprava mikrogeometrie nástrojů se docílila vlečným omíláním. Nástroje s upravenou mikrogeometrií byly testovány na multifunkčním obráběcím centru. Poslední bod práce je věnován shrnutí a vyhodnocení výsledku experimentu, kde je zpracována závislost opotřebení na odvrтанých metrech. |
| <b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>  | hluboké vrtání, dělový vrták, trvanlivost, pilotní otvor, mikrogeometrie, poloměr zaoblení ostří, kritériální hodnota opotřebení   |

## Summary of diploma sheet

|                          |   |                         |                                   |
|--------------------------|---|-------------------------|-----------------------------------|
| <b>AUTHOR</b>            | <b>Surname</b><br>Gärtner   | <b>Name</b><br>Jakub    |                                   |
| <b>STUDIJNÍ OBOR</b>     | N2301 „Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting“     |                         |                                   |
| <b>SEPERVISOR</b>        | <b>Surname (inklusive of degrees)</b><br>Ing. Zetek, Ph.D.        | <b>Name</b><br>Miroslav |                                   |
| <b>INSTITUTION</b>       | ZČU - FST - KTO   |                         |                                   |
| <b>TYPE OF THE WORK</b>  | <b>DIPLOMA</b>  | <b>BACHELOR</b>         | <b>Delete when not applicable</b> |
| <b>TITLE OF THE WORK</b> | Influence of the gun drill microgeometry on the cutting tool life |                         |                                   |

|                |                        |                   |     |                     |      |
|----------------|------------------------|-------------------|-----|---------------------|------|
| <b>FACULTY</b> | Mechanical engineering | <b>DEPARTMENT</b> | KTO | <b>SUBMITTED IN</b> | 2016 |
|----------------|------------------------|-------------------|-----|---------------------|------|

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

|                |    |                  |    |                       |   |
|----------------|----|------------------|----|-----------------------|---|
| <b>TOTALLY</b> | 62 | <b>TEXT PART</b> | 55 | <b>GRAPHICAL PART</b> | 7 |
|----------------|----|------------------|----|-----------------------|---|

|   |  |
|---|--|
| <b>BRIEF DESCRIPTION</b><br><br><b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b> | The thesis aims to investigate the influence of the radius of curvature of the cutting edges for durability gun drill. The work is initially focused on individual factors affecting durability gun drills. Another point of work is in the design and implementation of the experiment. Individual micro-geometry editing tools to obtain a towing tumbling. Tools with a modified micro-geometry were tested on the multifunction machining center. The last section is devoted to summarize and evaluate the outcome of the experiment, which is processed dependence wear on drilled meters. |
| <b>KEY WORDS</b>  | deep drilling, gun dril, cutting tool time, pilot hole, microgeometry, radius blade, criterion wear value  |

## OBSAH

|   |    |
|---|----|
| Seznam obrázků .....  | 10 |
| Seznam tabulek .....  | 12 |
| Seznam grafů.....   | 12 |
| Seznam použitých zkratk a symbolů .....                                       | 13 |
| 1 Úvod.....   | 14 |
| 2 Rozbor současného stavu .....   | 15 |
| 2.1 Rozložení řezných sil na vnější řezné hraně.....                          | 16 |
| 2.2 Jednotlivé faktory ovlivňující trvanlivost dělového vrtáku .....          | 17 |
| 2.2.1 Vliv nastavení hlavního ostří (úhel nastavení špičky) .....             | 17 |
| 2.2.2 Vliv polohy hrotu oproti vodičkům .....                                 | 19 |
| 2.2.3 Vliv tvaru drážky .....   | 20 |
| 2.2.4 Vliv řezných podmínek.....  | 20 |
| 2.2.5 Vliv makrogeometrie břítu.....  | 20 |
| 2.2.6 Vliv množství a přívodu řezného média .....                             | 22 |
| 2.2.7 Vliv procesu vzniku pilotního otvoru .....                              | 24 |
| 2.2.8 Vliv mikrogeometrie.....  | 25 |
| 3 Návrh a realizace vlastních experimentů .....                               | 28 |
| 3.1 Makrogeometrie nepoužitého dělového vrtáku .....                          | 28 |
| 3.2 Přípravek pro omílání .....   | 29 |
| 3.3 Testování dělových vrtáků do nástrojové ocele dle ČSN 19 552.3.....       | 29 |
| 3.3.1 Stanovení etalonového dělového vrtáku .....                             | 30 |
| 3.3.2 Ilustrace změření poloměru zaoblení ostří.....                          | 36 |
| 3.3.3 Vznik třísky.....   | 37 |
| 3.3.4 Vyhodnocení geometrických a rozměrových tolerancí .....                 | 38 |
| 3.3.5 Zhodnocení degradace nástrojů .....                                     | 40 |
| 3.4 Testování dělových vrtáků do konstrukční ocele dle ČSN 12 050.3.....      | 40 |
| 3.4.1 Stanovení etalonového dělového vrtáku .....                             | 41 |
| 3.4.2 Testování trvanlivosti dělových vrtáků.....                             | 43 |
| 3.4.3 Vznik třísky.....   | 46 |
| 3.4.4 Vyhodnocení geometrických a rozměrových tolerancí .....                 | 47 |
| 4 Shrnutí a vyhodnocení výsledků .....  | 49 |
| 4.1 Trvanlivost vztažená k hodnotě opotřebení hřbetu vnitřní řez. hrany ..... | 49 |
| 4.2 Vyhodnocení opotřebení hřbetu špičky dělových vrtáků .....                | 51 |



|   |                     |    |
|---|---------------------|----|
| 5 | Závěr .....         | 53 |
| 6 | Zdroje .....        | 54 |
| 7 | Seznam příloh ..... | 56 |

## Seznam obrázků

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 1: Celokarbidový dělový vrták .....  | 15 |
| Obrázek 2: Upínací stopka dělového vrtáku .....  | 16 |
| Obrázek 3: Vzniklý podbrus s válcovou fazetkou .....   | 16 |
| Obrázek 4: Rozklad řezných sil na vnější řezné hraně [10] .....  | 17 |
| Obrázek 5: Vliv polohy špičky na rozložení řezných sil [10] .....  | 18 |
| Obrázek 6: Delší vnější řezná hrana [10] .....   | 18 |
| Obrázek 7: Kratší vnější řezná hrana [10] .....  | 18 |
| Obrázek 8: Fazetka zvyšující přítlak na vodítka .....  | 19 |
| Obrázek 9: Plocha prostoru pro výplach [10] .....  | 19 |
| Obrázek 10: Jednotlivé hřbety použitého dělového vrtáku [19] .....   | 21 |
| Obrázek 11: Podélný utvařec třísek při nulovém úhlu čela [10] .....  | 21 |
| Obrázek 12: Válcová fazetka a fazetka na vnější řezné hraně [19] .....                                       | 22 |
| Obrázek 13: Kuželovitost dělového vrtáku [10] .....  | 22 |
| Obrázek 14: Vzniklý cobalt leaching na vodících plochách [10] .....  | 24 |
| Obrázek 15: Proces vzniku pilotního otvoru [1] .....   | 25 |
| Obrázek 16: Rozdíl mezi upravenou a neupravenou mikrogeometrií [2] .....                                     | 26 |
| Obrázek 17: K faktor [10] .....  | 27 |
| Obrázek 18: Neopotřebovaný nástroj s původní makrogeometrií jednotlivých hřbetů .....                        | 28 |
| Obrázek 19: Neopotřebovaný nástroj s původní makrogeometrií válcové fazetky .....                            | 28 |
| Obrázek 20: Pouzdro navlečené na vrtací rouře dělového vrtáku .....  | 29 |
| Obrázek 21: Metalografický výbrus oceli dle ČSN 19 552.3 .....   | 30 |
| Obrázek 22: Nástroj č. 6; $v_c=60$ ; m/min; 2 m; opotřebení špičky; bez úpravy .....                         | 31 |
| Obrázek 23: Nástroj č. 6; $v_c=60$ m/min; 2 m; degradace vál. fazetky; bez úpravy .....                      | 31 |
| Obrázek 24: Nástroj č. 4; $v_c=50$ m/min; 2 m; opotřebení špičky; bez úpravy .....                           | 32 |
| Obrázek 25: Nástroj č. 4; $v_c=50$ m/min; 2 m; degradace vál. fazetky; bez úpravy .....                      | 32 |
| Obrázek 26: Nástroj č. 3; $v_c=40$ m/min; 2 m; opotřebení špičky; bez úpravy .....                           | 32 |
| Obrázek 27: Nástroj č. 3; $v_c=40$ m/min; 2 m; degradace vál. fazetky; bez úpravy .....                      | 32 |
| Obrázek 28: Nástroj č. 1; $v_c=60$ m/min; 2 m; opotřebení špičky; $r_N=13$ $\mu$ m .....                     | 34 |
| Obrázek 29: Nástroj č. 1; $v_c=60$ m/min; 2 m; degradace vál. fazetky; $r_N=13$ $\mu$ m .....                | 34 |
| Obrázek 30: Nástroj č. 1; $v_c=60$ m/min; 2 m; vyštípnutí břitu na vnější řez. hraně; $r_N=13$ $\mu$ m ..... | 34 |
| Obrázek 31: Nástroj č. 13; $v_c=60$ m/min; 2 m; opotřebení špičky; $r_N=8$ $\mu$ m .....                     | 35 |
| Obrázek 32: Nástroj č. 13; $v_c=60$ m/min; 2 m; degradace vál. fazetky; $r_N=8$ $\mu$ m .....                | 35 |

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 33: Nástroj č. 13; $v_c=60$ m/min; 2 m; vyštípnutí břitu na vnější řez. hraně; $r_N=8$ $\mu$ m.....                         | 35 |
| Obrázek 34: Nástroj č. 12; $v_c=60$ m/min; 2 m; opotřebení špičky; $r_N=3$ $\mu$ m.....   | 36 |
| Obrázek 35: Nástroj č. 12; $v_c=60$ m/min; 2 m; degradace vál. fazetky; $r_N=3$ $\mu$ m .....                                       | 36 |
| Obrázek 36: Nástroj č. 12; $v_c=60$ m/min; 2 m; vyštípnutí břitu na vnější řez. hraně; $r_N=3$ $\mu$ m.....                         | 36 |
| Obrázek 37: Nástroj č. 12; $v_c=60$ m/min; 2 m; degradace olejové hrany; $r_N=3$ $\mu$ m .....                                      | 36 |
| Obrázek 38: Ilustrace měření poloměru zaoblení ostří .....  | 37 |
| Obrázek 39: ISO 6.2- obloučkovitá dělená; nástroj č. 1; $v_c=60$ m/min; 2 m; $n=6400$ ot/min; $f=0,02$ mm/ot; $r_N=13$ $\mu$ m..... | 37 |
| Obrázek 40: ISO 6.2- obloučkovitá dělená; nástroj č. 12 $v_c=60$ m/min; 2 m; $n=6400$ ot/min; $f=0,02$ mm/ot; $r_N=3$ $\mu$ m.....  | 37 |
| Obrázek 41: Nástroj č. 7; $v_c=60$ m/min; 2 m; opotřebení špičky; bez úpravy .....  | 42 |
| Obrázek 42: Nástroj č. 7; $v_c=60$ m/min; 2 m; opotřebení vál. fazetky; bez úpravy .....  | 42 |
| Obrázek 44: Nástroj č. 7; $v_c=75$ m/min; 4 m; opotřebení vál. fazetky; bez úpravy .....  | 42 |
| Obrázek 43: Nástroj č. 7; $v_c=75$ m/min; 4 m; opotřebení špičky; bez úpravy .....  | 42 |
| Obrázek 45: Nástroj č. 11; $v_c=75$ m/min; 8 m; opotřebení hřbetu vn. řez. hrany a hřbetu špičky; bez úpravy.....                   | 44 |
| Obrázek 46: Nástroj č. 11; $v_c=75$ m/min; 8 m; opotřebení vál. fazetky; bez úpravy .....   | 44 |
| Obrázek 47: Nástroj č. 9; $v_c=75$ m/min; 8 m; opotřebení hřbetu vn. řez. hrany a hřbetu špičky; $r_N=0,005$ mm.....                | 44 |
| Obrázek 48: Nástroj č. 9; $v_c=75$ m/min; 8 m; opotřebení vál. fazetky; $r_N=0,005$ mm.....   | 44 |
| Obrázek 49: Nástroj č. 8; $v_c=75$ m/min; 10 m; opotřebení hřbetu vn. řez. hrany a hřbetu špičky; $r_N=0,010$ mm.....               | 45 |
| Obrázek 50: Nástroj č. 8; $v_c=75$ m/min; 10 m; opotřebení vál. fazetky; $r_N=0,005$ mm.....  | 45 |
| Obrázek 52: Nástroj č. 10; $v_c=75$ m/min; 8 m; opotřebení vál. fazetky; $r_N=0,015$ mm.....  | 46 |
| Obrázek 51: Nástroj č. 10; $v_c=75$ m/min; 8 m; opotřebení hřbetu vn. řez. hrany a hřbetu špičky; $r_N=0,015$ mm.....               | 46 |
| Obrázek 53: ISO 5.2- kuželovitá krátká; $v_c=60$ m/min; 2 m; $n=6400$ ot/min; $f=0,02$ mm/ot; bez úpravy .....                      | 46 |
| Obrázek 54: ISO 5.1- kuželovitá dlouhá; $v_c=75$ m/min; 2 m; $n=7960$ ot/min; $f=0,02$ mm/ot; bez úpravy .....                      | 46 |

## Seznam tabulek

|  |    |
|--|----|
| Tabulka 1: Řez. podmínky pro nástroj č. 6, bez úpravy.....           | 30 |
| Tabulka 2: Skutečné rozměry pilotních otvorů .....                   | 33 |
| Tabulka 3: Skutečné hodnoty průměru, kruhovitosti a přímosti .....   | 38 |
| Tabulka 4: Řez. podmínky pro nástroj č. 7, bez úpravy.....           | 41 |
| Tabulka 5: Řez. podmínky pro nástroje s úpravou mikrogeometrie ..... | 43 |
| Tabulka 6: Skutečné hodnoty průměru, kruhovitosti a přímosti .....   | 47 |
| Tabulka 7: Hodnoty opotřebení hřbetu vnitřní řezné hrany .....       | 50 |
| Tabulka 8: Výsledné hodnoty trvanlivosti .....                       | 51 |
| Tabulka 9: Hodnoty opotřebení hřbetu špičky .....                    | 52 |

## Seznam grafů

|  |    |
|--|----|
| Graf 1: Závislost teploty na koeficientu tření [1] .....                       | 23 |
| Graf 2: Závislost opotřebení hřbetu vnitřní řezné hrany na trvanlivosti .....  | 50 |
| Graf 3: Výsledné hodnoty trvanlivosti vztažené k poloměru zaoblení ostří ..... | 51 |
| Graf 4: Závislost opotřebení hřbetu špičky na trvanlivosti .....               | 52 |

## Seznam použitých zkratk a symbolů

### Zkratky použité v textu

|     |  |
|-----|--|
| ČSN | Česká státní norma                             |
| DIN | Deutsche Industrie-Norm                        |
| CNC | Computer numerical control                     |
| VBD | Vyměnitelná břitová destička                   |
| RTI | Regionální technologický institut              |
| SK  | Slinutý karbid                                 |
| ISO | International Organization for Standardization |

### Symbole použité v textu

| Symbol      | Název                            | Jednotky |
|-------------|----------------------------------|----------|
| $R_C$       | řezná síla                       | [N]      |
| $F_T$       | tangenciální složka řezné síly   | [N]      |
| $F_A$       | axiální složka řezné síly        | [N]      |
| $F_R$       | radiální složka řezné síly       | [N]      |
| F7, G6      | toleranční pole pro díru         | [mm]     |
| K           | Faktor                           | [-]      |
| K15         | typ slinutého karbidu            | [-]      |
| G           | typ dělového vrtáku              | [-]      |
| TiN         | karbid titanu                    | [-]      |
| h5, m5      | toleranční pole pilotních vrtáků | [mm]     |
| $r_N$       | poloměr zaoblení řezné hrany     | [mm]     |
| HB          | tvrdost podle Brinella           | HBW      |
| d           | průměr nástroje / díry           | [mm]     |
| n           | otáčky nástroje                  | [ot/min] |
| f           | posuv nástroje                   | [mm/ot]  |
| $v_f$       | posuvová rychlost                | [mm/min] |
| $v_c$       | řezná rychlost                   | [m/min]  |
| T           | trvanlivost                      | [min]    |
| $VB_{krit}$ | kritická hodnota opotřebení      | [mm]     |

# 1 Úvod

Tato diplomová práce je věnována vlivu mikrogeometrie dělového vrtáku na jeho trvanlivost. Dělové a pilotní vrtáky jsou dodány od české firmy Winter-servis s.r.o., zastupující německou firmu Botek, specializující se na výrobu nástrojů pro hluboké vrtání. V dnešní době nelze přesně specifikovat, za jakých podmínek nastává samotné hluboké vrtání, nebo kdy se jedná pouze o vrtání. Hlavní roli zde hraje poměr vrтанé délky k průměru nástroje. Firma Winter-servis s.r.o. dodala dělové vrtáky o štíhlostním poměru 35xD, kde se už jedná o hluboké vrtání. Rovnoběžně s osou těchto dělových vrtáků vede dvoukanálový otvor pro přívod řezného média, které musí být pod určitým tlakem vháněno k samotnému ostří břitu. Díky otáčkám nástroje, posuvu a dostatečnému tlaku řezného média, dochází k řeznému procesu, odlamování třísek a jejich odchodu z místa řezu, pomocí drážky ve tvaru V. Při experimentu je použito jako řezné médium řezná emulze i přesto, že při hlubokém vrtání pod řezným olejem je dosahováno přesnějších geometrických i rozměrových tolerancí, drsnosti obrobené plochy, ochrany proti korozi a delší trvanlivosti nástroje. Řezná emulze je použita, protože experiment je prováděn na multifunkčním obráběcím centru, kde hluboké vrtání není každodenní operací. Díky tomu, že špička nástroje neprochází přímo osou nástroje, dochází k velkým zatěžovacím silám, a proto je kladen požadavek na tuhost soustavy stroj-nástroj-obrobek-přípravek.

Jeden z hlavních parametrů dělového vrtáku je jeho řezivost, která je ovlivněna mnoha faktory. Mezi ty nejzákladnější, kterými lze řezivost zvýšit, začínají od volby tenké vrstvy, řezného materiálu, až po samotnou úpravu mikrogeometrie. Na tyto tři prvky se musí nahlížet komplexně a nelze je od sebe oddělit. Řeznou geometrii dělového vrtáku lze rozdělit na makrogeometrii, čímž se rozumí profil nástroje, jeho úhly atd. a mikrogeometrii, jejichž úpravou různými metodami lze zvýšit jeho trvanlivost. Řezná hrana dělového vrtáku po broušení nenabývá ideálního tvaru. Pro přiblížení takovému ideálu je nutné po broušení řezné hrany zařadit operace na úpravu mikrogeometrie, což se projeví zvýšením trvanlivosti. Princip jednotlivých metod je založen na působení abrazivních částic na řeznou hranu vrtáku vhodným médiem, díky čemuž dojde k zaoblení ostrých hran po broušení. Po úpravě mikrogeometrie může také docházet k nanesení tenké vrstvy na řezný břit. Úpravou mikrogeometrie dělového vrtáku se docílí zvýšení pevnosti břitu, odstranění otřepů vzniklé broušením, příprava povrchu pro depozici, snížení vyštipování břitu, přiblížení se k vytvoření předem definovaného tvaru, zlepšení drsnosti obrobeného povrchu. Všechny tyto faktory ovlivňují trvanlivost tím, že jí prodlužují. Pomocí optických mikroskopů dochází k vyhodnocení poloměru zaoblení ostří v libovolném počtu řezů.

Hlavním cílem práce je zjistit, zda vznik jednotlivých poloměrů zaoblení řezné hrany, pomocí vlečného omílání, prodlouží trvanlivost. Úprava mikrogeometrie dělových vrtáků v praxi probíhá v drtivé většině případů pomocí kartáčování, protože není žádoucí zaoblit přechodovou hranu mezi čelem a válcovou fazetkou nástroje. Tato diplomová práce je zpočátku věnována jednotlivým faktorům ovlivňující trvanlivost dělových vrtáků. Je zde tedy popsán vliv nastavení hlavního ostří (úhlu nastavení špičky), vliv polohy hrotu oproti vodičkám, vliv tvaru drážky, vliv řezných podmínek, vliv makrogeometrie břitu, vliv množství a přívodu řezného média, vliv procesu vzniku pilotního otvoru a především vliv mikrogeometrie. Další bod diplomové práce spočívá v návrhu a realizaci vlastního experimentu. Úpravou mikrogeometrie dělových vrtáků pomocí vlečného omílání se do určité míry prokazuje nárůst trvanlivosti. Jednotlivé dělové vrtáky se stejnou makrogeometrií jsou vyhodnocovány z hlediska trvanlivosti v závislosti na poloměru zaoblení ostří při hlubokém vrtání. Poslední bod práce je věnován shrnutí a vyhodnocení výsledku experimentu, kde je zpracována závislost opotřebení na odvrтанých metrech.

## 2 Rozbor současného stavu

Životnost lze definovat jako dobu mezi přestřelením nebo dobu mezi výměnou břitů působícího v řezu. V praxi se neurčuje v čase, ale v odvrtných metrech nebo počtu obrobekých kusů. Trvanlivost břitů nástroje je ovlivněna stejnými podmínkami jako intenzita otupění břitů. Otupění břitů je proces směřující k finálnímu času nebo počtu kusů, kde nastává změna mikro a makrogeometrie. Trvanlivost je tedy pouze parametr, který sděluje, že při stanovených řezných podmínkách nástroj vydržel určitý čas. Zde však také závisí na velikosti kritériálních hodnot otupění. Při selhání trvanlivosti nejprve nastane viditelná změna drsnosti, poté změna geometrických parametrů a následně dojde k destrukci břitů. [7], [9]

Vrtání děr pomocí dělového vrtáku patří mezi nejstarší způsoby hlubokého vrtání. Postupem času byl požadován větší průměr děr. Vyrobit dělový vrták o značném průměru je vysoce neefektivní a neekonomické. Důsledkem toho byl systém vrtání hlubokých děr pomocí dělového vrtáku pomalu nahrazován jinými metodami, jako např. ejektorový a STS systém vrtání. STS systém vyžaduje speciální stroj s tlakovou hlavou a utěsněním, kdežto ejektorový systém vrtání lze provést na klasickém konvenčním stroji, ale s řadou omezení. Proto v dnešní době opět přichází do popředí rychlý a snadný způsob vrtání hlubokých děr, díky destičkami osázené nástroje vrtající na principu dělového vrtáku. Takovéto nástroje jsou daleko spolehlivější a dosahuje se minimálně stejné produktivity jako u STS a ejektorového systému. Mezi hlavní výhody vrtání hlubokých děr pomocí dělového vrtáku patří například to, že lze vrtat díry o velmi malých průměrech. Dále je zde kratší vzdálenost pro odchod třísky z místa řezu, která je tak dlouhá, kolik je aktuální vrtaná hloubka. Může se také navyšovat tlak řezného média, kdežto u ejektorového systému musí být tlak udržován při určitých hodnotách, aby došlo k nastartování samotného ejektorového principu, u kterého se určité množství média vůbec nedostane do místa řezu. [1]

Způsobů, jak vrtat hluboké díry pomocí dělového vrtáku, je několik. Jsou rozděleny na dva základní okruhy. První okruh se dělí na způsoby podle toho, zda je vrtáno do plného materiálu nebo se jedná o vyvrtávání či vrtání na jádro. Druhý okruh se dělí podle způsobů hlavní kinematiky, kde hlavní pohyb rotační může konat nástroj (dosaženo nejnižší hodnot přesnosti odchylky od osy vývrtu), obrobek (dosaženo vyšších hodnot přesnosti odchylky od osy vývrtu, než při rotaci nástroje) nebo obrobek i nástroj současně (čímž je dosaženo nejvyšší přesnosti, co se týče odchylky od osy vývrtu). V experimentu je základní kinematika nastavena tak, že hlavní (rotační) a vedlejší (posuv a přísuv) pohyb, vykonává nástroj. Podle toho, jaká má být dosažená geometrická a rozměrová přesnost vrtaného otvoru, se volí mezi jednotlivými způsoby hlubokého vrtání děr. [1]



**Obrázek 1: Celokarbidový dělový vrták**

V experimentu této diplomové práce je použit jednobřítý celokarbidový dělový vrták typu K15 s vnitřním dvoukanálovým chlazením. Řezné médium obtéká v místě řezu řeznou hranu a unáší tak vzniklé třísky pomocí V drážky. Celokarbidové dělové vrtáky si praxe sama vyžádala, protože bylo zapotřebí vrtat hluboké díry o stále menších průměrech, což ale znamenalo problém se samotnou konstrukcí dělového vrtáku. Docházelo ke špatnému pájenému spoji mezi vrtací hlavicí ze slinutého karbidu a vrtací rourou z rychlořezné oceli. Proto byl

vyvinut celokarbidový dělový vrták, kde je vrtací hlavice a vrtací roura složena ze stejného typu karbidu a je připájena k upínací stopce. Díky své tuhosti se tyto celokarbidové vrtáky používají především pro pevné a tvrdé materiály. Upínací stopka použitého celokarbidového dělového vrtáku je o rozměrech 20x30 mm, typu whistle DIN 6535 HE.



**Obrázek 2: Upínací stopka dělového vrtáku**

Použitý celokarbidový dělový vrták profilu G je v díře veden pomocí válcového vodítka (neboli válcové fazetky) a hlavního vodítka, které nese většinu zatížení. U dělového vrtáku profilu G tyto vodítka splývají v jedno nazývaní se vodítko široké. Hlavní vodítko a podbrus, kde se nachází válcová fazetka, jsou broušeny na nástrojařské brusce broušením na kulato. Válcová fazetka a jednotlivé ostří řezných hran jsou následně zvláště broušeny. Válcová fazetka je tak široká, jako je fazetka na vnější řezné hraně. [1]



**Obrázek 3: Vzniklý podbrus s válcovou fazetkou**

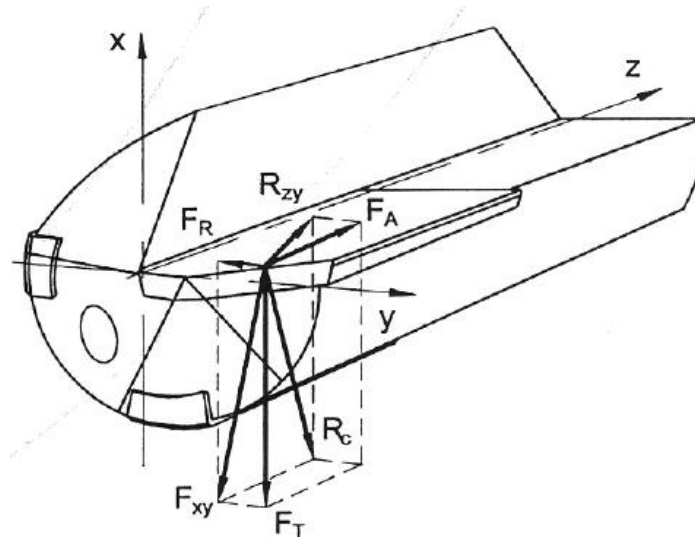
Broušení vrtáků probíhá na CNC nástrojařských bruskách, které mají vliv na přesnost geometrických tolerancí a produktivitu výroby. Celokarbidové dělové vrtáky jsou vyráběny tak, že příslušný typ slinutého karbidu je ve tvaru kruhové tyče, která je před broušením nařezána na požadovanou délku. Drážka tvaru V a jednotlivá vodítka jsou postupně vyrobeny broušením na kulato. Typ karbidu má vliv při vybrušování ostří. Na použitém dělovém vrtáku není vytvořen lamač třísek a k jejich oddělování dochází pomocí vhodného nastavením řezných podmínek. Upnutí tyčoviny na nástrojařských bruskách je většinou pomocí hydroplastického kleštinového upínání. Jako nástroj pro broušení se používají diamantové brousící kotouče charakteristické tvarem, rozměry, pojivem a brusivem. Cílem výroby je, aby vrták odolával opotřebení co nejdéle. Po vybroušení profilu břitu, z hlediska makrogeometrie, se spojí celokarbidová vrtací hlavice s upínací stopkou pomocí tvrdé pájky. Po pájení následuje úprava řezné hrany od defektů. [8]

## 2.1 Rozložení řezných sil na vnější řezné hraně

Na jednobřítý dělový vrták působí řezná síla v důsledku odporu materiálu obrobku k řezu. Tato síla je 3D vektor působící na určitý bod řezné hrany. Řezná síla  $R_c$  může být rozložena na 3 složky: tangenciální  $F_t$  (od pohonu vřetene), axiální  $F_a$  (posuvovou) a radiální  $F_r$ . Axiální složka je vyvážená s posuvovou silou stroje (stejná velikost opačný směr), zatímco



radiální a tangenciální složka se skládají do síly  $F_{xy}$  (působí v rovině  $xy$ ), která je (na rozdíl od klasických dvoubřitých vrtáků, kde se tyto síly navzájem ruší) obecně nevyvážená. Aby se nástroj neohýbal, je tato nevyvážená síla kompenzována silou stejné velikosti a opačného směru od vodítek, opírající se o stěnu vrtaného otvoru. Výsledná složka řezné síly působící na vnitřní řezné hraně směřuje proti výsledné složce řezné síly působící na vnější řezné hraně. Čím větší bude výsledná složka řezné síly na vnitřní řezné hraně, tím bude klesat přítlak na vodítka. [10]

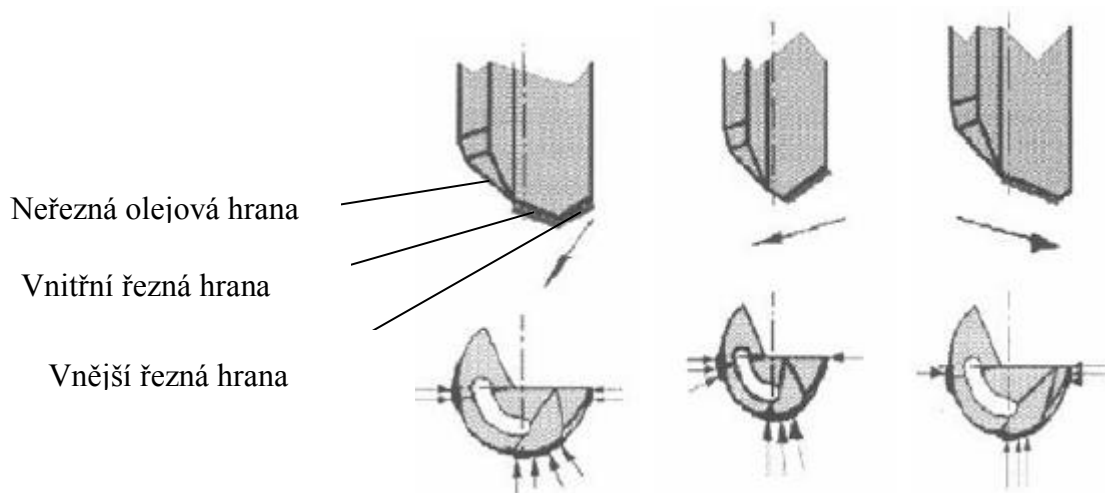


Obrázek 4: Rozklad řezných sil na vnější řezné hraně [10]

## 2.2 Jednotlivé faktory ovlivňující trvanlivost dělového vrtáku

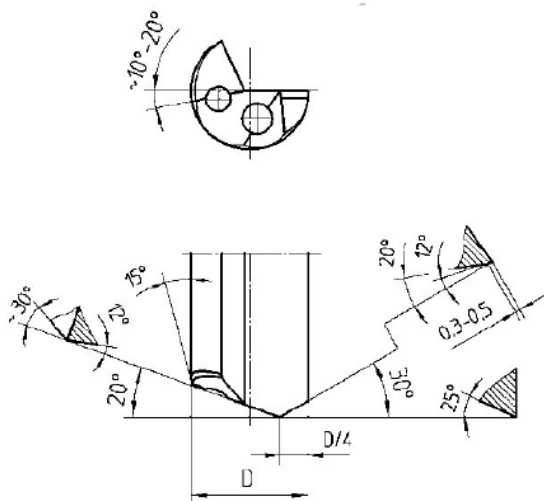
### 2.2.1 Vliv nastavení hlavního ostří (úhel nastavení špičky)

Nastavení hlavního ostří dělového vrtáku má významný vliv na utváření třísky, nežli na trvanlivost nástroje. Podle požadované geometrické i rozměrové tolerance a materiálu obrobku se volí typ dělového vrtáku. Použitý dělový vrták je jednobřítý nástroj, kde špička vrtáku není přímo v ose rotace, ale přibližně ve čtvrtině průměru. Díky tomu, vznikají na nástroji nevyvážené řezné síly. Posunutím špičky nástroje více ke středu rotace, nastane zvětšení vnější řezné hrany, čímž se zvýší tlak působící na vodítka. Výsledkem bude zlepšení drsnosti vrtaného otvoru a tento otvor bude také těsnější (menší průměr). Také je tím docíleno vyšší stabilizace procesu řezání, díky menšímu chvění a vibracím nástroje. Vyšší tlaky působící na vodítka způsobují vyšší třecí sílu, a proto jsou zde vyšší nároky na stálost olejového filmu řezného média. Stálost olejového filmu snižuje vysoké tření, čímž dochází k výraznému opotřebení vodítek. Na druhou stranu, posunutím špičky nástroje k vnějšímu okraji dochází ke snížení přítlaku na vodítka. Vrtaný otvor bude volnější a bude méně přetvářený povrch otvoru, vedoucí k zhoršení drsnosti. S touto aplikací je možno se setkat při vrtání měkkých materiálů (měď), které mají tendenci se stahovat, čili volnější otvor se stáhne na požadovaný průměr. Následující obrázky ukazují vliv změny polohy špičky dělového vrtáku na rozložení řezných sil. V prvním případě leží špička vrtáku ve čtvrtině průměru, a tím výslednice řezných sil působí zejména na první vodítka. Ve druhém případě leží špička vrtáku ve třetině průměru, čímž výslednice řezných sil působí významněji na vodítka proti řezné hraně a otvor tak bude těsnější. Ve třetím případě leží špička vrtáku v pětině průměru, čímž výslednice řezných sil působí zejména na válcové vodítka a otvor bude volnější.

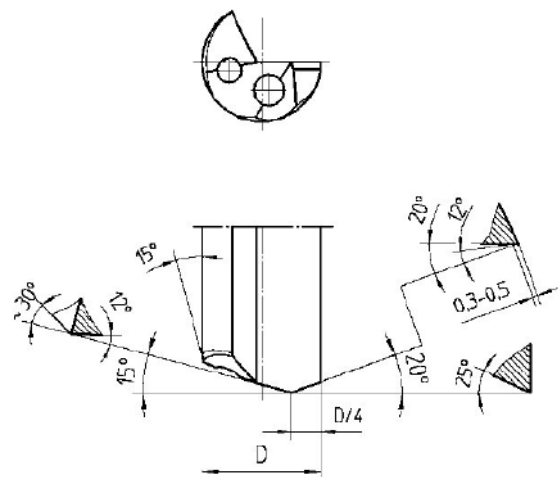


**Obrázek 5: Vliv polohy špičky na rozložení řezných sil [10]**

Vnější řezná hrana způsobuje tlak na vodítka, kdežto vnitřní řezná hrana vytváří sílu působící od vodítka. Čím je tedy větší plocha vnější řezné hrany, tím převažují síly působící na vodítka, a naopak. Je důležité připomenout, že to není jen o velikosti řezných hran, ale také o jejich úhlech. Při zvýšení úhlu vnější řezné hrany se opět zvýší tlak působící na vodítka. Vždy je to o kompromisu a nelze zvětšovat pouze úhel vnější řezné hrany, protože musí dojít k návaznosti jednotlivých ploch nástroje. [1]

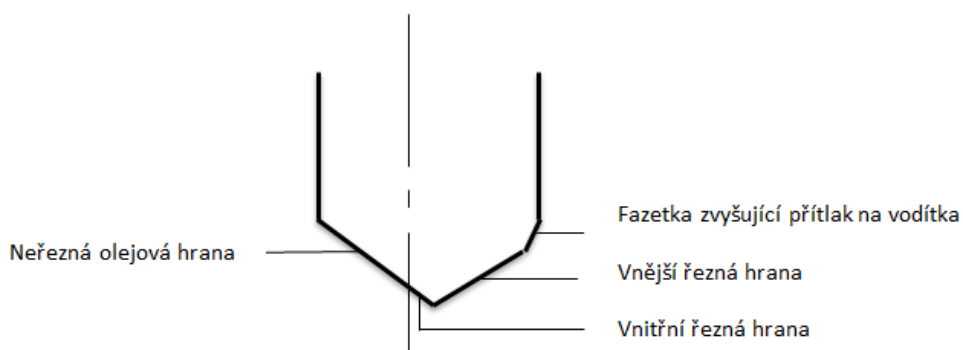


**Obrázek 6: Delší vnější řezná hrana [10]**



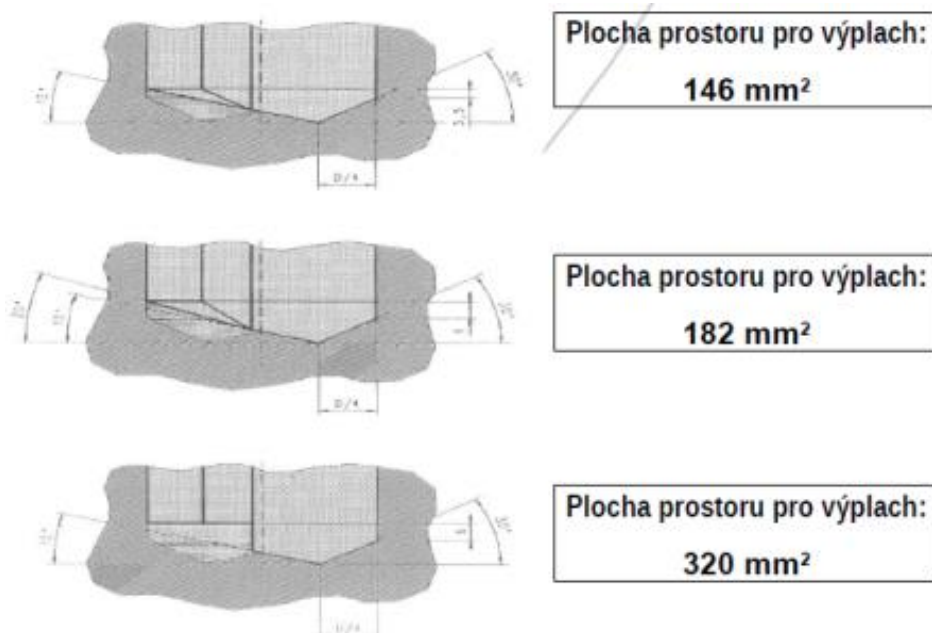
**Obrázek 7: Kratší vnější řezná hrana [10]**

Zvyšování úhlu vnější řezné hrany je omezené, a proto se zde vybrušuje tlumící fazetka, která opět zvyšuje tlak působící na vodítka. [1]



**Obrázek 8: Fazetka zvyšující přítlak na vodítka**

Tlak na vodítka je žádoucí. Čím vyšší tlak na vodítka, tím vyšší přesnost odchytky od osy vývrtu, vyšší přímot otvoru, vyšší drsnost aj. Mimo vnější a vnitřní řeznou hranu se na dělovém vrtáku vyskytuje neřezná hrana tzv. olejová (nacházející se za středem rotace). Její hlavní funkcí je otevřít prostor pro řezné médium směřující do drážky. Následující tři příklady ukazují, jak lze změnit průtok chladícího média při zachování stejných úhlů vnější, vnitřní hrany i polohy špičky (čili dochází pouze k úpravě rozměru olejové hrany). K úpravě olejové hrany dochází tehdy, pokud řezná geometrie vyhovuje a výsledky vrtání jsou dle požadavků, ale objevují se problémy s výplachem třísek (zejména při vysocevýkonném obrábění, kdy se vrtá s vysokými posuvy). [8]



**Obrázek 9: Plocha prostoru pro výplach [10]**

## 2.2.2 Vliv polohy hrotu oproti vodítkům

Vliv polohy hrotu oproti vodítkům má značný vliv na trvanlivost dělového vrtáku. Cílem je zajistit, aby vzdálenost mezi řeznou částí a částí vodící, byla co nejmenší. Čím menší je

tato vzdálenost, tím menší masu materiálu musí dělový vrták roztáhnout (čili tvářet- nedochází k procesu řezání) při zavrtávání. Výsledkem toho je, že vznikající krouticí moment působící na dělový vrták je také menší. Dále dochází ke zpřesnění rozměrových i geometrických tolerancí, jakožto odchylka od osy vývrtu, přímot, drsnost aj. (vlnitost). Naopak, při značné vzdálenosti řezné části od vodící části, naroste krouticí moment, který vede v nejhorším případě k destrukci dělového vrtáku v pájeném spoji. V lepším případě se pouze nedosáhne rozměrových a geometrických tolerancí. Dále je tato problematika rozebrána v kapitole 2.2.7. Logicky chceme od dělového vrtáku při jeho zavrtávání okamžité vedení, což je další důvod proč zajišťovat tuto vzdálenost co nejmenší.

### 2.2.3 Vliv tvaru drážky

Drážka dělového vrtáku slouží pouze k odvodu třísek z místa řezu. Snahou je dostat tyto třísky, co možná nejdříve a nejrychleji mimo oblast procesu řezání. Proto je výhodné zhotovovat drážku tvaru V co největší, aby byl zajištěn větší prostor i pro třísky, které mohou být stuhovité. Opět i zde, se musí vycházet z kompromisu, protože zvětšováním drážky klesá celková pevnost dělové vrtáku mající vliv také na trvanlivost. Daleko důležitější je drsnost drážky. Čím horší drsnost drážky, tím dochází k nárůstu tření mezi odcházející třískou a drážkou dělového vrtáku. Čím bude jemnější drážka, tím dochází k rychlejšímu a plynulejšímu odchodu třísky z místa řezu. U standardních dělových vrtáků se tato drážka brousí, ale u vysoce výkonných dělových vrtáků se tato drážka navíc leští pomocí kartáčování.

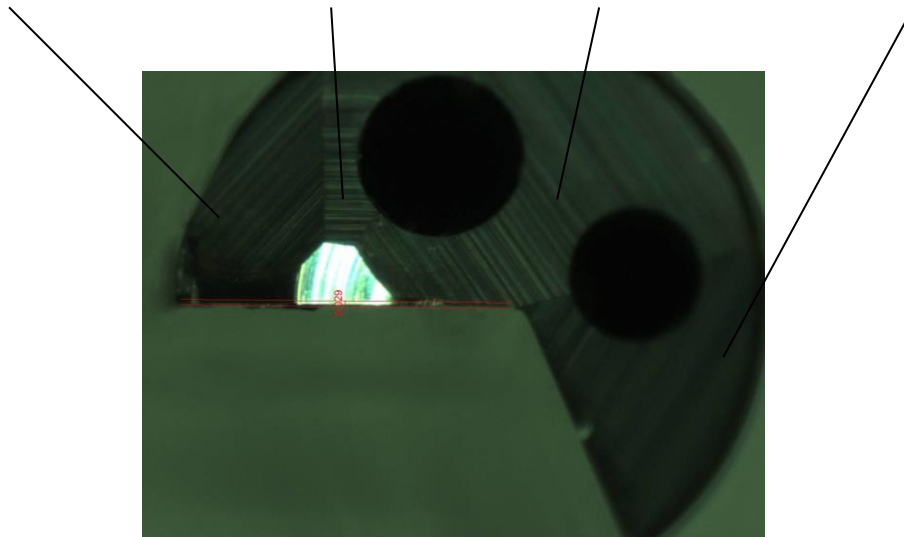
### 2.2.4 Vliv řezných podmínek

Řezná rychlost má nejvyšší vliv na intenzitu otupování, čili při vyšších řezných rychlostech dochází k intenzivnějšímu otupování. Po řezné rychlosti má nejvyšší vliv na trvanlivost posuv. Zvyšováním řezné rychlosti klesá trvanlivost, ale nerovnoměrně. Řezná rychlost se musí přizpůsobit mazací a chladicí schopnosti média, a pokud tomu tak není, tak velmi klesá trvanlivost dělového vrtáku. Čím vyšší má řezné médium mazací schopnost, tím vyšší řezná rychlost může být zvolena. Samozřejmě s vyšší tvrdostí vrtaného materiálu, je snižována řezná rychlost, aby nebyla vyvolána právě vysoká teplota procesu řezání, která způsobuje nestabilitu olejového filmu mezi vodítky a vrtaným materiálem. Posuv dělového vrtáku se musí přizpůsobit utváření třísky, kde je snahou utvářet krátké a kompaktní třísky, které budou dobře vyplavovány z místa řezu. Co se týče vlivu posuvu na trvanlivost dělového vrtáku, tak při jeho navyšování roste do určité míry jeho trvanlivost. Tato trvanlivost je funkcí odvrtných metrů a kontaktu dělového vrtáku s materiálem (času). Čím je tedy vrtáno s menším posuvem, tím je delší časový kontakt materiálu s dělovým vrtákem a nástroj rychleji degraduje. [9]

### 2.2.5 Vliv makrogeometrie břitu

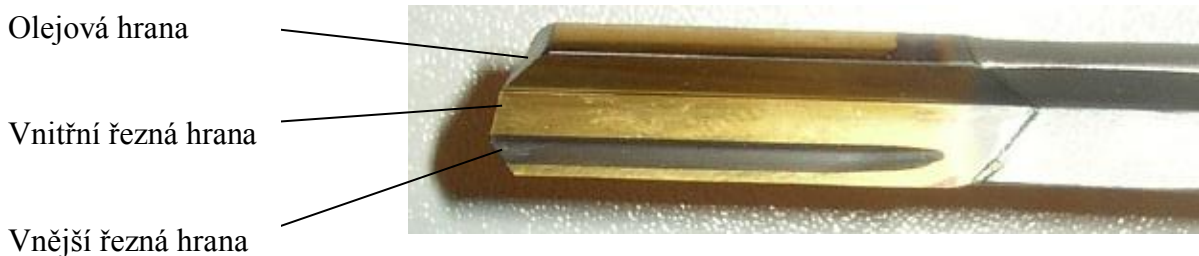
S pozitivnějším úhlem čela narůstá úhel skluzové roviny, čímž se snižuje tloušťka odřezávané třísky a působí zde menší řezné síly, které vyvolávají menší teploty v procesu řezání. Tím vším dochází k prodloužení trvanlivosti. Vše ale do určité míry. Pozitivnější břit má zase nižší pevnost a je vhodný pro obrábění houževnatých materiálu s nižší tvrdostí. Pro obrábění těžkoobrobitelných materiálu je vhodná záporná geometrie, protože je zde větší masa břitu, která snese působení výrazných sil a nedojde k náhlému vyštípnutí břitu. Obrábění pomocí negativní geometrie vznikají velké řezné síly způsobující růst teploty. Tato geometrie se využívá při obrábění těžkoobrobitelných materiálů. Čím pozitivnější je úhel čela, tím menší je řezný odpor, tříska se méně tváří, její tloušťka je menší a úhel kluzové roviny větší. Nutné je brát ohled na pevnost břitu. [7], [9]

Hřbet vnější řezné hrany      Hřbet špičky      Hřbet vnitřní řezné hrany      Hřbet olejový



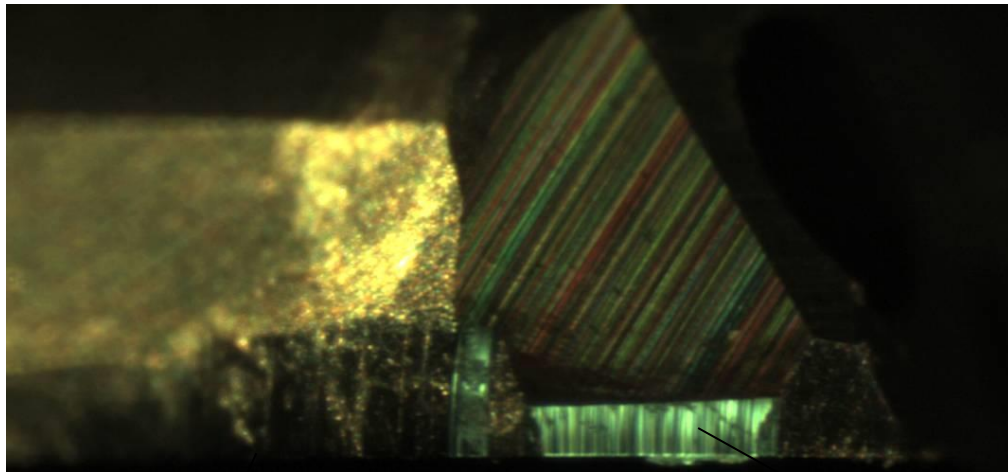
**Obrázek 10: Jednotlivé hřbety použitého dělového vrtáku [19]**

Na použitých dělových vrtácích je úhel čela roven nule. Úhel čela je standardně v praxi roven nule, ale není tomu tak vždy. Na zakázku jsou vyráběny speciální dělové vrtáky s pozitivním i negativním úhlem čela. U pozitivní geometrie se nejčastěji upravuje úhel čela tím, že se na čele vytvoří žlábek, který zároveň slouží jako utvařec třisek. Tato úprava se zpravidla používá na exotické materiály, tedy na materiály, které se při obrábění deformačně zpevňují. Utvařec třísky může být také vytvořen pouhou mikroúpravou řezné hrany (čela nástroje). Samotné utvařeče třísky se na dělových vrtácích vyskytují výjimečně, čili pouze tehdy, kdy nelze oddělit třísky klasickými způsoby. Nástroje pro hluboké vrtání s VBD mají standardně utvařeče třisek.



**Obrázek 11: Podélný utvařec třisek při nulovém úhlu čela [10]**

Na vnější a vnitřní řezné hraně dělových vrtáků může být vybroušena fazetka. U větších průměrů dělových vrtáků se fazetka zhotovuje na vnější řezné hraně a u malých průměrů se nezhotovuje vůbec. U průměrů pod 4 mm se zpravidla nezhotovuje (ale u použitých dělových vrtáků je tato fazetka zhotovena na vnější řezné hraně).

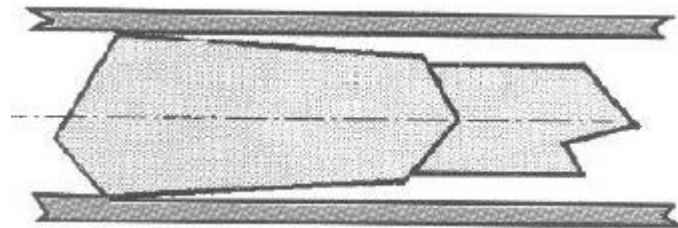


opotřebovaná válcová fazetka

Fazetka na vnější řezné hraně

**Obrázek 12: Válcová fazetka a fazetka na vnější řezné hraně [19]**

Z hlediska makrogeometrie je zásadní samotná kuželovitost dělového vrtáku. Přibližná hodnota kuželovitosti u standardních vrtáků je  $1 \mu\text{m}/\text{mm}$ , u přesnějších nástrojů je tato hodnota kolem  $0,5 \mu\text{m}/\text{mm}$ . Hlavice nástroje musí mít zpětnou kuželovitost, aby se nezadírala. Čím vyšší kuželovitost, tím méně se hlavice otírá o stěnu vývrtu. Příliš velká kuželovitost znamená horší vedení a v důsledku toho vzniká větší odchylka od přímého směru. Pro správné zvolení kuželovitosti je nutno brát v potaz požadovanou toleranci otvoru, obráběný materiál a profil vodítek na hlavici nástroje. [10]



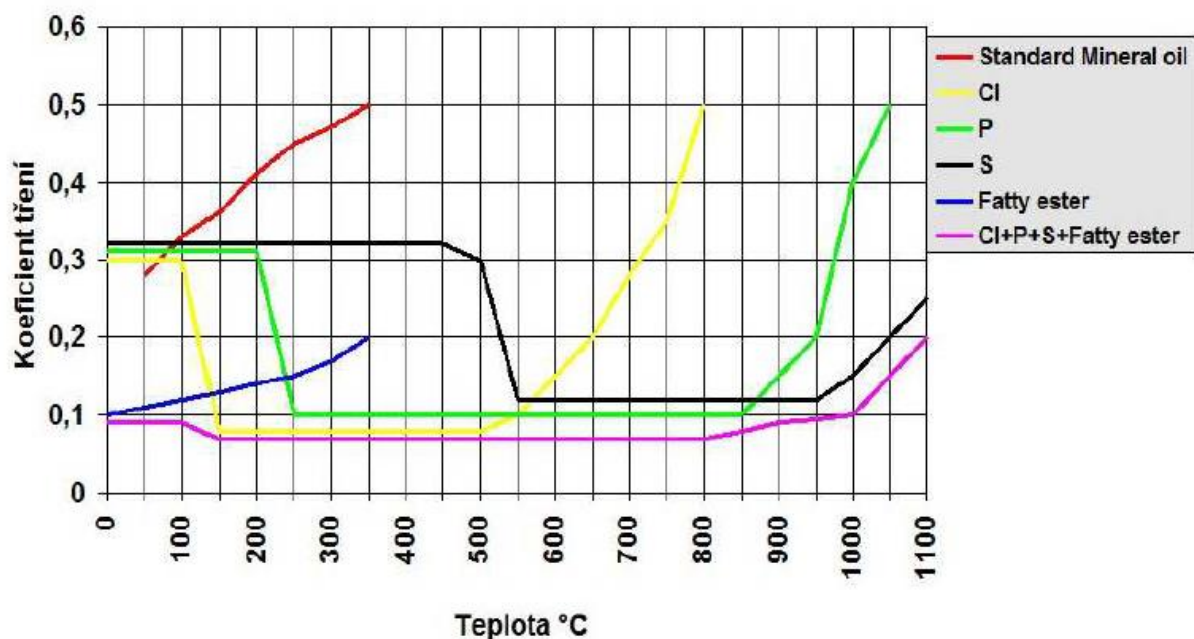
**Obrázek 13: Kuželovitost dělového vrtáku [10]**

### 2.2.6 Vliv množství a přívodu řezného média

Volba mezi řeznou emulzí a olejem souvisí se samotným druhem operace, materiálem obrobku i nástroje a dosahovaných parametrů. Funkcí média je, jak mazat a chladit, tak odvádět třísky z místa řezu. Při hlubokém vrtání dochází k obrovskému tření mezi vodítky a materiálem obrobku. Proto má zde větší uplatnění řezný olej, díky stabilitě olejového filmu při vyšších teplotách a tlacích, který navíc chrání materiály proti vzniku korozi. Dochází tak k minimálnímu nárůstu tření. Řezná emulze má díky obsahu vody vysokou tepelnou difúzi, ale mazací schopnosti jsou nevyhovující a navíc vyvolává korozi. Na použitém stroji je použito jako řezné médium univerzální řezná emulze, protože se jedná o multifunkční stroj, kde hluboké vrtání je jednou s operací, která lze na stroji provádět. Výplachem s řeznou emulzí bude dosaženo horších geometrických i rozměrových přesností a drsnosti povrchu oproti oleji, protože dojde ke ztrátě olejového filmu, čili dojde k působení kovů na kov. Při experimentu je důležité, aby použitý stroj dokázal vyvodit dostatečný tlak řezného média, čímž zajistí výplach třísek z místa řezu. Kdyby tomu tak nebylo, vznikající třísky by se nepravidelně utvářela, což by mělo vliv na zhoršenou geometrickou přesnost obrobku, drsnost povrchu a

snížení trvanlivosti dělového vrtáku. Řezná emulze i oleje jsou aditivovány různými přísadami, kde každý z nich má svoji funkci. V grafu č. 1 je zaznamenána závislost teploty na v procesu na koeficientu tření, neboli na mazací schopnosti řezného média. Je zde patrné, při jaké teplotě prvek ztrácí své mazací vlastnosti. U standardních minerálních olejů je to teplota okolo 100°C. U chlóru do teplot 200°C stoupá mazací schopnost prvku (tedy klesá koeficient tření) a je stálý do 600°C, kde je poté znatelný úpadek mazacích schopností (nárůstu koeficientu tření). Síra je stabilní od 300 do 850°C. Síra nastupuje o něco později, tedy až při 600°C a je stálá i při překročení 1000°C. Čím více obráběný materiál obsahuje nikl a chróm, tím více je zapotřebí vrtat pod kvalitním olejem než emulzí. Při poklesu olejového filmu dochází k adhezi mezi vodítky dělového vrtáku a obráběným povrhem materiálu. Výsledkem, kromě zhoršení drsnosti obrobené plochy, je i nižší trvanlivost dělového vrtáku. [1]

Graf 1: Závislost teploty na koeficientu tření [1]



Při experimentu může u použitých dělových vrtáků vznikat tzv. cobalt leaching. Vlivem chemické reakce a vysoké řezné rychlosti, respektive vysoké teploty procesu řezání, dochází k degradaci olejového filmu, což vede k působení tvrdokovu na kov a vysokému nárůstu tření. Tím dochází k úbytku kobaltu v povrchové vrstvě vedoucí k vydrolování zrn karbidů těžkých kovů. Celkovým důsledkem je pokles tvrdosti vodítek a rychlejší degradaci, oproti degradaci řezné hrany. Aby nedocházelo ke vzniku cobalt leachingu, tak je zapotřebí stálost olejového filmu, tedy nižší teplotou procesu řezání, čehož se docílí např. snížením řezné rychlosti. Cobalt leaching je problém vyskytující se pouze při vrtání hlubokých děr za použití řezné emulze jako řezného média. Při použití oleje cobalt leaching nevzniká. K tomuto efektu je nejnáchylnější vrtání materiálů s vysokým obsahem chrómu. Čím vyšší obsah chrómu, tím silnější efekt cobalt leachingu.

Hluboké vrtání pomocí dělových vrtáků o menších průměrech je závislé spíše na tlaku řezného média, nežli na množství. U větších průměrů dělových vrtáků je to naopak. U malých průměrů není problém s množstvím (průtokem), ale nejsou k dispozici čerpadla dodávající vysoký tlak řezné emulze. U vrtání hlubokých děr pomocí dělového vrtáku je mnohonásobně větší požadavek na mazací schopnosti řezného média, oproti klasickému šroubovitému vrtáku. Důvodem jsou nevyvážené řezné síly způsobující přítlak na vodítko a při špatné mazači

schopnosti média dochází k degradaci vodiček a snížení trvanlivosti dělového vrtáku. [2], [3], [4]



**Obrázek 14: Vzniklý cobalt leaching na vodících plochách [10]**

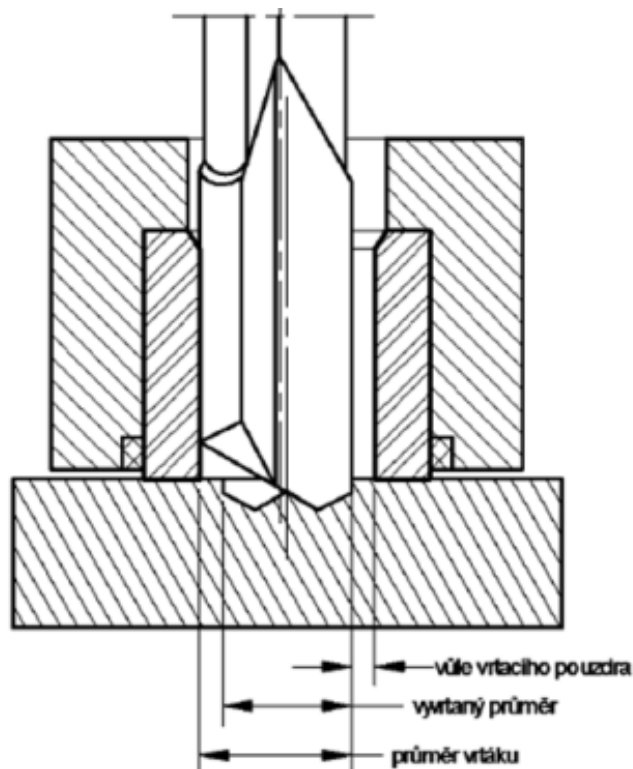
### 2.2.7 Vliv procesu vzniku pilotního otvoru

Nástroj pracuje s nerovnoměrně rozloženými silami a během následného vrtání se opírá vodičky o stěnu vrtaného otvoru. Nástroj není schopen se zavrtat do materiálu, protože na začátku vrtání nemá k dispozici opěrnou plochu. Je tedy zapotřebí zhotovit vedení pro nástroj, jako je pilotní otvor nebo vrtací pouzdro. Vzhledem k velkému poměru délky vrtání k průměru vrtáku, asymetrii nástroje a požadované přesnosti rozměrů a tvarů je důležité, aby byl vrták dobře veden. Následkem toho je, že při vrtání hlubokých děr se používají opěrné a vodící lišty vrtáku. Hlavním úkolem těchto lišt je zachycovat řezné síly, zajistit polohu vrtáku tak, aby byl vrták opírán proti obráběné stěně díry, a aby jej tímto způsobem vedly. Jako vodička pro vrták se v praxi při navrtávání používá vrtací pouzdro nebo vodící díra, a to až do okamžiku, kdy stěny vyvrtané díry mohou spolehlivě usměrňovat vodící lišty vrtáku. Rozdíl mezi vrtacím pouzdrem a pilotním otvorem nemá žádný významnější vliv na trvanlivost dělového vrtáku. Díky zhotovení pilotního otvoru přímo na stroji, kde bude následovat hluboké vrtání, je zaručena přímota, souosota a rozměrová stálost. Nejprve je vrtán pilotní otvor pomocí pilotního vrtáku o určité rozměrové a geometrické toleranci. Tento pilotní otvor může být často zpřesněn soustružením. Hloubka pilotního otvoru musí být tak velká, aby se zavedla vodička na nástroji. Pro předvrtanou díru se doporučuje tolerance F7 nebo G6. Pro spolehlivé chlazení a mazání při vyvrtávání průchozích děr musí být výstupní otvor uzavřen zátkou. [1]

*„U pilotního otvoru je dělový vrták řeznými silami tlačěn vodičky na stěnu vodícího průměru. Nástroj začíná vrtat menší průměr, než je jeho jmenovitý, díky vůli mezi nástrojem a vodícím průměrem, jak je vidět na obrázku č. 15. Řezná hrana, která řezá materiál a vytváří průměr díry, je axiálně přesazena před vodičky. Poté nastává okamžik, kdy vodička mají ten-*



denci dostávat se do vyvrtaného otvoru. Z toho plyne, že se nástroj musí dostat do otvoru, který má ale menší průměr a díra se začne roztahovat. Tento průměr je menší o dvojnásobek vůle mezi pilotním otvorem a vlastním průměrem nástroje (příklad: když je průměr pilotní díry 10 mm a máme vůli 0,1 mm, tzn., že nástroj musí roztáhnout masu materiálu z průměru 9,8 mm na průměr 10,0 mm). Díra je vždy menší, musí být menší. Následně záleží, jak daleko je vodící část vzdálená oproti té části, která řezá průměr. Čím bude rozdíl větší, tím je hlubší vyvrtaná část díry a tím pádem je zde větší masa hmoty, která je zapotřebí roztáhnout vodítky a válcovou fazetkou. Tento princip nastává vždy, protože je vždy zapotřebí vůle mezi nástrojem a pilotním otvorem. Snahou je zajistit co možno nejmenší vůli, aby hmoty na roztahování bylo co nejméně, a proto je požadována přesnost pilotního otvoru G6. Když už je nástroj v díře, tak je vrtání ustálené a nástroj vrtá to, co si vyvrtal sám. Při příliš velké vůli nastane destrukce nástroje v letovaném spoji, kvůli příliš velkému nárůstu krouticího momentu, protože musí roztáhnout velkou masu materiálu. Příliš velký pilotní otvor může vést k zhoršení přesnosti od osy vývrtu, rozměrové nepřesnosti, snížená trvanlivost nástroje, nárůst krouticího momentu, zvlněný povrch začátku vrtané díry.“ [1]



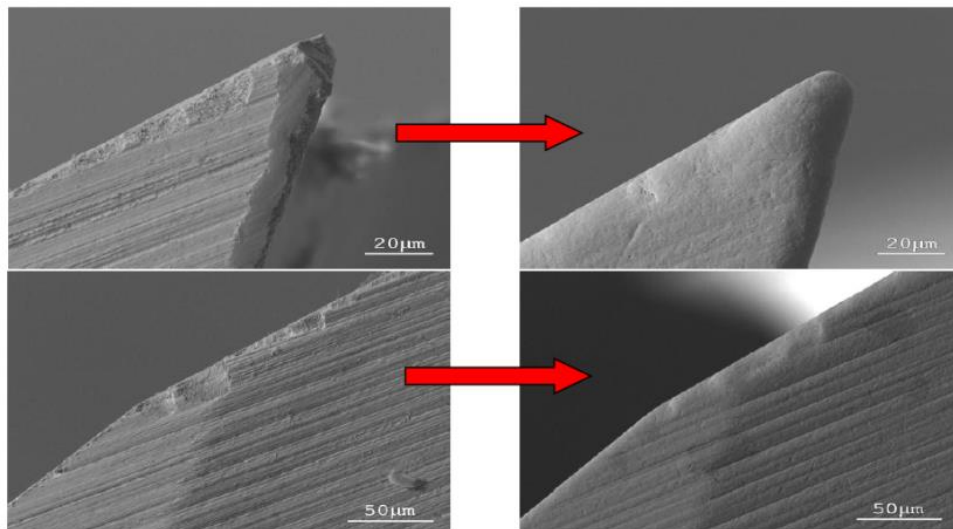
**Obrázek 15: Proces vzniku pilotního otvoru [1]**

Průnikem dělového vrtáku do vrtaného materiálu nastane jeho prvotní opotřebení. Toto opotřebení se bude zvětšovat se současným zvětšením vůle mezi pilotním otvorem a dělovým vrtákem a zvětšenou vzdáleností řezné části oproti části vodící.

### 2.2.8 Vliv mikrogeometrie

Po broušení dělového vrtáku je vnější a vnitřní řezná hrana osázena členitými výstupky a vyštípnutím břitu. Proto je zapotřebí vhodná volba vzájemných pohybů mezi vrtákem a brousícím kotoučem, kde hraje roli zrnitost a materiál kotouče, nastavení parametrů přísuvů, posuvů a hloubky řezu. Defekty na břitu slouží jako koncentrátoři napětí vedoucí k celkové poruše nástroje. Výsledkem je vysoký nárůst opotřebení a snížení trvanlivosti vrtáku. Úpra-

vou mikrogeometrie dělového vrtáku se docílí zvýšení pevnosti břitu, odstranění otřepů vzniklé broušením, příprava povrchu pro depozici, snížení vyštipování břitu, přiblížení se k vytvoření předem definovaného tvaru a zlepšení drsnosti obrobeného povrchu. Všechny tyto faktory ovlivňují trvanlivost tím, že jí prodlužují. Zaoblením vnější a vnitřní řezné hrany dělového vrtáku se docílí poklesu řezných sil při vrtání. Zlepšení drsnosti povrchu po úpravě dochází ke zmenšení tření mezi vrtákem a odcházející třískou, což vede k menším teplotám řezání. Dále, úpravou nastane vyčištění povrchu od nečistot prospívající ke zlepšení adheze mezi nanesenou tenkou vrstvou a substrátem. Při zaoblení vnější a vnitřní řezné hrany dochází k plynulému přechodu plochy čela a hřbetu dělového vrtáku. Hodnocení tohoto geometrického tvaru řezné hrany se nazývá K faktor. [2], [5], [6], [8]



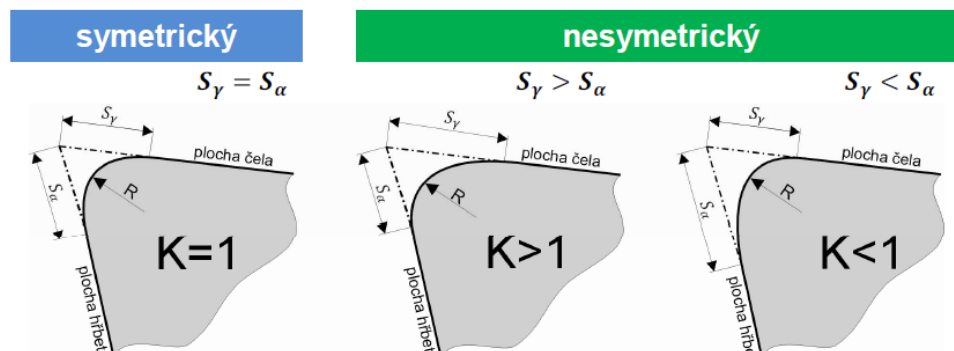
**Obrázek 16: Rozdíl mezi upravenou a neupravenou mikrogeometrií [2]**

### 2.2.8.1 K faktor

Mikrogeometrie nástroje je dána profilem břitu, poloměrem zaoblení řezné hrany a drsností povrchu. Profil břitu lze hodnotit díky přechodové křivce mezi plochou čela a plochou hřbetu. Je zde tedy přechodová křivka, která se ve výrobě nahrazuje rádiusem, protože je snadno vyrobitelný a má příznivé vlivy při obrábění. K faktor je tzv. ukazatel symetrie profilu, který definuje tvar rádiusu. Velikost poloměru zaoblení řezné hrany je dalším ukazatelem. Při symetrickém profilu se jedná o velikost přechodového rádiusu. Díky této velikosti se mění návaznost rádiusu na plochu čelní a plochu hřbetní. Velikosti rádiusu lze upravovat například tak, aby byl tečně napojen na čelní a hřbetní plochu. Nebo může být zvětšený natolik, že se v oblasti přechodové křivky vytvoří rovinná ploška. Ukazatel drsnosti můžeme měřit na celém profilu, i v oblasti přechodové křivky. Tyto faktory mají zásadní vliv na celkovou trvanlivost nástroje. [9]

Symetrii profilu břitu určuje tzv. K faktor, popisující tvar. Poměrem délek dvou tangent, které jsou prodlouženy do teoretické špičky břitu, je stanovena velikost K faktoru. K faktor se používá při měření břitu a mohou nastat tři stavy, které jsou vidět na obrázku č. 7. Při konstruování nástroje je zapotřebí zvolit tvar přechodové křivky, který je pro danou aplikaci nejvýhodnější. Následně se musí určit vhodná velikosti poloměru zaoblení, vztažená k procesu obrábění a materiálu obrobku. Při symetrickém rádiusu je  $K=1$ , u nesymetrického rádiusu směrem k ploše čela je faktor  $K<1$  a u nesymetrického rádiusu směrem k ploše hřbetu je faktor  $K>1$ . K faktor je závislý na způsobu obrábění, typu nástroje, substrátu, a zda se jedná

o přerušovaný či nepřerušovaný řez. Také má vliv na silové a teplotní zatížení vrtáku. Při  $K < 1$  dochází k vzrůstu teploty na špičce a maximální napětí v nástroji se přesouvá od špičky na plochu hřbetu, což má za následek větší opotřebení na hřbetě. Při  $K > 1$  dochází k největšímu teplotnímu zatížení na čele a silově je nejvíce namáháno čelo nástroje těsně u špičky, což má za následek intenzivnější opotřebení na čele. Největší silové zatížení je na neupraveném břitu, kde je koncentrováno do malé plochy řezné hrany. Zde je ale břit nejméně teplotně zatížen, protože obráběný materiál není tolik protvářen vlivem právě malého zaoblení řezné hrany. Břit však nesnese dlouhodobé zatížení a nastane poškození nástroje. [9], [8]



Obrázek 17: K faktor [10]

Jednotlivé metody úprav řezné hrany, které jsou v praxi využívány: omílání, kartáčování pomocí laserového paprsku, lapování, ultrazvuk, mikropískování, iontové čištění, magnetické leštění. Vlečné omílání umožňuje, jak proces jemného broušení, tak leštění. Úpravou mikrogeometrie břitu nastane jeho stabilizace, a díky snížení řezných sil, dojde k prodloužení trvanlivosti dělového vrtáku. U celokarbidového dělového vrtáku může docházet k vybrušování kobaltu, a to mnohem více, než k obrušování částic karbidů kovů. Výsledkem je vydrolování, nerovný povrch a vznik trhlin. Proto je důležité vhodně zvolené médium a doba omílání. Doba omílání ovlivňuje velikost zaoblení a povrch břitu. Průběh času k dosažení požadovaného zaoblení nemá lineární charakter. Rychlost vlečení obrobku v médiu má vliv na intenzitu omílání a na rovnoměrnost omletí. Planetovým pohybem se docílí rozdílné dráhy vrtáku oproti médiu. Médium tak působí na vrták s rozdílnými tlaky a intenzitou brusného účinku. Hloubka ponoření vrtáku do média má vliv na celkovou dobu omílání. Natočení držáku slouží k usnadnění pohybu média do méně přístupných míst.

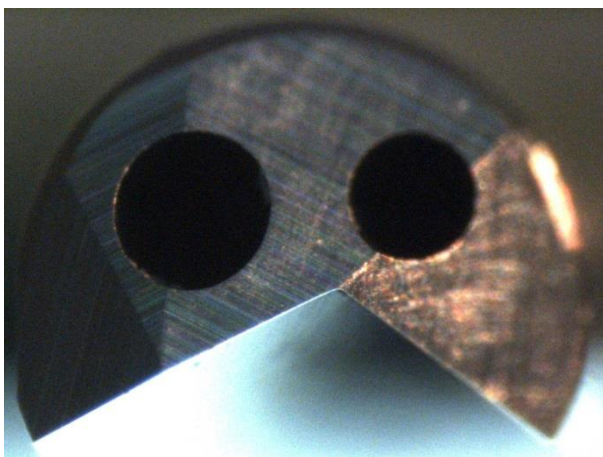
### 3 Návrh a realizace vlastních experimentů

Celý experiment probíhal v laboratoři regionálního technologického institutu RTI na Západočeské univerzitě v Plzni. Cílem bylo zaoblit řeznou hranu celokarbidových dělových vrtáků pomocí vlečného omílání a zjišťovat změnu trvanlivosti. Vrtaným materiálem byla zvolena nástrojová ocel dle ČSN 19 552.3. Velice silným abrazivním účinkem této nástrojové ocele docházelo k okamžité degradaci nástrojů a nebylo tak možné stanovit ani tzv. etalonový nástroj. Proto byla tato nástrojová ocel nahrazena ocelí konstrukční dle ČSN 12 050.3. Zpočátku tedy byla proměřena počáteční makrogeometrie nástroje na světelném mikroskopu a mikrogeometrie na optickém mikroskopu Alicona, kde byly stanoveny jednotlivě odstupňované velikosti poloměru zaoblení ostří. Tyto poloměry byly vytvořeny pomocí vlečného omílání, kde byl nástroj unášen planetovým pohybem v abrazivu po určitý časový úsek, který právě odpovídal vzniklému poloměru zaoblení. Následně byl dělový vrták s upravenou mikrogeometrií testován na multifunkčním obráběcím centru DMG MORI, typu CTX Beta 1250 TC 4A. Nástroj odvrstal určitý počet metrů a poté bylo vyhodnocováno vzniklé opotřebení opět na světelném mikroskopu.

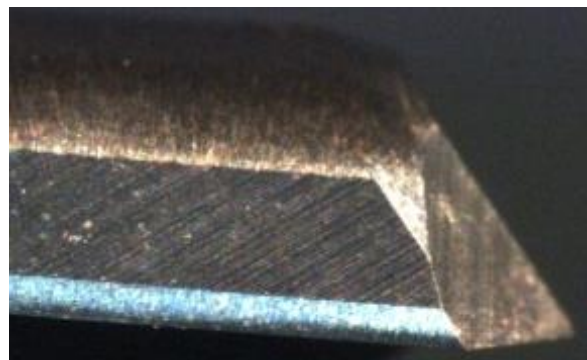
Sadu dělových vrtáků a pilotní vrták zdarma poskytl Ing. Winter. Co se týče dělových vrtáků, jednalo se o jednobřítý nástroj vyrobený ze slinutého karbidu typu K15, o rozměrech 3x165 mm (pracovní délky kolem 110 mm), s vnitřním dvoukanálovým chlazením a dvěma broušenými vodítky (fazetkové a hlavní). U typu G splývají tyto vodítka v jedno, tedy ve vodítko široké. Co se týče pilotního vrtáku, jednalo se přímo o speciál. Konkrétně se jednalo o dvoubřítý nástroj ze slinutého karbidu typu K15, pokrytý tenkou vrstvou TiN, s dvoukanálovým vnitřním systémem chlazení. Pro zaručení přesnosti hlubokých děr a trvanlivosti dělových vrtáků bylo zapotřebí, aby pilotní otvor ležet v určité toleranci. Proto musela skutečná hodnota průměru pilotního otvoru ležet pod hodnotou 3,02 mm. Díky tomu jsou pilotní vrtáky vyráběny v tolerančním poli h5, často bývá i m5. Proměřením speciálu byl skutečný průměr 3,015 mm, což ale ještě neznamenalo, že skutečný průměr pilotního otvoru se bude nacházet pod hodnotou 3,02 mm. Přesnost pilotního otvoru je závislá na mnoha faktorech, především na systému upnutí nástroje.

#### 3.1 Makrogeometrie nepoužitého dělového vrtáku

Na obrázcích č. 18 a č. 19 jsou pořízeny snímky neopotřebovaného dělového vrtáku pomocí světelného mikroskopu. Na této původní makrogeometrii byla vytvořena základní maska, ke které se následně vztahovali jednotlivé hodnoty opotřebení.



**Obrázek 18: Neopotřebovaný nástroj s původní makrogeometrií jednotlivých hřbetů**



**Obrázek 19: Neopotřebovaný nástroj s původní makrogeometrií válcové fazetky**

### 3.2 Přípravek pro omílání

U použitých dělových vrtáků bylo cílem zaoblit vnější a vnitřní řeznou hranu, ale pokud možno, zabránit zaoblení přechodové hrany mezi čelem a válcovou fazetkou. Protože při zavrtávání tato přechodová hrana skokově řeže materiál, tedy pouze neroztahuje masu materiálu, ale také částečně řeže (i přesto, že se nejedná o řeznou hranu). Proto se v praxi úprava mikrogeometrie dělových vrtáků provádí pomocí kartáčování, u kterého nedochází k zaoblení této hrany. Zde došlo k použití jednoduchého přípravku, který tomuto zaoblení zabránil. Jednalo se o kovovou trubici navlečenou na celokarbidovou vrtací rouru, opřenu o stopku vrtáku a připevněnou modelovací plastelínou. Díky velkému štíhlostnímu poměru také tento jednoduchý přípravek pohltil síly způsobující ohybový účinek vrtací roury při omílání. Tudiž nenastala destrukce nástrojů při omílání způsobená velkými tlaky od abrazivního média.

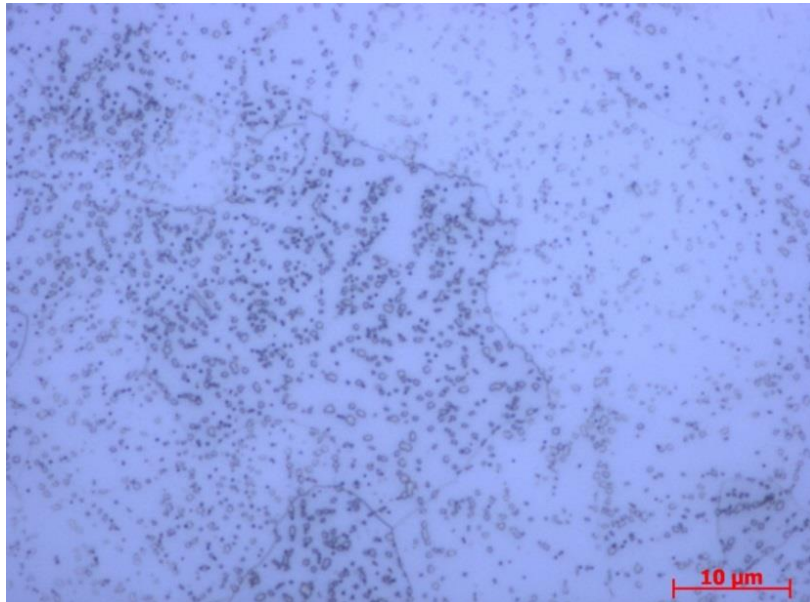


Obrázek 20: Pouzdro navlečené na vrtací rouře dělového vrtáku

### 3.3 Testování dělových vrtáků do nástrojové ocele dle ČSN 19 552.3

Předpokladem byl odhad, že nejdelší trvanlivosti by mělo být dosaženo při optimálním poloměru zaoblení řezné hrany  $r_N=0,010 \div 0,012$  mm. Pro ověření tohoto tvrzení byly zvoleny poloměry zaoblení řezných hran mimo optimum, respektive  $r_N=0,005$  mm a  $r_N=0,015$  mm. Před samotným zaoblením řezných hran a následným hlubokým vrtáním, bylo nutné stanovit etalonový dělový vrták. Také byl proveden metalografický výbrus vrtané nástrojové oceli a změřena její tvrdost.

Nástrojová ocel byla zvolena z důvodu určité relativní abraze působící na nástroj, způsobující značné otupení a snížení trvanlivosti dělového vrtáku. Proto při experimentu nebylo nutné vrtat značné vzdálenosti, jako v případě použití některých konstrukčních ocelí. U konstrukčních ocelí by abraze nepůsobila tak výrazně a bylo by zapotřebí značné odvrtání vzdálenosti, prokazující určité hodnoty opotřebení. U nástrojové oceli byla na katedře materiálového inženýrství proměřena tvrdost. Tvrdost se měřila pomocí Brinella a výsledná hodnota činila 220 HBW. Změřená tvrdost odpovídala tvrdosti v technicko dodacích podmínkách dané nástrojové oceli. Dále byl proveden na katedře materiálového inženýrství metalografický výbrus této oceli. Tato ocel obsahovala 0,4-0,5% C. Na obrázku č. 21 je vidět globulární cementit (způsobující lepší obrobiteľnosť) ve feritické matici, bez žádné cementické lamely (což je cílem získat od stavu žíhaného na měkko). Bohužel, nástrojová ocel se svým silným abrazivním účinkem degradovala pořízenou první dodávku vrtáků. Jednalo se o 6 kusů, které selhaly už při stanovování etalonu. Samotné stanovení etalonu a jejich degradace při zvolených řezných podmínkách, je popsáno v následujících kapitolách.



Obrázek 21: Metalografický výbrus oceli dle ČSN 19 552.3

### 3.3.1 Stanovení etalonového dělového vrtáku

Před samotnou úpravou řezných hran bylo zapotřebí stanovit tzv. etalonový dělový vrták. Jednalo se tedy o celokarbidový dělový vrták bez úpravy mikrogeometrie, který byl testován při vrtání hlubokých děr do nástrojové oceli při řezných podmínkách, které jsou popsány v tabulce č. 1. Díky vzniklému opotřebení na dělovém vrtáku bez úpravy se stanovily kritériální hodnoty opotřebení pro vrtáky s úpravou, jednotlivé poloměry zaoblení ostří i odvrtná dráha, při které došlo k proměření opotřebení.

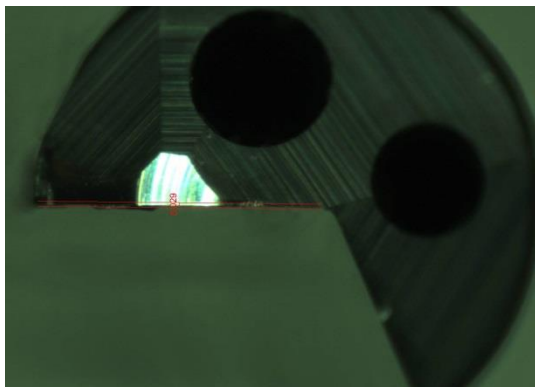
#### 3.3.1.1 Nástroj č. 6

Tabulka 1: Řez. podmínky pro nástroj č. 6, bez úpravy

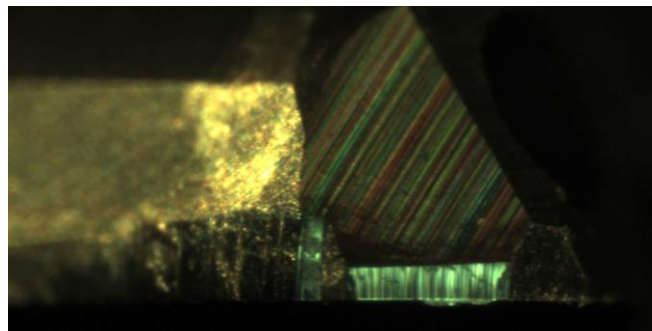
| Nástroj:   | Pilotní vrták       | Dělový vrták                              |
|--|---------------------|---|
| Poloměr zaoblení ostří omiláním $r_N$ [mm]:                        | -                   | Bez úpravy                                |
| Průměr nástroje $\varnothing$ [mm]:                                | 3                   | 3   |
| Otáčky nástroje $n$ [ot/min]:                                      | 6400                | 6400                                      |
| Posuv nástroje $f$ [mm/ot]:  | 0,02                | 0,02                                      |
| Posuvová rychlost $v_f$ [mm/min]:                                  | 128                 | 128                                       |
| Řezná rychlost nástroje $v_c$ [m/min]:                             | 60                  | 60  |
| Odvrtná dráha, kdy dojde k proměření opotřebení [m]:               | -                   | 2   |
| Poloha proměření opotřebení -> stanovení krit. hodnoty opotřebení: | -                   | Tam, kde bude nejvyšší hodnota opotřebení |
| Vrtaná hloubka [mm]:   | 11                  | 100                                       |
| Tlak řezné emulze [bar]:   | 100                 | 100                                       |
| Koncentrace řezné emulze [%]                                       | 11                  | 11  |
| Systém upnutí nástroje:  | Kleština            | Kleština                                  |
| Prívod řezného média   | Vnitřní (2 kanálky) | Vnitřní (2 kanálky)                       |
| Obráběný materiál dle ČSN:   | 19552.3             | 19552.3                                   |
| Tvrdość obráběného materiálu [HBW]:                                | 220                 | 220                                       |
| Materiál nástroje (tenká vrstva):                                  | SK 15 (TiN)         | SK 15                                     |
| Počet břitů  | 2                   | 1   |

Po odvrtných dvou metrech proběhlo proměření opotřebení na světelném mikroskopu. Na obrázku č. 22 je možno si všimnout opotřebení etalonového dělového vrtáku při zvolených řezných podmínkách. Je zde vidět degradace špičky nástroje, kde se na první pohled může zdát, že se jedná o stabilizační fazetku, ale opravdu se jedná o vydřenou plošku.

Největší opotřebení vzniká tam, kde nástroj dosahuje největší řezné rychlosti. Na čele vnější řezné hrany je patrný nárůstek. Opotřebení fazetky na vnější řezné hraně je minimální. Mnohem závažnějším problémem je vznik dostatečně velkého vrubu a také degradace válcové fazetky (značné rozšíření). Proto zde je možno prohlásit, že nástroj je nestabilní a hrozí jeho potenciální zlomení, čili nemůže pokračovat v testování a není nutné dále proměřovat další opotřebení. Tyto druhy znatelného opotřebení a degradace mohly být vyvolány nevhodným středěním nástroje, vysokou řeznou rychlostí (tedy vysokou teplotou a ztrátou olejového filmu). Ale také je možné, že se vrub mohl projevit náhodně. Dále se na hlavním vodítku vyskytl tzv. cobalt leaching (i při značné koncentraci řezné emulze 11%). Příčinou jeho vzniku je degradace olejového filmu za zvýšené teploty, způsobené třením od působení kovu na kov. Cobalt leaching znamená vydrolování karbidických zrn. Na vrtáku je možno si všimnout vydřeného trojúhelníku, čímž je zapříčiněno opotřebení na válcové fazetce. Zde není pořízený snímek, ale promítnutím hrany vydřeného trojúhelníku po obvodu bude tato hrana přesně směřovat do válcové fazetky (zde začne materiál řezného nástroje ubývat a díky tomu se osoustruží na válcovou fazetku). Při použití oleje jako řezného média nenastává cobalt leaching, protože nedochází ke ztrátě olejového filmu.



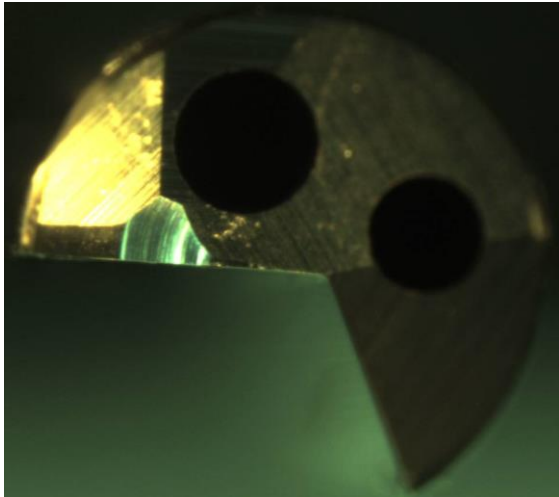
**Obrázek 22:** Nástroj č. 6;  $v_c=60$ ; m/min; 2 m; opotřebení špičky; bez úpravy



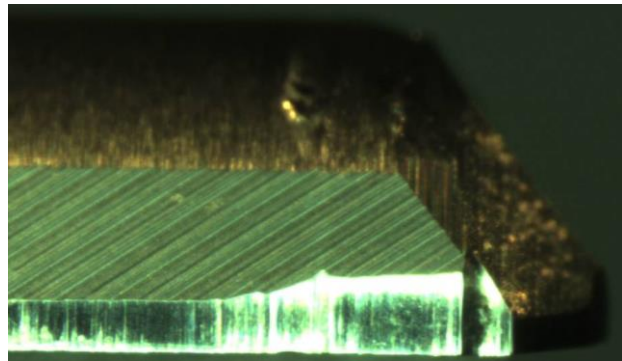
**Obrázek 23:** Nástroj č. 6;  $v_c=60$  m/min; 2 m; degradace vál. fazetky; bez úpravy

### 3.3.1.2 Nástroj č. 4

Po degradaci dělového vrtáku bez úpravy mikrogeometrie byla řezná rychlost snížena z  $v_c=60$  m/min na  $v_c=50$  m/min. Zbýlé řezné podmínky zůstaly shodné. Snížením řezné rychlosti se očekávalo snížení teploty procesu řezání, a tedy větší stabilizace olejového filmu, který tak způsoboval nižší tření mezi vodítky nástroje a stěnou vrtaného otvoru. Snížením řezné rychlosti se očekávalo zabránění přílišné degradace válcové fazetky, špičky nástroje a potlačení výskytu vrubu. Bohužel, jak je vidět z následujících obrázků, zabránění degradace se nepodařilo i při nižší řezné rychlosti, ba naopak. Je zde vidět opětovná degradace špičky nástroje. Také opět nastala degradace válcové fazetky (její rozšíření) a také se znovu vyskytl vrub. Další snímky opotřebení nástroje bez úpravy při řezné rychlosti  $v_c=50$  m/min jsou k nalezení v příloze, na kterých je vidět opotřebení čela nástroje i hlavního vodítka.



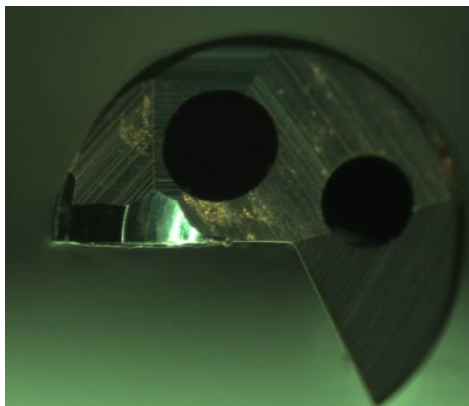
Obrázek 24: Nástroj č. 4;  $v_c=50$  m/min; 2 m; opotřebení špičky; bez úpravy



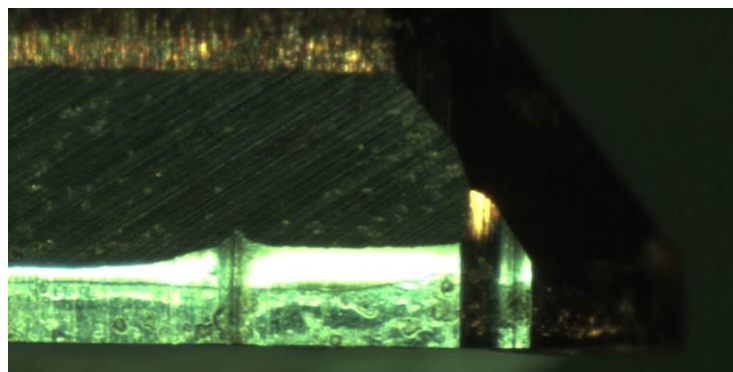
Obrázek 25: Nástroj č. 4;  $v_c=50$  m/min; 2 m; degradace vál. fazetky; bez úpravy

### 3.3.1.3 Nástroj č. 3

Po degradaci etalonového dělového vrtáku bez úpravy mikrogeometrie došlo opět k ponížení rezné rychlosti z  $v_c=50$  m/min na  $v_c=40$  m/min. I zde se opět projevila stejná degradace a otupění nástroje, jak je vidět na obrázku č. 26 a č. 27.



Obrázek 26: Nástroj č. 3;  $v_c=40$  m/min; 2 m; opotřebení špičky; bez úpravy



Obrázek 27: Nástroj č. 3;  $v_c=40$  m/min; 2 m; degradace vál. fazetky; bez úpravy

### 3.3.1.4 Proměření přesnosti pilotních otvorů

Při opakovaných degradacích etalonových dělových vrtáků bez úpravy mikrogeometrie, došlo k proměření pilotních otvorů, zda ležely v požadované toleranci. Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.2.7, je důležité, aby vůle mezi pilotním otvorem a jmenovitým průměrem dělového vrtáku byla co nejmenší. Při příliš velké vůli je zde větší masa materiálu, která musí být roztáhnuta tvářením (ne procesem řezání) a dochází k degradaci nástroje, kvůli přílišnému krouticímu momentu. Při teoretickém průměru nástroje 3 mm a skutečném jeho rozměru 3,015 mm, byla stanovena tolerance pilotního otvoru, která by neměla být překročena. Čili skutečná hodnota pilotních otvorů nesměla překročit hodnotu 3,020 mm. V tabulce č. 2 jsou uvedeny skutečné hodnoty průměrů pilotních otvorů, které byly proměřeny na měřicím pří-



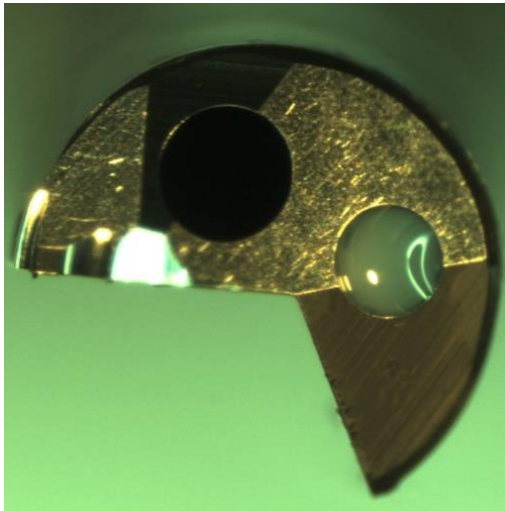
stroji v metrologii katedry obrábění. Ke zjištění, zda leží skutečné hodnoty průměrů pilotních otvorů pod hodnotou 3,020 mm, došlo k proměření alespoň tří pilotních otvorů. Pilotní otvory byly vrtány do hloubky  $z = 11$  mm, měření jejich skutečných průměrů docházelo v hloubce  $z = -2$  mm a  $z = -7$  mm. Při měření skutečného průměru pilotních otvorů ve větší hloubce mohla nastat situace, kdy skutečná hodnota by nebyla stanovena dotykem o průměru 2 mm, ale dříkem. To by mohlo mít za následek ovlivnění skutečného výsledku měření (nevýhoda při měření malých průměrů). Tento fakt se projevil při změření třetího pilotního otvoru v hloubce  $z = -7$  mm. Skutečná hodnota pilotního otvoru je pod hodnotou 3 mm, což je nepravděpodobné. Zbývající dva pilotní otvory změřené v hloubce  $z = -7$  mm leží v tolerančním poli, což se nedá říct v hloubce  $z = -2$  mm, kde vlivem zavrtávání pilotního vrtáku mohlo dojít k ovlivnění skutečného rozměru.

**Tabulka 2: Skutečné rozměry pilotních otvorů**

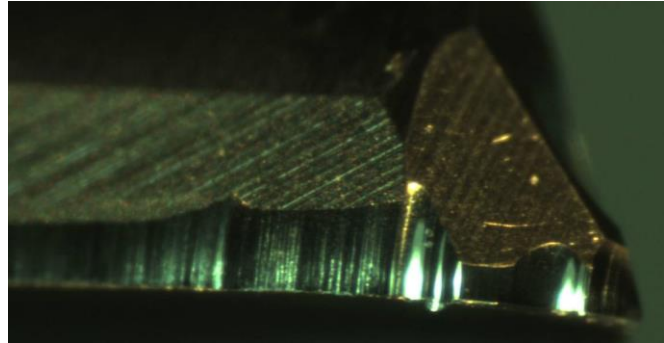
| (mm)                          | ACTUAL | NOMINAL | LO-TOL          | HI-TOL | DEVIATION | GRAPHIC       | ERROR  |
|-------------------------------|--------|---------|-----------------|--------|-----------|---------------|--------|
| Temperature Compensation: OFF |        |         |                 |        |           |               |        |
| Circle:CIR_pr3_leva_z-2       |        |         |                 |        |           |               |        |
| Diameter                      | 3.037  | 3.000   | +0.000          | +0.200 | 0.037     | -*+----       |        |
| Circle:CIR_pr3_leva_z-7       |        |         |                 |        |           |               |        |
| Diameter                      | 3.017  | 3.000   | +0.000          | +0.200 | 0.017     | -*+----       |        |
| Circle:CIR_pr3_stredni_z-2    |        |         |                 |        |           |               |        |
| Diameter                      | 3.087  | 3.000   | +0.000          | +0.200 | 0.087     | ---*---       |        |
| Circle:CIR_pr3_stredni_z-7    |        |         |                 |        |           |               |        |
| Diameter                      | 3.020  | 3.000   | +0.000          | +0.200 | 0.020     | -*+----       |        |
| Circle:CIR_pr3_prava_z-2      |        |         |                 |        |           |               |        |
| Diameter                      | 3.070  | 3.000   | +0.000          | +0.200 | 0.070     | --*+----      |        |
| Circle:CIR_pr3_prava_z-7      |        |         |                 |        |           |               |        |
| Diameter                      | 2.988  | 3.000   | +0.000          | +0.200 | -0.012    | <---+----     | -0.012 |
| Duration 9 mins 7 secs        |        |         | FAIL in:6 out:1 |        |           | End of Report |        |

### 3.3.1.5 Nástroj č. 1

Při stanovování etalonového dělového vrtáku bez úpravy mikrogeometrie, veškeré nástroje okamžitě degradovali už po odvrtných dvou metrech. Proto došlo k otestování dělového vrtáku, který prodělal úpravu mikrogeometrie. Cílem bylo prokázat nárůst trvanlivosti, tedy potlačení výrazného otupení a degradace nástroje, právě vzniklým poloměrem zaoblení ostří. Hodnota poloměru zaoblení ostří byla rovna  $r_N = 13 \mu\text{m}$ . Řezná rychlost byla opět navýšena na původních  $v_c = 60$  m/min, a navíc byl pilotní i dělový vrták upnut do hydraulického upínače, namísto kleštiny. Bohužel, i v tomto případě vzniklo naprosto shodné opotřebení a degradace nástroje, stejně jako v případě dělových vrtáků bez úpravy mikrogeometrie. Při vrtání do nástrojové oceli je na všech použitých nástrojích patrné otupení špičky, rozšíření fazetky a vznik vrubu.

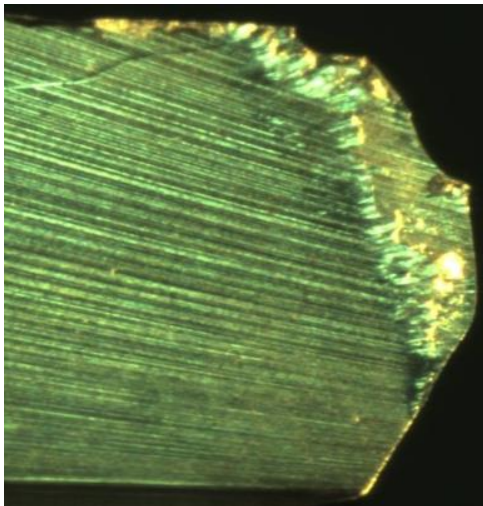


**Obrázek 28: Nástroj č. 1;  $v_c=60$  m/min; 2 m; opotřebení špičky;  $r_N=13 \mu\text{m}$**



**Obrázek 29: Nástroj č. 1;  $v_c=60$  m/min; 2 m; degradace vál. fazetky;  $r_N=13 \mu\text{m}$**

Nástroj s úpravou mikrogeometrie byl navíc postihnut vyštípnutím částí břitu na vnější řezné hraně. Čili nástroj se zaoblenou řeznou hranou namísto toho, aby prokázal nárůst trvanlivosti, tak prozatím nejvíce degradoval, jak je vidět na obrázcích č. 28, č. 29, č. 30.

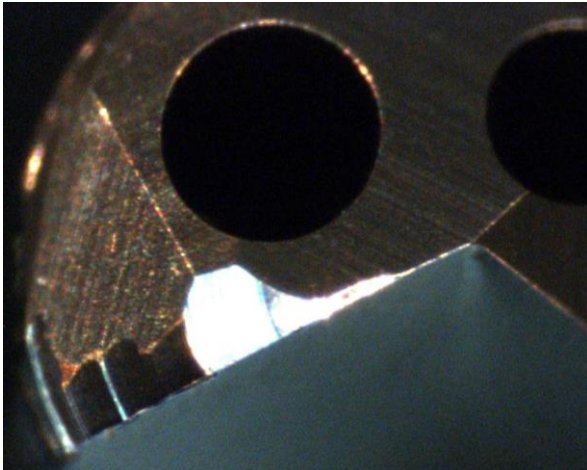


**Obrázek 30: Nástroj č. 1;  $v_c=60$  m/min; 2 m; vyštípnutí břitu na vnější řez. hraně;  $r_N=13 \mu\text{m}$**

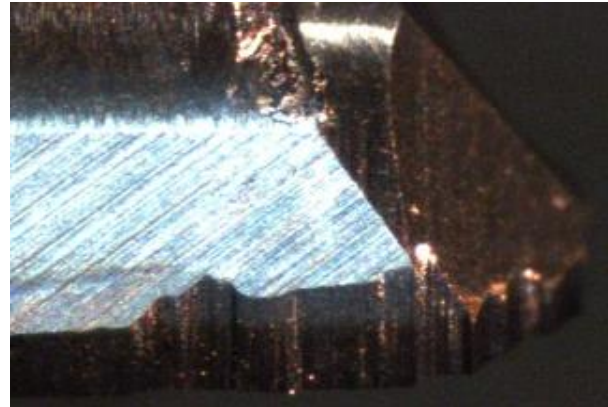
### 3.3.1.6 Nástroj č. 13

Na nástroji č. 1 byl vytvořen poloměr zaoblení řezné hrany  $r_N=13 \mu\text{m}$ , kdy se po odvrátných dvou metrech projeví shodné degradace nástroje jako v předchozích případech. To, že se neprojevil jakýkoli nárůst trvanlivosti, mohlo být spojeno s vysokou hodnotou poloměru zaoblení ostří, čili hodnota ležící vysoko nad optimem. Proto hodnota poloměru zaoblení ostří  $r_N=13 \mu\text{m}$  působila kontraproduktivně. Dále se postupovalo tak, že se snížila hodnota poloměru zaoblení, aby se přiblížila určité optimální hodnotě a prokázal se tak alespoň minimální nárůst trvanlivosti. Na nástroji č. 13 byl vytvořen poloměr zaoblení řezné hrany  $r_N=8 \mu\text{m}$ .

Zmenšením poloměru zaoblení řezné hrany, bohužel, nenastal žádný nárůst trvanlivosti a nástroj vykazoval opět shodnou degradaci a opotřebení v jednotlivých místech o odvrtných dvou metrech při shodných řezných podmínkách, čili řezné rychlosti  $v_c=60$  m/min.

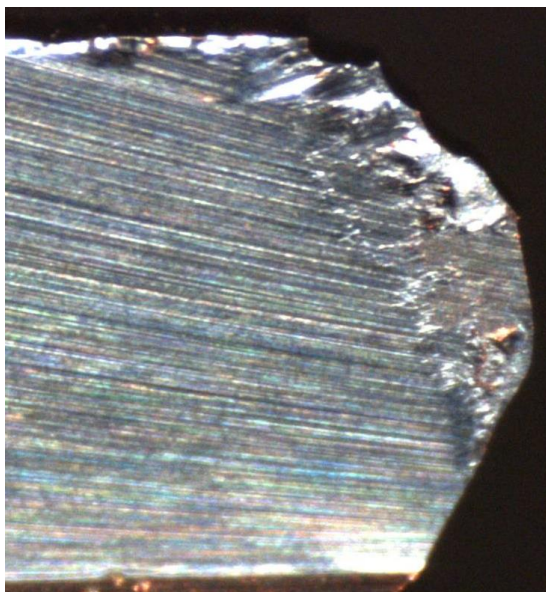


**Obrázek 31: Nástroj č. 13;  $v_c=60$  m/min; 2 m; opotřebení špičky;  $r_N=8$   $\mu$ m**



**Obrázek 32: Nástroj č. 13;  $v_c=60$  m/min; 2 m; degradace vál. fazetky;  $r_N=8$   $\mu$ m**

I u tohoto nástroje s poloměrem zaoblení řezné hrany  $r_N=8$   $\mu$ m, došlo k vyštípnutí části břitu na vnější řezné hraně, stejně jako u nástroje č. 1 s poloměrem zaoblení  $r_N=13$   $\mu$ m.

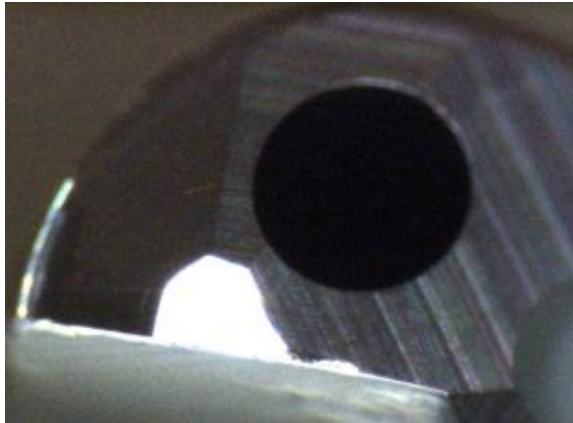


**Obrázek 33: Nástroj č. 13;  $v_c=60$  m/min; 2 m; vyštípnutí břitu na vnější řez. hraně;  $r_N=8$   $\mu$ m**

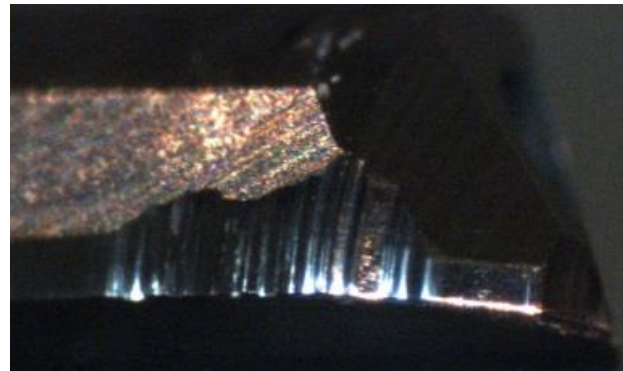
### 3.3.1.7 Nástroj č. 12

Nárůst trvanlivosti se neprojevil ani při zmenšení poloměru zaoblení řezné hrany z hodnoty  $r_N=13$   $\mu$ m na hodnotu  $r_N=8$   $\mu$ m, a navíc nástroje degradovali na stejných místech. V praxi se prokázal alespoň minimální nárůst trvanlivosti, minimální úpravou mikrogeometrie, což bylo jako posledním testem ověřeno na nástroji č. 12. Vize byla taková, že při polo-

měru zaoblení řezné hrany na hodnotu  $r_N=3 \mu\text{m}$ , dojde alespoň k minimálnímu nárůstu trvanlivosti, respektive nedojde tak k brutální degradaci hřbetu špičky a válcové fazetky, spolu s vrubem na vnější řezné hraně. I tento pokus selhal a nástroj opět shodně degradoval po odvrtných dvou metrech při řezné rychlosti  $v_c=60 \text{ m/min}$ .

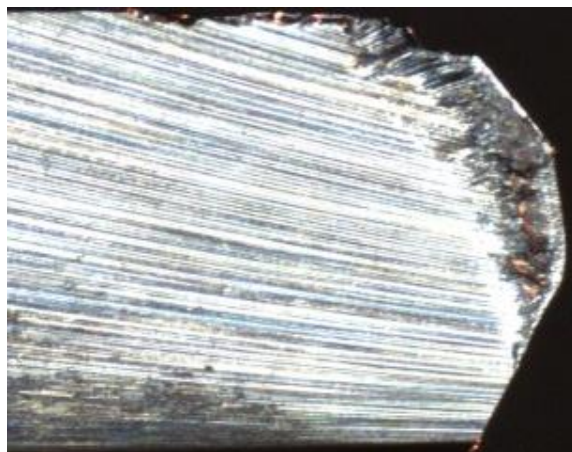


**Obrázek 34:** Nástroj č. 12;  $v_c=60 \text{ m/min}$ ; 2 m; opotřebení špičky;  $r_N=3 \mu\text{m}$

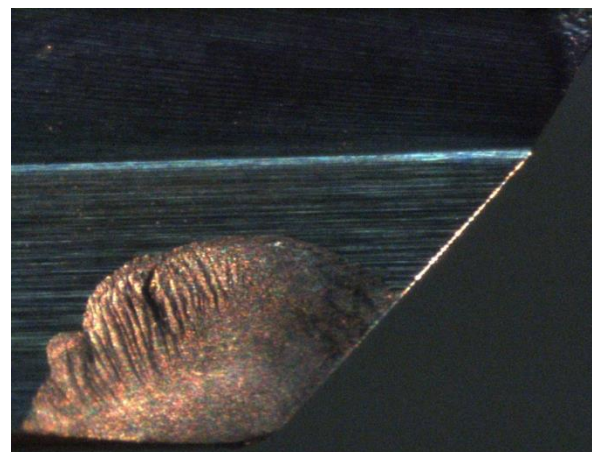


**Obrázek 35:** Nástroj č. 12;  $v_c=60 \text{ m/min}$ ; 2 m; degradace vál. fazetky;  $r_N=3 \mu\text{m}$

I zde, došlo k vyštípnutí částí břitu na vnější řezné hraně, jak je vidět na obrázku č. 36. Navíc došlo k totální degradaci a vyštípnutí částí břitu olejové hrany, což mohlo být způsobeno nevhodným odvodem třísky z místa řezu nebo vysokou teplotou procesu řezání.



**Obrázek 36:** Nástroj č. 12;  $v_c=60 \text{ m/min}$ ; 2 m; vyštípnutí břitu na vnější řez. hraně;  $r_N=3 \mu\text{m}$

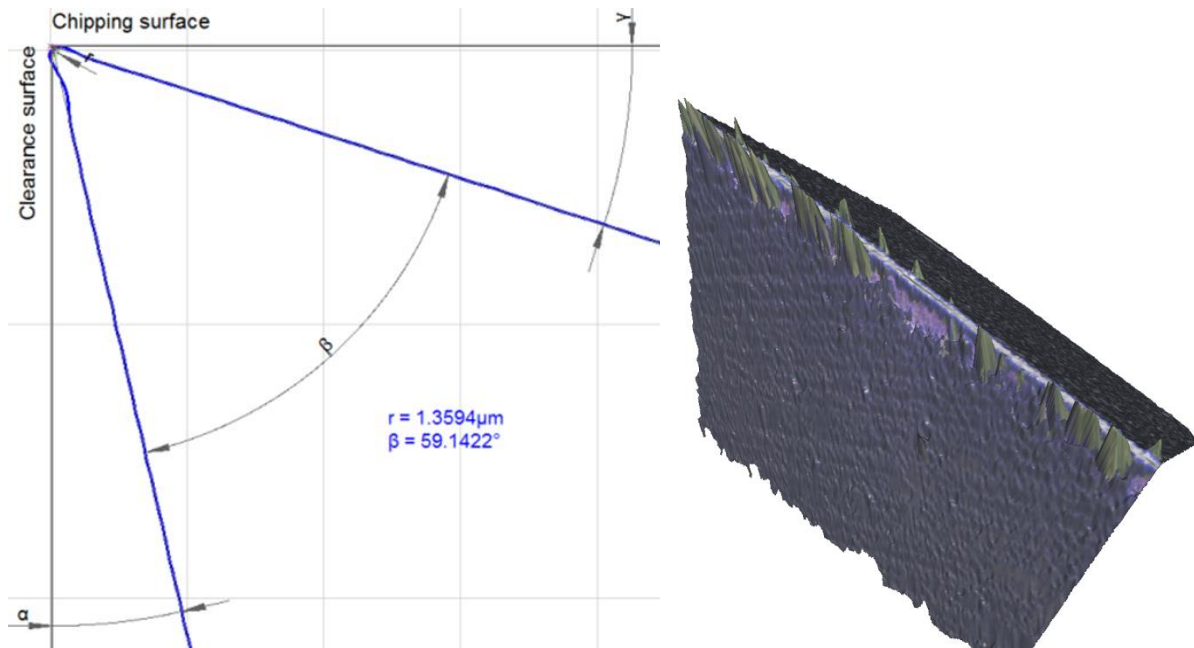


**Obrázek 37:** Nástroj č. 12;  $v_c=60 \text{ m/min}$ ; 2 m; degradace olejové hrany;  $r_N=3 \mu\text{m}$

### 3.3.2 Ilustrace změření poloměru zaoblení ostří

Před samotným omíláním, neboli vznikem požadovaného poloměru zaoblení ostří, bylo zapotřebí změřit stávající stav mikrogeometrie dělového vrtáku pomocí optického mikroskopu Alicona. Následně proběhl proces omílání na požadovaný poloměr zaoblení, který se dosáhl určitým typem omílacího média, časem omílání, hloubkou vnoření, jednotlivými otáčkami a úhlem sklonu nástroje, vykonávající planetový pohyb. Software vypočetl jako průměr

měrnou hodnotu poloměru zaoblení  $r_N=13,3 \mu\text{m}$  z celkem padesáti jednotlivých řezů. Jednotlivé nerovnosti na 3D modelu jsou neočištěná zrna od omílacího média.



Obrázek 38: Ilustrace měření poloměru zaoblení ostří

### 3.3.3 Vznik třísky

Při vrtání do nástrojové ocele ve všech případech vznikala obloučkovitá dělená tříška, jak je vidět na následujících obrázcích, která je žádaná při každém druhu obrábění. Díky tomuto typu třísky nedochází ke vzniku chvění a vibrací, a vrtání hlubokých děr probíhalo za stabilních podmínek.



Obrázek 39: ISO 6.2- obloučkovitá dělená; nástroj č. 1;  $v_c=60 \text{ m/min}$ ;  $2 \text{ m}$ ;  $n=6400 \text{ ot/min}$ ;  $f=0,02 \text{ mm/ot}$ ;  $r_N=13 \mu\text{m}$



Obrázek 40: ISO 6.2- obloučkovitá dělená; nástroj č. 12  $v_c=60 \text{ m/min}$ ;  $2 \text{ m}$ ;  $n=6400 \text{ ot/min}$ ;  $f=0,02 \text{ mm/ot}$ ;  $r_N=3 \mu\text{m}$

### 3.3.4 Vyhodnocení geometrických a rozměrových tolerancí

Jako první krok, bylo zapotřebí zajistit příčný řez nástrojové ocele o hodnotu hloubky vrtané pilotním otvorem, aby nedošlo ke zkreslení přesnosti jednotlivých hodnot, protože skutečná hodnota průměru pilotního vrtáku byla větší, než skutečná hodnota průměru dělového vrtáku. Příčný řez byl zajištěn pomocí pásové pily.

V následující tabulce je protokol o měření jednotlivých geometrických tolerancí, jakožto kruhovitost a přímost, a rozměrové tolerance jakožto průměru. Nutno říci, že při experimentu nebylo cílem zajistit určité hodnoty geometrických nebo rozměrových tolerancí. Proto měření jednotlivých přesností nebylo limitováno tolerančními hodnotami (až na pilotní otvor). Při měření jednotlivých přesností musela být zvolena alespoň orientační tolerance, aby program dokázal vyhodnotit jednotlivé úchyly. Proto byla ponechána hodnota úchylek jako při měření přesnosti průměru vrtané pilotním vrtákem, čili na +0,02 mm. Jednotlivé přesnosti se měřily v pěti náhodně zvolených otvorech, a to v hloubce 3, 6, 9 a 12 mm. Jedná se tedy pouze o ilustrativní hodnoty naměřených geometrických a rozměrových tolerancí. Jak je vidět, skutečné rozměry jsou někdy až nepravděpodobné, jako například hodnoty průměru menší než 3 mm. Přímost jednotlivých otvorů nelze brát v potaz, protože přímost je vyhodnocena pouze ve vzdálenosti 9 mm.

Měření jednotlivých geometrických tolerancí v otvoru o průměru 3 mm a délky celkem 101 mm, bylo velice náročné a místy nepřesné. Díky malému průměru otvoru musel být použit speciální dotyk o průměru kuličky 1 mm a délkou dřívku 15 mm. Délka dřívku při průměru kuličky 1 mm nemůže být delší kvůli zajištění tuhosti, a tím nemožnost ovlivnění výsledných hodnot měření. Při delším dřívku by nebyla zajištěna tuhost a měření skutečných hodnot by nedocházelo pomocí dotyku kuličky s materiálem, ale pomocí dřívku s materiálem. Čili už zde bylo první omezení při měření skutečných rozměrů a to tím, že veškeré hodnoty přímosti, kruhovitosti a průměru byly stanoveny na vzdálenosti pouhých 9 mm. Dalším faktorem, který ovlivnil přesnost měření, byla dosedací plocha tyčoviny dosedající na granitovou desku měřicího přístroje. Dosedací plocha tyčoviny nebyla žádným způsobem zarovnána (pouze pásovou pilou), a tak nebyla příliš zajištěna kolmost os jednotlivých děr na granitovou desku. Díky vzniklé určité hodnotě nekolmosti mohlo docházet k měření elipsy namísto kruhu.

**Tabulka 3: Skutečné hodnoty průměru, kruhovitosti a přímosti**

| (mm)                          | ACTUAL | NOMINAL | LO-TOL | HI-TOL | DEVIATION | GRAPHIC  | ERROR  |
|-------------------------------|--------|---------|--------|--------|-----------|----------|--------|
| Temperature Compensation: OFF |        |         |        |        |           |          |        |
| Circle:CIR_1_-3               |        |         |        |        |           |          |        |
| Diameter                      | 2.987  | 3.000   | +0.000 | +0.020 | -0.013    | <---+--- | -0.013 |
| Circularity                   | 0.006  |         |        | 0.020  |           | +*---    |        |
| Circle:CIR_1_-6               |        |         |        |        |           |          |        |
| Diameter                      | 2.989  | 3.000   | +0.000 | +0.020 | -0.011    | <---+--- | -0.011 |
| Circularity                   | 0.003  |         |        | 0.020  |           | *---     |        |
| Circle:CIR_1_-9               |        |         |        |        |           |          |        |
| Diameter                      | 2.989  | 3.000   | +0.000 | +0.020 | -0.011    | <---+--- | -0.011 |
| Circularity                   | 0.012  |         |        | 0.020  |           | +*---    |        |
| Circle:CIR_1_-12              |        |         |        |        |           |          |        |
| Diameter                      | 2.989  | 3.000   | +0.000 | +0.020 | -0.011    | <---+--- | -0.011 |
| Circularity                   | 0.017  |         |        | 0.020  |           | +*---    |        |
| Line:LINE_CIR_1               |        |         |        |        |           |          |        |
| Straightness                  | 0.001  | 0.020   |        |        |           | *---     |        |

|                  |       |       |        |        |        |          |        |
|------------------|-------|-------|--------|--------|--------|----------|--------|
| Circle:CIR_2_-3  |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter         | 3.003 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | 0.003  | -*+---   |        |
| Circularity      | 0.005 |       |        | 0.020  |        | +*--     |        |
| -----            |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_2_-6  |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter         | 3.006 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | 0.006  | ---*+--- |        |
| Circularity      | 0.003 |       |        | 0.020  |        | +*--     |        |
| -----            |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_2_-9  |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter         | 3.003 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | 0.003  | -*+---   |        |
| Circularity      | 0.007 |       |        | 0.020  |        | +*--     |        |
| -----            |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_2_-12 |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter         | 3.005 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | 0.005  | ---*+--- |        |
| Circularity      | 0.003 |       |        | 0.020  |        | *---     |        |
| -----            |       |       |        |        |        |          |        |
| Line:LINE_CIR_2  |       |       |        |        |        |          |        |
| Straightness     | 0.002 | 0.020 |        |        |        |          | *---   |
| -----            |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_3_-3  |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter         | 2.997 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | -0.003 | <---+--- | -0.003 |
| Circularity      | 0.003 |       |        | 0.020  |        | *---     |        |
| -----            |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_3_-6  |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter         | 2.995 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | -0.005 | <---+--- | -0.005 |
| Circularity      | 0.004 |       |        | 0.020  |        | +*--     |        |
| -----            |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_3_-9  |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter         | 2.981 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | -0.019 | <---+--- | -0.019 |
| Circularity      | 0.036 |       |        | 0.020  |        | +++>     | 0.016  |
| -----            |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_3_-12 |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter         | 2.971 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | -0.029 | <---+--- | -0.029 |
| Circularity      | 0.041 |       |        | 0.020  |        | +++>     | 0.021  |
| -----            |       |       |        |        |        |          |        |
| Line:LINE_CIR_3  |       |       |        |        |        |          |        |
| Straightness     | 0.006 | 0.020 |        |        |        |          | +*--   |
| -----            |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_4_-3  |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter         | 2.987 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | -0.013 | <---+--- | -0.013 |
| Circularity      | 0.041 |       |        | 0.020  |        | +++>     | 0.021  |
| -----            |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_4_-6  |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter         | 3.001 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | 0.001  | *---+--- |        |
| Circularity      | 0.012 |       |        | 0.020  |        | +*--     |        |
| -----            |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_4_-9  |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter         | 2.999 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | -0.001 | <---+--- | -0.001 |
| Circularity      | 0.009 |       |        | 0.020  |        | +*--     |        |
| -----            |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_4_-12 |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter         | 2.998 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | -0.002 | <---+--- | -0.002 |
| Circularity      | 0.013 |       |        | 0.020  |        | +*--     |        |
| -----            |       |       |        |        |        |          |        |
| Line:LINE_CIR_4  |       |       |        |        |        |          |        |
| Straightness     | 0.005 | 0.020 |        |        |        |          | +*--   |
| -----            |       |       |        |        |        |          |        |

```

Circle:CIR_5_-3
Diameter      3.001      3.000      +0.000      +0.020      0.001 *---+---
Circularity   0.006
-----
Circle:CIR_5_-6
Diameter      2.994      3.000      +0.000      +0.020      -0.006 <---+---      -0.006
Circularity   0.015
-----
Circle:CIR_5_-9
Diameter      2.990      3.000      +0.000      +0.020      -0.010 <---+---      -0.010
Circularity   0.017
-----
Circle:CIR_5_-12
Diameter      2.993      3.000      +0.000      +0.020      -0.007 <---+---      -0.007
Circularity   0.017
-----
Line:LINE_CIR_5
Straightness  0.001      0.020
-----
Duration 7 mins 36 secs      FAIL in:28 out:17      End of Report
=====

```

### 3.3.5 Zhodnocení degradace nástrojů

Proč docházelo k výrazné degradaci nástrojů při vrtání do nástrojové ocele dle ČSN 19 552.3, už po odvrtných dvou metrech, je otázkou. Firma Bosch vrtá hluboké tvory do kalených ocelí prakticky se shodnými vrtáky, kde k výrazné degradaci dochází až po dvaceti odvrtných metrech, při řezné rychlosti  $v_c=75$  m/min a posuvem  $f=0,025$  mm/ot (při vrtání pod olejem dosahují až 90 odvrtných metrů).

Vrtaná ocel dle ČSN 19 552.3 je svými karbidy příliš agresivní vůči použitým dělovým vrtákům. Lze konstatovat, že úpravou mikrogeometrie, vytvořením jakékoli hodnoty poloměru zaoblení ostří nedojde k prodloužení trvanlivosti nástroje. Výsledné hodnoty opotřebení po odvrtných dvou metrech jsou daleko rozsáhlejšího charakteru, než se původně předpokládalo. Je to důkaz, že hluboké vrtání je velmi citlivé na použité řezné médium a řezný materiál. Vhodnou náhradou řešení by mohlo být nahrazení řezné emulze řezným olejem, jako použité řezné médium. Řezný olej vyniká ve stálosti olejového filmu i při vyšších řezných teplotách, čímž nedochází ke styku řezného materiálu s vrtaným otvorem a výsledkem je nižší tření, které je rozhodující pro vzniklou degradaci jednotlivých vrtáků.

Nástroj č. 5 byl obsluhou multifunkčního stroje zlomen kvůli nevhodné manipulaci, a nástroj č. 2 se zlomil při samotném omílání. Cílem této části bylo provést vliv mikrogeometrie na trvanlivost dělového vrtáku, ale degradaci jednotlivých nástrojů při vrtání do nástrojové ocele nedošlo ani ke stanovení etalonu a bylo proto nutné přejít k náhradnímu řešení. Nástrojová ocel, jakožto vrtaný materiál, byla nahrazena materiálem způsobující menší abrazi nástroje.

### 3.4 Testování dělových vrtáků do konstrukční ocele dle ČSN 12 050.3

Při opakovaných degradaci dělových vrtáků, při vrtání do nástrojové ocele, byl otestován dělový vrták (z nové sady nástrojů) do konstrukční ocele dle ČSN 12 050.3. Cílem bylo prověřit, zda při vrtání do konstrukční ocele nástroj nepodlehne degradaci jako v případě nástrojové ocele, a mohl se tak stanovit etalon a pokračovat následně v experimentu, právě při vrtání do této konstrukční oceli. Konstrukční ocel nepůsobí tak silným abrazivním účinkem na nástroj, v porovnání s nástrojovou ocelí, díky nižšímu obsahu karbidů. Nástrojová ocel obsahuje určité procento legur, způsobující abrazivní účinek nástroje. Po proměření tvrdosti dodané konstrukční ocele byla výsledná hodnota tvrdosti kolem 185 HBW. Díky poklesu tvr-



dosti mezi jednotlivými vrtnými materiály byl předpoklad nižších hodnot opotřebení a za-  
mezení degradací nástrojů.

Po stanovení etalonu probíhal experiment tak, že na světelném mikroskopu byla pro-  
měřena počáteční makrogeometrie a byla vykreslena základní maska, ke které se poté stanovi-  
ly jednotlivé hodnoty opotřebení. Následně byla proměřena mikrogeometrie nástroje na op-  
tickém mikroskopu Alicona. Došlo ke zmapování počátečního rádiusu, vzniklém při broušení  
jednotlivých vodiček a řezných hran. Poté byly zvoleny jednotlivé poloměry zaoblení řezné  
hrany, které byly odstupňované po pěti mikronech, respektive k úpravě mikrogeometrie došlo  
celkem u třech nástrojů, kde nástroj č. 9 nesl hodnotu poloměru zaoblení ostří  $r_N = 0,005$  mm,  
nástroj č. 8  $r_N = 0,010$  mm a nástroj č. 10  $r_N = 0,015$  mm. Současně s dělovými vrtáky  
s upravenou mikrogeometrií byla vyhodnocována trvanlivost dělového vrtáku bez úpravy, od  
kterého byla očekávána nejkratší trvanlivost. Jednotlivé poloměry zaoblení ostří byly vytvo-  
řeny pomocí vlečné omílačky Otis, kde nástroje vykonávaly planetový pohyb v abrazivu po  
určitý časový úsek. Právě velikost tohoto časového úseku vytvořila jednotlivé hodnoty polo-  
měru zaoblení ostří. Nástroje s upravenou mikrogeometrií se testovaly na multifunkčním ob-  
ráběcím centru, kde hlavní pohyb rotační konal nástroj a posuv také nástroj. K odměřování  
jednotlivých hodnot opotřebení docházelo na světelném mikroskopu při odvrtných každých  
dvou metrech a byla následně vyhodnocena trvanlivost nástrojů. Hodnota odvrtných metrů  
byla přepočtena na trvanlivost v minutách.

### 3.4.1 Stanovení etalonového dělového vrtáku

Podstata stanovení etalonu byla stejná jako při testování dělových vrtáků do nástrojové  
oceli. Odlazení etalonového dělového vrtáku při vrtní do konstrukční ocele bylo prováděno  
za různých řezných podmínek. Cílem bylo stanovit kritériální hodnotu opotřebení v místě, kde  
docházelo k nejvýraznějším hodnotám opotřebení. Dále bylo cílem stanovit, při kolika odvr-  
taných metrech bude docházet k proměření opotřebení.

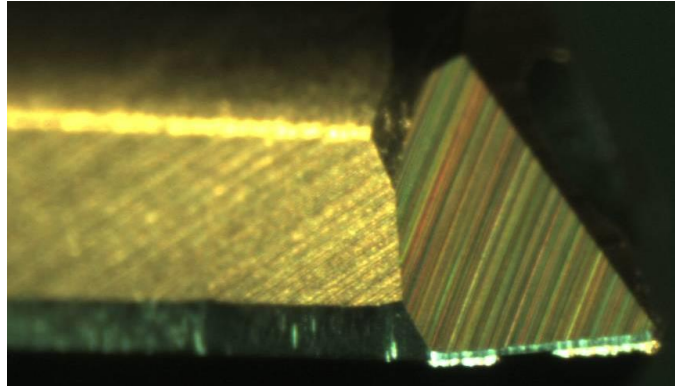
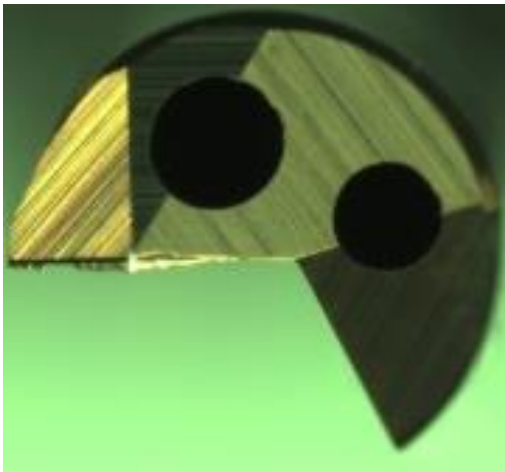
**Tabulka 4: Řez. podmínky pro nástroj č. 7, bez úpravy**

| Nástroj:   | Pilotní vrták       | Dělový vrták                              |
|--|---------------------|---|
| Poloměr zaoblení ostří omíláním $r_N$ [mm]:                        | -                   | bez úpravy                                |
| Průměr nástroje $\varnothing$ [mm]:                                | 3                   | 3   |
| Otáčky nástroje $n$ [ot/min]:                                      | 6400                | 6400                                      |
| Posuv nástroje $f$ [mm/ot]:  | 0,02                | 0,02                                      |
| Posuvová rychlost $v_f$ [mm/min]:                                  | 128                 | 128                                       |
| Řezná rychlost nástroje $v_c$ [m/min]:                             | 60                  | 60  |
| Odvrtaná dráha, kdy dojde k proměření opotřebení [m]               | -                   | 2   |
| Poloha proměření opotřebení -> stanovení krit. hodnoty opotřebení: |                     | Tam, kde bude nejvyšší hodnota opotřebení |
| Vrtaná hloubka [mm]:   | 11                  | 90  |
| Tlak řezné emulze [bar]:   | 100                 | 100                                       |
| Koncentrace řezné emulze [%]                                       | 11                  | 11  |
| Systém upnutí nástroje:  | Hydro               | Hydro                                     |
| Přívod řezného média   | Vnitřní (2 kanálky) | Vnitřní (2 kanálky)                       |
| Obráběný materiál dle ČSN:   | 12050.3             | 12050.3                                   |
| Tvrdość obráběného materiálu [HBW]:                                | 185                 | 185                                       |
| Materiál nástroje (tenká vrstva):                                  | SK 15 (TiN)         | SK 15                                     |
| Počet břitů  | 2                   | 1   |

#### 3.4.1.1 Nástroj č. 7 – etalonový dělový vrták

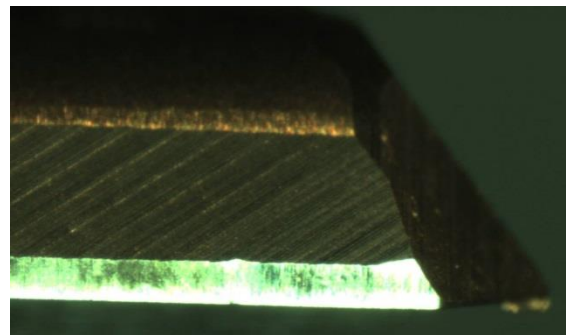
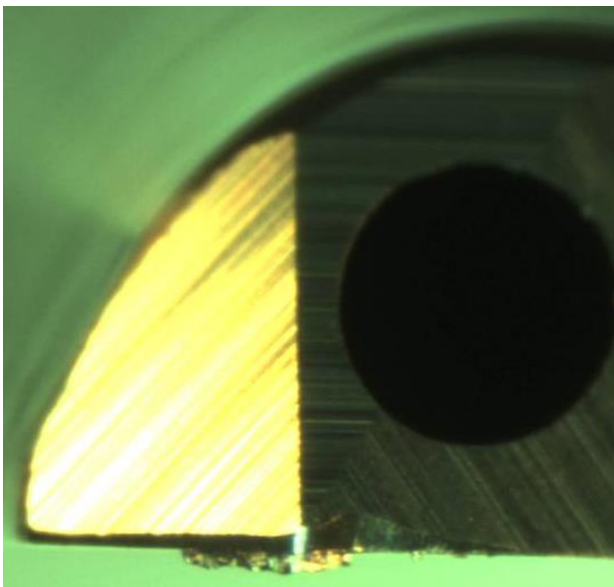
Vrtním do konstrukční ocele dle ČSN 12 050.3 při stanovených řezných podmínkách,  
nástroj nedegradoval a byly zaznamenány určité hodnoty opotřebení na hřbetu vnitřní řezné  
hrany a hřbetu špičky, po odvrtných dvou metrech. Na obrázku č. 41 je vidět minimální otu-  
pení stále funkční špičky dělového vrtáku. Na obrázku č. 42 je vidět, že se rozšíření válcové

fazetky projevilo minimálním způsobem, a že zde nevznikl vrub, jako ve všech předchozích případech. Projevila se však určitá hodnota nárůstku, který je typický při vrtání do tohoto druhu ocele. Materiál dělového vrtáku a konstrukční ocele vykazují určitý stupeň adheze, který je vyšší než při vrtání do nástrojové ocele, kde nárůstek takřka nevznikal. Tento nárůstek se buď samovolně uvolní při dalším obrábění nebo může být odbroušen.



**Obrázek 41: Nástroj č. 7;  $v_c=60$  m/min; 2 m; opotřebení špičky; bez úpravy**      **Obrázek 42: Nástroj č. 7;  $v_c=60$  m/min; 2 m; opotřebení vál. fazetky; bez úpravy**

Při minimálních hodnotách otupení se s tímto nástrojem odvrtaly další dva metry, při zvýšené řezné rychlosti na  $v_c=75$  m/min. Zbylé parametry zůstaly shodné, stejně jako v předchozím případě. Hřbet špičky nástroje se opět minimálně otupil, kdežto otupení na hřbetu vnitřní řezné hrany se zvýšilo, jak je vidět na obrázku č. 43. Rozšíření válcové fazetky je minimální a vrub se neprojevil, což dokazuje obrázek č. 44. I zde se vyskytuje nárůstek na čele nástroje.



**Obrázek 43: Nástroj č. 7;  $v_c=75$  m/min; 4 m; opotřebení špičky; bez úpravy**

**Obrázek 44: Nástroj č. 7;  $v_c=75$  m/min; 4 m; opotřebení vál. fazetky; bez úpravy**

Při vrtání hlubokých děr pomocí celokarbidového dělového vrtáku bez úpravy do konstrukční oceli dle ČSN 12 050.3 nástroj nedegradoval, jako při vrtání do nástrojové oceli. Proto vliv mikrogeometrie dělového vrtáku na jeho trvanlivost bude testován při vrtání do konstrukční oceli. Nástroj č. 7 byl zvolen jako etalonový dělový vrták, díky kterému se stanovily řezné podmínky pro nástroje s upravenou mikrogeometrie. Dále se stanovila kritériální hodnota opotřebení hřbetu vnitřní řezné hrany, jednotlivé poloměry zaoblení řezných hran a odvrtné metry, při kterých docházelo k proměření opotřebení. Co se týče kritériální hodnoty hřbetu vnitřní řezné hrany, toto opotřebení bylo nejprokazatelnější a hodnota tohoto opotřebení se navyšovala podstatně rychleji, než hodnota opotřebení hřbetu špičky. Proto byla zvolena jako kritériální hodnota opotřebení hřbet vnitřní řezné hrany.

### 3.4.2 Testování trvanlivosti dělových vrtáků

Stanovením etalonového dělového vrtáku bez úpravy mikrogeometrie došlo ke stanovení řezných podmínek i ostatních parametrů, které byly důležité pro samotný experiment. Hodnoty jednotlivých parametrů jsou popsány v tabulce č. 4. Řezné podmínky byly pro všechny dělové vrtáky stejné, aby měly výsledky vztažnou vypovídající hodnotu. Experiment byl tedy proveden tak, že jeden nástroj zůstal bez úpravy a na dalších třech došlo k zaoblení řezné hrany. Toto zaoblení bylo odstupňované po pěti mikronech a při shodných řezných podmínkách tyto nástroje odvrtny určitý počet metrů. Díky vzniklému opotřebení na hřbetu vnitřní řezné hrany se vyhodnocovala trvanlivost nástroje.

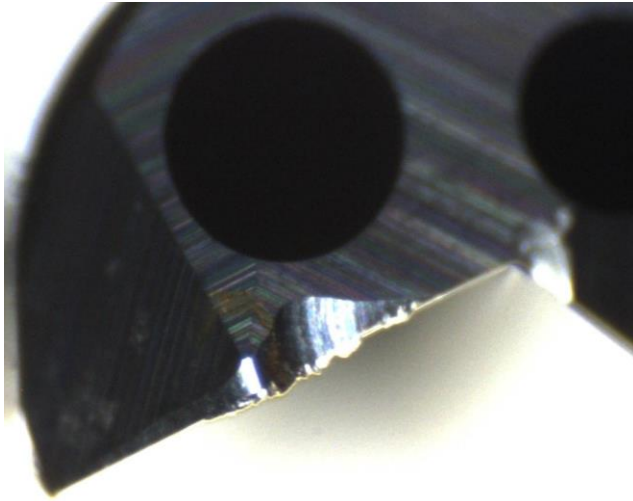
**Tabulka 5: Řez. podmínky pro nástroje s úpravou mikrogeometrie**

| Nástroj:  | Pilotní vrták       | Dělový vrták                    |
|---|---------------------|---------------------------------|
| Poloměr zaoblení ostří omíláním $r_N$ [mm]:                 | -                   | bez úpravy; 0,005; 0,010; 0,015 |
| Průměr nástroje $\varnothing$ [mm]:                         | 3                   | 3                               |
| Otáčky nástroje $n$ [ot/min]:                               | 6400                | 7960                            |
| Posuv nástroje $f$ [mm/ot]:                                 | 0,02                | 0,025                           |
| Posuvová rychlost $v_f$ [mm/min]:                           | 128                 | 200                             |
| Řezná rychlost nástroje $v_c$ [m/min]:                      | 60                  | 75                              |
| Vrtaná hloubka [mm]:  | 11                  | 90                              |
| Kritériální hodnota opotřebení na vnitřní řezné hraně [mm]: | -                   | 0,2                             |
| Odvrtaná vzdálenost, kdy dojde k proměření opotřebení [m]:  | -                   | 2, 4, 6, 8, 10                  |
| Tlak řezné emulze [bar]:                                    | 100                 | 100                             |
| Koncentrace řezné emulze [%]                                | 11                  | 11                              |
| Systém upnutí nástroje:                                     | Hydro               | Hydro                           |
| Přívod řezného média  | Vnitřní (2 kanálky) | Vnitřní (2 kanálky)             |
| Obráběný materiál dle ČSN:                                  | 12050.3             | 12050.3                         |
| Tvrdość obráběného materiálu [HBW]:                         | 185                 | 185                             |
| Materiál nástroje (tenká vrstva):                           | SK 15 (TiN)         | SK 15                           |
| Počet břitů   | 2                   | 1                               |

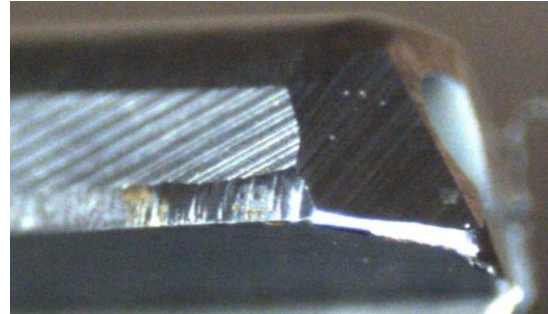
#### 3.4.2.1 Nástroj č. 11 bez úpravy mikrogeometrie

Podle předpokladu měl nástroj bez úpravy mikrogeometrie vykazovat nejmenší hodnoty trvanlivosti. Dělový vrták bez úpravy mikrogeometrie vrtal hluboké díry do konstrukční oceli dle ČSN 12 050.3, tak dlouho, dokud nebylo dosaženo kritériální hodnoty opotřebení na vnitřní řezné hraně 0,2 mm. K proměřování opotřebení hřbetu docházelo na světelném mikroskopu, kdy k proměřování docházelo po každých odvrtných dvou metrech. Dosažení hodnoty kritériálního opotřebení hřbetu pro nástroj bez úpravy došlo při odvrtní osmi metrů. Na obrázku č. 45 je vidět opotřebení hřbetu vnitřní řezné hrany i hřbetu špičky dělového vrtáku. Dále je zde patrný nárůstek. Na obrázku č. 46 je patrné minimální rozšíření válcové fazetky. Také je zde prokazatelně vidět, že se nevyskytl vrub na vnější řezné hraně. Další pořízené

obrázky opotřebení jednotlivých částí dělového vrtáku bez úpravy mikrogeometrie jsou k nalezení v příloze.



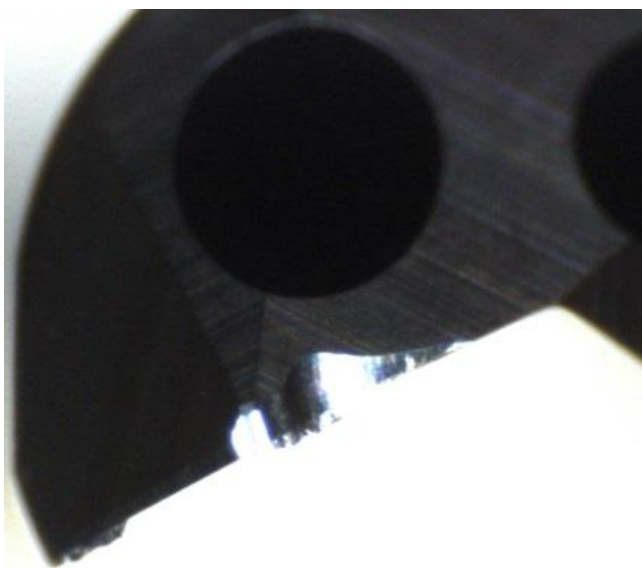
**Obrázek 45: Nástroj č. 11;  $v_c=75$  m/min; 8 m; opotřebení hřbetu vn. řez. hrany a hřbetu špičky; bez úpravy**



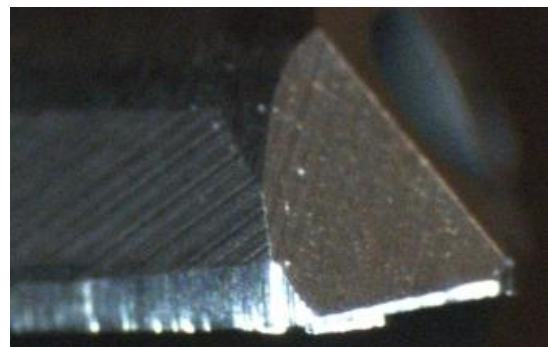
**Obrázek 46: Nástroj č. 11;  $v_c=75$  m/min; 8 m; opotřebení vál. fazetky; bez úpravy**

#### 3.4.2.2 Nástroj č. 9 s poloměrem zaoblčení ostří $r_N=0,005$ mm

U nástroje s upravenou mikrogeometrií se předpokládal mírný nárůst trvanlivosti. Opět nástroj vrtal tak dlouho, dokud nebylo dosaženo kritériálního opotřebení hřbetu na vnitřní řezné hraně 0,2 mm, a k proměřování docházelo po každých odvrтанých dvou metrech. I v tomto případě bylo této kritériální hodnoty dosaženo po odvrтанých osmi metrech. Na následujících obrázcích jsou opět viděny jednotlivé opotřebení hřbetu špičky, hřbetu vnitřní řezné hrany a válcové fazetky. U dělových vrtáků s určitou hodnotou poloměru zaoblčení ostří je cílem nalézt optimální hodnotu tohoto poloměru, který nejvíce přispívá k nárůstu trvanlivosti.



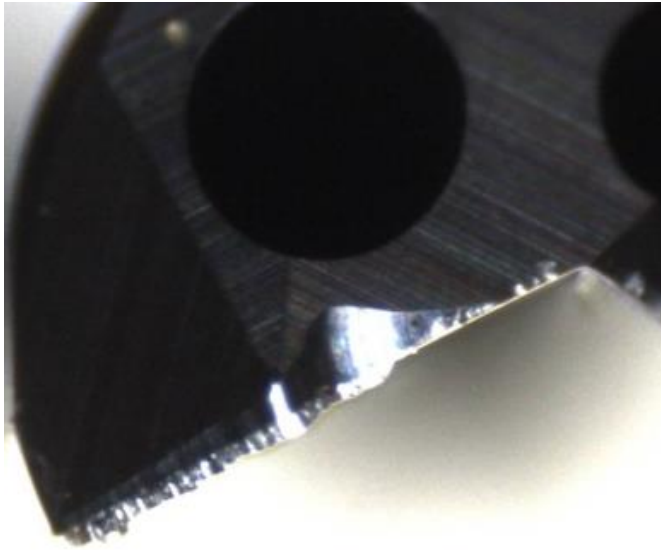
**Obrázek 47: Nástroj č. 9;  $v_c=75$  m/min; 8 m; opotřebení hřbetu vn. řez. hrany a hřbetu špičky;  $r_N=0,005$  mm**



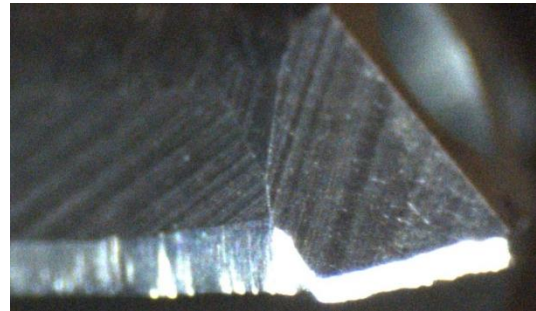
**Obrázek 48: Nástroj č. 9;  $v_c=75$  m/min; 8 m; opotřebení vál. fazetky;  $r_N=0,005$  mm**

### 3.4.2.3 Nástroj č. 8 s poloměrem zaoblení ostří $r_N = 0,010$ mm

U dělového vrtáku s poloměrem zaoblení ostří s  $r_N = 0,010$  mm, se předpokládala nejvyšší trvanlivost, čili hodnota optimálního rádiusu byla stanovena kolem hodnot  $r_N = 0,010 \div 0,012$  mm. Vrtání probíhalo opět za shodných řezných podmínek, kdy k překročení kritériální hodnoty opotřebení hřbetu vnitřní řezné hrany bylo dosaženo při odvrtaých deseti metrech. Je zde patrný nárůst trvanlivosti nástroje. Na následujících obrázcích jsou vidět jednotlivá opotřebení použitého dělového vrtáku.



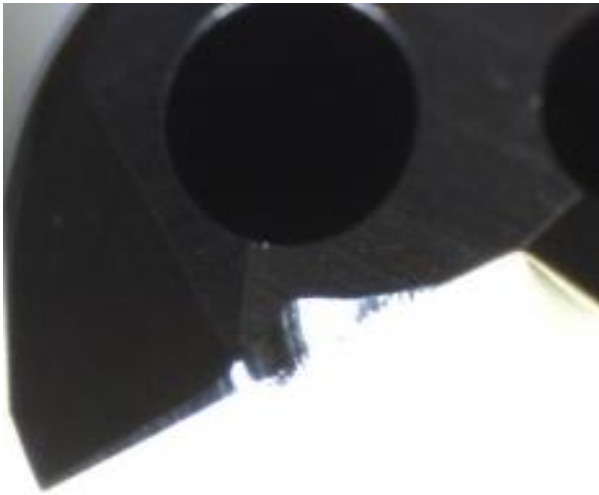
Obrázek 49: Nástroj č. 8;  $v_c = 75$  m/min; 10 m; opotřebení hřbetu vn. řez. hrany a hřbetu špičky;  $r_N = 0,010$  mm



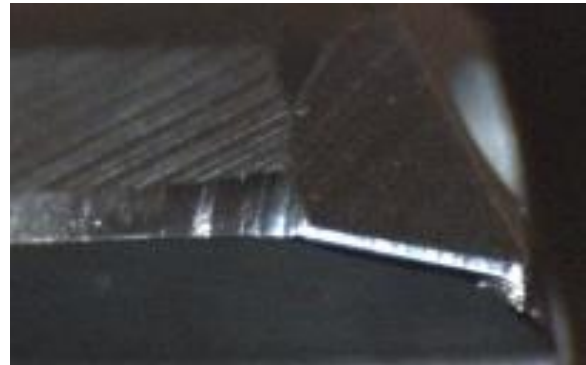
Obrázek 50: Nástroj č. 8;  $v_c = 75$  m/min; 10 m; opotřebení vál. fazetky;  $r_N = 0,005$  mm

### 3.4.2.4 Nástroj č. 10 s poloměrem zaoblení ostří $r_N = 0,015$ mm

Při úpravě mikrogeometrie se vždy hledá optimální poloměr zaoblení řezné hrany. Proto i v tomto experimentu se hledala hodnota, kdy už trvanlivost nebude růst se zvyšujícím se poloměrem zaoblení řezné hrany. Předpoklad byl takový, že při optimálním zaoblení řezné hrany ( $r_N = 0,010$  mm) bude dosaženo nejdelší trvanlivosti nástroje, oproti ostatním hodnotám poloměru zaoblení ostří ( $r_N = 0,005$  mm a  $r_N = 0,015$  mm), kde bude tato trvanlivost nižší. Kritériální hodnoty opotřebení hřbetu vnitřní řezné hrany došlo při odvrtaých osmi metrech, čímž je patrný určitý pokles trvanlivosti dělového vrtáku, oproti nástroji č. 8 s poloměrem zaoblení řezné hrany  $r_N = 0,010$ , kde k dosažení hodnoty kritériálního opotřebení bylo zapotřebí celkem deset odvrtaých metrů. Vnik jednotlivých opotřebení je vidět na následujících obrázcích.



**Obrázek 51: Nástroj č. 10;  $v_c=75$  m/min; 8 m; opotřebení hřbetu vn. řez. hrany a hřbetu špičky;  $r_N= 0,015$  mm**



**Obrázek 52: Nástroj č. 10;  $v_c=75$  m/min; 8 m; opotřebení vál. fazetky;  $r_N= 0,015$  mm**

### 3.4.3 Vznik třísky

Při vrtání do konstrukční ocele už nevznikala obloučkovitá dělená tříška, ale tříška kuželovitá, která je také při obrábění žádoucí, protože působí stejně pozitivně jako tříška obloučkovitá dělená. Vznik této třísky je zapříčiněn vyšší houževnatostí konstrukční ocele oproti oceli nástrojové. Co se může zdát paradoxní, je to, že při nižší řezné rychlosti vznikala kratší kuželovitá tříška, než při vyšší řezné rychlosti. Při řezné rychlosti  $v_c=60$  m/min vznikala krátká kuželovitá tříška podle normy ISO 5.2, kdežto navýšením řezné rychlosti na  $v_c=75$  m/min, vznikala tříška kuželovitá dlouhá podle normy ISO 5.1. Tento jev může být vysvětlen tím, že při nižší řezné rychlosti byl nástroj zcela nový, tedy bez počátečního otupení. Při dalším vrtání s navýšenou řeznou rychlostí byl použit ten samý nástroj, který si sebou nesl určitou relativní hodnotu otupení, která nepřispívala tak k častému lámání třísky. Délka vzniklé třísky nemusí vždy souviset s řeznou rychlostí, ale také s opotřebením řezných hran. Čím delší vzniklá tříška, tím hrozí destrukce nástroje. Proto, když při vrtání dochází k otupení řezných hran a tříška se začne prodlužovat, navýší se posuv, čímž se prodlužování kompenzuje. Se vzrůstajícím otupením řezných hran se nezhoršuje tolik drsnost obrobeneho povrchu, jako přímot, protože se vzrůstajícím otupením je nástroj více namáhán na vzpěr.



**Obrázek 53: ISO 5.2- kuželovitá krátká;  $v_c=60$  m/min; 2 m;  $n=6400$  ot/min;  $f=0,02$  mm/ot; bez úpravy**



**Obrázek 54: ISO 5.1- kuželovitá dlouhá;  $v_c=75$  m/min; 2 m;  $n=7960$  ot/min;  $f=0,02$  mm/ot; bez úpravy**

### 3.4.4 Vyhodnocení geometrických a rozměrových tolerancí

Pro měření jednotlivých geometrických a rozměrových tolerancí otvorů, vrtaných do konstrukční ocele dle ČSN 12 050.3, platí shodná problematika jako v kapitole 3.3.4.

**Tabulka 6: Skutečné hodnoty průměru, kruhovitosti a přímosti**

| (mm)                                 | ACTUAL | NOMINAL | LO-TOL | HI-TOL | DEVIATION | GRAPHIC  | ERROR  |
|--------------------------------------|--------|---------|--------|--------|-----------|----------|--------|
| 19-4-2016 16:16 Gartner 12050 Page 1 |        |         |        |        |           |          |        |
| Temperature Compensation: OFF        |        |         |        |        |           |          |        |
| Circle:CIR_1_-3                      |        |         |        |        |           |          |        |
| Diameter                             | 3.011  | 3.000   | +0.000 | +0.020 | 0.011     | ---*---  |        |
| Circularity                          | 0.003  |         |        | 0.020  |           | *---     |        |
| Circle:CIR_1_-6                      |        |         |        |        |           |          |        |
| Diameter                             | 2.993  | 3.000   | +0.000 | +0.020 | -0.007    | <---+--- | -0.007 |
| Circularity                          | 0.018  |         |        | 0.020  |           | +*---    |        |
| Circle:CIR_1_-9                      |        |         |        |        |           |          |        |
| Diameter                             | 2.996  | 3.000   | +0.000 | +0.020 | -0.004    | <---+--- | -0.004 |
| Circularity                          | 0.005  |         |        | 0.020  |           | +*---    |        |
| Circle:CIR_1_-12                     |        |         |        |        |           |          |        |
| Diameter                             | 2.998  | 3.000   | +0.000 | +0.020 | -0.002    | <---+--- | -0.002 |
| Circularity                          | 0.004  |         |        | 0.020  |           | +*---    |        |
| Line:LINE_CIR_1                      |        |         |        |        |           |          |        |
| Straightness                         | 0.003  | 0.020   |        |        |           | *---     |        |
| Circle:CIR_2_-3                      |        |         |        |        |           |          |        |
| Diameter                             | 2.988  | 3.000   | +0.000 | +0.020 | -0.012    | <---+--- | -0.012 |
| Circularity                          | 0.008  |         |        | 0.020  |           | +*---    |        |
| Circle:CIR_2_-6                      |        |         |        |        |           |          |        |
| Diameter                             | 2.981  | 3.000   | +0.000 | +0.020 | -0.019    | <---+--- | -0.019 |
| Circularity                          | 0.034  |         |        | 0.020  |           | +-->     | 0.014  |
| Circle:CIR_2_-9                      |        |         |        |        |           |          |        |
| Diameter                             | 2.977  | 3.000   | +0.000 | +0.020 | -0.023    | <---+--- | -0.023 |
| Circularity                          | 0.044  |         |        | 0.020  |           | +-->     | 0.024  |
| Circle:CIR_2_-12                     |        |         |        |        |           |          |        |
| Diameter                             | 2.982  | 3.000   | +0.000 | +0.020 | -0.018    | <---+--- | -0.018 |
| Circularity                          | 0.037  |         |        | 0.020  |           | +-->     | 0.017  |
| Line:LINE_CIR_2                      |        |         |        |        |           |          |        |
| Straightness                         | 0.010  | 0.020   |        |        |           | +*---    |        |

|  |       |       |        |        |        |          |        |
|--|-------|-------|--------|--------|--------|----------|--------|
| Circle:CIR_3_-3  |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter   | 2.989 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | -0.011 | <---+--- | -0.011 |
| Circularity  | 0.024 |       |        | 0.020  |        | +-->     | 0.004  |
| -----  |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_3_-6  |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter   | 2.970 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | -0.030 | <---+--- | -0.030 |
| Circularity  | 0.041 |       |        | 0.020  |        | +-->     | 0.021  |
| -----  |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_3_-9  |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter   | 2.960 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | -0.040 | <---+--- | -0.040 |
| Circularity  | 0.052 |       |        | 0.020  |        | +-->     | 0.032  |
| -----  |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_3_-12   |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter   | 2.995 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | -0.005 | <---+--- | -0.005 |
| Circularity  | 0.007 |       |        | 0.020  |        | +*--     |        |
| -----  |       |       |        |        |        |          |        |
| Line:LINE_CIR_3  |       |       |        |        |        |          |        |
| Straightness   | 0.025 | 0.020 |        |        |        | +-->     | 0.005  |
| -----  |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_4_-3  |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter   | 3.014 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | 0.014  | ---+*--  |        |
| Circularity  | 0.017 |       |        | 0.020  |        | +*--     |        |
| -----  |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_4_-6  |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter   | 3.003 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | 0.003  | -*+----  |        |
| Circularity  | 0.025 |       |        | 0.020  |        | +-->     | 0.005  |
| -----  |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_4_-9  |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter   | 2.995 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | -0.005 | <---+--- | -0.005 |
| Circularity  | 0.004 |       |        | 0.020  |        | +*--     |        |
| -----  |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_4_-12   |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter   | 2.998 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | -0.002 | <---+--- | -0.002 |
| Circularity  | 0.005 |       |        | 0.020  |        | +*--     |        |
| -----  |       |       |        |        |        |          |        |
| Line:LINE_CIR_4  |       |       |        |        |        |          |        |
| Straightness   | 0.001 | 0.020 |        |        |        | *---     |        |
| -----  |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_5_-3  |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter   | 3.008 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | 0.008  | --+*---  |        |
| Circularity  | 0.007 |       |        | 0.020  |        | +*--     |        |
| -----  |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_5_-6  |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter   | 2.996 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | -0.004 | <---+--- | -0.004 |
| Circularity  | 0.011 |       |        | 0.020  |        | +*--     |        |
| -----  |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_5_-9  |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter   | 3.006 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | 0.006  | --+*---  |        |
| Circularity  | 0.002 |       |        | 0.020  |        | *---     |        |
| -----  |       |       |        |        |        |          |        |
| Circle:CIR_5_-12   |       |       |        |        |        |          |        |
| Diameter   | 2.993 | 3.000 | +0.000 | +0.020 | -0.007 | <---+--- | -0.007 |
| Circularity  | 0.004 |       |        | 0.020  |        | +*--     |        |
| -----  |       |       |        |        |        |          |        |
| Line:LINE_CIR_5  |       |       |        |        |        |          |        |
| Straightness   | 0.004 | 0.020 |        |        |        | +*--     |        |
| -----  |       |       |        |        |        |          |        |
| Duration 12 mins 12 secs      FAIL in:22 out:23      End of Report |       |       |        |        |        |          |        |
| =====  |       |       |        |        |        |          |        |



## 4 Shrnutí a vyhodnocení výsledků

Otupení dělových vrtáků je při vrtání hlubokých děr závislé na mnoha faktorech, jako jsou: vrtaný materiál, materiál nástroje, makrogeometrie nástroje, řezné podmínky, systém upnutí nástroje, systém chlazení a jiné. Důkazem tomu může být právě tento experiment, kdy při vrtání za shodných řezných podmínek, systému upnutí, systému chlazení, makrogeometrie, shodných nástrojů, vzniku procesu pilotního otvoru, vznikaly rozdílné průběhy opotřebení. Při vrtání do nástrojové oceli dle ČSN 19 552.3 nejvýrazněji degradovala válcová fazetka (s rozsáhlým vrubem na vnější řezné hraně) a hřbet špičky nástroje. Degradace dělových vrtáků byla natolik výrazná, že nedošlo ani ke stanovení etalonu, který sloužil pro stanovení jednotlivých parametrů a řezných podmínek pro nástroje s úpravou. Při vrtání do konstrukční ocele dle ČSN 12 050.3 se nejvýrazněji otupoval hřbet vnitřní řezné hrany a hřbet špičky nástroje, ale nedošlo k výraznému rozšíření válcové fazetky ani ke vzniku vrubu na vnější řezné hraně. Proto byla proměřována kritériální hodnota opotřebení na hřbetu vnitřní řezné hrany, která se navíc otupovala podstatně rychleji než hřbet špičky, a proto se také k této hodnotě opotřebení stanovila celková trvanlivost nástroje. Tedy pouhou změnou vrtaných materiálů vznikaly rozdílné druhy opotřebení. Kdyby došlo k úpravě makrogeometrie nebo ke změně systému chlazení (olej namísto emulze), opět by došlo k naměření odlišných druhů opotřebení nástroje.

### 4.1 Trvanlivost vztahovaná k hodnotě opotřebení hřbetu vnitřní řez. hrany

Testováním etalonového dělového vrtáku bez úpravy mikrogeometrie, při vrtání do konstrukční ocele dle ČSN 12 050.3, byl zvolen sledovaný parametr, ke kterému se stanovovala trvanlivost. Kritériální hodnota opotřebení byla proměřována na hřbetu vnitřní řezné hrany, čili hodnota opotřebení na tomto hřbetu nesměla překročit hodnotu 0,2 mm. Jakmile bylo tohoto opotřebení na hřbetu vnitřní řezné hrany dosaženo, nástroj se považoval za otupený. Velikost hodnoty kritériálního otupení byla zvolena do určité míry nahodile. Samozřejmě v praxi to funguje tak, že s dělovým vrtákem se vrtá tak dlouho, dokud je zajištěna určitá geometrická a rozměrová přesnost vrtaných děr. Zde byla tato hodnota stanovena, tak aby nemuselo být odvrtáno velké množství metrů, ale zároveň, aby vzniklé opotřebení mělo vypovídající hodnotu.

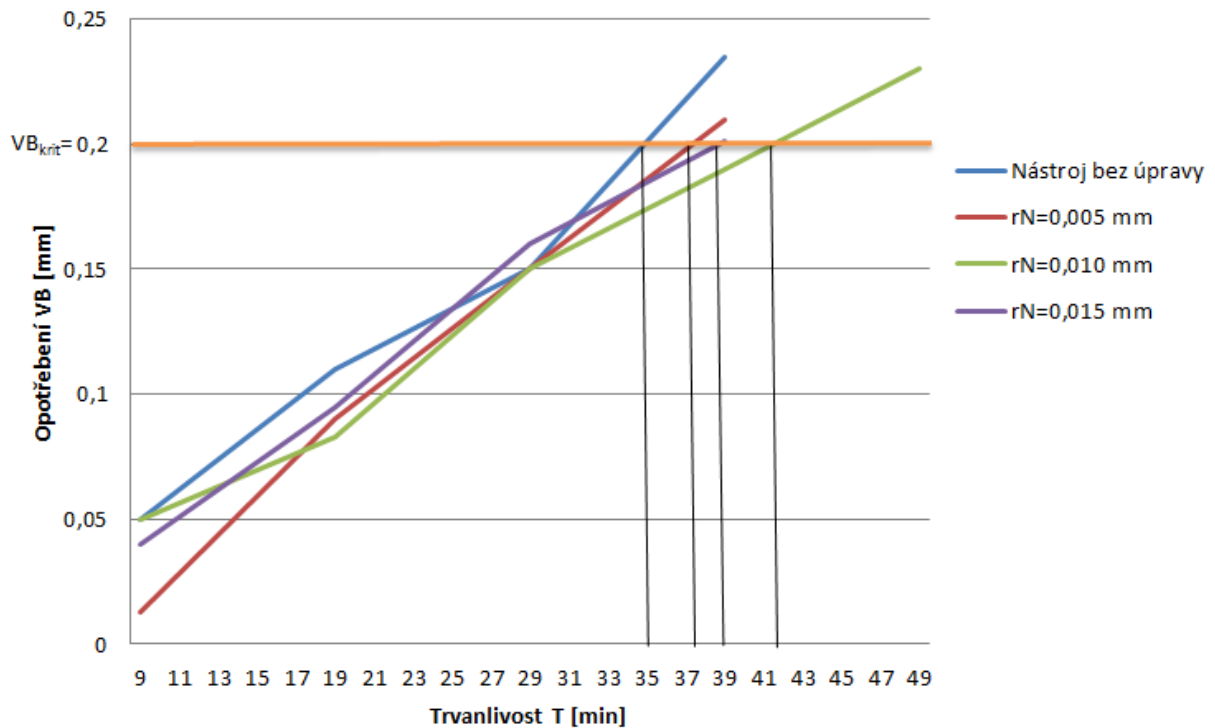
V následující tabulce č. 7 jsou znázorněny jednotlivé hodnoty opotřebení hřbetu vnitřní řezné hrany, odpovídající odvrtaným metrům. Proměřování jednotlivých opotřebení probíhalo po odvrtání každých dvou metrů. Tato dráha byla přepočtena na čas, čili vrtání dvou metrů trvalo celkem 9,9 minut atd.

Trvanlivost jednotlivých nástrojů je vyhodnocena na grafu č. 2. Předpoklad byl takový, že nástroj bez úpravy bude vykazovat nejnižší hodnoty trvanlivosti, oproti nástrojům s určitou hodnotou poloměru zaoblení ostří. Tento předpoklad se také potvrdil. Nástroj, který nepodlehł žádné úpravě mikrogeometrie, dosáhl nejnižších hodnot trvanlivosti ( $T = 34,9$  min). Zatímco nástroj s poloměrem zaoblení ostří  $r_N = 0,010$  mm, dosáhl nejvyšších hodnot trvanlivosti ( $T = 41,2$  min). U nástroje s poloměrem zaoblení ostří  $r_N = 0,005$  mm, se projevil patrný nárůst trvanlivosti ( $T = 37,1$  min), oproti nástroji bez úpravy. Ta samá situace nastala u nástroje s poloměrem zaoblení ostří  $r_N = 0,015$  mm ( $T = 38,9$  min).

**Tabulka 7: Hodnoty opotřebení hřbetu vnitřní řezné hrany**

|                    | T [min] | VB [mm] |
|--------------------|---------|---------|
| Nástroj bez úpravy | 9,9     | 0,05    |
|                    | 19,8    | 0,11    |
|                    | 29,7    | 0,15    |
|                    | 39,6    | 0,235   |
| $r_N=0,005$        | 9,9     | 0,013   |
|                    | 19,8    | 0,09    |
|                    | 29,7    | 0,15    |
|                    | 39,6    | 0,21    |
| $r_N=0,010$        | 9,9     | 0,05    |
|                    | 19,8    | 0,083   |
|                    | 29,7    | 0,15    |
|                    | 39,6    | 0,19    |
|                    | 49,5    | 0,23    |
| $r_N=0,015$        | 9,9     | 0,04    |
|                    | 19,8    | 0,095   |
|                    | 29,7    | 0,16    |
|                    | 39,6    | 0,201   |

**Graf 2: Závislost opotřebení hřbetu vnitřní řezné hrany na trvanlivosti**

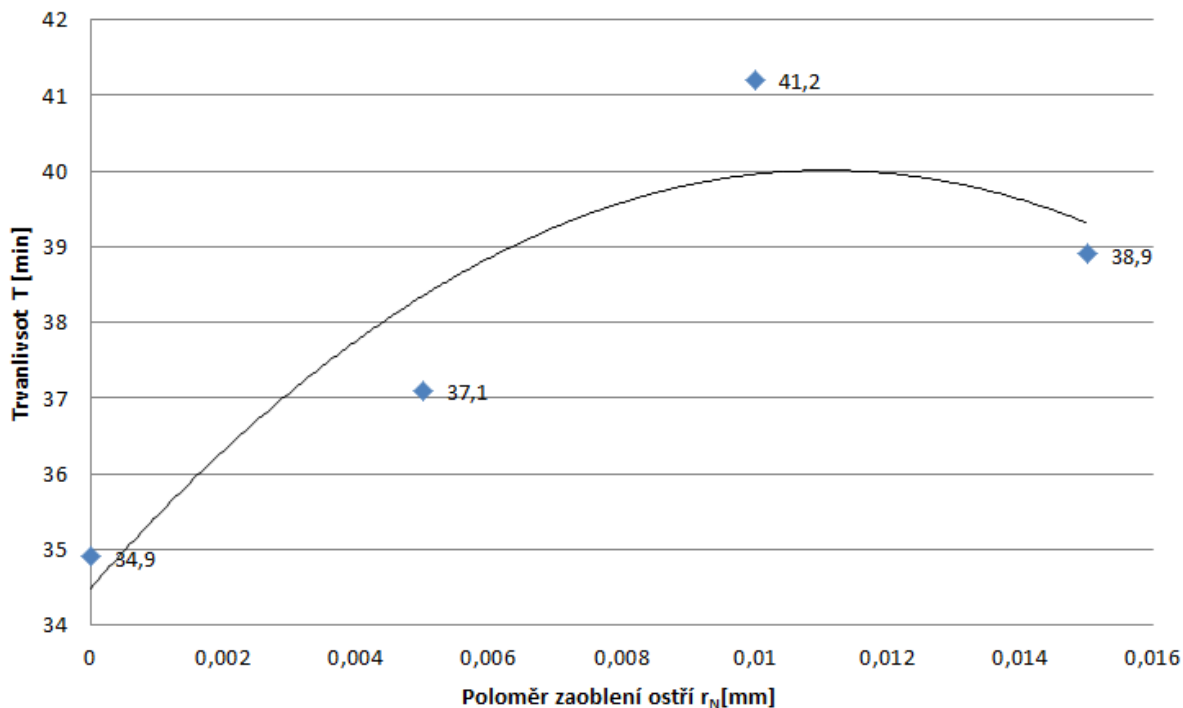


V tabulce č. 8 jsou znázorněny výsledné hodnoty trvanlivostí  $T$  [min] na jednotlivých poloměrech zaoblení ostří. Cílem bylo také určit optimální hodnotu poloměru zaoblení ostří, díky čemuž nástroj vykazoval nejvyšší hodnoty trvanlivosti. Se zvyšující se hodnotou poloměru zaoblení ostří, se zvyšuje trvanlivost, ale do určité hodnoty poloměru zaoblení. Při poloměru zaoblení ostří  $r_N = 0,015$  mm, se hodnota trvanlivosti nezvyšuje, naopak snižuje, ale trvanlivost je stále vyšší než trvanlivost nástroje s poloměrem zaoblení ostří  $r_N = 0,005$  mm. Proto optimální hodnota zaoblení řezné hrany se pohybuje kolem hodnot  $r_N = 0,010 \div 0,012$  mm, kde bylo dosaženo nejvyšších hodnot trvanlivostí.

**Tabulka 8: Výsledné hodnoty trvanlivostí**

| Poloměr zaoblení ostří $r_N$ | Trvanlivost $T$ [min] (s [m]) |
|------------------------------|-------------------------------|
| 0                            | 34,9 (7,05)                   |
| 0,005                        | 37,1 (7,49)                   |
| 0,01                         | 41,2 (8,32)                   |
| 0,015                        | 38,9 (7,85)                   |

**Graf 3: Výsledné hodnoty trvanlivostí vztahované k poloměru zaoblení ostří**



## 4.2 Vyhodnocení opotřebení hřbetu špičky dělových vrtáků

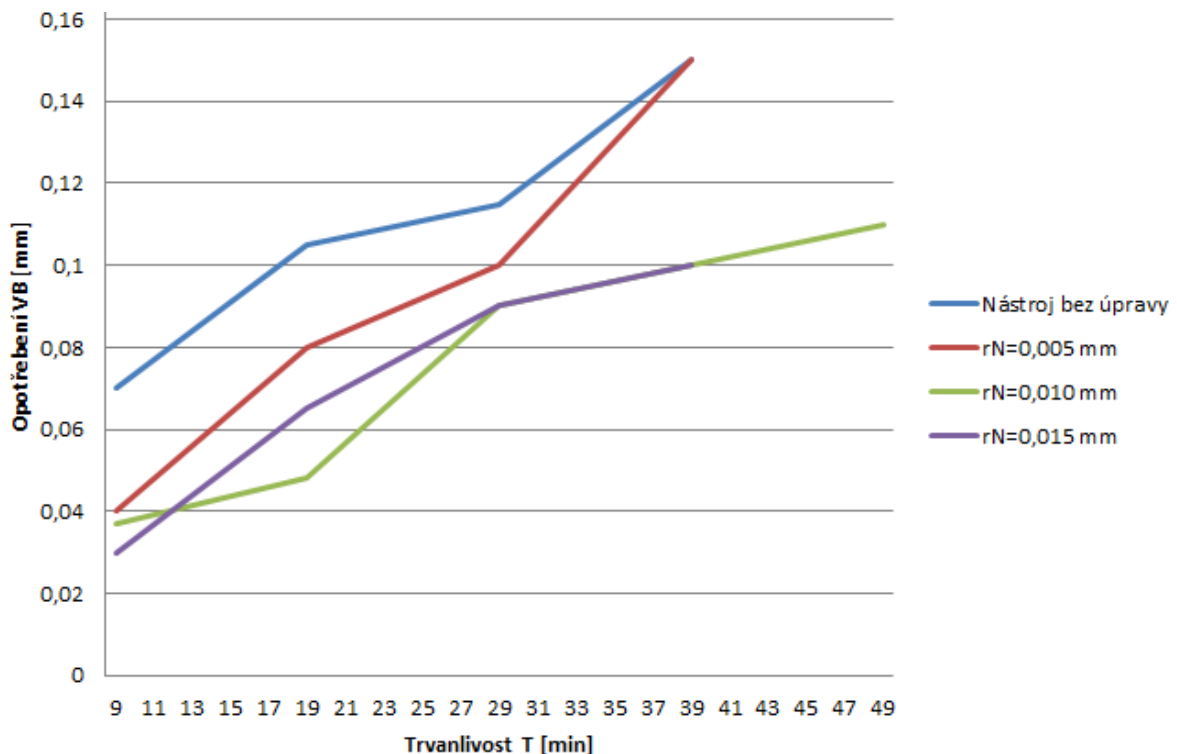
Současně s opotřebením hřbetu vnitřní řezné hrany docházelo při vrtání hlubokých děr k opotřebením hřbetu špičky dělových vrtáků. Toto opotřebením však narůstalo mnohem pomaleji, než opotřebením hřbetu vnitřní řezné hrany. Opotřebením hřbetu špičky je prokazatelné při jakýchkoli zvolených řezných podmínkách a parametrech, a i z toho důvodu nebyla k této hodnotě opotřebením stahována trvanlivost, protože nebyla zvolena kritériální hodnota opotřebením. Větší vypovídající hodnotu nese opotřebením hřbetu vnitřní řezné hrany převážně proto,

že se jedná o hranu řeznou a otupení rostlo mnohem rychleji. V následující tabulce jsou uvedeny jednotlivé hodnoty opotřebení hřbetu špičky dělových vrtáků s upravenou mikrogeometrií. V grafu č. 4 je znázorněna závislost opotřebení hřbetu špičky na odvrтанých metrech, tedy čase. I zde se potvrdil předpoklad, že nástroj s neupravenou mikrogeometrií se otupuje rychleji, než nástroje s upravenou mikrogeometrií.

**Tabulka 9: Hodnoty opotřebení hřbetu špičky**

|                    | T [min] | VB [mm] |
|--------------------|---------|---------|
| Nástroj bez úpravy | 9,9     | 0,07    |
|                    | 19,8    | 0,105   |
|                    | 29,7    | 0,115   |
|                    | 39,6    | 0,15    |
| $r_N=0,005$        | 9,9     | 0,04    |
|                    | 19,8    | 0,08    |
|                    | 29,7    | 0,1     |
|                    | 39,6    | 0,15    |
| $r_N=0,010$        | 9,9     | 0,037   |
|                    | 19,8    | 0,048   |
|                    | 29,7    | 0,09    |
|                    | 39,6    | 0,1     |
|                    | 49,5    | 0,11    |
| $r_N=0,015$        | 9,9     | 0,03    |
|                    | 19,8    | 0,065   |
|                    | 29,7    | 0,09    |
|                    | 39,6    | 0,1     |

**Graf 4: Závislost opotřebení hřbetu špičky na trvanlivosti**



## 5 Závěr

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku úpravy mikrogeometrie, aplikovaná na celokarbidové dělové vrtáky. Práce podává přehled dostupných informací o této problematice, a to i z hlediska jednotlivých faktorů ovlivňující trvanlivost dělových vrtáků.

První část této práce je zaměřena na shrnutí dostupných informací ohledně zmiňovaných jednotlivých faktorů, ovlivňující trvanlivost dělových vrtáků. Dále je zde zmínka o rozložení řezných sil na vnější řezné hraně, působící na dělový vrták při vrtání hlubokých děr. Obecné podklady pro samotné hluboké vrtání nebo konstrukce dělových vrtáků jsou mizivé, proto souhrn jednotlivých faktorů a informací došlo díky čerpání letitých zkušeností od odborníka z praxe.

Další část práce je věnována samotnému návrhu vlastního experimentu a jeho realizace v regionálním technologickém institutu na Západočeské univerzitě v Plzni. Jako vrtaný materiál byla zpočátku zvolena nástrojová ocel dle ČSN 19 552.3. Vzhledem k tomu, že hluboké vrtání probíhalo pod řeznou emulzí a ocel se vyznačuje silným abrazivním účinkem, docházelo k přílišné degradaci dělových vrtáků už po odvrtných dvou metrech. Nebylo tedy možné stanovit tzv. etalonový dělový vrták, s neupravenou mikrogeometrií. Díky vzniklému opotřebení na určitých místech etalonu by se tak stanovily řezné podmínky pro nástroje s upravenou mikrogeometrií, kritériální hodnota a místo opotřebení, jednotlivé poloměry zaoblení řezných hran a odvrtné metry, při kterých by docházelo k proměření opotřebení. Při nestanovení etalonu se v experimentu postupovalo tak, že nástrojová ocel dle ČSN 19 552.3 byla nahrazena konstrukční ocelí dle ČSN 12 050.3. U této konstrukční ocele se předpokládal nižší abrazivní účinek, čímž by nemuselo docházet k degradaci nástrojů. Tento předpoklad se potvrdil, a mohl se tak stanovit etalon, díky kterému se stanovily zmíněné parametry. Místo kritériálního opotřebení, ke kterému byla vztahována trvanlivost, byl hřbet vnitřní řezné hrany. Hodnota v místě kritériálního opotřebení byla stanovena na 0,2 mm. Poloměry zaoblení řezných hran jednotlivých nástrojů byly odstupňované po 5  $\mu\text{m}$ , respektive  $r_N=0,005$  mm,  $r_N=0,010$  mm a  $r_N=0,015$  mm. Optimální hodnota byla očekávána u nástroje s poloměrem zaoblení řezné hrany  $r_N=0,010$  mm. K proměřování hodnot opotřebení docházelo při každých odvrtných dvou metrech.

Posledním bodem diplomové práce je samotné shrnutí a vyhodnocení experimentu. Hlavní předpoklad práce se naplnil, čili úpravou mikrogeometrie se dosáhlo zvýšení trvanlivosti dělového vrtáku. Navíc došlo ke stanovení optimální hodnoty poloměru zaoblení ostří, kde tato trvanlivost nabývala nejvyšších hodnot. Jedná se o dělový vrták s poloměrem zaoblení  $r_N=0,010$  mm, který vykazuje trvanlivost přibližně 41,2 minut, respektive 8,32 odvrtných metrů. Nástroje s menší i větší hodnotou poloměru zaoblení ostří vykazují nižší hodnoty trvanlivostí. Je tedy prokazatelný nárůst trvanlivosti dělového vrtáku pomocí úpravy mikrogeometrie vlečným omíláním, stejně tak jako kartáčováním. Nutno ale zmínit, že nedošlo k zaoblení přechodové hrany mezi čelem a válcovou fazetkou, díky přípravku.

Vytváření diplomové práce probíhalo bez větších problémů, a to hlavně díky ochotě vedoucího práce, obsluze stroje a především konzultanta, který se zájmem zodpovídal všechny mé dotazy, které dopomohly k vytvoření této práce. Cíl kladený v úvodu byl splněn. Úpravou mikrogeometrie, pomocí vlečného omílání, bylo docíleno nárůstu trvanlivosti dělového vrtáku.

## 6 Zdroje

- [1] GÄRTNER, Jakub. *Hluboké vrtání na stroji Multicut 630* [online]. Plzeň, 2014 [cit. 2015-10-22]. Dostupné z: [https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/14113/Jakub\\_Gartner\\_-\\_bakalarska\\_prace.pdf?sequence=1](https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/14113/Jakub_Gartner_-_bakalarska_prace.pdf?sequence=1). Diplomová práce. ZČU. Vedoucí práce Ing. Jan Matějka.
- [2] ZETEK, Miroslav. *Rektifikace břitu*. [přednáška]. Plzeň: ZČU, 2014.
- [3] ZETEK, Miroslav. *Základní terminologie z oblasti náradí - Řezné materiály*. [přednáška]. Plzeň: ZČU, 2012.
- [4] *Sandvik Coromant* [online]. Česká republika [cit. 2016-01-26]. Dostupné z: [http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/grade\\_information/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/grade_information/pages/default.aspx)
- [5] PETELE, Jan. *Efektivní frézování feriticko-martenzitických ocelí: vliv mikrogeometrie nástroje na řezný proces* [online]. Plzeň, 2013 [cit. 2015-11-10]. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/10258/DP%20-%20Petele%20Jan.pdf?sequence=1>. Diplomová práce. ZČU. Vedoucí práce Ing. Zdeněk Janda, Ph.D.
- [6] ŠRACHTA, Petr. *Vliv parametrů vlečného omílání na kvalitu břitu rotačního nástroje*. Plzeň, 2011. Diplomová práce. ZČU. Vedoucí práce Ing. Pavel Kožmín, Ph.D.
- [7] PILEČKOVÁ, Zuzana. *Vliv kvality břitu čelní válcové frézy na trvanlivost při obrábění nástrojové oceli*. Plzeň, 2009. Diplomová práce. ZČU. Vedoucí práce Doc. Ing. Josef Škarda, CSc.
- [8] ŠVARC, Vojtěch. *Preparace břitu monolitních fréz pomocí vlečného omílání* [online]. Plzeň, 2013 [cit. 2016-01-14]. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/10261/DP-Vojtech%20Svarc-2013.pdf?sequence=1>. Diplomová práce. ZČU. Vedoucí práce Ing. Miroslav Zetek, Ph.D.
- [9] ŘEHOŘ, Jan. *Trvanlivost a životnost břitu*. [přednáška]. Plzeň: ZČU, 2014.
- [10] WINTER, Petr. *Technologie hluboké vrtání*. [přednáška]. Plzeň: Winter-servis s.r.o., 2016.
- [11] WINTER, Petr. *Problematika dělových vrtáků*. [přednáška]. Plzeň: Winter-servis s.r.o., 2016.
- [12] Astakhof, Viktor P., Tribology and interface engineering series, Elsevier, 2006, ISBN 0-444-52881-4
- [13] Shaw, Milton Clayton, Metal cutting principles, Oxford University Press, 2005, ISBN 0-19-514206-3
- [14] Juneja, B.L., Fundamentals of Metal Cutting and Machine Tools, New Age International, ISBN 978-81-224-1467-7
- [15] Staněk, Jiří, Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací, Západočeská univerzita, 2005, ISBN 80-7043-363-9

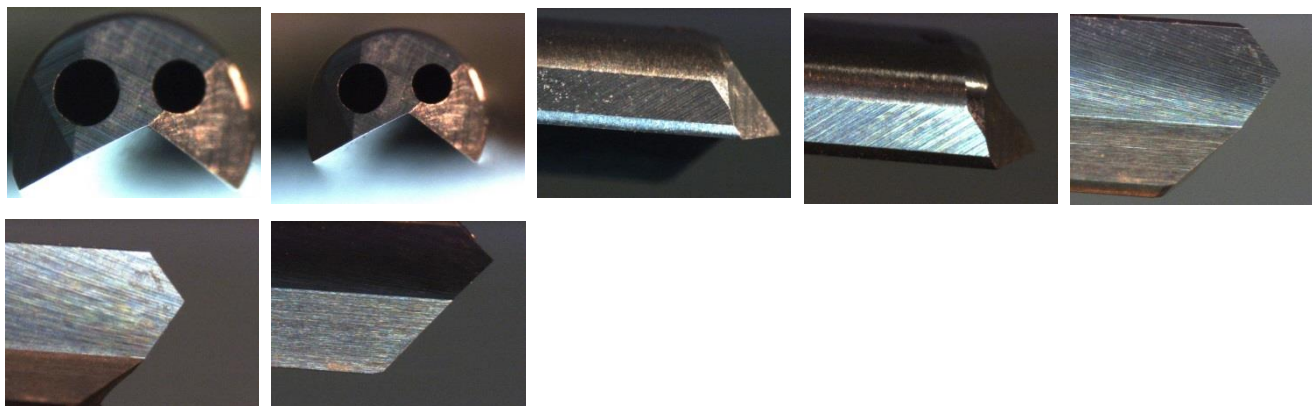


## **7 Seznam příloh**

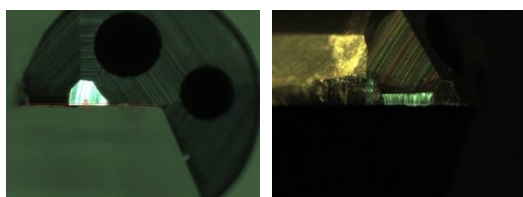
Příloha č. 1: Fotodokumentace vzniklých opotřebení a třísek



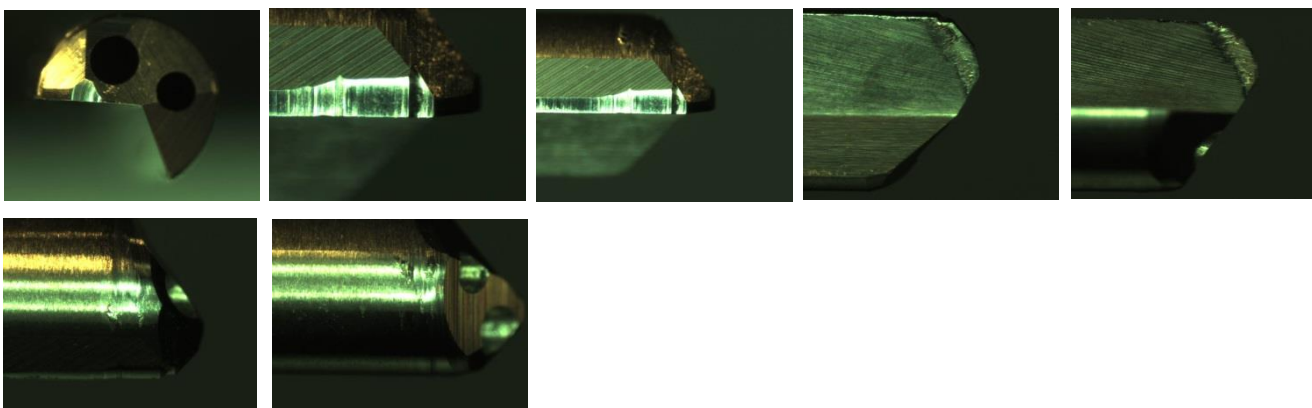
Příloha č. 1: Fotodokumentace vzniklých opotřebení a třísek  
Neopotřebovaný dělový vrták – 0 m



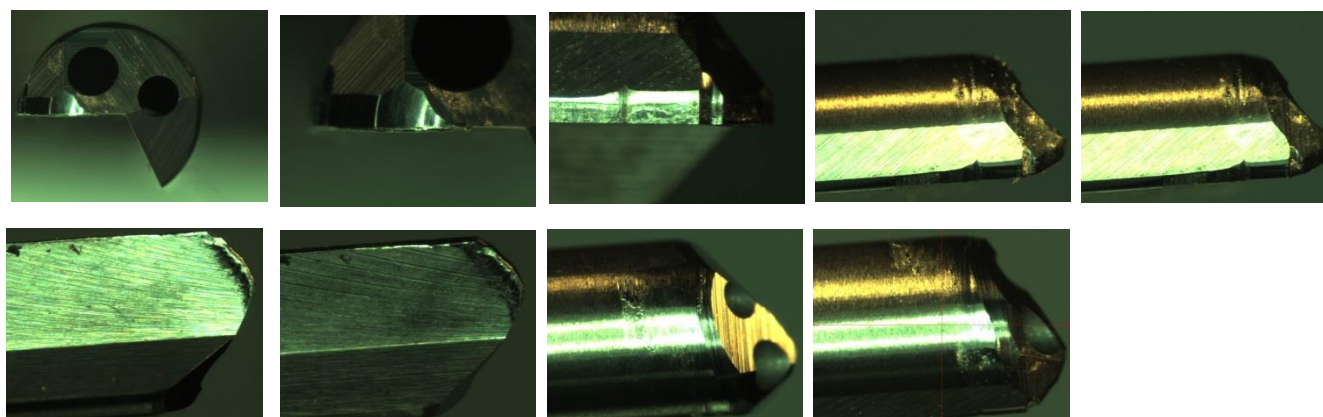
Nástroj č. 6 – 2 m



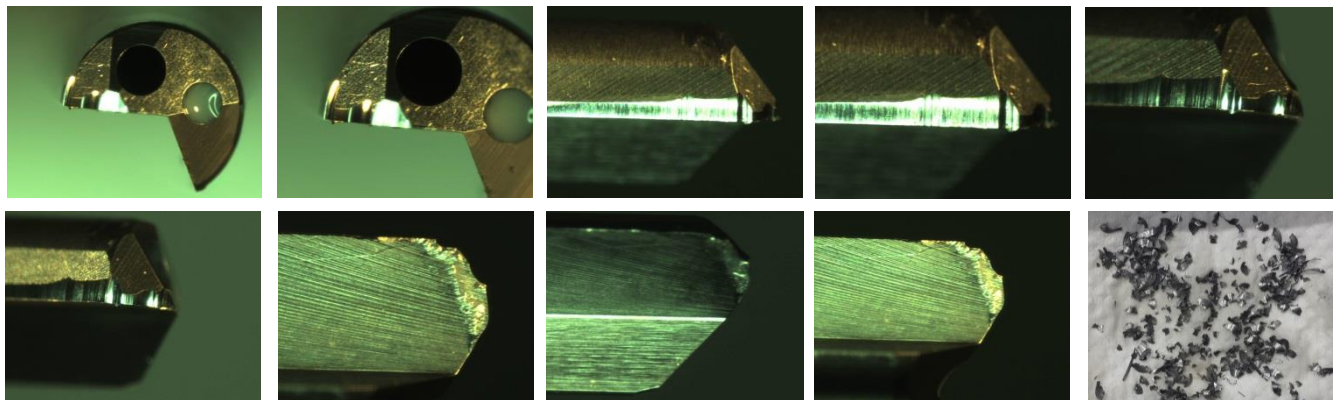
Nástroj č. 4 – 2 m



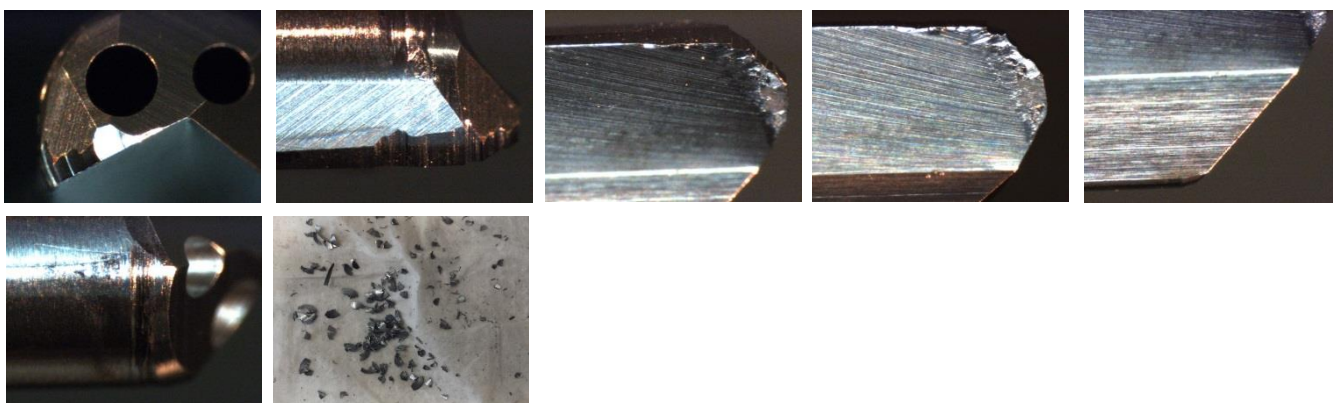
Nástroj č. 3 – 2 m



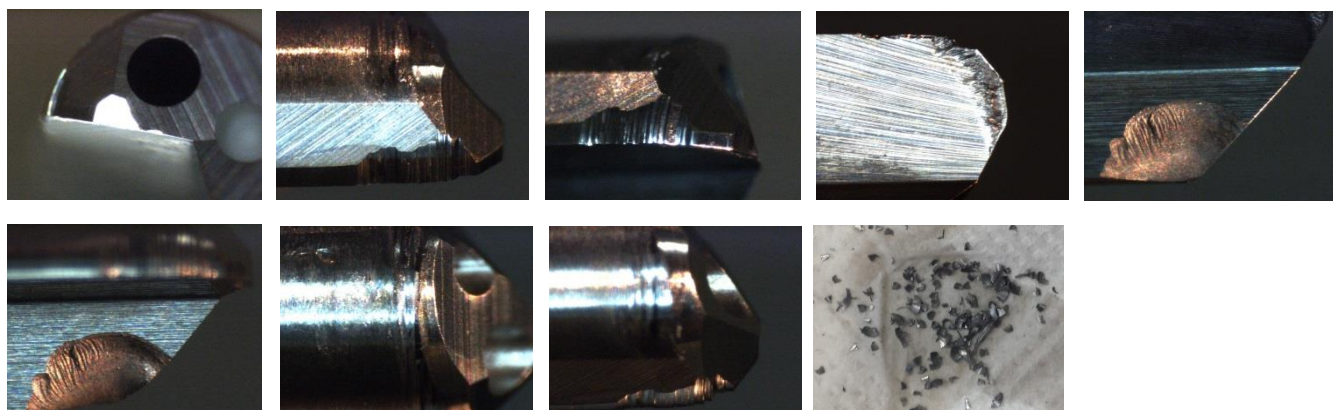
Nástroj č. 1 – 2 m



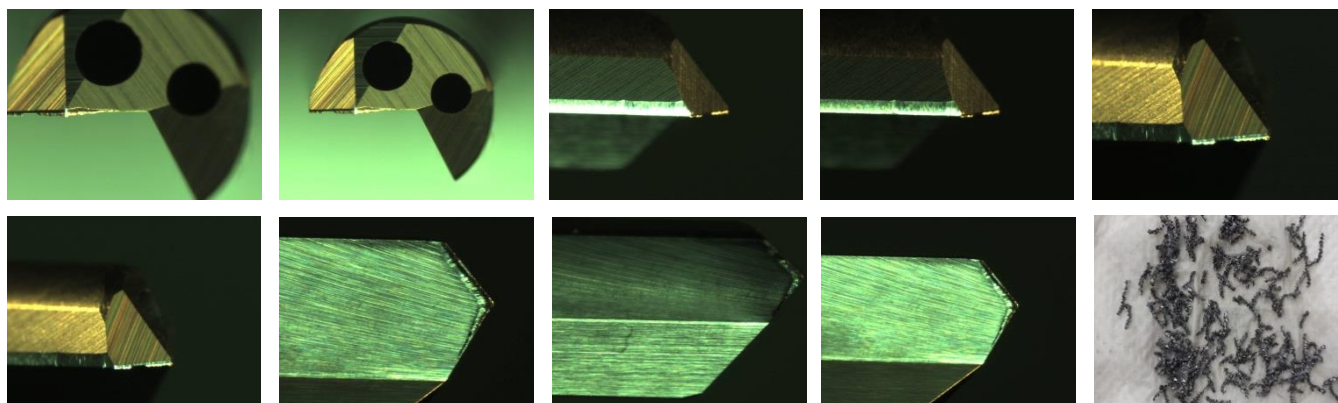
Nástroj č. 13 – 2 m



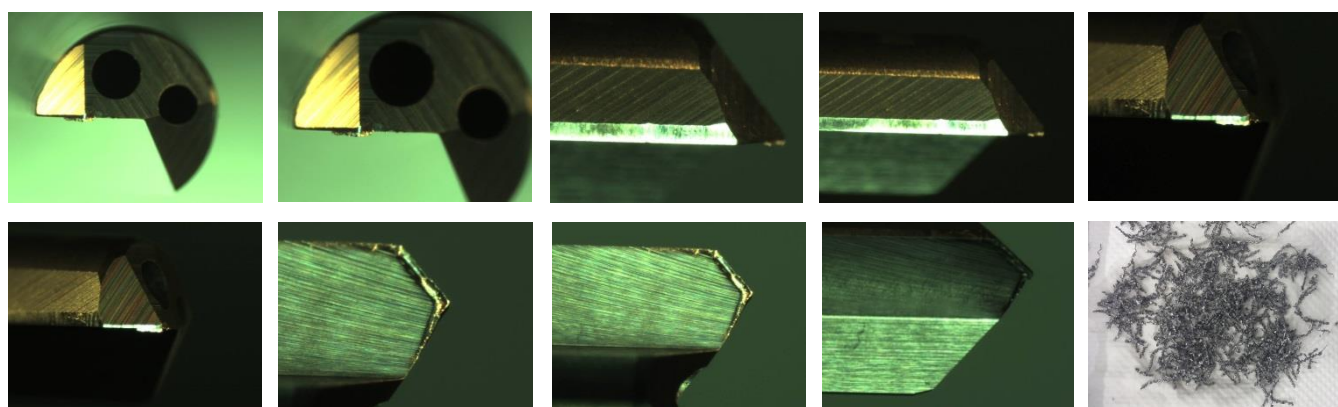
Nástroj č. 12 – 2 m



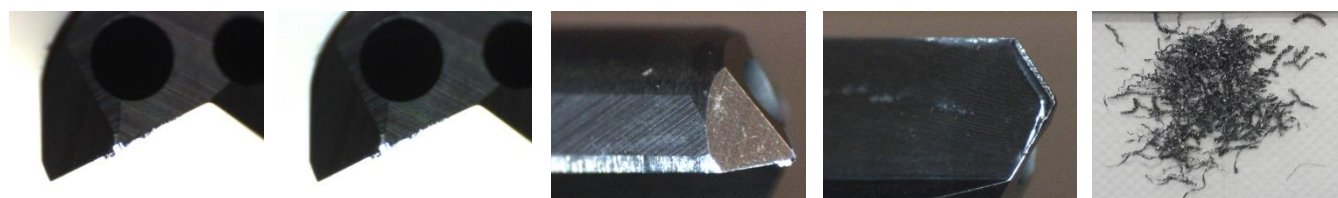
Nástroj č. 7 – 2 m



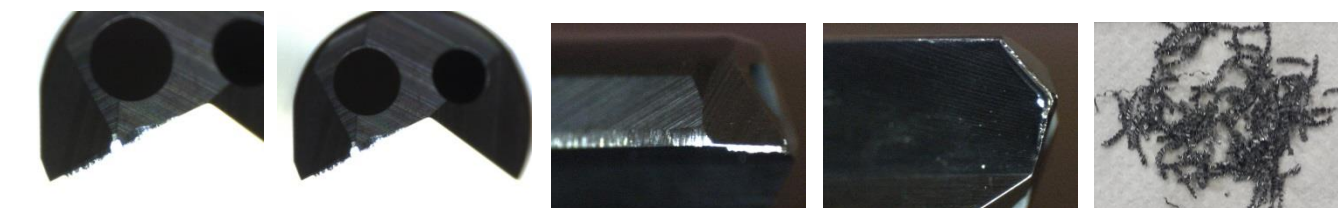
Nástroj č. 7 – 4 m



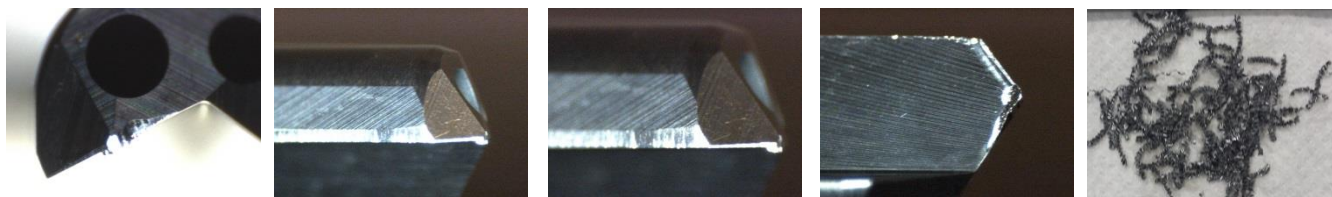
Nástroj č. 9 – 2 m



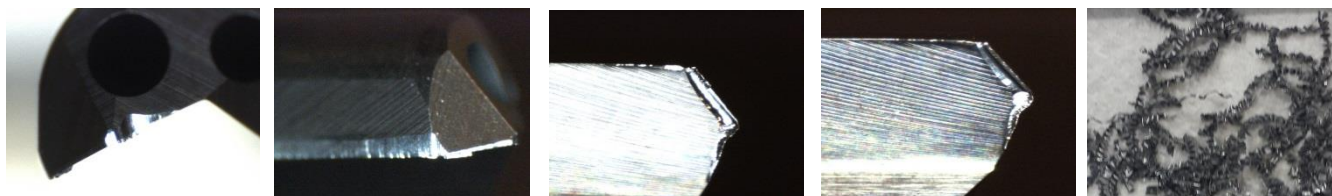
Nástroj č. 9 – 4 m



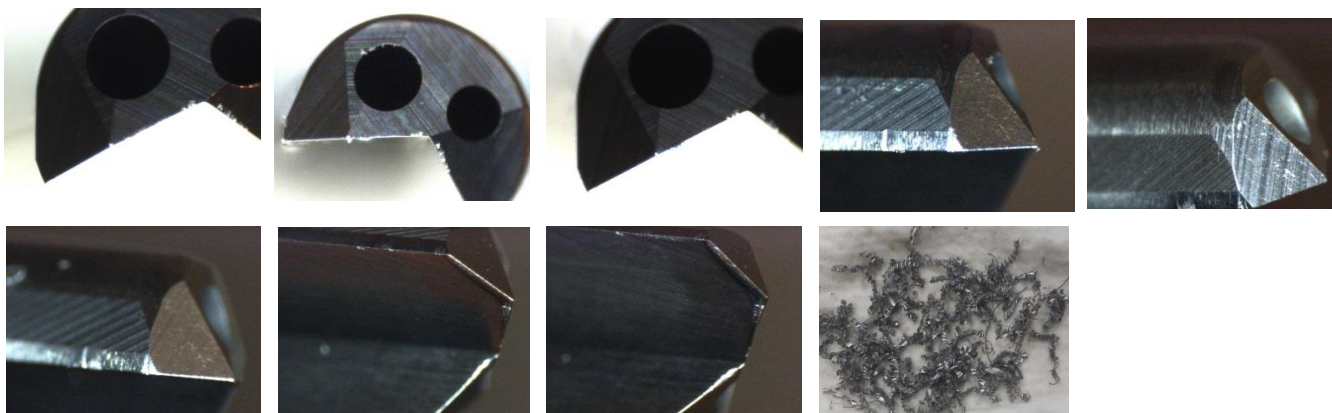
Nástroj č. 9 – 6 m



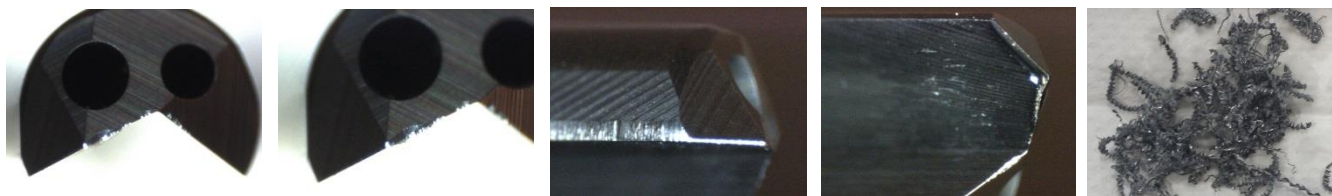
Nástroj č. 9 – 8 m



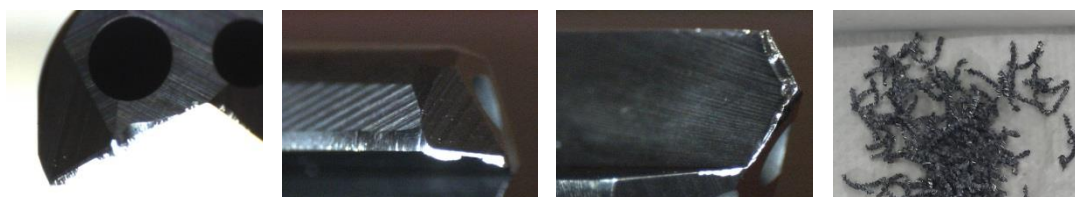
Nástroj č. 8 – 2 m



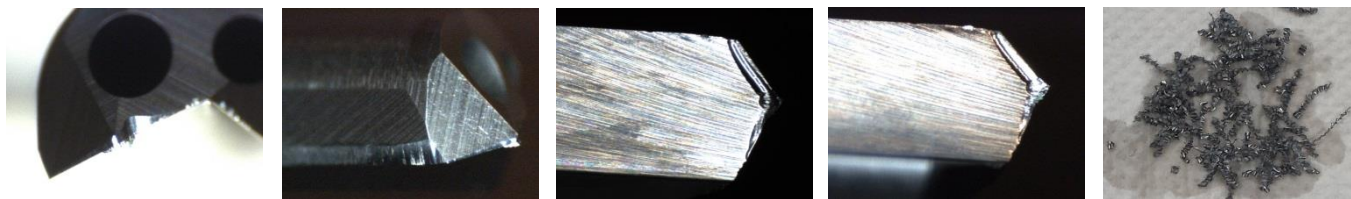
Nástroj č. 8 – 4 m



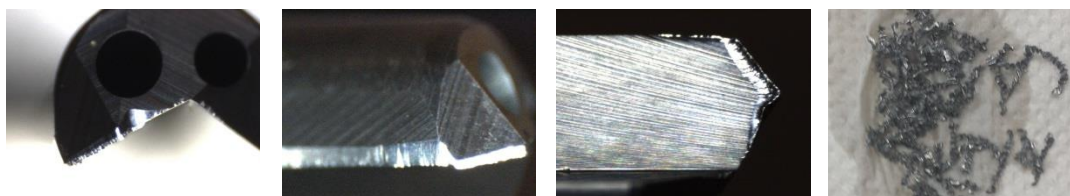
Nástroj č. 8 – 6 m



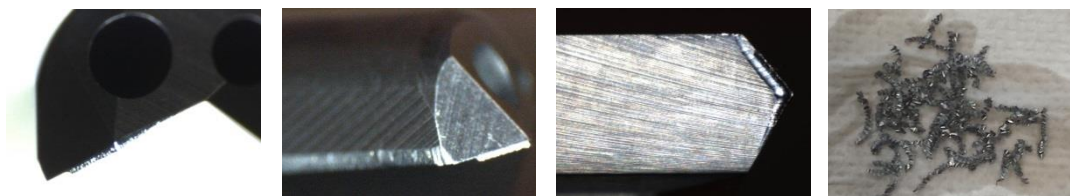
Nástroj č. 8 – 8 m



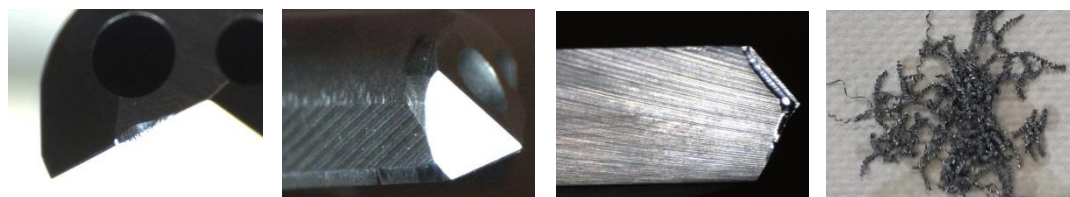
Nástroj č. 8 – 10 m



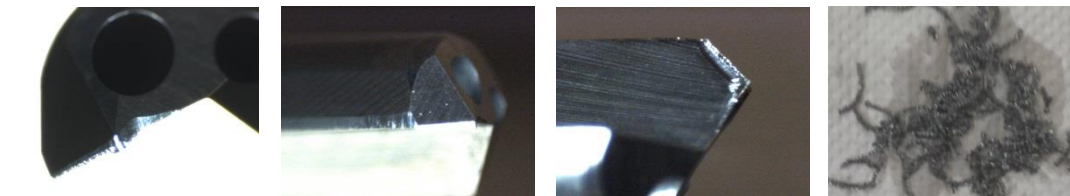
Nástroj č. 10 – 2 m



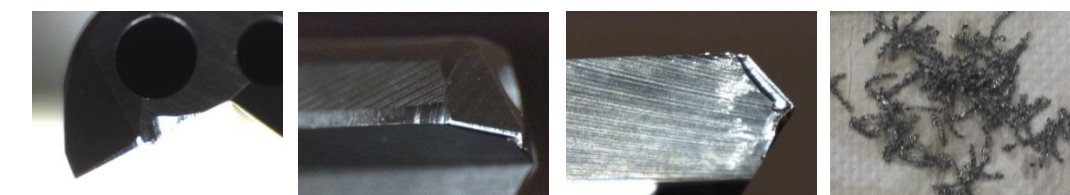
Nástroj č. 10 – 4 m



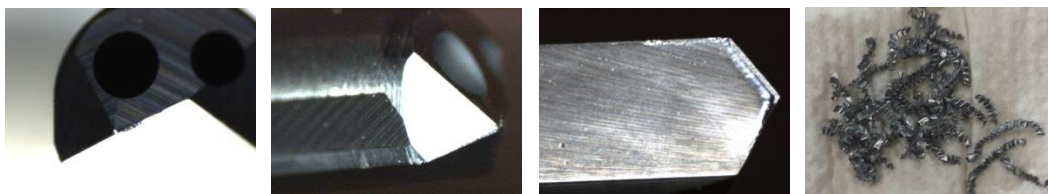
Nástroj č. 10 – 6 m



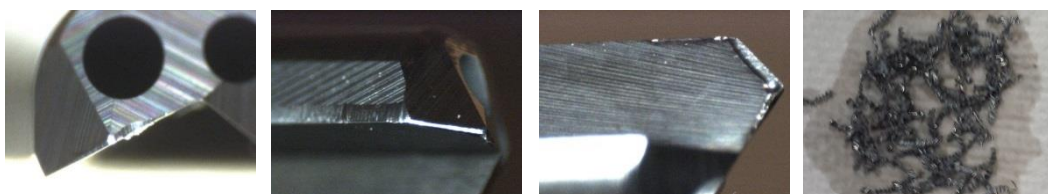
Nástroj č. 10 – 8 m



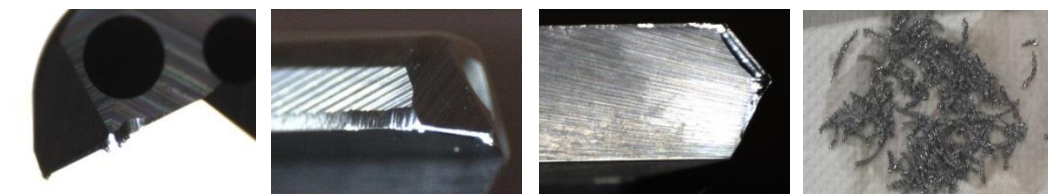
Nástroj č. 11 – 2 m



Nástroj č. 11 – 4 m



Nástroj č. 11 – 6 m



Nástroj č. 11 – 8 m

