

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

**Analýza stability výrobního procesu při  
zaoblení ostří VBD**

**Analysis of Stability of Production Process  
During Cutting Edge Preparation**

Student: Jan Matějka, Dis.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Matějka, DiS.**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Téma: **Analýza stability výrobního procesu při zaoblení ostří VBD**  
**Analysis of Stability of Production Process During Cutting Edge**  
**Preparation**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Mikrogeometrie řezného nástroje a její význam.
3. Proces zaoblení ostří u vybraných skupin VBD.
4. Technické vyhodnocení a zpracování dat.
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

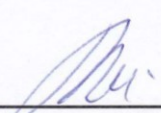
BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.  
HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.  
NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.  
SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.  
vedoucí katedry



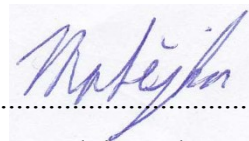
  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval včetně příloh samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje o technologii povrchové úpravy vyměnitelných břitových destiček získaných od firmy Dormer Pramet, firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě: 20. 5. 2019

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Matějka', is written over a light blue rectangular background. Below the signature is a horizontal dotted line.

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne: 20. 5. 2019



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Jan Matějka, Dis.

Adresa trvalého pobytu autora práce: Nový Malín 342, Nový Malín

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

MATĚJKA, J. *Analýza stability výrobního procesu při zaoblení ostří VBD*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2019, 70 s. Vedoucí práce: Zlámal, T.

Řešenou problematikou bakalářské práce je vliv technologie mokrého pískování a kartáčování na zaoblení ostří břitu VBD. Teoretická část práce se zabývá analýzou a charakterizací mikrogeometrie řezného nástroje. Dále jsou popsány použité technologie na úpravu zaoblení ostří u VBD před povlakováním a jejich vliv na zaoblení VBD. Také je uveden popis dalších technologií pro úpravu zaoblení ostří VBD. V praktické části jsou hodnoceny a porovnávány naměřené vzorky u pěti různých typů VBD. Dalším bodem je vyhodnocení a srovnání použitých procesů pro úpravu zaoblení. Na závěr je uvedeno shrnutí výsledků všech hodnocení.

Klíčová slova: mokré pískování, kartáčování, mikrogeometrie řezné hrany, technologie pro úpravu zaoblení

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

MATĚJKA, J. *Analysis of Stability of Production Process During Cutting Edge Preparation*: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2019, 70 p. Thesis Head: Zlámal, T.

Solved issues the bachelor thesis is influence of technology wet sandblasting and brushing on process rounding of cutting edge of inserts. Theoretical part deals with analysis and characterization microgeometry of cutting tool. Further, used technology for adjusting the roundness of cutting edge before coatings and their influence on it are described. Other technology typically used for adjusting the roundness are described too. In practical part are evaluated and compared measured samples of five different types of inserts. The next point is evaluation and comparison the processes used for adjusting the roundness. At the end is written summary of results of all evaluations.

Keywords: wet blasting, brushing, cutting edge microgeometry, technologies for adjusting roundness

**OBSAH**

<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A ZKRATEK.....</b>	<b>7</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>1 MIKROGEOMETRIE ŘEZNÉHO NÁSTROJE A JEJÍ VÝZNAM.....</b>	<b>11</b>
1.1 POPIS MIKROGEOMETRIE ŘEZNÉHO NÁSTROJE .....	12
1.2 VÝZNAM MIKROGEOMETRIE V ŘEZNÉM PROCESU .....	13
1.3 VÝVOJ MĚŘENÍ MIKROGEOMETRIE A HODNOCENÍ PARAMETRŮ .....	14
1.4 CHARAKTERIZACE MIKROGEOMETRIE OSTŘÍ ŘEZNÉHO NÁSTROJE.....	16
<b>2 PROCES ZAObLENÍ OSTŘÍ U VBD .....</b>	<b>19</b>
2.1 TECHNOLOGIE VÝROBY A ÚPRAVA ZAObLENÍ OSTŘÍ VBD .....	19
2.1.1 Vliv technologie úpravy ostří řezného nástroje na řezný proces .....	23
2.2 VLIV ZAObLENÍ OSTŘÍ NA ŘEZNÝ PROCES.....	27
2.3 VÝROBA ZAObLENÍ OSTŘÍ VBD ZE SLINUTÉHO KARBIDU .....	28
2.3.1 VBD ze slinutého karbidu .....	28
2.3.2 Zaoblení ostří u VBD ze slinutého karbidu .....	31
<b>3 TECHNICKÉ VYHODNOCENÍ A ZPRACOVÁNÍ DAT .....</b>	<b>32</b>
3.1 PROCES KARTÁČOVÁNÍ OSTŘÍ BŘITU VBD .....	35
3.2 PROCES MOKRÉHO PÍSKOVÁNÍ OSTŘÍ BŘITU VBD.....	37
3.3 PROCES MĚŘENÍ ZAObLENÍ VBD.....	40
3.4 PROCES SBÍRÁNÍ A ZPRACOVÁNÍ DAT.....	42
3.4.1 Proces sbírání dat .....	42
3.4.2 Proces zpracování dat .....	43
3.5 VYHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH DAT .....	46
3.5.1 Vyhodnocení zkoumaných parametrů pro jednotlivé destičky .....	46
3.5.2 Vyhodnocení zkoumaných parametrů pro jednotlivé procesy .....	55
3.5.3 Srovnání výsledků všech typů destiček .....	56
3.5.4 Porovnání použitých procesů .....	58
<b>4 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ.....</b>	<b>59</b>
<b>5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>64</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>68</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>68</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ.....</b>	<b>69</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>70</b>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A ZKRATEK

Značení	Jednotka	Význam
(Ti,Al)N	[ - ]	Nitrid aluminium titanu
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	[ - ]	Oxid hlinitý
A <sub>α</sub>	[ - ]	Plocha hřbetu ostří
A <sub>γ</sub>	[ - ]	Plocha čela ostří
CBN	[ - ]	Kubický nitrid boru
CVD	[ - ]	Chemical vapour deposition (povlakování na chemickém principu)
HSS	[ - ]	Rychlořezné nástrojové oceli
K	[ - ]	Parametr zaoblení ostří
NbC	[ - ]	Karbid niobu
PCBN	[ - ]	Polykrystalický kubický nitrid boru
PCD	[ - ]	Polykrystalický diamant
PVD	[ - ]	Physical vapour deposition (povlakování na fyzikálním principu)
ŘN	[ - ]	Řezný nástroj
SK	[ - ]	Slinutý karbid
SiC	[ - ]	Karbid křemíku
S-N-O	[ - ]	Soustava stroj, nástroj, obrobek
S <sub>α</sub>	[μm]	Vzdálenost zaoblení ostří na hřbetní ploše
S <sub>γ</sub>	[μm]	Vzdálenost zaoblení ostří na čelní ploše
TaC	[ - ]	Karbid tantalu
TaC-Co	[ - ]	Karbid tantalu s kobaltem
Ti(C,N)	[ - ]	Karbonitrid titanu
TiC	[ - ]	Karbid titanu
TiN	[ - ]	Nitrid titanu

VBD	[ - ]	Vyměnitelná břitová destička
WC	[ - ]	Karbid wolframu
WC-Co	[ - ]	Karbid wolframu s kobaltem
WC-TiC	[ - ]	Karbid wolframu s karbidem titanu
$\Delta r$	[ $\mu\text{m}$ ]	Vzdálenost od průsečíku tangent čela a hřbetu k teoretickému profilu ostří
$b_n$	[ $\mu\text{m}$ ]	Délka zkosení
$b_\gamma$	[ $\mu\text{m}$ ]	Délka zkosení na čele
$d$	[mm]	Průměr kruhové vyměnitelné břitové destičky
$d_1$	[mm]	Upínací průměr vyměnitelné břitové destičky
$h$	[ $\mu\text{m}$ ]	Tloušťka odebírané vrstvy
$l$	[mm]	Délka vzorku vyměnitelné břitové destičky
$m$	[mm]	Vzdálenost výšky vyměnitelné břitové destičky od vepsané kružnice k ostrému rohu
$n$	[ot.min <sup>-1</sup> ]	Otáčky vřetene kartáčů
$p$	[m <sup>-1</sup> .kg.s <sup>-2</sup> ]	Řezný tlak
$r_1$	[ $\mu\text{m}$ ]	Poloměr zaoblení ostří
$r_2$	[ $\mu\text{m}$ ]	Poloměr zaoblení ostří
$r_n$	[ $\mu\text{m}$ ]	Poloměr zaoblení ostří
$s$	[mm]	Výška vyměnitelné břitové destičky
$v_c$	[m.min <sup>-1</sup> ]	Řezná rychlost
$\alpha$	[°]	Úhel hřbetu
$\beta$	[°]	Úhel břitu
$\gamma$	[°]	Úhel čela
$\gamma_b$	[°]	Úhel zkosení v zadní nástrojové rovině
$\varphi$	[°]	Úhel natočení klínu mezi tangentami hřbetní a čelní plochy



## ÚVOD

Strojírenský průmysl neboli strojírenská technologie je jedním z nejrozšířenějších oborů na celém světě a vyznačuje se neustálým zvyšováním požadavků na kvalitu strojních součástí s ohledem na životní prostředí. V technologii obrábění, zvyšování nároků na zhotovené výrobky způsobuje nárůst požadavků na řezný proces, se kterým jsou spojené obráběcí stroj, obráběcí nástroj a také kvalifikace zaměstnance. V současnosti je snaha zefektivnit řezný proces několika způsoby. Jedním z nich je výroba řezných nástrojů z kvalitnějších materiálů s větší přesností, lepší jakostí povrchu nástroje nebo s výhodnějšími mechanickými a fyzikálními vlastnostmi. Dalšími zvyšujícími požadavky na řezný proces jsou snižování strojních časů, nižších nutných investic a snížení zmetkovitosti. Tyto požadavky mohou být splňovány zvolením vhodné technologie obrábění a řezných podmínek, použitím správné technologické úpravy povrchu břitu s tím spojenou integritou povrchu, volbou geometrie obráběcího nástroje s vyhovujícím zaoblením ostří nebo použitým povlakem obráběcího nástroje.

Při výrobě VBD se jako první namíchá směs prášků. Toto složení určuje potřebné mechanické vlastnosti VBD. Dále se tento prášek slisuje do požadované geometrie a spéká se. Po procesu slinování nastává proces úpravy ostří nástroje a následné povlakování. Po povlakování se dále využívá technologie úpravy břitu. Zaoblení ostří břitu je jedním ze zásadních faktorů ovlivňující řezný proces, a to z pohledu nástroje i z pohledu obrobku. Z hlediska řezného nástroje, velikost poloměru zaoblení břitu ovlivňuje například vznik defektů na nástroji, potřebnou řeznou sílu k odběru třísky z materiálu nebo vznik samobudícího chvění. Z pohledu obrobku na zaoblení řezného nástroje, správná volba velikosti zaoblení může zajistit lepší jakost a přesnost obrobeného povrchu. Vliv zaoblení břitu na řezný proces není stále plně probádán, zkoumá se geometrie u řezného nástroje, rozdělená podle velikosti na makrogeometrii a mikrogeometrii.

Téma této práce mi zadal podnik Dormer Pramet. Tento podnik se specializuje na výrobu nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutého karbidu. Historie firmy PrametTools začala v roce 1913, kdy tuto společnost založili v Anglii dva společníci H. A. Dormer a L. Robertson. Historie podniku Dormer Pramet sahá do roku 1933. Uskupení Dormer Pramet vzniklo v roce 2014 spojením dvou zmíněných společností, Dormer Tools a Pramet Tools. Spojení těchto značek přineslo velkou výhodu v doplnění sortimentu a v propojení trhů. Po spojení může firma Dormer Pramet nabízet svým stávajícím i novým zákazníkům široké spektrum vysoce kvalitních nástrojů v kombinaci se snadno dostupnými službami ke spokojenosti všech zákazníků. Tyto služby

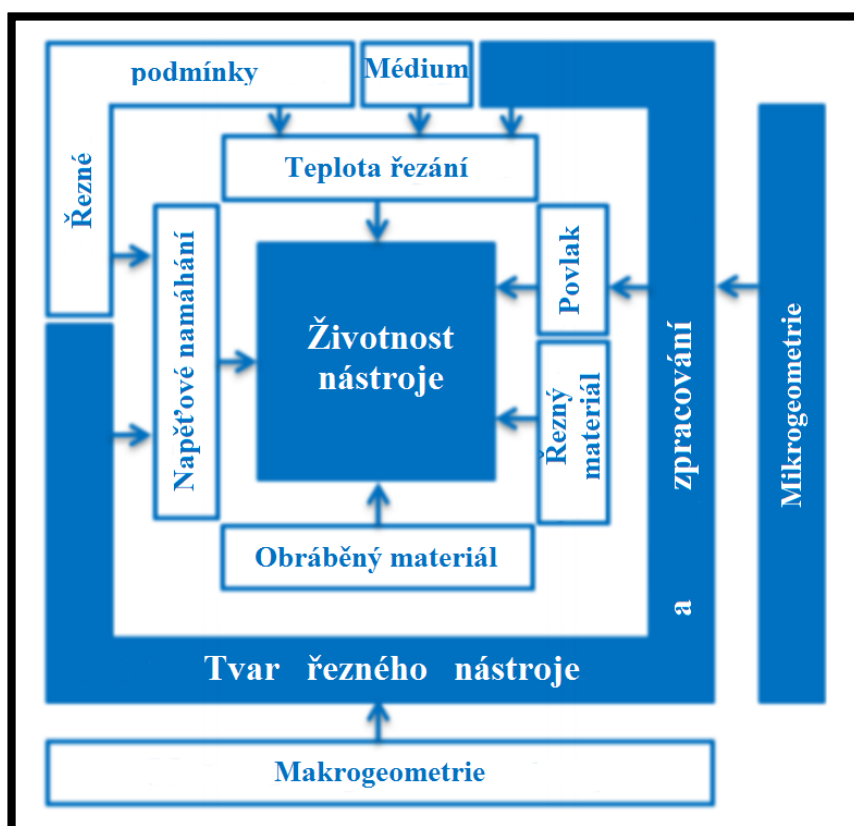
jsou poskytovány na více jak 30ti pobočkách, které pokrývají přes 100 různých trhů. Zmíněné služby jsou nadále podporovány moderními výrobními závody v Evropě a Jižní Americe. Dále tato firma disponuje specializovanými školícími centry po celém světě, konkrétně v České republice, Švédsku, Rusku a ve Spojených Státech Amerických. Nový komplexní sortiment obsahuje monolitní nástroje a nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami pro soustružení, frézování, vrtání a závitování.

Obsahem teoretické části práce je rozbor mikrogeometrie břitu řezného nástroje a její vliv na řezný proces. To zahrnuje popis mikrogeometrie společně s jejím významem, tj. jak zaoblení ovlivňuje řezný proces. Dále je zde uvedeno zkoumání stavu zaoblené hrany spolu s charakterizací, tedy jakým způsobem je popisováno zaoblení. V další části teoretické oblasti je popsána výroba VBD a technologie výroby zaoblení, technologie úpravy hrany před povlakováním a její dopad na zaoblení břitu. Poté je zde uveden vliv zaoblení na řezný proces a výroba zaoblení ostří VBD ze slinutého karbidu.

V praktické části této práce je zhodnocení výsledků zaoblených VBD v pěti různých variantách před depozicí povlaku. Tyto typy VBD byly zpracovávány pomocí technologie mokrého pískování nebo pomocí kartáčování. Je zde popsáno vyhodnocení naměřených dat pro jednotlivé typy VBD a jejich srovnání. Také je zde seřazení výsledků hodnocených parametrů, například který typ destičky byl zaoblen s větší úspěšností, zmetkovitostí a další. Dále jsou zde vyhodnoceny změřené výsledky pro jednotlivé procesy, jejich srovnání a určení, který z těchto procesů je vhodnější pro zaoblení ostří břitu VBD. Po kompletaci měřených hodnot pro jednotlivé procesy je tu také jejich seřazení dle podmínek zmíněných výše v tomto odstavci. Vyhodnocené a vypočítané výsledky jsou vyobrazeny v číselné a grafické podobě. V přílohách jsou uvedeny tabulky všech porovnání a hodnot naměřených VBD, ze kterých byly všechny následné hodnocení vypracovány.

## 1 MIKROGEOMETRIE ŘEZNÉHO NÁSTROJE A JEJÍ VÝZNAM

Řezný proces je ovlivněn mnoha parametry, mnohdy vzájemně závislými. Jedním z nich je mikrogeometrie břitu řezného nástroje. Je známý fakt, že výsledná životnost, trvanlivost, a tedy efektivita řezného nástroje je funkcí několika základních procesních kroků, jak lze vidět na obrázku číslo 1. Jedním z nich je mikrogeometrie, která zahrnuje především zaoblení ostří břitu a částice nacházející se na břitu o velikostech v řádu mikrometrů. Jedná se zejména o zakřivenosti povrchu břitu vlivem drsnosti po broušení s defekty vzniklými po broušení. Jakékoliv zakřivenosti, případně zbytky různých částic mohou zkrátit celkovou životnost nástroje. Mikrogeometrii zásadně ovlivňuje technologie úpravy ostří řezného nástroje, dále ji ovlivňuje druh řezného materiálu a použitý povlak. Použitý povlak přesně okopíruje zaoblený povrch ostří VBD, proto je důležité se této problematice věnovat pro úspěšnou stabilizaci řezného procesu. Dále také použitý povlak ovlivňuje drsnost povrchu a zároveň zvětší poloměr zaoblení břitu o hodnotu tloušťky povlaku. Z pozorování řezných sil působících při různých hodnotách zaoblení se zjistilo, že na břitové destičce s větším zaoblením do určité míry vznikají menší zatížení než na menších velikostech zaoblení VBD při stejných řezných silách.<sup>1,2,3</sup>

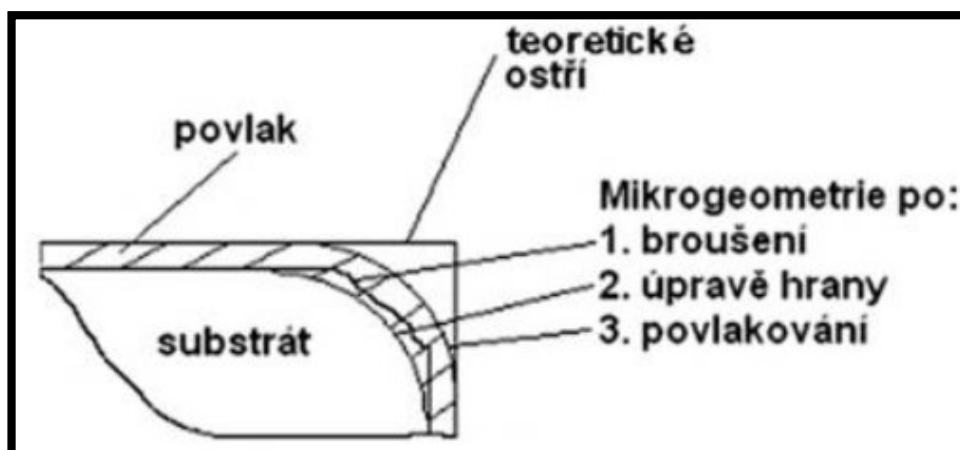


Obrázek 1 – Procesní parametry ovlivňující životnost nástroje<sup>3</sup>

Mikrogeometrie tedy vzniká jednak při samotném návrhu tvaru řezného nástroje a jednak při preparaci ostří řezného nástroje. Dále je pak ovlivňována dalšími parametry, jak je zmíněno výše, jako jsou druh řezného materiálu spolu s použitým povlakem a velikostí napěťových sil při samotném řezném procesu. Použití správné mikrogeometrie může zaručit prodloužení trvanlivosti a s tím spojené ovlivnění dalších parametrů. Například dojde ke zlepšení drsnosti povrchu obráběného materiálu, zmenšení řezného odporu a s tím spojené zmenšení řezných sil potřebných pro obrobení povrchu dané součásti. Při použití správné mikrogeometrie také dosáhneme zlepšení ekonomičnosti řezného procesu. A to jak z pohledu spotřeby energie potřebné k vytvoření zmíněných řezných sil, tak i z pohledu nástroje, tedy spotřeby nástrojů na výrobu zadané zakázky a počtu možných přeostření břitu atd. V souhrnu je tedy při řezném procesu velmi podstatné mikrogeometrii, tedy zaoblení břitu ostří a texturu povrchu na břitu ostří, dokázat definovat a změřit tak, aby se splnily základní podmínky záběru v řezném procesu, popřípadě tyto podmínky upravovat pro zefektivnění řezného procesu.<sup>1,3</sup>

## 1.1 Popis mikrogeometrie řezného nástroje

Pod pojmem mikrogeometrie řezného nástroje si lze představit malé útvary vyskytující se na břitu řezného nástroje v řádech mikrometrů a zahrnuje úpravu zaoblení ostří spolu s texturou povrchu. Mikrogeometrie ovlivňuje velké množství parametrů, například životnost nástroje, stabilitu řezného procesu, tvarování třísky, kvalitu povrchu, možné teplotní a silové namáhání. U nových nebo renovovaných nástrojů je povrch ostří nehomogenní a obsahuje mnoho defektů. Tyto defekty se mohou stát iniciátorem vzniku porušení tenkých povrchových vrstev, což by vedlo ke snížení užitečných vlastností řezného nástroje. Pro zabránění vzniku těchto nepříznivých efektů je vhodné řeznou hranu cíleně zaoblit.<sup>2,6</sup>



Obrázek 2 – Schéma břitu nástroje<sup>1</sup>

Se vznikem velmi ostré hrany může nastat nevýhodná situace. Při „zajíždění nástroje“ s velmi ostrou hranou nastane odstranění této hrany a dojde ke vzniku přirozeného zaoblení, avšak při tomhle procesu nastává i odstraňování povlaku z ostří řezného nástroje, a to vede ke snížení životnosti nástroje. Jak lze dále vidět na obrázku číslo 2, u současných materiálů nelze v žádném případě vytvořit přesně zaoblenou hranu. Nedokonalosti, které vznikly při vybroušení mají také velký vliv na řezivost nástroje. <sup>2,6</sup>

## 1.2 Význam mikrogeometrie v řezném procesu

V posledních letech se výzkum v oblasti řezných nástrojů čím dál více zaměřuje na optimální vývoj mikrogeometrie ostří spolu s přípravou povrchu ostří řezného nástroje pro technologii povlakování. Jak již bylo zmíněno výše, použití správné mikrogeometrie může zlepšit nejen trvanlivost, ale také prodloužit životnost nástroje, zvýšit odolnost proti opotřebení a rezistenci proti vysokým teplotám. Mikrogeometrie řezného nástroje by měla být technologicky navržena tak, aby ostří pronikalo do obráběného materiálu s co nejmenšími obráběcími silami a aby vhodně tvarovalo, případně lámalo třísku. Na mikroteometrii se tedy lze dívat z pohledu zaoblení hrany ostří nebo z pohledu textury povrchu. <sup>3,13</sup>

Zaoblení řezné hrany ovlivňuje v řezném procesu mnoho parametrů, jako jsou například řezné síly potřebné k odběru třísky, s tím spolu související zatížení na řezný nástroj, a utváření třísek. Zaoblení také ovlivňuje elastickou obnovu povrchu obrobeného materiálu. Pro uvedení příkladu, pokud by ostří řezného nástroje nebylo adekvátně zaobleno, mohou při řezném procesu nastat situace vzniku poruch celistvosti onoho řezného nástroje. Jako další příklad, zaoblení ostří břitů VBD určuje tloušťku a charakter jednotlivých mikrovrstev v utvářené třísce. V dalším rozvedení tohoto ovlivnění, charakter a tloušťka mikrovrstev působí na tepelnou vodivost, čímž také ovlivňuje řezný proces. Zároveň tyto účinky mají vliv na velikost síly potřebné k odebrání třísky, jak již bylo zmíněno výše. <sup>3,13</sup>

Při zaměření se na texturu povrchu, jedno z největších ovlivnění nastává při vytvoření základního zaoblení pro následné povlakování VBD. Tento vliv je komplexního charakteru a je tedy velice složité jej přesně popsat. Například při velmi hladkém povrchu na ostří řezného nástroje ulpí aplikovaný povlak s vysokou adhezí. Vysoká adheze u velmi hladkého povrchu na zaobleném ostří je následkem spojením menší míry zakotvení povlaku do substrátu a velkých meziatomových sil mezi povlakem a substrátem. Na druhou stranu při určité velikosti hodnoty drsnosti na povrchu ostří řezného nástroje, aplikovaný povlak

může silně zakotvit do základního substrátu. Tedy nastane situace, kdy adhezi povlaku zapříčiní větší míra zakotvení povlaku do substrátu a působení menších velikostí meziatomových sil mezi povlakem a substrátem.<sup>3,13</sup>

### 1.3 Vývoj měření mikrogeometrie a hodnocení parametrů

V minulosti bylo složité sledovat parametry a charakteristiky ostří řezného nástroje, a to z důvodu nedostačujících parametrů a vlastností měřících zařízení. Nedostačující bylo například zvětšení pro zkoumání povrchu zaoblení ostří. Dále byl malý maximální počet zpracovávaných údajů pro stanovení naměřených hodnot spolu s vyhodnocováním získaných výsledků. Dalšími nevyhovujícími parametry byly rychlost měření, produktivita měřících procesů a přesnost těchto zařízení spolu se spolehlivostí. Ke zlepšení všech výše zmíněných vlastností došlo při nástupu digitálních měřících a optoelektronických zařízení. Tento postupný vývoj se řídil především dle technických nároků, které se s postupně rozvíjející strojírenskou výrobou navyšovaly. Tyto měřící technologie a přístroje se začaly postupně rozvíjet od konvenčních měřidel až ke složitým měřícím systémům. Měřící technika se dále přesunula přímo do výrobních hal, popřípadě na výrobní linky. K tomu vedla myšlenka o snaze zlepšit produktivitu měřících procesů a zjistit chyby produktu co nejdříve od vzniku těchto chyb. V dalších vývoji přišel vznik prostorové analýzy povrchu, která přinesla nové způsoby pro hodnocení povrchu, což dvourozměrné měření neumožňovaly. Tento vznik prostorové analýzy povrchu se ukázal jako velice přínosný pro hodnocení a chápání funkčních vlastností. Tyto vlastnosti jsou například opotřebení, mazání, tření, únavové parametry, vhodnost povrchu pro depozici tenké vrstvy a další.<sup>4,5</sup>

V souhrnu se tedy vývoj měřící techniky odehrává směrem ke zlepšování:<sup>4,5</sup>

- náročnosti obsluhy přístroje pro měření,
- softwarového vybavení pro hodnocení povrchu,
- automatizaci etapy kontroly a vyhodnocování záznamů měření,
- možnosti použití měřícího zařízení,
- rozsahu měření a jeho přesnosti,
- možnosti umístění měřícího zařízení a jeho odolnosti proti prostředí.

Všechny nedokonalosti, případně zbylé mikročástice mohou negativně ovlivnit jakost výsledného povrchu a funkčnost řezného nástroje. Pro zkoumání a měření zaoblení se v dnešní době používá dvou metod, rozdělených dle dotyku, a to dotykových nebo bezdotykových. Zjišťuje se zaoblení břitu a drsnost povrchu s danou pozicí, kde se zaoblení

měří. Každá metoda má své pozitivní i negativní vlastnosti, ovšem pro správné měření zaoblení jsou zásadní i zkušenosti obsluhy.<sup>2</sup>

### a) Metody dotykové

Pro měření metodou dotykovou se používá počítač připojený k:<sup>13,16</sup>

- piezo-elektrickému mikrosnímači,
- kapacitnímu mikrosnímači,
- mikrosnímači s plochou pružinou,
- mikrosnímači s pevným kloubem,
- mikrosnímači s dotykovou optikou (jehla z optických vláken),
- ultrazvukovému mikrosnímači.

Jako příklad pro uvedení, k měření metodou dotykovou lze použít profilometr. Dle uvádějících výrobců a firem používající měření metodou dotykovou je používáno nejčastěji speciální raménko s diamantovým hrotem a vrcholovým úhlem 60°. Toto raménko je posouváno po povrchu ostří nástroje. Nutno dodat, že pro správné snímání profilu je nutné splnit podmínku držení souměrnosti snímaného povrchu ostří. Profilometry mohou měřit pouze zaoblení. Pro měření drsnosti povrchu výrobci mnohdy používají laboratorní drsnoměry, které umožní změřit špatně přístupné plochy. Pro měření s drsnoměry se používají stativy a dbá se na citlivost snímání nerovností společně s linearitou snímání příčných pohybů. Hlavní výhodou laboratorních drsnoměrů je možnost měřit zaoblení i drsnost povrchu najednou v daném místě. Oba zmíněné přístroje jsou dále připojené k počítači pro zápis, popřípadě tisk výsledků.<sup>2</sup>



Obrázek 3 – Přístroje pro měření zaoblení, profilometr (vlevo) a drsnoměr (vpravo)<sup>27,28</sup>

## b) Metody bezdotykové

Pro měření metodami bezdotykovými lze použít optické senzory. Jejich základní rozdělení je na optické snímače vzdálenosti a senzory pro prostorově rozložená měření.

Výčet optických snímačů vzdálenosti: <sup>13,16</sup>

- laserový bodový snímač;
- chromatický snímač bílého světla;
- spektrální koherenční interferometr.

Výčet snímačů pro prostorově rozložené měření: <sup>13,16</sup>

- snímač pro zpracování obrazu s automatickým zaostřováním;
- snímač barevného zaostření;
- projektor s mikro pásmem;
- interferometr bílého světla;
- konfokální mikroskop;
- rentgenová mikropočítačová tomografie.

U metod bezdotykových neboli optických, se využívá například měřicího systému nebo konfokálního laserového mikroskopu, které umožňují sledovat drsnost povrchu i celkový tvar. Jednou z hlavních odlišností oproti metodám dotykovým je maximální možný snímatelný rozsah pásma dat, a to je obzvláště klíčové, pokud jsou vlastnosti struktury povrchu vyhodnocovány pomocí matematických rovnic či algoritmů. Měření mnoha optických metod funguje na základě zaostřování bodu na kontrolovaném povrchu o velikosti v řádech několika mikrometrů. Šířka tohoto bodu se mění společně s měřícím se rozměrem vertikálního rozsahu detektoru. Jeden z negativních efektů u měření optickými metodami je ztráta optických dat. Tento efekt nastává v krajních oblastech či v zónách nenadálých a zlomových změn tvaru struktury povrchu, kdy se světelný paprsek neodrazí zpět do detektoru tak jak by měl, a tudíž nebudou žádná data k zpracování a zaznamenání. Dále může ztráta dat nastat v případě měření materiálu s velmi vysokou nebo velmi nízkou odrazivostí měřeného povrchu, popřípadě v oblastech převýšení povrchu. <sup>2,11</sup>

## 1.4 Charakterizace mikrogeometrie ostří řezného nástroje

Charakteristika mikrogeometrie bříty poskytuje měřítko pro zaoblování ostří řezného nástroje. Zkoumání vlivů mikrogeometrie na řezný proces není plně probádáno ani při dnešním rychle se rozvíjejícím strojírenství. Pro úplné pochopení vlivu mikrogeometrie na řezný proces a na kvalitu zhotoveného povrchu je potřeba zohlednit

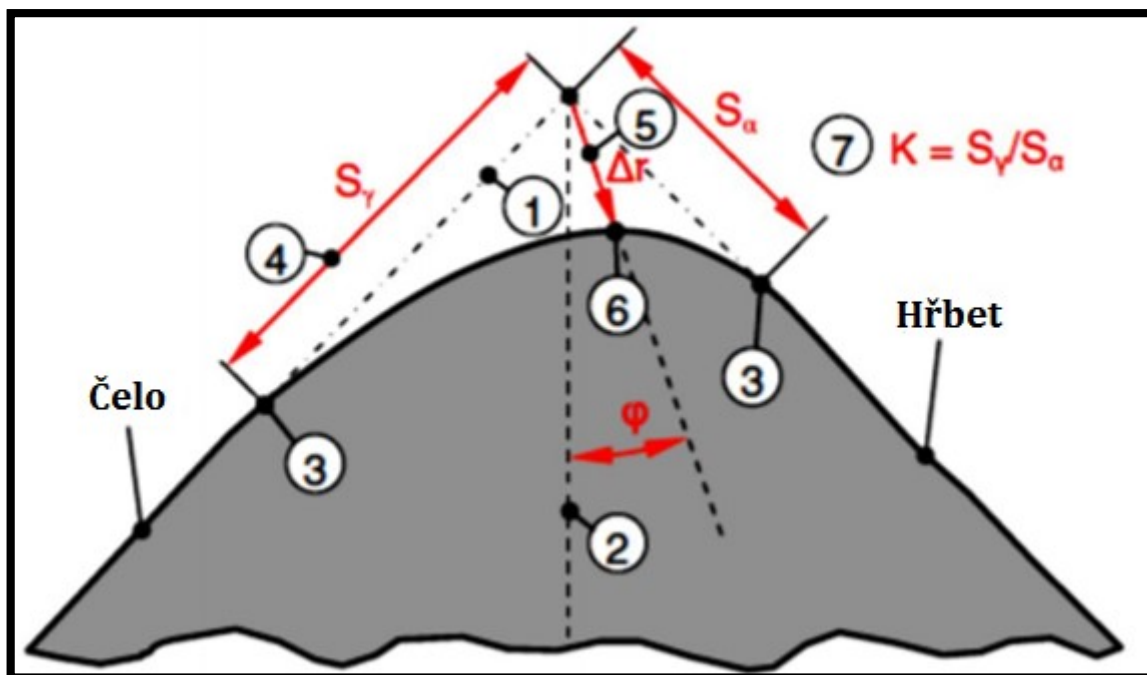


všechny efekty a děje, které v dané oblasti nastávají. Toto zohlednění zahrnuje užití všech dostupných parametrů tak, aby se zohledňovaly všechny změny mikrogeometrie ostří. S ohledem na výše uvedené a na rozhodující vliv geometrických parametrů ostří a vyvíjejících se nových postupů pro tvorbu požadovaného profilu ostří bylo navrženo několik komplexních metod. Mnoho modelů řezání je založeno na předpokladu ostrého břitu řezného nástroje.<sup>3,12,13</sup>

Tyto modely jsou použitelné pouze v případě, kdy velikost poloměru ostří  $r_n$  je poměrně malá ve srovnání s odebíranou tloušťkou vrstvy  $h$ . Ovšem byly navrženy alternativy zahrnující poměr  $r_n$  a  $h$  společně s vlivem řezné geometrie na řezný proces. Příkladem jsou modely navržené Denkenem a spol. z roku 2005, metoda Wyena a spol. z roku 2012 a metoda s konceptem podle Yusefiana a Koshy z roku 2013. Pro podrobnější popis byla vybrána metoda navržená Denkenem a spol. Tato metoda byla vytvořena se zohledněním asymetrie ostří při přípravě břitu nástroje. Na obrázku číslo 4 lze vidět profil hrany ostří spolu s parametry použitými pro vyhodnocení této metody pro každý jednotlivý krok postupu. U této metody však byla zjištěna možnost nejistoty výsledku při odhadu  $S_\gamma$  a  $S_\alpha$  při určování oddělovacích bodů podél čelních a hřbetních ploch. Ony zmíněné další dvě metody o těchto nerovnostech diskutují a snaží se jim předcházet.<sup>3,12,13</sup>

Parametry charakterizace profilu ostří řezného nástroje jsou znázorněny na obrázku číslo 4. Tato metoda je vyhodnocována pomocí následujícího postupu:<sup>12</sup>

- konstrukce tangent hřbetu a čela, určení jejich průsečíku;
- zjištění úhlu natočení klínu úhlu mezi tangentami hřbetu a čelní plochy;
- určení oddělovacích bodů hřbetu a čela z tangent;
- měření vzdáleností  $S_\gamma$  a  $S_\alpha$  od průsečíku z kroku prvního k oddělovacím bodům z kroku 3;
- určení nejmenší vzdálenosti  $\Delta r$  mezi průsečíkem z kroku 1 a teoretickým profilem ostří;
- stanovení úhlu mezi průsečíkem z prvního bodu, nejvyšším bodem profilu použitého v kroku pátém a úsečkou úhlu klínu vytvořeného v kroku druhém;
- vypočtení parametru  $K = S_\gamma / S_\alpha$ .



Obrázek 4 – Charakterizace profilu ostří nástroje navržené dle Denkena a spol.<sup>12</sup>

Charakteristických parametrů, používaných pro vyhodnocení popisované metody je 5. Prvním parametrem  $S_\alpha$  je definován jako vzdálenost zaoblení ostří na hřbetní ploše a je vzdáleností dvou bodů. První bod je od bodu oddělení reálného profilu zaoblení hřbetu ostří a druhým bodem je špička teoretického profilu zaoblení nástroje. Druhý parametr, tedy veličina  $S_\gamma$  je velikost zaoblení ostří na čelní ploše a je také vzdáleností dvou bodů. Vzdáleností od bodu oddělení reálného profilu zaoblení čela ostří a teoretického profilu zaoblení čela ostří až po bod na špičce teoretického profilu zaoblení ostří rezného nástroje. Třetí charakteristický parametr  $\Delta r$  je nejkratší vzdálenost mezi profilem zaoblení ostří, tedy jeho nejvyšším bodem, a špičkou teoretického profilu zaoblení ostří nástroje. Čtvrtý parametr  $K$  je hodnota, která je vypočítávána matematicky, vztahem popsáným výše v textu. Pátým a posledním parametrem používaným pro zhodnocení popisované metody je úhel  $\varphi$ .<sup>12,13</sup>

## 2 PROCES ZAOBLENÍ OSTŘÍ U VBD

### 2.1 Technologie výroby a úprava zaoblení ostří VBD

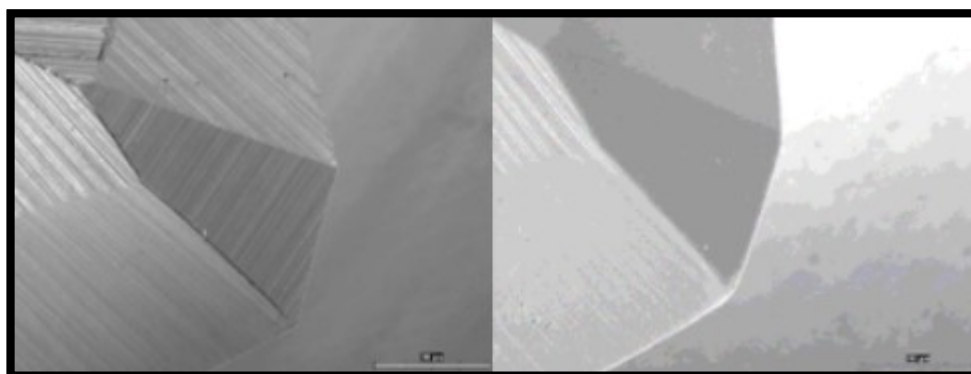
Z důvodu aplikací nových řezných strategií ke zvýšení produktivity a kvality obrobků v technologii obrábění je vyžadován vývoj přesných řezných nástrojů. V dnešní technologii strojírenství se setkáváme s lokálním tlakem  $p$  mezi řezným nástrojem a obrobkem v řádech stovek až desetitisíců  $\text{N/mm}^2$ , s teplotami od 300 do 1200 °C a také se užívá řezné rychlosti  $v_c$  mezi 1,67 až 100  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Vzhledem k těmto extrémním podmínkám je důležité kontrolovat následující aspekty s ohledem na kvalitu a spolehlivost řezného nástroje. Z toho důvodu se pro integrální a systematický vývoj přesného řezného nástroje zohledňují čtyři aspekty, které se navzájem ovlivňují: <sup>13</sup>

- a) **Základní materiál řezného nástroje** – neboli substrát, uvažuje se zde z pohledu ekonomiky. Základní materiál řezného nástroje by měl mít vhodnou finanční návratnost a zároveň splňovat dané podmínky určité aplikace.
- b) **Technologie povlakování** – opět klade ohled na ekonomičnost, přesněji na ekonomickou návratnost při zlepšování vlastností substrátu pomocí depozice.
- c) **Mikrogeometrie ostří** – by měla být technologicky uzpůsobená tak, aby nástroj vhodně vnikal do obráběné vrstvy a tvaroval, případně lámal třísku vhodným způsobem.
- d) **Úprava ostří řezného nástroje** – pro správné zvolení je nutné zvážit její přesnost, opakovatelnost, kontrolovatelnost, kompatibilitu s určenou aplikací a následně použitými povlaky.

V případě substrátu řezného nástroje, současný vývoj nabízí možnost volby různých materiálů, jako jsou například rychlořezné oceli, různé varianty karbidů cementitu, keramiky, polykrystalického kubického nitridu boru, polykrystalického diamantu nebo monokrystalického diamantu. Specifická aplikace zahrnuje mechanické parametry, teplotní parametry a správně zvolenou rovnováhu mezi opotřebením a houževnatostí. Technologie povlakování a obecně technologie povrchových úprav se dočkaly velkého rozvoje a vývoje v posledních dvou dekadách. Především se používá pro nástroje z rychlořezné oceli a z karbidu cementitu. Na řezné nástroje se nanáší povlak zejména pro zvýšení životnosti nástroje, pro zlepšení odolnosti proti opotřebením a k dosažení větších maximálních řezných rychlostí. Základní rozdělení povlaku je podle druhu depozice procesu na CVD a PVD. Dnes se používá mnoho odlišných povlaků jako například TiN, TiC, Ti(C,N), (Ti,Al)N,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Další příklady, které jsou ovšem stále ve vývoji, jsou povlakování

polykrystalickým diamantem a povlakování nitridem boru. Nové, nedávno vyvinuté aplikace nanotechnologických metod pro povrchové inženýrství poskytly nové možnosti v technologii povlakování přesných řezných nástrojů. <sup>13,14,15,19,25</sup>

Vývoj mikrogeometrie řezného nástroje zahrnuje návrh s optimalizací tvaru a rozměrů. Pro příklad mezi ně patří řezné úhly ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ), hřbet nástroje ( $A_\alpha$ ), čelo nástroje ( $A_\gamma$ ), snížený hřbet a čelo, zaoblená hrana, fazetka, funkční plocha nástroje, lamače třísek. Jsou především navrhovány tak, aby splnily kladené požadavky na daný řezný proces, dále pro podporu zvládnutí mechanických a teplotních zátěží vznikajících při řezném procesu, pro usnadnění toku a odvodu třísky, popřípadě pro zajištění vyhovujícího chlazení a mazání během řezného procesu nebo pro zajištění spolehlivého provozu. Úprava břitu zahrnuje tvorbu geometrie ostří nástroje a modifikaci mikrotopografie. Tyto úpravy mění zejména zaoblení, jak lze vidět na obrázku číslo 5, společně s drsností povrchu a texturou povrchu řezného nástroje v blízkosti okraje pro dosažení eliminace defektů na ostří z důvodu zvýšení výkonosti. Dále úprava břitu mění spolehlivost řezného nástroje a zlepšuje jakost obrobenej plochy. Také se úpravou zaoblení břitu zvýší životnost nástroje až na dvojnásobek oproti břitu s neupraveným ostřím. Úprava mikrogeometrie ostří ovlivňuje další parametry, například zvyšuje pevnost ostří a zajišťuje lepší přilnavost povrchu pro povlakování. Dále eliminuje otřepy po broušení, snižuje pravděpodobnost vyštipování břitu, zvyšuje životnost nástroje, vytváří daný profil a rozměr ostří a zvyšuje kvalitu povrchu obrobků. Vzhledem k návrhu mikrogeometrie ostří, výzkumy a používání v praxi ukázaly, že geometrie břitu má také značný vliv na výkonnost a spolehlivost přesných řezných nástrojů. Tento aspekt je obzvláště důležitý při použití řezných nástrojů určených k hromadné výrobě. Nároky použití technologie úpravy břitu vyžadují na jednu stranu dobrou přilnavost povrchu, ale na druhou stranu vyžadují vhodné vyztužení ostří nástroje tak, aby zabránilo nepředvídatelnému štěpení ostří. <sup>13,14,15,19,25</sup>

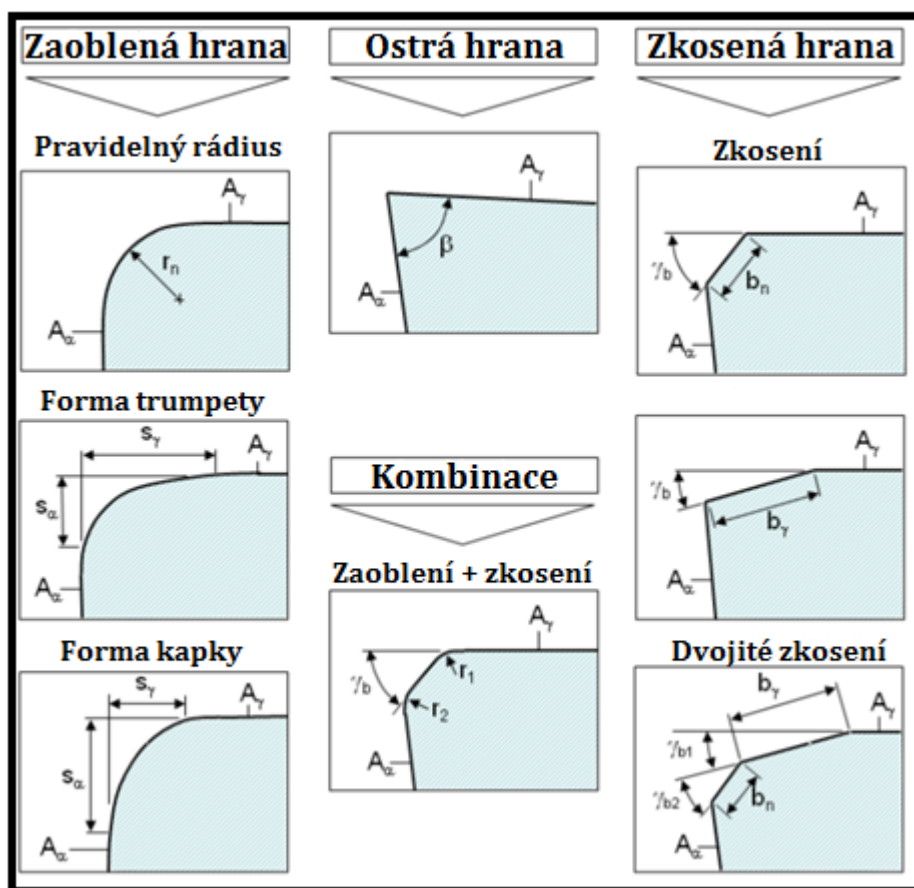


Obrázek 5 – Zaoblení břitu před a po úpravě <sup>2</sup>

Pro celkové zhotovení zaobleného břitu nástroje je zapotřebí několika na sebe navazujících kroků již při výrobě nástroje. Na obrázku výše lze pozorovat rozdíl zaoblení břitu nástroje, kde jde zřetelně vidět změna zaoblení před technologií úpravy ostří řezného nástroje a po ní. Je nutno brát v úvaze změnu poloměru zaoblení ostří při nanesení povlakované vrstvy, a obzvláště u větších tloušťek. Cílem těchto kroků je vytvořit požadovaný geometrický tvar břitu nástroje a povrch s jeho okolím o požadované kvalitě. Počáteční fáze tvorby zaoblení ostří začíná s technologií broušení, kdy se vybrousí požadovaný geometrický tvar břitu nástroje. Zde je výsledné zaoblení ovlivněné tím, jak dobře lze materiál vybrousit k „dokonalé ostrosti“, tedy jak moc defektů se nachází na břitu nástroje. Obecně lze říct, že defekty na hranách nástroje jsou přítomné v téměř všech nástrojích, které se nacházejí ve stavu před úpravou ostří řezného nástroje. Tyto defekty vznikají nejen při broušení, ale také při dalších technologických procesech, jako je například lisování nebo elektrojiskrové obrábění.<sup>2,13,17</sup>

Ačkoliv zmíněné vady, nacházející se na ostří nástroje, dosahují mikroskopických rozměrů, mohou způsobit nepravidelnost povrchu ostří, ztrátu výkonnosti nástroje nebo dokonce způsobit selhání nástroje. Typické vady ostří při ostré hraně jsou mikrolomy, otřepy, špatná povrchová drsnost a nerovnoměrnost. Ony zmíněné vady musí být eliminovány, aby se dosáhlo optimálního výkonu řezného nástroje. Pro eliminaci vad, jedním ze základních zásad je vhodný výběr a aplikace technologie úpravy ostří. Na základě výzkumu se potvrdilo, že úprava ostří a jeho charakteristika spojená s geometrií a mikrotopografií hraje zásadní roli na vývoj přesných řezných nástrojů. V posledních letech zájem o porozumění efektů přípravy ostří řezného nástroje vzrůstá kvůli odlišným, nově vyvíjejícím se metodám obrábění.<sup>2,13,17</sup>

Pro specifikování geometrického tvaru ostří řezného nástroje, návrháři spolu s výrobcem navrhují a vyrábí různé varianty geometrie řezného nástroje. Obrázek číslo 6 představuje grafické znázornění hlavních typů úpravy ostří řezného nástroje, které jsou komerčně nejpoužívanější u přesných řezných nástrojů a rovněž také návrhy kombinací hran zaoblených a hran zkosených používaných u přesných řezných nástrojů. V zásadě máme 3 typy, a to jsou hrana ostrá, hrana zaoblená a hrana zkosená. Případně lze použít i kombinace hrany zaoblené a sražené.<sup>13</sup>



Obrázek 6 – Základní druhy geometrie u technologie úpravy ostří rezného nástroje<sup>13</sup>

Ostrá hrana je teoreticky definována dvěma průsečíky čela nástroje  $A_\gamma$  a hřbetu nástroje  $A_\alpha$ . Pokud se hovoří o hraně zaoblené, tak určení geometrie záleží na křivce profilu, která spojuje  $A_\alpha$  a  $A_\gamma$ . Jestliže je zakřivený profil zaoblené hrany relativně rovnoměrný bez větších odchylek podél profilu, geometrii profilu ostří popisuje jediný poloměr  $r_n$ . V případě, že má zakřivený profil větší odchylky oproti teoretickému profilu zakřivení, tak geometrie profilu rozlišuje 2 formy geometrie, a to formu vodopádu nebo formu trumpety. U formy vodopádu, zakřivení je větší na konci profilu, který je spojený se hřbetem nástroje a zakřivení je menší na konci profilu spojeném s čelem nástroje. V porovnání s formou trumpety je tomu naopak. Zakřivený profil spojený s čelem nástroje je větší a profil spojený s hřbetem nástroje je menší. Délky zaoblení  $S_\alpha$  a  $S_\gamma$  vymezují společné body zaoblení s čelem a hřbetem nástroje. Ohledně hrany zkosené, geometrie je definována rovinnou plochou (zkosením nebo oblastí), která prochází čelem nástroje  $A_\gamma$  a hřbetem nástroje  $A_\alpha$ . Toto zkosení je stanoveno délkou zkosení  $b_n$  nebo délkou oblasti  $b_\gamma$  a úhlem zkosení  $\gamma_b$ . Zaoblená hrana se běžně používá pro dokončovací operace, jemné dokončovací operace, přesné obrábění nebo také pro mikroobábění u materiálů, jako jsou slinuté karbidy, PCD, HSS a další. Naproti tomu se zkosená hrana na rezném nástroji často používá pro hrubovací operace nebo pro přerušované obrábění, u materiálů CBN nebo PCBN.<sup>13</sup>

### 2.1.1 Vliv technologie úpravy ostří řezného nástroje na řezný proces

Jedním z hlavních důvodů poškození ostří je odlišné chování řezného nástroje při opotřebení. Je snahou všem defektům zabránit před depozicí povlaku nástroje pomocí různých technologií úpravy břitu. Pomocí technologií úprav břitu se nejen odstraní vzniklé defekty, ale také se zaoblí ostří řezného nástroje a drsnost plochy v okolí ostří se změní. Všechny tyto změny ovlivní parametry řezného nástroje, například se změní jeho řezivost, tepelné a silové namáhání, kvalita obrobeného povrchu s jeho přesností a tvorba třísky. Každá jednotlivá technologie úpravy povrchu břitu jinak ovlivní funkční vlastnosti řezného nástroje. Byly vynalezeny různé metody pro úpravu břitu, které používají odlišné zdroje energie pro odstranění požadovaného materiálu z břitu řezného nástroje. Lze je dělit podle použitého zdroje energie na metody mechanické a tepelné.<sup>6,31</sup>

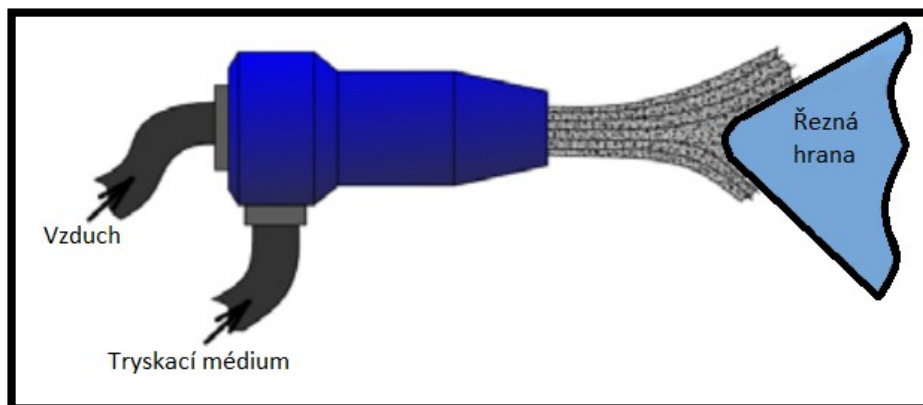
Mezi mechanické metody pro úpravu břitu řezného nástroje se nejčastěji řadí pískování, kartáčování, lapování, omílání, leštění brusnými kotouči, protiskluzové broušení, mikrobroušení a ultrazvukové obrábění. Další skupinou metod pro úpravu břitu řezného nástroje jsou metody tepelné. Řadí se mezi ně elektroerozivní obrábění, úprava laserovým paprskem, úprava plazmovým paprskem, magnetické leštění nebo proudové broušení.<sup>6,31</sup>

Funkce většiny metod mechanických je založená na účinku abrazivních částic. Tento účinek je zprostředkován médiem jako jsou například vzduch, pasta, pojivo, vlákno nebo magnet. Dle doby a rychlosti pohybu abraziva, případně obrobku se vytvoří požadované zaoblení břitu.<sup>6</sup>

Pro popis byly vybrány následující technologie pro úpravu ostří řezného nástroje a povrchu:

- **Pískování neboli tryskání** – je stále se rozšiřující technika založená na principu vrhání různých druhů abrazivních částic, například oxid hlinitý při mokřém pískování, na povrch ostří z krátké vzdálenosti, zhruba od 100 do 200 milimetrů. Dělí se na suché a mokré pískování, pískování kabinové, mobilní, obslužné a bezobslužné. Používá se jako finální úprava i předúprava povrchu řezné hrany. Parametry této technologie jsou například vzdálenost od ústí trysky po špičku břitu, použité tryskací médium, počet cyklů tryskání, pískovací tlak nebo doba cyklu jednoho tryskání. Technologie pískování povrch očistí, vyhladí, sjednotí a nedochází při ní k tepelnému ovlivnění. Příčinou vzniku trhlin v nástroji bývá tahové napětí působící v povrchové vrstvě břitu. Kinetická energie dopadajících abrazivních částic je vnášena do povrchových vrstev ostří řezného nástroje. Vnesená

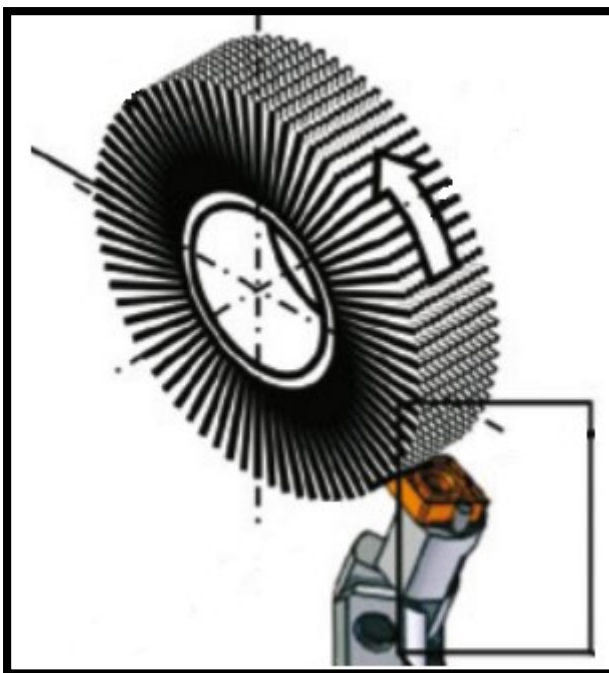
kinetická energie způsobí v povrchových vrstvách vznik napětí tlakových, které zmírňují účinky tahových napětí, a tedy zabraňují vzniku trhlin na nástroji. <sup>6</sup>



Obrázek 7 – Schématické znázornění technologie pískování <sup>32</sup>

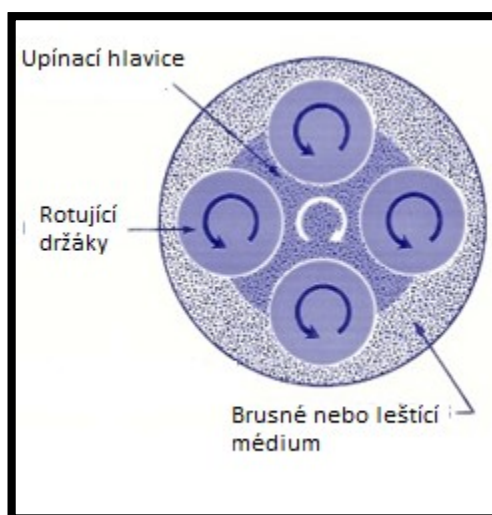
- **Kartáčování** – je dnes poměrně rozšířená technologie s reprodukovatelností v relativně krátkém čase a používá se pro úpravu mikrogeometrie nástroje pomocí rotace plastových kartáčů s daným brusivem zabudovaným v každém jednotlivém „vlasu“ kartáče. Parametry určující výsledný účinek technologie pro úpravu ostří břitu nástroje jsou přítlak kartáčů, otáčky kartáčů, drsnost a profil vláken kartáče, velikost zrna brusiva ve vláknech kartáče, procesní médium a procesní doba kartáčování. Jako brusivo se užívá obvykle diamantová pasta. Drsnost povrchu ovlivňuje tvrdost vlasů kartáče a velikost zrn brusiva. Čím větší jsou jednotlivá zrna brusné pasty, tím větší drsnost bude výsledný povrch mít. Hlavní nevýhodou této technologie je nalepování plastových vláken na břit nástroje, protože plast je pomocí dostupných způsobů čištění povrchu obtížné odstranit. Tyto nalepená vlákna by mohly způsobit odlepování povlakované vrstvy nebo zhoršit její přilnavost v případě špatně očištěného povrchu. <sup>7</sup>





Obrázek 8 – Schématické znázornění technologie kartáčování<sup>33</sup>

- **Omílání** – se používá pro korekturu a opracování povrchu dílů. Tato technologie je založena na podobném principu jako broušení, tedy pomocí relativního pohybu mezi médiem a upnutými nástroji. Podle druhu vzniku relativního pohybu mezi médiem a nástrojem se metody dělí na omílání odstředivé, vibrační, proudové a vlečné. Díky omílání lze dosáhnout například zaoblení hran, zpevnění povrchu, odstranění otřepů, eliminování rzí a okují, dále vyhlazení, vyleštění či vyčištění povrchu. Například drsnost povrchu ovlivňuje hlavně druh omílaného materiálu spolu s tvarem omílané součásti. Dále také drsnost závisí na čase omílání. Při dnešní technologii omílání se dosahuje drsnosti povrchu od 0,1 mikrometru do 0,4 mikrometru. Zpracování povrchu součástí funguje na principu tření a narážení omílacích prostředků o povrch obrobku společně s omílacím prostředkem. Tyto prostředky se rozdělují na přírodní a umělé. Přírodní omílací prostředky disponují nízkou životností a pro uvedení příkladu se používá drcená žula, malé kousky kůže, případně ořechové skořepiny. K umělým omílacím prostředkům se zahrnuje například karbid křemíku, oxid hlinitý nebo lze použít i kalené ocelové kuličky. Na obrázku níže je znázorněný příklad jednoho z typů omílání, a to omílání vlečné.<sup>9,10,30</sup>

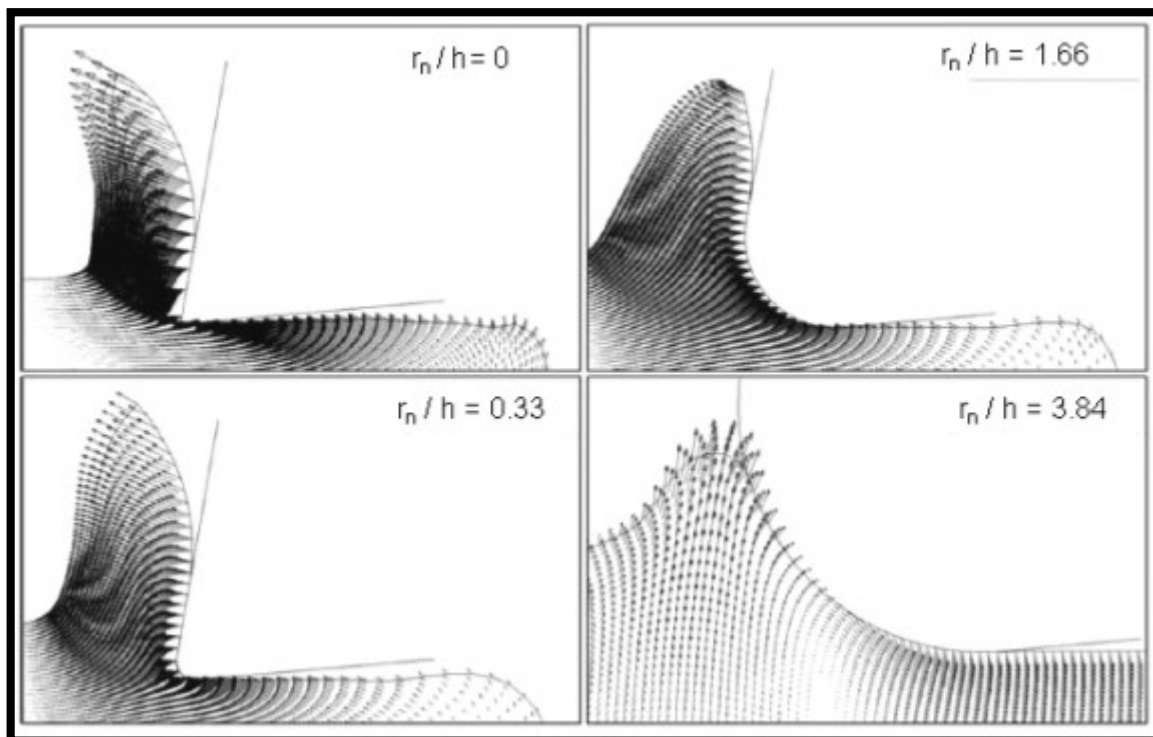


Obrázek 9 – Schématické znázornění technologie vlečného omílání <sup>34</sup>

- **Lapování** – je jedním z finálních brusných procesů. Tato operace vytváří výsledný povrch o daných rozměrech s vysokou přesností a také produkuje velmi těsná spojení mezi spojovanými plochami. Dále napravuje drobné nedokonalosti tvaru a zlepšuje povrchovou úpravu. Používá se tedy k tvorbě povrchu, který je velmi plochý a hladký. Dále je lapování používané jako dokončovací operace, což je například dokončování otvoru zástrčky. Při dokončovací operaci požadovaná tolerance nabývá hodnot od 0,508  $\mu\text{m}$  po 12,7  $\mu\text{m}$ . Princip spočívá ve vzájemném tření dvou povrchů a abrazivního média mezi nimi, kde tření vykonává lidská síla nebo stroj. Většina procesů lapování je vykonávána pomocí nástrojových talířů (desek) nebo kol a jemnozrnných volných abrazivních částic přidávaných ve formě viskózních či kapalných prostředků jako jsou například rozpustné oleje, minerální oleje a tuky. Na rozdíl od broušení a honování se lapování odlišuje tím, že používá volné abrazivum dodávané médiem. <sup>2,8</sup>
- **Broušení** – je jedna z konečných úprav po vylisování a slinování VBD. Pro nebroušené polotovary se jako první používá broušení „na kulato“, a to z důvodu zajištění dostatečné tolerance polotovaru. Při broušení ostří se například používá diamantový kotouč o určitém tvaru, druhu použitého pojiva a velikosti diamantového zrna. Při tomto procesu vznikají různé typy defektů, jeden z nich je ostrá hrana, která působí jako koncentrátor napětí a podporuje vznik rychlého opotřebení. Pro odstranění ostré hrany a jiných chyb se po technologii broušení používají různé dokončovací operace, jako jsou například čištění, leštění, kartáčování a další. <sup>26</sup>

## 2.2 Vliv zaoblení ostří na řezný proces

Řezné nástroje běžně používané při procesu obrábění nikdy nejsou ideálního tvaru a vždy mají určitou tupost. Ta může být často ideálně aproximována jako kruhový poloměr mezi čelem a hřbetem řezného nástroje. Ostří řezného nástroje zásadně ovlivňuje tvorbu třísky, a z toho vyplývá, že geometrie hrany spolu s jejím zaoblením má významnou roli při ovlivňování deformačního procesu třísky. Jak ostří ovlivňuje tvorbu třísky je graficky znázorněno na obrázku číslo 8.<sup>2,27,29</sup>



Obrázek 10 – Nárůst třísky v určitých poměrech  $r_n/h$ <sup>29</sup>

Obecně můžeme říct, že pro soustavu S-N-O je podstatné docílit odebrání třísky s co nejmenšími řeznými silami. Přesné řezné nástroje s ostrou hranou, kde je rádius zaoblení menší nebo roven  $5\ \mu\text{m}$ , požadují menší řezné síly pro odebrání materiálů než řezný nástroj s větším zaoblením jak  $5\ \mu\text{m}$ . Proto napětí vznikající v nástroji by měly klesat se snižujícím se poloměrem ostří. Avšak tomu tak není v případě ostrého ostří, protože v ostré hraně nastávají větší koncentrace napětí zejména v blízké oblasti ostří oproti zaoblené hraně, kde jsou tyto koncentrace menší. Tyto napěťové koncentrace jsou příčinou štěpení a rozlomeného ostří. Proto se používá úprava ostří řezného nástroje, jak pro zmírnění této napěťové koncentrace, tak pro posílení břitu nástroje. Ostří se optimalizuje pomocí použití vyšších napěťových koncentrací a nižších řezných sil u ostrých hran, což způsobí indikaci malých napěťových namáhání. U zaoblených hran se používá vhodného poměru mezi menšími koncentracemi napětí a vyšších řezných sil, což způsobí větší napěťové

namáhání. Pro zabránění vzniku chvění při procesu obrábění je také vhodné zvolit správný poloměr zaoblení ostří. Například příliš velké zaoblení způsobí vznik velkého chvění, což se projeví jak na řezném nástroji, tak i na obrobku. Při velkém chvění, řezný nástroj bude vystavován vibracím, které mohou porušit nástroj nebo zkrátit jeho trvanlivost. U obrábění s příliš velkým zaoblením, kdy vzniká chvění, bude mít obrobek větší drsnost povrchu, a tedy i horší výslednou jakost obrobeného povrchu. <sup>2,13,18,29</sup>

Z výzkumů se zjistilo, že tvar řezného nástroje má větší vliv na posuvové síly než na síly řezné. Dále z experimentů vyplývá, že optimálně určená technologie úpravy břitu a zaoblení ostří má podstatné přičinění na průběh řezného procesu. Při vhodné volbě je možné docílit snížení silového namáhání až o jednu třetinu. Jak dále vyšlo z výzkumů, pro co neoptimálnější řezný proces je také důležité správně zvolit kompromis mezi hodnotou drsnosti povrchu a velikostí poloměru zaoblení ostří řezného nástroje. Tyto dva parametry v závislosti na sobě ovlivní trvanlivost nástroje a průběh opotřebení. Dle výsledků vyzkoumaných při vyhodnocování zkoušky trvanlivosti vyměnitelných břitových destiček APKX1505PDER-M s cílem zjistit vliv velikosti zaoblení ostří na trvanlivost řezného nástroje vyšlo, že optimální volba zaoblení ostří nástroje pozitivně ovlivní trvanlivost daného nástroje. Tato destička je z materiálu 2230, která byla navržena především pro obrábění materiálu skupiny P. Z tohoto výzkumu také vzešlo, že pro volbu velikosti zaoblení ostří mají zkoušky trvanlivosti větší váhu než zkoušky jiné. Dále byl vyzkoumán nárůst trvanlivosti od 11 % do 66 % u zmíněných destiček se zaoblením 55  $\mu\text{m}$ , při obrábění uhlíkové oceli 12 051.1 v porovnání s jinými použitými velikostmi zaoblení ostří VBD, kde byl nárůst trvanlivosti mnohem menší. <sup>2,13,18,21</sup>

## 2.3 Výroba zaoblení ostří VBD ze slinutého karbidu

### 2.3.1 VBD ze slinutého karbidu

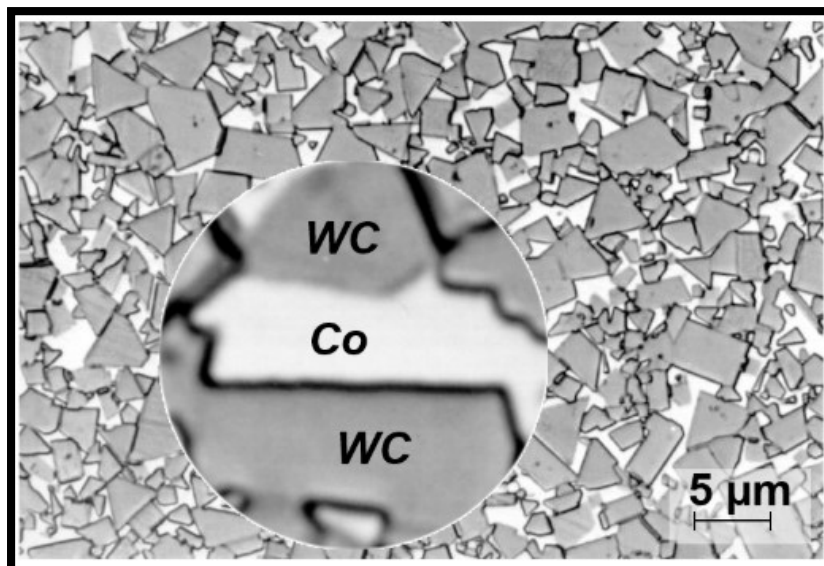
Nástroje pro obrábění ze slinutých karbidů vynikají vysokou tvrdostí a používají se nejen jako materiál řezného nástroje, ale také se používají v ostatních průmyslových odvětvích. Řadí se mezi ně karbid wolframu WC, karbid titanu TiC, karbid tantalu TaC a karbid niobu NbC. Lze je vyrábět práškovou metalurgií, přesněji mechanickou, chemickou nebo fyzikálně chemickou redukcí, kdy se spéká tvrdá karbidová, případně karbonitridová zrna dohromady s kobaltem či niklem o hmotnostním obsahu až 20 % a s přísadami jiných kovů v menším obsahu, jako jsou molybden nebo chrom. Čím více se zvyšuje podíl hmotnosti kovového pojiva, tím více se zvyšuje houževnatost a klesá tvrdost řezného nástroje. SK jsou velmi tvrdé, ale lze je tvarově a rozměrově upravovat. SK se produkují

v podobě destiček normalizovaných profilů a tvarů. Ty se nejčastěji mechanicky upínají, ale i pájí na řeznou část nástroje. Norma ISO 513 (22 0801) z roku 1991 zahrnuje rozdělení do následujících skupin: <sup>2,22,24</sup>

- HW – nepovlakované SK na bázi WC;
- HT – nepovlakované SK (cermety) na bázi TiC nebo TiN;
- HC – povlakované SK (HW, HT).

Nepovlakované slinuté karbidy člení norma ČSN ISO 516 (22 0801) na skupiny P, M, K, N, S a H dle složení a oblasti využití. Karbidy na bázi WC-Co, používané pro řezání neželezných materiálů, se označují jako skupina K. Tyto slinuté karbidy jsou určeny k obrábění železných kovů s krátkou třískou, jako jsou šedé litiny, neželezné kovy, měď, bronz, hliník a jiné nekovové materiály. Skupina K se označuje červenou barvou. Kompozity na bázi WC-TiC, případně TaC-Co jsou známé jako skupina P. Jsou navrženy pro obrábění železných kovů s dlouhou třískou, což mohou být například oceli, oceli na odlitky nebo temperované litiny a označují se barvou modrou. Dále norma rozlišuje skupinu M, která je kompromisem mezi 2 zmíněnými skupinami. Používá se pro obrábění železných kovů se vznikem dlouhé i krátké třísky a pro obrábění neželezných kovů. To jsou manganové oceli, austenitické oceli a oceli na odlitky. Jsou označovány barvou žlutou. Popsat materiál lze nejen z pohledu druhu materiálu, ale také dle jakosti materiálu nebo z poměru hmotnostního obsahu jednotlivých prvků. <sup>2,22,24</sup>

Od řezných nástrojů ze SK je požadováno vykazování co největší otěruvzdornosti a zároveň velké houževnatosti. V ideálním případě by to byla destička s tvrdým, otěruvzdorným povrchem a velmi houževnatým jádrem. Těmto nárokům vyhovují VBD ze SK s vylepšenými vlastnostmi díky technologii povlakování, kde se aplikují na řezný nástroj povlaky na bázi TiC, TiN nebo Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Povlaky jsou jedno nebo více vrstev s jedním nebo více komponenty. Jednovrstvé povlaky jsou většinou tvořené TiC, TiCN, popřípadě TiN. Tloušťka těchto povlaků může být až 13 μm. Vícevrstvé povlaky obsahují dvě a více vrstev. Na základní SK se z pravidla nanáší povlak s dobrou adhezí, které ale mají nižší odolnost proti opotřebení. Jako poslední jsou nanášeny vrstvy s dobrou přilnavostí k předchozí vrstvě a vysokou odolností opotřebení. <sup>24</sup>



Obrázek 11 – Mikrostruktura WC-Co karbidu<sup>22</sup>

Karbid wolframu, nazývaný též tvrdokov, je kompozit obsahující jeden nebo více tvrdých materiálů s pojivým kovem obklopující a spojující zrna tvrdého materiálu, jak lze vidět i na obrázku číslo 11. Podobně jako u ostatních tvrdých kovů, fáze WC poskytuje vysokou tvrdost i za vyšších teplot a zvyšuje odolnost proti opotřebení. Pojivo zajišťuje tuhost materiálu. S extrémně vysokým Youngovým modulem se karbid během plastické deformace stěží tvaruje. Všestrannost spočívá v možnosti měnit tyto vlastnosti ve velkém měřítku. Z toho plyne možnost velké škály oblastí použití, což může být například použití s vysokým nárazovým nebo ohybovým zatížením nebo použití s vysokým zatížením při opotřebení. Kromě jednoduchých karbidů WC-Co existují také směsi, které kromě WC obsahují karbidy titanu, tantalu nebo niobu. Spousty druhů karbidů používané pro širokou škálu se liší ve třech základních bodech. Průměrnou velikostí zrn ( $\alpha$  fáze), obsahem pojiva ( $\beta$  fáze) a obsahem dalších přídavných slitinových sloučenin ( $\gamma$  fáze). Podle druhu karbidu jsou zrna WC v průměru menší než  $0,2 \mu\text{m}$  a mohou dosahovat velikosti až několika mikrometrů.<sup>2,22,23</sup>

Byl proveden výzkum srovnávání jednotlivých průměrných velikostí zrn, kdy se zjišťoval vztah mezi příčným praskáním a tvrdostí od tří výrobců. Tito výrobci obvykle vyrábějí nástrojové materiály o průměrné velikosti zrn 1 až 2 milimetry. Při takovéto velikosti zrn je stejný vztah mezi příčným praskáním a tvrdostí, nezávisle na tom, o jaký typ skupiny se jedná. Z výzkumu vzešla informace u materiálu s menší velikostí zrn. Při použití menší průměrné velikosti zrn karbidu materiál vykazuje větší příčné praskání s danou tvrdostí než u materiálů se zrnými více hrubými. Mechanické a fyzikální vlastnosti řezných materiálů ze slitutých karbidů závisí na hmotnostním obsahu kobaltu

a na hmotnostním obsahu karbidem titanu, případně karbidem tantalu. Dále také záleží na průměrné velikosti zrn materiálu. Pro usnadnění je klasifikace množství TiC-TaC podle toho, jestli je množství v rozmezí 0 až 3 %, 8 až 15 % nebo 19 až 35 %. Dle záznamů uvedených v Brookes (1992) se ukázalo, že velmi malé procento všech řezných nástrojů má množství TiC-TaC mimo zmíněné rozsahy. Dále se z výzkumu zjistilo, že tvrdost spékaných karbidů za pokojové teploty závisí zejména na obsahu kobaltu a velikosti zrn karbidu. Rovněž se ukázalo, že tepelná vodivost, tepelná kapacita, koeficient tepelné roztažnosti, Youngův modul pružnosti a odolnost vůči teplotním šokům jsou nejvíce ovlivněny druhem použitého karbidu.<sup>2,22,23</sup>

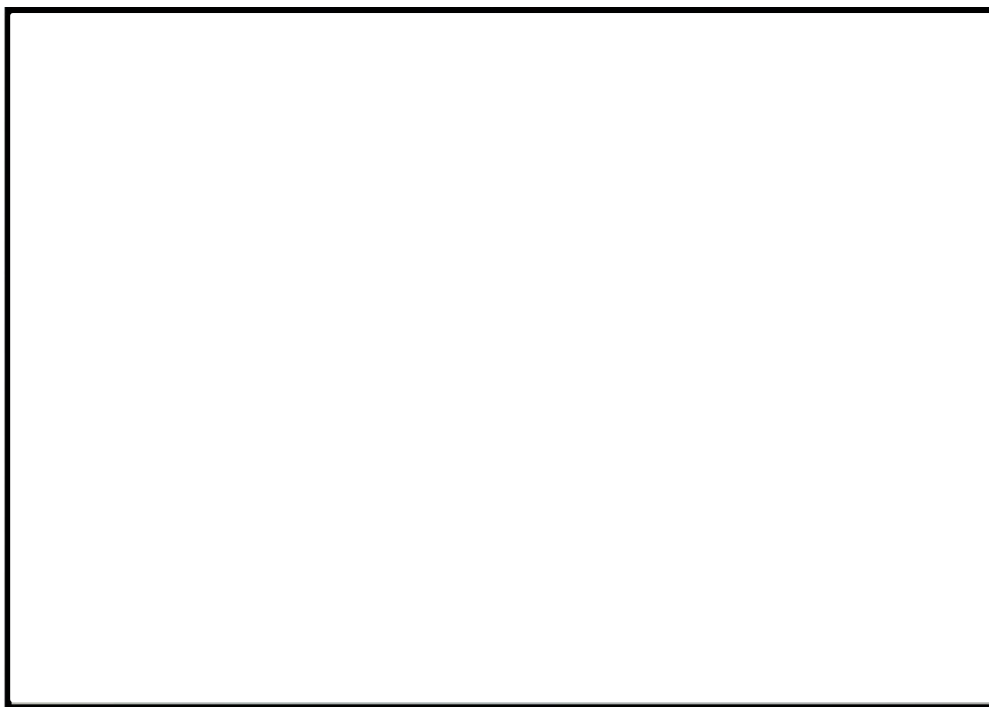
### 2.3.2 Zaoblení ostří u VBD ze slinutého karbidu

Zaoblení ostří u SK se provádí technologií broušení, kartáčováním, lapováním a používá se u ostří hrany zaoblené. Při použití technologie broušení je výsledný povrch u VBD přesný, kvalitní a je snížen přenos vibrací materiálem. Ve chvíli, kdy je ostří u slinutých karbidů zaoblována pomocí technologie broušení se vytváří defekty, tzv. ostré hrany, které vznikají při broušení, kdy se vytrhávají z povrchu materiálu tvrdé karbidy z pojiva. Tyto defekty mohou způsobit odštěpy a ty zase mohou být iniciátorem vzniku lomu. Další problém by mohl nastat při povlakování řezného materiálu, kdy všechny defekty, vyskytující se na břitu nástroje, mohou snížit přilnavost povlaku na řezný materiál. A v horším případě mohou vzniknout mezivrstvy mezi povlakem a řezným nástrojem. Proto se využívá technologií úprav pro eliminaci těchto defektů, ať už se jedná o úpravu povrchu čištěním nebo mechanickým či chemickým způsobem úpravy povrchu břitu nástroje.<sup>2,22,23</sup>

### 3 TECHNICKÉ VYHODNOCENÍ A ZPRACOVÁNÍ DAT

Částí této práce je zhodnocení vlivu zadaných procesů na tvorbu a vznik zaoblení ostří bříty VBD, a jak bylo zmíněno v úvodní části této práce, pro firmu Dormer Pramet. Vynechané informace obsahují údaje firmy Dormer Pramet, které nemohou být zveřejněny. Těmito procesy jsou technologie mokré pískování a kartáčování. Technologické označení v této firmě je pro technologii mokrého pískování Bgraf nebo Rtiger, použití této technologie tedy umožnily 2 různé stroje. Technologie kartáčování je označována zkratkou RSN. Toto zhodnocení obsahuje vyhodnocení vlivu procesu kartáčování na zaoblení ostří bříty VBD a vyhodnocení procesu mokrého pískování na zaoblení ostří VBD.

Tyto vyhodnocení se zaměřují na dva body, a to na velikost poloměru zaoblení ostří vzniklé danou technologií a na odchylky, které při těchto procesech vznikly. Pro zhodnocení těchto vlivů byly použity tři parametry naměřené profilometrem. Prvním je tvarová odchylka zaoblení ostří na hřbetní ploše s technologickým označením jako parametr 171, druhým je tvarová odchylka zaoblení bříty na čelní ploše, která je technologicky označena jako parametr 172. Parametr 172 je definován jako maximální teoretická kružnice, kterou lze proložit konturou profilu zhotoveného zaoblení. Na obrázku číslo 12 lze vidět výsledek změřeného zaoblení a změřené tvarové odchylky zaoblení ostří na hřbetní ploše. Třetí parametr, technologicky označen jako parametr 170, udává reálnou naměřenou hodnotu velikosti zaoblení ostří.



Obrázek 12 – Znázornění změřené velikosti zaoblení s odchylkou na hřbetní ploše



V ideálním případě by zhotovený břit VBD měl mít zaoblený rádius jako část dokonalé kružnice, tedy parametr  $K=1$ . V praxi tomu však tak není, a dalším cílem tedy bylo zjistit, jak moc se naměřené výsledky liší od rádiusu, který má hodnotu parametru  $K=1$ . Přípustné hodnoty tolerance pro parametr velikosti zaoblení je závislý na typu zkoumané destičky a tyto tolerance pro jednotlivé destičky jsou vypsány níže v textu. Pro tvarové odchylky zaoblení ostří na hřbetní a čelní ploše jsou tolerance stejné, určené podle požadované velikosti zaoblení břitu. Při požadované velikosti  $30\ \mu\text{m}$  je maximální povolená tolerance  $5\ \mu\text{m}$ . Pro požadované velikosti zaoblení  $35\ \mu\text{m}$  a více je maximální povolená tolerance zmiňovaných odchylek  $7\ \mu\text{m}$ . Tyto tolerance jsou zvoleny normativů firmy.

Pro vyhodnocení posloužilo v celkovém počtu 760 naměřených vzorků ze všech 24 zakázek, přičemž počet naměřených vzorků na jednu zakázku byl určen velikostí dané zakázky. Všechny použité VBD jsou určené pro frézování. Bylo použito 5 různých druhů VBD, které byly označeny jako typ A, B, C, D a E. Pro vyhodnocení výsledků destičky typu A bylo naměřeno 68 měření ve čtyřech různých zakázkách. Destička typu B byla vyhodnocována z 210 měření získaných z pěti zakázek. Zhodnocení výsledků destičky typu C proběhlo z celkového počtu 121 měření, kde tyto destičky byly měřeny v průběhu 5 zakázek. Destička typu D byla vyhodnocována ze 193 naměřených vzorků, obsažených v 5 zakázkách. Typ destičky E byl zhodnocen ze 168 měření, získaných z 5 zakázek.

Destička typu A je ve firmě Dormer Pramet technologicky označena jako  $\text{DPC-30}$ , která je vyráběná ze substrátu WC-Co se používá pro všeobecné frézování s vysokými posuvy a středními hodnotami řezné rychlosti. Aplikační oblast destičky typu A pokrývá skupinu materiálů P a částečně i skupinu K. Tato destička bylo zaoblována pomocí technologie mokrého pískování, na velikost poloměru  $30\ \mu\text{m}$  s tolerancí  $\pm 7\ \mu\text{m}$ .

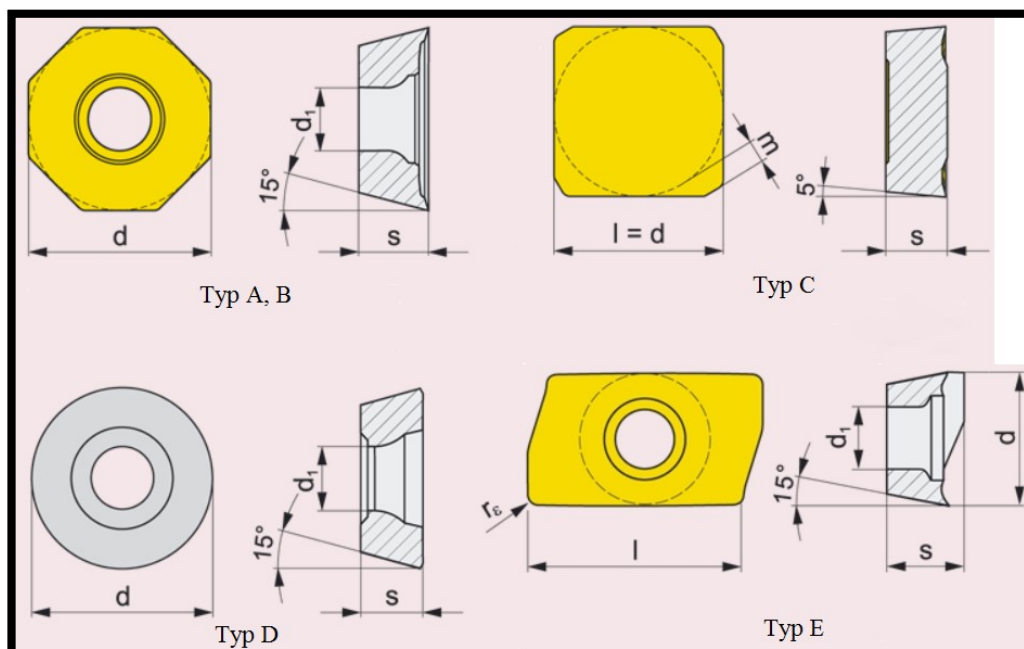
Destička typu B, technologicky označena jako  $\text{DPC-30}$  se také používá pro všeobecné frézování, kotoučové frézy a pro kopírování s velmi vysokým posuvem a malou velikostí řezné rychlosti. Substrát této destičky obsahuje WC-Co s velikostí zrna menší než jeden mikrometr. Aplikační oblast u destičky typu B zahrnuje skupiny materiálů P, M, K, S. Oproti destičce typu A, destička typu B disponuje velmi velkou odolností vůči nepříznivým pracovním podmínkám. Typ destičky B byl zaoblován technologií kartáčování, na poloměr zaoblení o velikosti  $30\ \mu\text{m}$  s tolerancí  $\pm 7\ \mu\text{m}$ .

Destička typu C, technologicky označena jako  $\text{DPC-30}$ , je založena na bázi WC-Co, se používá pro těžké hrubování s velkou hodnotou posuvu a s menší

velikostí řezné rychlosti. Tato destička také velmi dobře odolává nepříznivým pracovním podmínkám. Tento typ destičky se používá pro frézování skupin materiálu P a M. Tento typ destičky byl upravován technologií kartáčování na velikost poloměru zaoblení  $70 \mu\text{m}$  s tolerancí  $\pm 7 \mu\text{m}$ .

Destička typu D, označená jako  $\text{D}$  je tvořena substrátem s vysokým obsahem kubických karbidů a je určena pro obrábění kopírováním se středním až velkým posuvem i řeznou rychlostí. Tato destička se používá pro obrábění skupiny materiálů P, a také podmíněně pro obrábění skupiny materiálů M a K. Zaoblení břitu této destičky bylo provedeno technologií kartáčování na poloměr zaoblení  $30 \mu\text{m}$  s tolerancí  $\pm 7 \mu\text{m}$ .

Destička typu E s technologickým značením  $\text{E}$  se substrátem obsahujícím WC-Co je určena k suchému obrábění se střední řeznou rychlostí pro skupinu materiálů P, K a podmíněně aplikovatelný pro skupinu materiálů M. Tato destička je vyráběna s vysoce pozitivní geometrií se střední obvodovou fazetkou. Tento typ destičky byl zaoblován pomocí technologie mokrého pískování s poloměrem zaoblení  $45 \mu\text{m}$ , dovolená tolerance byla  $\pm 7 \mu\text{m}$ . Na obrázku číslo 13 jsou zobrazeny geometrie všech použitých typů VDB spolu s parametry popisující tyto destičky.



Obrázek 13 – Grafické znázornění použitých typů VDB <sup>38</sup>

### 3.1 Proces kartáčování ostří břitu VBD

Ve společnosti Dormer Pramet je technologie kartáčování jednou z hlavních dokončovacích úprav břitu VBD před povlakováním. Pro vykonávání procesu kartáčování používá tato firma zařízení Sinjet IBX 12 od švédského výrobce, od firmy Osborn International, jehož podoba lze vidět na obrázku číslo 14. Tento stroj je obecně určen pro úpravu břitu VBD a podobných malých součástí.

Základna stroje zahrnuje 12 vřeten obrobku ve skupině po 4 kusech. Díky servo motoru, indexuje otočný stůl 120°. Stůl je zavěšen těžkým kuličkovým ložiskem, které poskytuje tomuto zařízení nejvyšší možnou tuhost. Samotný proces zaoblení provádí dvě kartáčovací stanice se servo motory, na kterých jsou připevněné kartáče. Každá kartáčovací stanice je poháněna elektromotorem o výkonu 4 kW a jsou vedeny přesnou, kuličkovou drážkou. Jednotlivé kartáče mohou být nastaveny do požadované polohy nebo oscilovat během procesu zaoblení. Tento stroj je vybaven automatickým měřením průměru používaných kartáčů a lze vyměňovat oba kartáče zároveň. Programování Sinjetu je snadné díky grafickému menu. Všechny vytvořené programy pro použité součásti se díky ovládání IBX 12 uloží do paměti a lze je kdykoliv znovu načíst.<sup>37</sup>



Obrázek 14 – Stroj používaný pro tvorbu zaoblení břitu Sinjet IBX 12<sup>37</sup>

Parametry utvářející výslednou velikost a druh formy geometrie zaoblení jsou otáčky kartáčovací stanice, míra drsnosti použitých kartáčů, přítlak kartáčů na obrobek, použitá

procesní kapalina a doba, po kterou jsou obrobky zaoblovány. Při podrobnějším prozkoumání počtu otáček, zvyšováním těchto otáček se zvyšuje rychlost odebrání materiálu, ale také se zvětšuje opotřebení použitých kartáčů. Vliv použitého kartáče na výsledné zaoblení je zejména ve výsledné textuře povrchu onoho zaoblení. Kartáče používané pro tento proces jsou

. Tyto kartáče jsou znázorněny na obrázku číslo 15. Velikost přítlaku zase ovlivňuje výslednou formu geometrie břitu VBD. S větším použitým přítlakem vzniká forma geometrie kapky, tedy materiál bude více smeten ze hřbetu břitu rezného nástroje. Naopak při použití malého přítlaku kartáčů na břity VBD vzniká forma geometrie vodopád, tj. materiál bude smeten zejména z čela břitu rezného nástroje. Procesní kapalina by měla být vyvážena na správný poměr vody a oleje.



*Obrázek 15 – Kartáče a použité při zaoblování VBD*

Posledním výše zmíněným parametrem u technologie kartáčování ovlivňující výslednou formu a velikost poloměru zaoblení je procesní doba. Pro tento parametr platí, že čím větší je žádané zaoblení, tím delší bude doba kartáčování. Obvyklé výrobní časy při zaoblování destiček jsou tedy určené dle velikosti zaoblení a počtem kusů zaoblovaných destiček.

Pro uvedení obecného příkladu z pohledu procesní doby jednoho cyklu, při zpracovávání palety obsahující 100 destiček na poloměr zaoblení 30  $\mu\text{m}$  je procesní čas 15 minut, pro poloměr zaoblení 45  $\mu\text{m}$  je procesní čas 20 minut a tvorba zaoblení o velikosti 70  $\mu\text{m}$  trvá 25 minut. Tímto procesem byly ve firmě Dormer Pramet zpracovávány destičky typu B, C a D. Hodnoty parametrů použitých pro jednotlivé typy destiček jsou uvedeny v tabulkách níže.

Tabulka 1 – Použité parametry pro zaoblení destičky typu B

<b>Otáčky vřetene [ot/min]</b>	
<b>Přítlak [mm]</b>	
<b>Poměr procesní kapaliny [%]</b>	
<b>Procesní doba jednoho cyklu na 100 kusů [min]</b>	

Tabulka 2 – Použité parametry pro zaoblení destičky typu C

<b>Otáčky vřetene [ot/min]</b>	
<b>Přítlak [mm]</b>	
<b>Poměr procesní kapaliny [%]</b>	
<b>Procesní doba jednoho cyklu na 100 kusů [min]</b>	

Tabulka 3 – Použité parametry pro zaoblení destičky typu D

<b>Otáčky vřetene [ot/min]</b>	
<b>Přítlak [mm]</b>	
<b>Poměr procesní kapaliny [%]</b>	
<b>Procesní doba jednoho cyklu na 100 kusů [min]</b>	

### 3.2 Proces mokrého pískování ostří břitu VBD

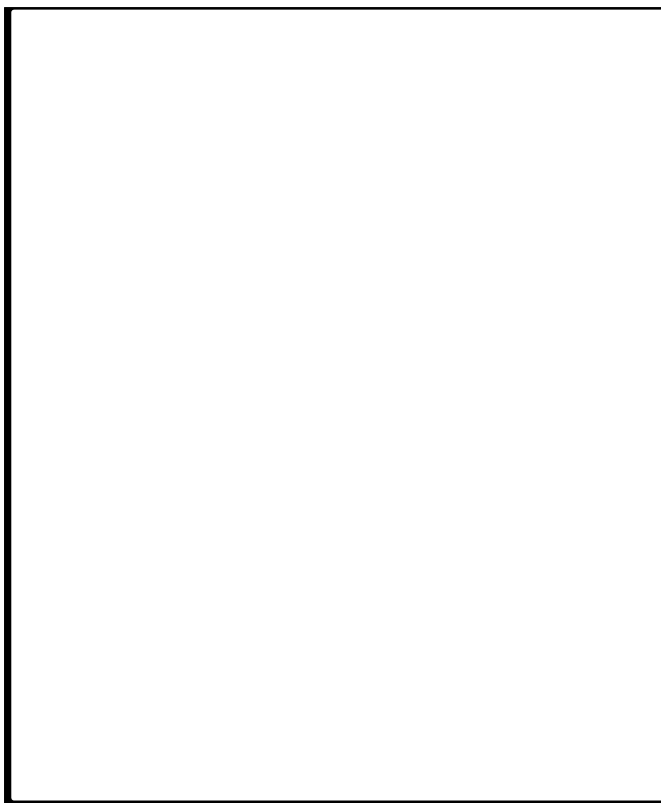
Druhou hlavní technologií používanou ve firmě Dormer Pramet pro zaoblení ostří břitu VBD je technologie mokrého pískování. Zaoblení ostří břitu VBD se v této firmě provádí na strojích Bgraf a Vapormatt Tiger. Zařízení Tiger je systém lineárního mokrého pískování spojený se systémem oplachování a sušení, který je vhodný pro výrobu v nejnáročnějším výrobním prostředí s vysokou produkcí. Má vysokou kapacitu a poskytuje maximální úroveň řízení jednotlivých procesů a jejich konzistencí. Tento stroj úspěšně kombinuje několik kroků procesu mokrého pískování do jedné automatizované jednotky. Tiger automaticky načte paletu připravených kusů, otryská je, opláchne a osuší. Nastavení jednotlivých kroků lze ukládat v podobě mnoha receptů a dále pak používat dle potřeby. Zpracovávané kusy jsou umístovány do průmyslových palet standartního stylu a ty jsou během celého procesu přepravovány dopravními pásy. V jednotce automatického uložení lze uložit až 20 palet, díky čemuž je umožněn bezobslužný provoz. Na obrázku pod textem lze vidět podobu stroje Vapormatt Tiger. <sup>36</sup>



Obrázek 16 – Zobrazení stroje pro proces mokrého pískování<sup>36</sup>

Parametry, které určují výsledný účinek procesu mokrého pískování jsou pískovací tlak, vzdálenost od ústí trysky po špičku bříty, poměr pískovacího média, procesní doba jednoho cyklu a celkový počet cyklů. Pískovací tlak kromě jiného nejvíce ovlivňuje velikost síly nárazu tryskaného média na povrch bříty VBD, tj. množství vneseného tlakového napětí do povrchové vrstvy. Vnesením tlakového napětí se do určité míry zabrání vzniku trhlin, které jsou následkem tahových napětí. Dále pak tento tlak ovlivňuje rychlost odběru materiálu z bříty VBD. Vzdálenost od ústí trysky po špičku bříty ovlivňuje nejvíce míru rozptýlu tryskaného média na destičky a také udává rychlost odběru materiálu.

Poměr pískovacího média udává poměr vody a tryskacího písku. Při použití příliš velkého podílu tryskacího písku by mohla nastat situace, kdy by písek ucpal trubici pro proudící médium. V opačném případě, tedy za použití příliš velkého množství vody a malého obsahu tryskacího písku by odběr materiálu byl tak malý, že by tento proces trval dlouho a byl by ekonomicky příliš náročný. Pro uvedení příkladu procesní doby jednoho cyklu, při zpracovávání palety obsahující 100 destiček na velikost poloměru zaoblení 30  $\mu\text{m}$  je procesní čas 20 minut a pro velikost zaoblené 50  $\mu\text{m}$  je procesní čas 50 minut. Tryskací písek, používaný firmou Dormer Pramet je ukázán na obrázku číslo 17. Na obrázku s číslem 18, který se nachází na konci této podkapitoly, je ukázka paletky s naskládanými destičkami připravená k provedení procesu mokrého pískování.



*Obrázek 17 – Tryskací médium používaný pro zaoblování břítu VBD*

Pomocí toho procesu byly ve firmě Dormer Pramet zpracovávány bříty destiček typu A a typu E. Jednotlivé parametry zvlášť pro každý proces jsou uvedeno v tabulkách níže.

*Tabulka 4 – Použité parametry pro zaoblení destičky typu A*

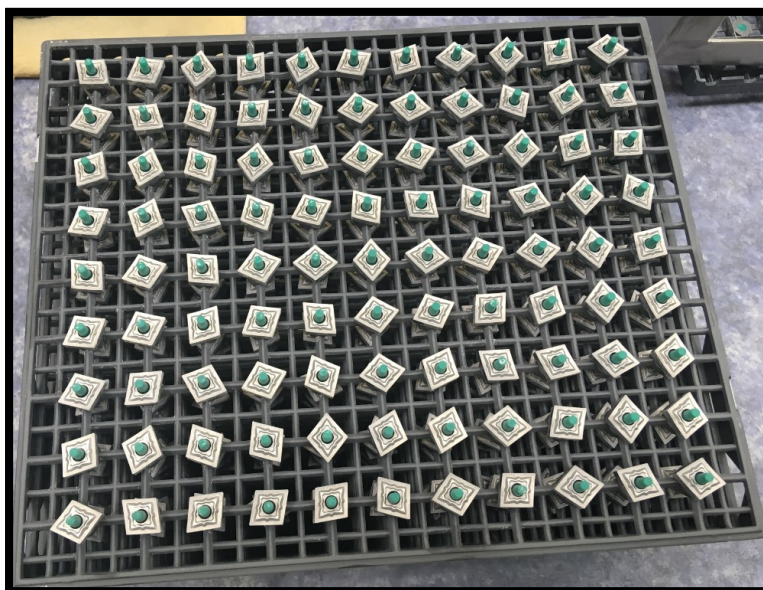
<b>Pískovací tlak [bar]</b>	
<b>Vzdálenost od ústí trysky po špičku břítu [mm]</b>	
<b>Poměr pískovacího média [%]</b>	
<b>Procesní doba jednoho cyklu na 100 kusů [min]</b>	
<b>Počet cyklů [-]</b>	

*Tabulka 5 – Použité parametry pro zaoblení destičky typu E*

<b>Pískovací tlak [bar]</b>	
<b>Vzdálenost od ústí trysky po špičku břítu [mm]</b>	
<b>Poměr pískovacího média [%]</b>	
<b>Procesní doba jednoho cyklu na 100 kusů [min]</b>	
<b>Počet cyklů [-]</b>	



Počet kusů na paletě je dán typem VBD, obvykle počet destiček umístěných na jedné paletě nabývá od 60 do 300 kusů. Například destička typu C se zpracovávalo 60 kusů na paletce a destiček typu D kartáčovalo po 100 kusech.

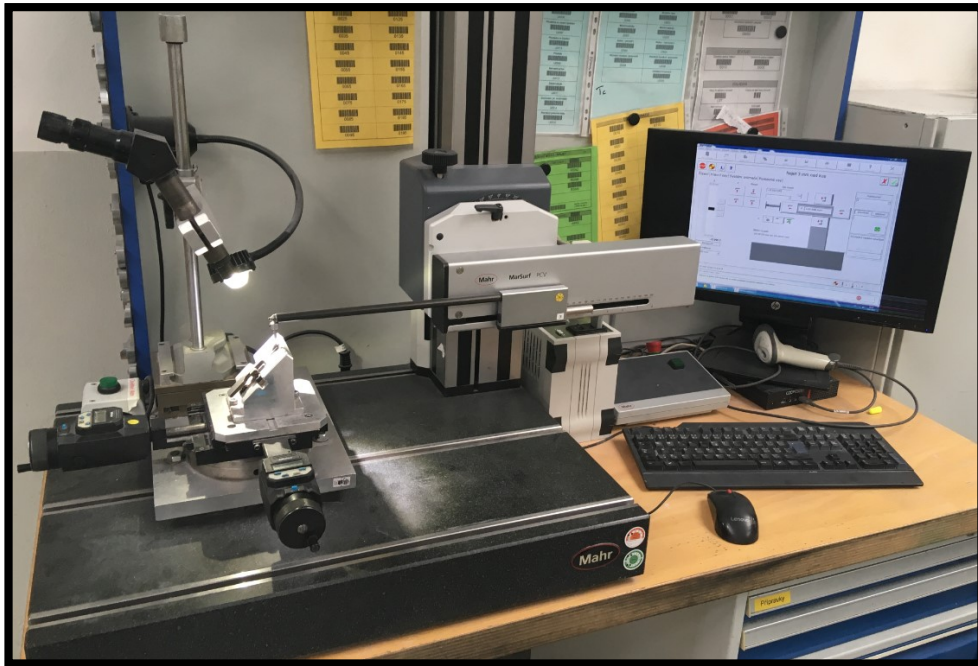


Obrázek 18 – Paletka naskládanych VDB určených k úpravě břitu

### 3.3 Proces měření zaoblení VBD

Výsledky dat zmíněných procesů, které se hodnotily z pohledu velikosti zaoblení břitu a z pohledu odchylek od požadovaného zaoblení, se získávaly ze vzorků z výroby určitých zakázek. Pro získání těchto výsledků bylo použito zařízení pro měření kontury, dotykový profilometr MarSurf XC 20. Jak zařízení vypadá na pracovišti ve výrobě a při měření lze vidět na obrázku číslo 19. Toto zařízení je jedním z nejlepších zařízení v oblasti měření a vyhodnocování kontur. Patentovaný snímací systém poskytuje tomuto zařízení flexibilitu při měření, stejně jako umožnění manuální nastavení síly při snímání. Pomocí spolehlivého měřicího a vyhodnocovacího systému jsou kontrolovány a polohovány posuvová jednotka s měřícím stojanem. Jednou z výhod tohoto zařízení je, že se mohou zobrazovat pokyny k postupu. Také umožňuje vytváření profilových úseků s vyhodnocením různých parametrů ve vybraném úseku. U tohoto zařízení lze použít syntetické vytváření požadovaných profilů z přímek a kruhových oblouků. Další výhodou je porovnání skutečných a požadovaných profilů. Dle označení lze zvolit i různé tolerance v rámci jednoho profilu.<sup>35</sup>

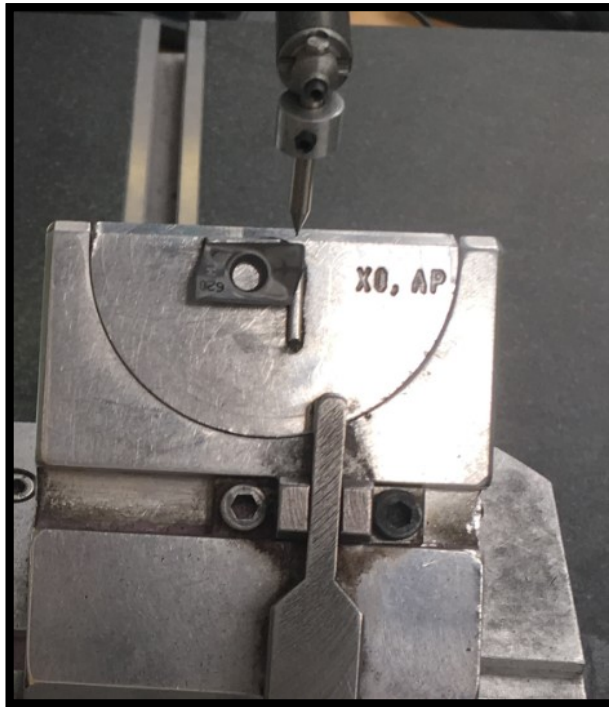




Obrázek 19 – Dotykový profilometr MarSurf XC 20 <sup>35</sup>

Se zaoblením snímacího hrotu 25  $\mu\text{m}$  a s volbou délky snímacího ramena 175 mm nebo 350 mm lze snímat na celkové délce 199,8 mm v ose x. V ose Z je celková délka snímání 50  $\mu\text{m}$ . Rychlost snímání lze volit v rozmezí od 0,1 až 1 mm/s. Síla při měření lze nastavit od 1 až do 120 mN a směr síly je možno také nastavit na hodnoty nahoru nebo dolů. Rychlost polohování v ose x a rychlost zpětného chodu je možné navolit na hodnoty od 0,2 do 8 mm/s, v ose z je rozsah rychlosti od 0,2 do 10 mm/s. Odchylka vedení při měření je menší jak 1  $\mu\text{m}$ . <sup>35</sup>

Ve chvíli, kdy pracovník chce provést měření, položí danou destičku na měřicí základnu měřícího zařízení. Ta je vložena na měřicí základnu do středících drážek a pro lepší upevnění je destička přitahována magnetickou silou k základně. Destička umístěná v základně lze vidět na obrázku číslo 20. Dále pak pracovník manuálně nastaví dotykový hrot měřícího zařízení několik milimetrů nad špičku bříty destičky. Poté spustí měření a přístroj se dle nastavených parametrů přesune přesně na špičku a provede měření. Toto měření je následně vykreslováno softwarem a zároveň zapisováno do programu určenému k ukládání naměřených dat. Firma Dormer Pramet používá na ukládání naměřených dat program SAP.

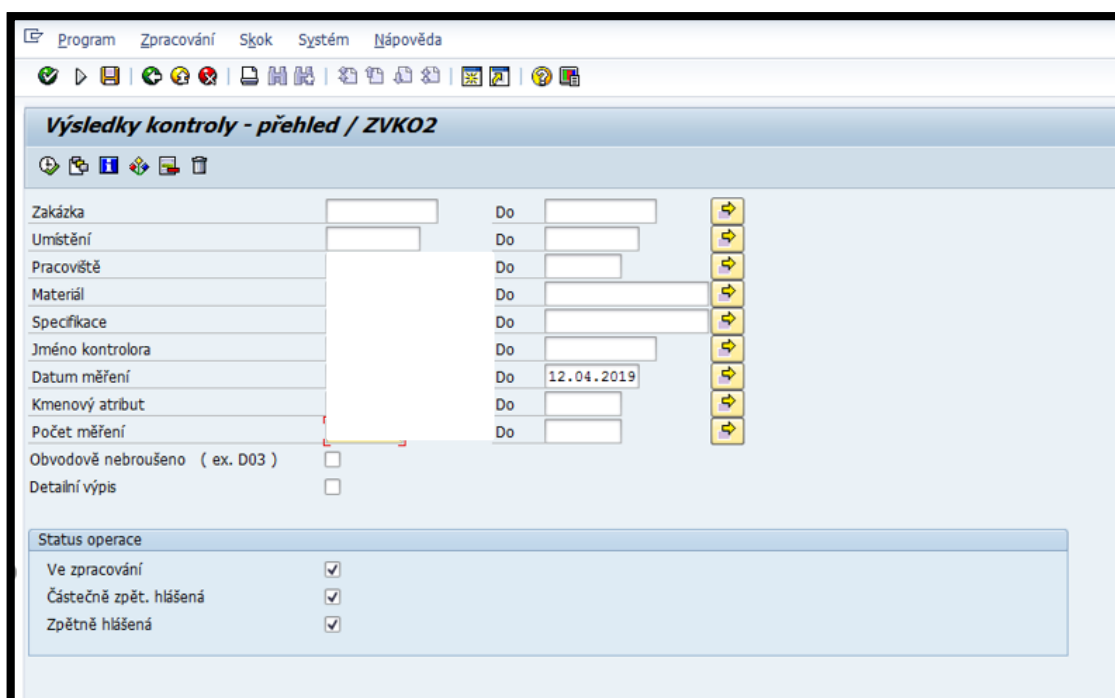


*Obrázek 20 – Destička umístěná v základně*

### **3.4 Proces sbírání a zpracování dat**

#### **3.4.1 Proces sbírání dat**

Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole, naměřené vzorky všech uvedených druhů destiček se měřily postupně při výrobě pomocí zařízení MarSurf XC 20. Data, která mi byla poskytnuta byla uložena v již zmíněném programu SAP. Pro získání poskytnutých dat bylo zadáno číslo daného typu destičky, nastavil zadaný rozsah datumů měření a vyplnil daný parametr, který je v programu SAP nazván kmenový atribut. Dále bylo dle tohoto postupu získával data pro 3 zmiňované parametry z jednotlivých zakázek u všech typů destiček. Grafická ukázka tohoto programu je na obrázku číslo 21. Tato data byla uložena ve formě tabulek pomocí programu Excel od společnosti Microsoft, ve kterém byly následně i zpracovávány. Příklad zobrazení naměřených dat v programu SAP pro danou zakázku je znázorněn na obrázku číslo 22.



Obrázek 21 – Grafická podoba programu SAP

Zak	Opr	Prac	Atr	Text	DoMez	HoMez	Čsmě	Vysl	Měřil	DatMěř	ČasMěř
2259345	0030	BGRAF-2	170	Zaoblení hrany	20,000	30,000	1	22,000	HOLÝ	08.05.2018	00:35:48
2259345	0030	BGRAF-2	170	Zaoblení hrany	20,000	30,000	1	25,000	HOLÝ	08.05.2018	00:35:50
2259345	0030	BGRAF-2	170	Zaoblení hrany	20,000	30,000	1	21,000	HOLÝ	08.05.2018	00:35:52
2259345	0030	BGRAF-2	170	Zaoblení hrany	20,000	30,000	1	23,000	HOLÝ	08.05.2018	00:35:53
2259345	0030	BGRAF-2	170	Zaoblení hrany	20,000	30,000	2	24,000	HOLÝ	08.05.2018	02:21:18
2259345	0030	BGRAF-2	170	Zaoblení hrany	20,000	30,000	2	21,000	HOLÝ	08.05.2018	02:21:18
2259345	0030	BGRAF-2	170	Zaoblení hrany	20,000	30,000	2	26,000	HOLÝ	08.05.2018	02:21:19
2259345	0030	BGRAF-2	170	Zaoblení hrany	20,000	30,000	2	24,000	HOLÝ	08.05.2018	02:21:21
2259345	0030	BGRAF-2	170	Zaoblení hrany	20,000	30,000	2	25,000	HOLÝ	08.05.2018	02:21:21
2259345	0030	BGRAF-2	170	Zaoblení hrany	20,000	30,000	2	29,000	HOLÝ	08.05.2018	02:21:22
2259345	0030	BGRAF-2	170	Zaoblení hrany	20,000	30,000	3	32,820	HOLÝ	08.05.2018	03:49:26
2259345	0030	BGRAF-2	170	Zaoblení hrany	20,000	30,000	3	24,960	HOLÝ	08.05.2018	03:49:26
2259345	0030	BGRAF-2	170	Zaoblení hrany	20,000	30,000	3	24,060	HOLÝ	08.05.2018	03:49:26
2259345	0030	BGRAF-2	170	Zaoblení hrany	20,000	30,000	3	29,100	HOLÝ	08.05.2018	03:49:26
2259345	0030	BGRAF-2	170	Zaoblení hrany	20,000	30,000	3	26,050	HOLÝ	08.05.2018	03:49:26
2259345	0030	BGRAF-2	170	Zaoblení hrany	20,000	30,000	4	24,490	AUGUSTOWSKI	08.05.2018	06:31:00
2259345	0030	BGRAF-2	170	Zaoblení hrany	20,000	30,000	4	18,330	AUGUSTOWSKI	08.05.2018	06:31:00
2259345	0030	BGRAF-2	170	Zaoblení hrany	20,000	30,000	4	27,160	AUGUSTOWSKI	08.05.2018	06:31:00
2259345	0030	BGRAF-2	170	Zaoblení hrany	20,000	30,000	4	22,940	AUGUSTOWSKI	08.05.2018	06:31:00
2259345	0030	BGRAF-2	170	Zaoblení hrany	20,000	30,000	4	27,450	AUGUSTOWSKI	08.05.2018	06:31:00
2259345	0030	BGRAF-2	170	Zaoblení hrany	20,000	30,000	4	23,860	AUGUSTOWSKI	08.05.2018	06:31:00

Obrázek 22 – Příklad zobrazení naměřených dat v programu SAP

### 3.4.2 Proces zpracování dat

Prvním krokem po procesu sbírání dat bylo jejich zpracování, které bylo provedeno také v programu Excel. Pomocí tohoto programu byly zpracovány a vyhodnoceny výsledky všech tří zkoumaných parametrů. V tomto programu byly pro rychlejší, snazší vypočtení výsledků použity funkce suma, countifs, max, průměr a další. Dále byla použita pro lepší přehlednost a srovnání grafické znázornění dat, tedy funkce grafu, konkrétně histogram.

Příklad tabulek zpracovaných výsledků destičky typu B je znázorněn na obrázku číslo 23. V grafu číslo 1 je uveden příklad histogramu, který vznikl z hodnot naměřených vzorků první zakázky destičky typu B a je umístěn níže v textu.

1. zakázka		2. zakázka		3. zakázka		4. zakázka		5. zakázka	
Rozmezí [μm]	Četnost	Rozmezí [μm]	Četnost	Rozmezí [μm]	Četnost	Rozmezí [μm]	Četnost	Rozmezí [μm]	Četnost
0	20-23	0	20-23	0	20-23	0	20-23	0	20-23
1	23-25	0	23-25	1	23-25	1	23-25	1	23-25
2	25-27	3	25-27	2	25-27	1	25-27	2	25-27
3	27-28	7	27-28	3	27-28	7	27-28	3	27-28
4	28-29	13	28-29	4	28-29	8	28-29	3	28-29
5	29-30	8	29-30	5	29-30	7	29-30	4	29-30
6	30-31	9	30-31	6	30-31	5	30-31	6	30-31
7	31-32	8	31-32	7	31-32	6	31-32	1	31-32
8	32-33	5	32-33	8	32-33	0	32-33	4	32-33
9	33-35	6	33-35	9	33-35	5	33-35	4	33-35
10	35-37	1	35-37	10	35-37	2	35-37	1	35-37
11	37-45	0	37-45	11	37-45	0	37-45	4	37-45

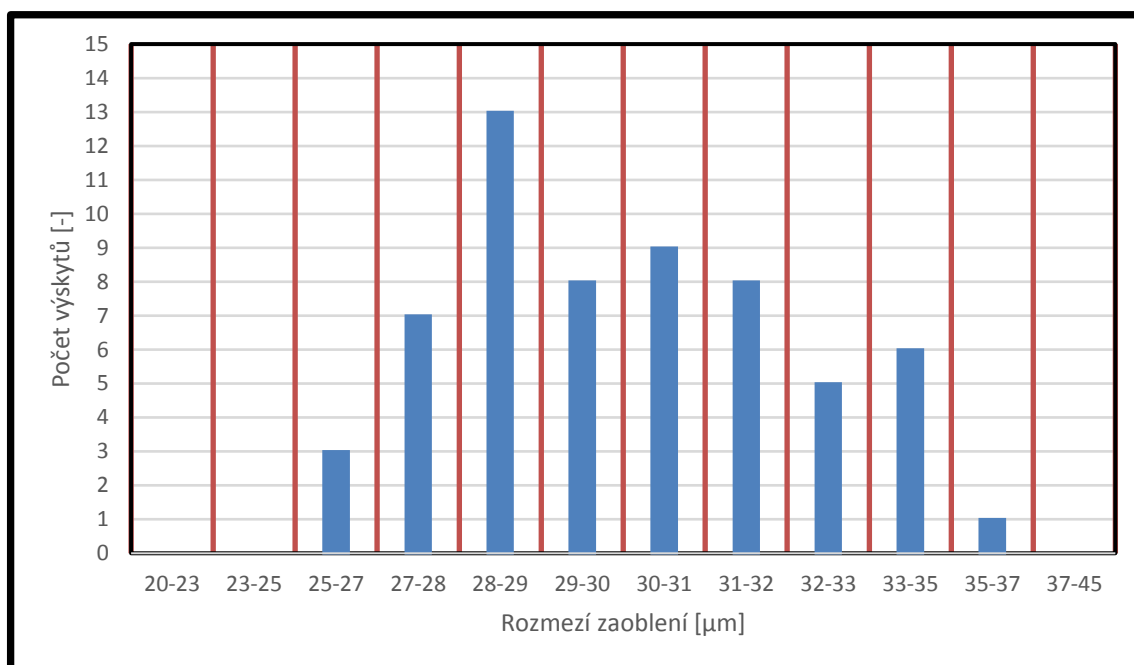
Obrázek 23 – Příklad tabulek zpracovaných výsledků destičky typu B

Pro zpracování parametru velikosti poloměru zaoblení břitů destičky byly použity tabulky, kde byly tolerance rozděleny do 12 skupin, první skupina byla označena číslem 0 a poslední skupina byla označena číslem 11. Velikosti rozmezí jednotlivých skupiny byly vždy stejné z důvodu stejné tolerance u všech typů zkoumaných destiček. Měnily se pouze hodnoty těchto rozmezí v závislosti na daných poloměrech zaoblení jednotlivých typů destiček. Hodnoty rozmezí velikosti zaoblení pro jednotlivé typy destiček jsou ukázány v tabulce číslo 6.

Tabulka 6 – Rozsahy skupin tolerance pro všechny typy VBD

Číslo skupiny	Rozmezí [μm]				
	Typ A	Typ B	Typ C	Typ D	Typ E
0	20-23	20-23	55-63	20-23	30-38
1	23-25	23-25	63-65	23-25	38-40
2	25-27	25-27	65-67	25-27	40-42
3	27-28	27-28	67-68	27-28	42-43
4	28-29	28-29	68-69	28-29	43-44
5	29-30	29-30	69-70	29-30	44-45
6	30-31	30-31	70-71	30-31	45-46
7	31-32	31-32	71-72	31-32	46-47
8	32-33	32-33	72-73	32-33	47-48
9	33-35	33-35	73-75	33-35	48-50
10	35-37	35-37	75-77	35-37	50-52
11	37-45	37-45	77-105	37-45	52-60

Skupiny 1 až 10 jsou hodnoty, které vycházely v požadované toleranci. Skupiny s označením 0 a 11 znamenají, že zkoumané vzorky vyšly mimo požadovanou toleranci. Pokud se naměřený vzorek řadil do skupiny 0, tento kus se řadil mezi zmetky. Zmetky jsou všechny takové kusy, které vyšly mimo toleranci a nešlo je dále upravit tak, aby se mohly do požadované tolerance po další úpravě zařadit. Při zařazení do této skupiny se vzorek označil jako zmetek proto, že hodnota velikosti zaoblení byla menší než minimální přípustná hodnota v toleranci. A v dnešních technologiích není znám žádný proces, který by dokázal přidat materiál na zaoblení břitu destičky a byl by zároveň ekonomicky vhodný. Když se zkoumaný vzorek zařadil do skupiny 11, znamenalo to, že poloměr zaoblení je větší než maximální požadovaná tolerance. Ovšem tento výsledný poloměr zaoblení lze dále dokončovacím procesem zmenšit tak, aby se výsledné zaoblení po úpravě zařadil do skupiny, která odpovídá požadované toleranci.



*Graf 1 – Histogram tvořený naměřenými vzorky 1. zakázky destičky typu B*

Z těchto zmíněných dat byl hodnocen výsledný poloměr pro každý typ destičky, tedy s jakou přesností dokázaly zmiňované procesy zaoblit břit daných destiček. Dále byl klasifikován počet vzorků mimo požadovanou toleranci, následovalo porovnání přesnosti zaoblení destiček na daný poloměr pro jednotlivé destičky a byly srovnány dva zmiňované procesy, jejich vliv na přesnost zaoblení na požadovaný poloměr a na počet vzorků vycházející mimo toleranci. Tyto data také umožnily hodnocení odchylek na hřbetu a na čele. Z těchto dvou parametrů byla hodnocena jejich velikost a forma geometrie ostří, která na destičkách vznikla po procesu zaoblení břitu.

Pro zjištění skutečných tvarových odchylek bylo třeba nejprve odečíst hodnotu velikosti zaoblení břitu od tvarové odchylky zaoblení břitu na čelní ploše pro získání skutečné odchylky zaoblení na čelní ploše, což umožnilo další porovnávání. Tento parametr byl tedy vypočítáván podle vzorce:

$$x = 172_{yn} - r_y, \quad (1)$$

kde: 172... hodnota parametru tvarové odchylky zaoblení na čelní ploše,

y... typ destičky,

n... číslo měření,

r... požadovaný poloměr zaoblení dané VBD.

Při vyhodnocování tvarové odchylky zaoblení ostří na hřbetní ploše nebyly velikosti naměřených vzorků nijak dále upravovány a byly tedy rovnou hodnoceny pomocí číselných výsledků a grafů. U komparace zmiňovaných tvarových odchylek, kdy se porovnávaly jejich hodnoty, byly výsledky rozdělovány do 3 skupin. Pokud byla hodnota tvarové odchylky na čelní ploše, zařadil se tento měřený vzorek do skupiny destiček vykazující tvarovou odchylku na čelní ploše. Jestliže byla hodnota tvarové na hřbetní ploše, tento měřený vzorek se zařadil do skupiny destiček vykazujících tvarovou odchylku na hřbetní ploše. V situaci, kdy obě tyto odchylky měly stejnou hodnotu, měřený vzorek se zařadil do skupiny rádius.

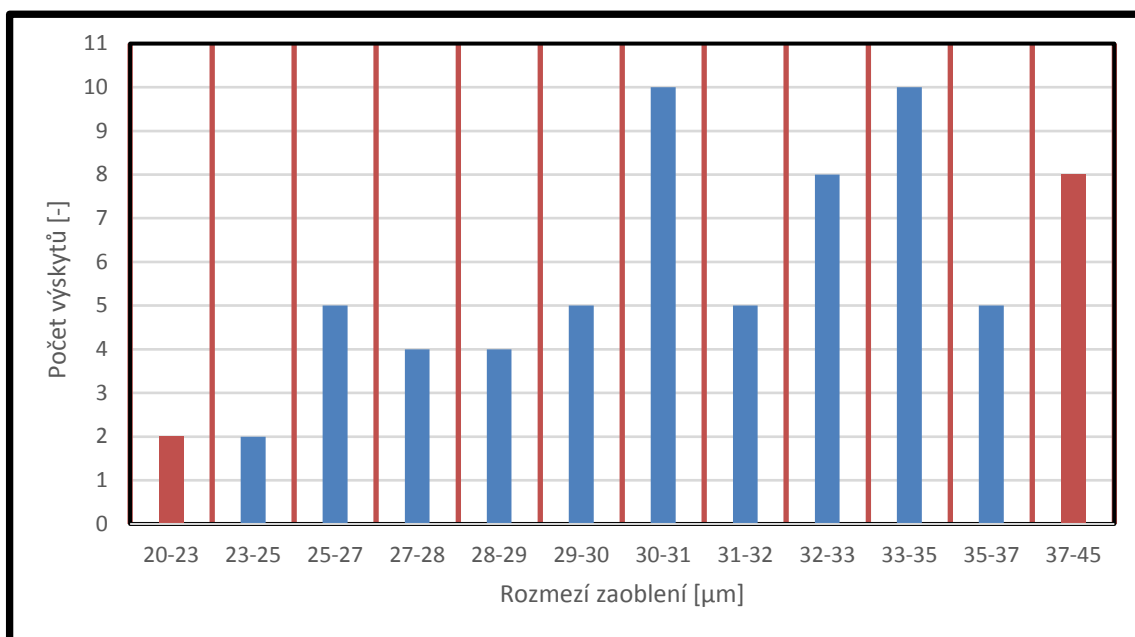
## 3.5 Vyhodnocení získaných dat

### 3.5.1 Vyhodnocení parametru velikosti poloměru zaoblení pro jednotlivé destičky

Tabulky s číselnými výsledky tohoto parametru pro jednotlivé destičky je uvedena v příloze číslo 25.

#### Destička typu A

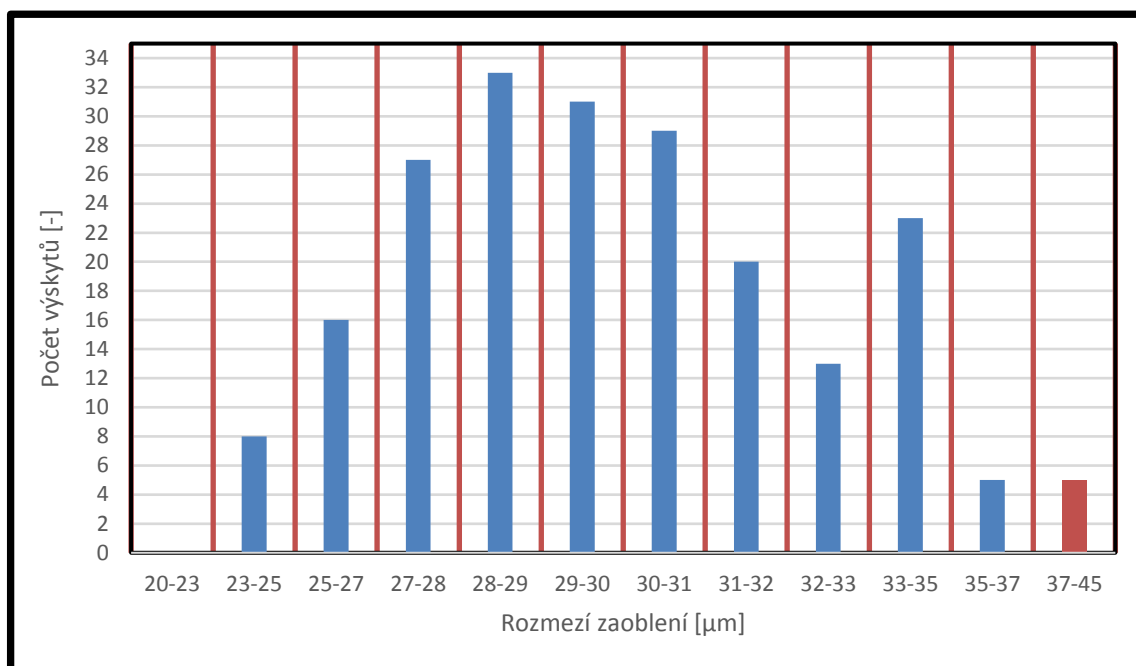
U destičky typu A, z celkového počtu naměřených vzorků výsledky ukázaly příznivé výsledky. VDB typu A bylo mimo požadovanou toleranci 17,7 % z celkového počtu. Převáděno na kusy bylo mimo toleranci 10 destiček, z těch kusů vyšlo 8 destiček, které by šlo dalším specifickým procesem upravit na požadovanou toleranci a 2 destičky, jež vyšly jako zmetky. Pro lepší přehlednost a představu o úspěšnosti výsledku u tohoto typu destičky je zde uveden histogram, zobrazený pod textem níže. Průměrné zhotovené zaoblení tohoto typu je 31,47  $\mu\text{m}$ . Minimální poloměr zaoblení byl 20,86  $\mu\text{m}$  a maximální poloměr zaoblení 41,28  $\mu\text{m}$ . Tyto dvě hodnoty zároveň vypovídají o velikosti rozsahu tolerance zaoblení, tedy 17,74  $\mu\text{m}$ .



Graf 2 – Histogram pro parametr velikosti zaoblení destičky typu A

### Destička typu B

Zhodnocení parametru velikosti zaoblení pro typ destičky B proběhlo na základně poskytnutých hodnot měření a zjistilo se, že tento typ VBD byl vyráběn s velmi precizní úspěšností. Výsledky ukazují že tento typ destičky měl největší procentuální úspěšnost ze všech zkoumaných typů destiček. Jak lze i odhadnout z grafu číslo 3, procentuální úspěšnost při výrobě zaoblení tohoto typu destičky je velmi vysoká, přesně 97,6 %, tedy v kusech 200 destiček. Z čehož vyplívá neúspěšnost u této výroby 2,4 %, což je pouze 5 kusů. Tyto kusy vyšly nad požadovanou toleranci, takže byla možná další úprava. Průměrné zaoblení břitu destičky typu B je 29,96  $\mu\text{m}$ . Nejmenší hodnota zaoblení byla 23,5  $\mu\text{m}$  a největší zase 39,75  $\mu\text{m}$ . Velikost rozsahu tolerance u tohoto typu destičky vyšla 16,2  $\mu\text{m}$ .

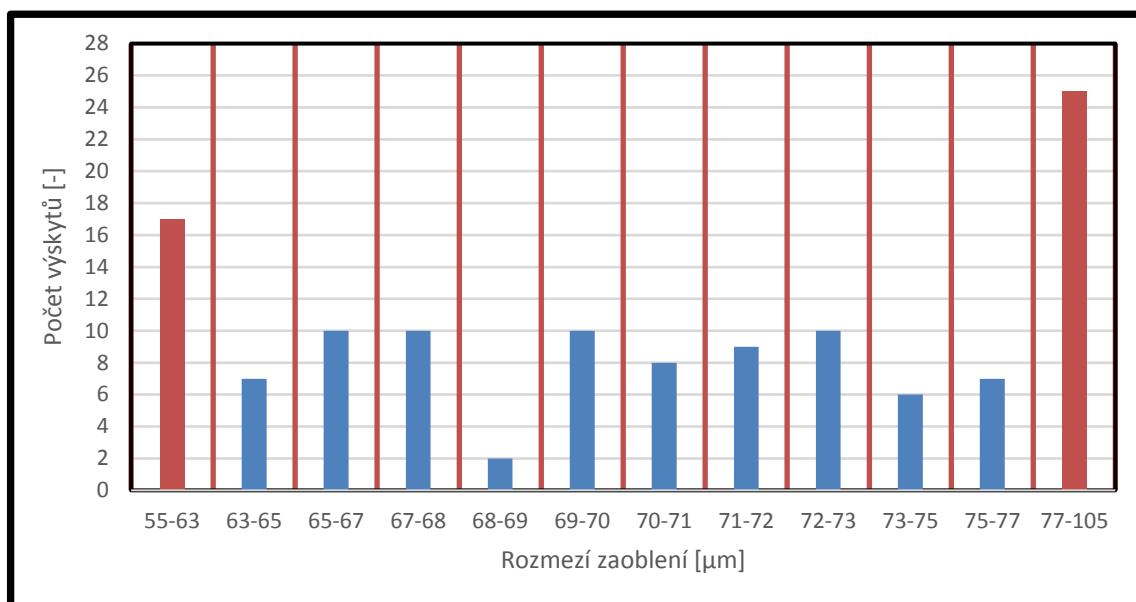


Graf 3 – Histogram pro parametr velikosti zaoblení destičky typu B

### Destička typu C

Nejhorší výsledky, které byly zaznamenány při hodnocení parametru velikosti zaoblení měřených vzorků patřily VBD typu C. Podle poskytnutých hodnot byla zjištěna procentuální úspěšnost pouhých 65,29 %, jak je zřejmé z grafu číslo 4. To odpovídá 42 kusům, které vyšly mimo toleranci. Z těchto vadných kusů by bylo možné 25 destiček dalším procesem zmenšit zaoblení na požadovanou toleranci. Ovšem 14 % z celkového počtu měřených vzorků, tedy 17 kusů vyšlo pod minimální povolenou toleranci a tyto kusy nelze nijak dále zpracovat. Proces zaoblení destičky typu C vytvořil zaoblení na břitu s průměrnou hodnotou zaoblení 71,16  $\mu\text{m}$ . Při pohledu na velikost odchylek zaoblení, tak největší dosáhnutá hodnota byla 102,32  $\mu\text{m}$  a nejmenší hodnota 55,41  $\mu\text{m}$ . Z toho vyplývá i hodnota rozsahu tolerance zaoblení s velikostí 46,91  $\mu\text{m}$ , což je největší rozsah v porovnání se všemi ostatními typy VBD.

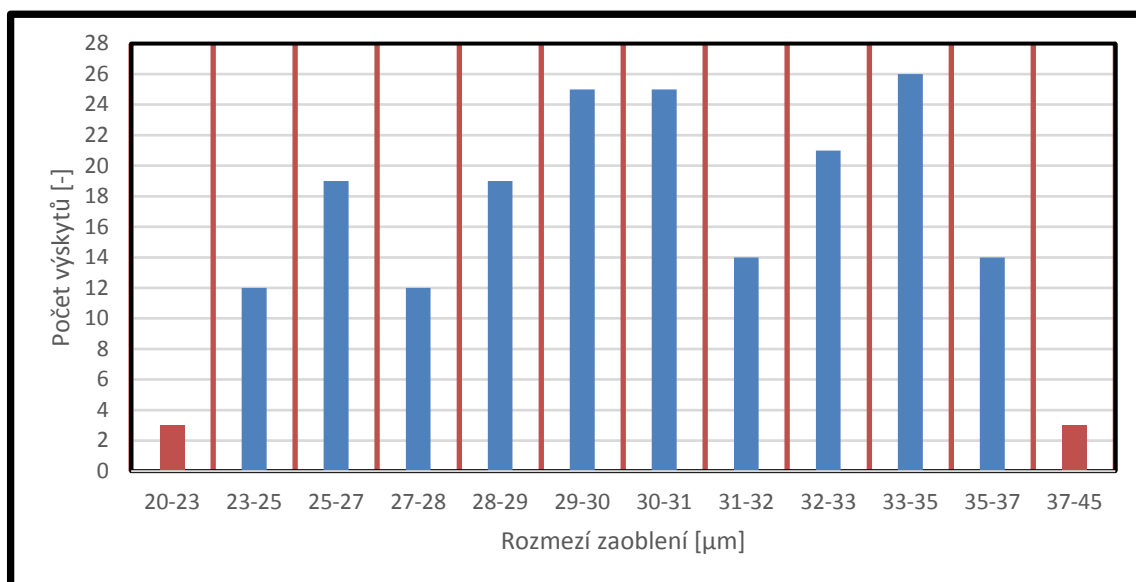




Graf 4 – Histogram pro parametr velikosti zaoblení destičky typu C

### Destička typu D

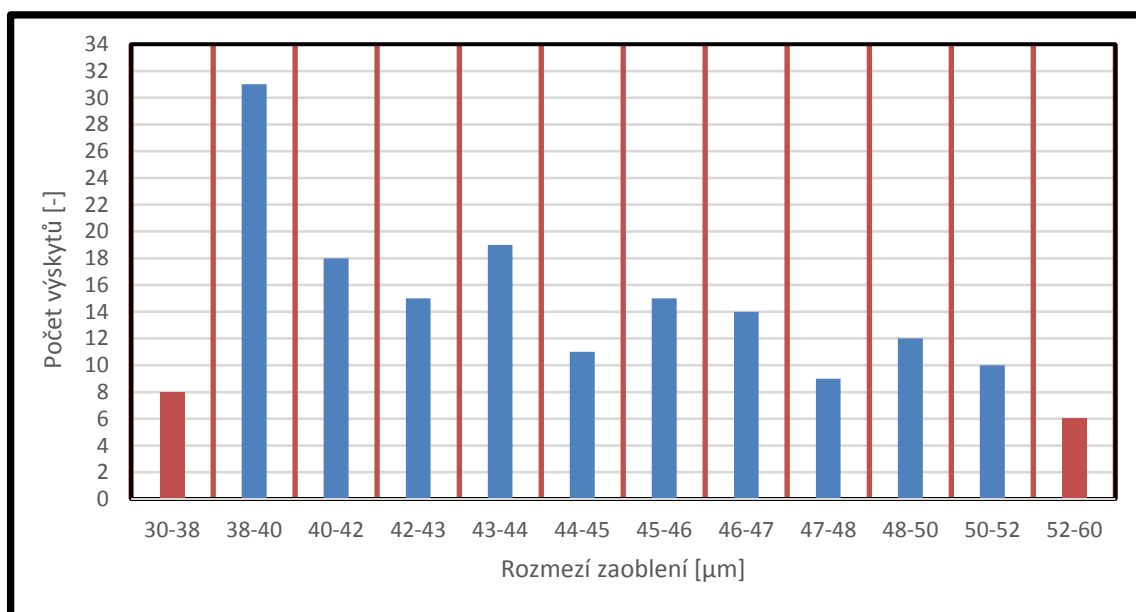
Z vyhodnocení parametru velikosti zaoblení měřených vzorků pro typ destičky D vyšly, podobně jako u typu destičky B, velice příznivé výsledky. Procentuální úspěšnost vyšla na příznivých 96,89 %, tedy procento vadných kusů je pouze 3,11 % a to v převodu na kusy znamená 6 destiček, které nevyšly v požadované toleranci. Z těchto 6 destiček se mohou 3 upravit na požadovanou toleranci dalším procesem, protože vyšly nad hodnotu maximální povolené tolerance a 3 destičky, které vyšly pod minimální povolenou toleranci a jsou na vyřazení. Graf parametru zaoblení destičky typu D s výsledky lze vidět na grafu číslo 5. Průměrná hodnota vytvořeného zaoblení u tohoto typu VBD je 30,21  $\mu\text{m}$ . Při zkoumání maximální a minimální hodnoty zaoblení vyšla nejnižší hodnota 20,91  $\mu\text{m}$  a ta největší 39,16  $\mu\text{m}$ . Při pohledu na rozsah tolerance zaoblení destiček, byla zjištěna jeho hodnota o velikosti 18,25  $\mu\text{m}$ .



Graf 5 – Histogram pro parametr velikosti zaoblení destičky typu D

### Destička typu E

Ke zhodnocení parametru zaoblení u VBD typu E, v celkovém souhrnu byl tento typ destičky zaoblen s příznivou úspěšností, konkrétněji s procentuální úspěšností 91,67 %. Z toho si lze vyvodit procentuální neúspěšnost 8,33 %, což je 14 destiček, které byly mimo toleranci. Z těchto 14 kusů se 6 dalo zachránit další úpravou zaoblení, tedy 8 kusů bylo na vyřazení. Průměrná hodnota zaoblení břitu u tohoto typu destičky vyšla 43,87 μm. Graficky vyobrazené jednotlivé rozmezí a jejich četnost je vyobrazená na grafu číslo 6. Z těchto měření vyšlo nejmenší vytvořené zaoblení o velikosti 33,61 μm a největší 59,14 μm, což značí také rozsah tolerance 25,53 μm.



Graf 6 – Histogram pro parametr velikosti zaoblení destičky typu E

### 3.5.2 Vyhodnocení parametru tvarové odchylky zaoblení na hřbetní ploše

Z pohledu nulových tvarových odchylek byly naměřeny nulové odchylky u jednoho kusu destičky typu A, u dvou destiček typu D a jeden kus u destiček typu E. Nejmenší naměřená hodnota tvarové odchylky byla s nulovou hodnotou u jednoho kusu. Pro typy destiček B a C bylo zjištěno, že žádný z naměřených vzorků nevykazoval nulovou odchylku. Tabulky výsledků pro tento parametr jsou uvedeny v příloze číslo 26.

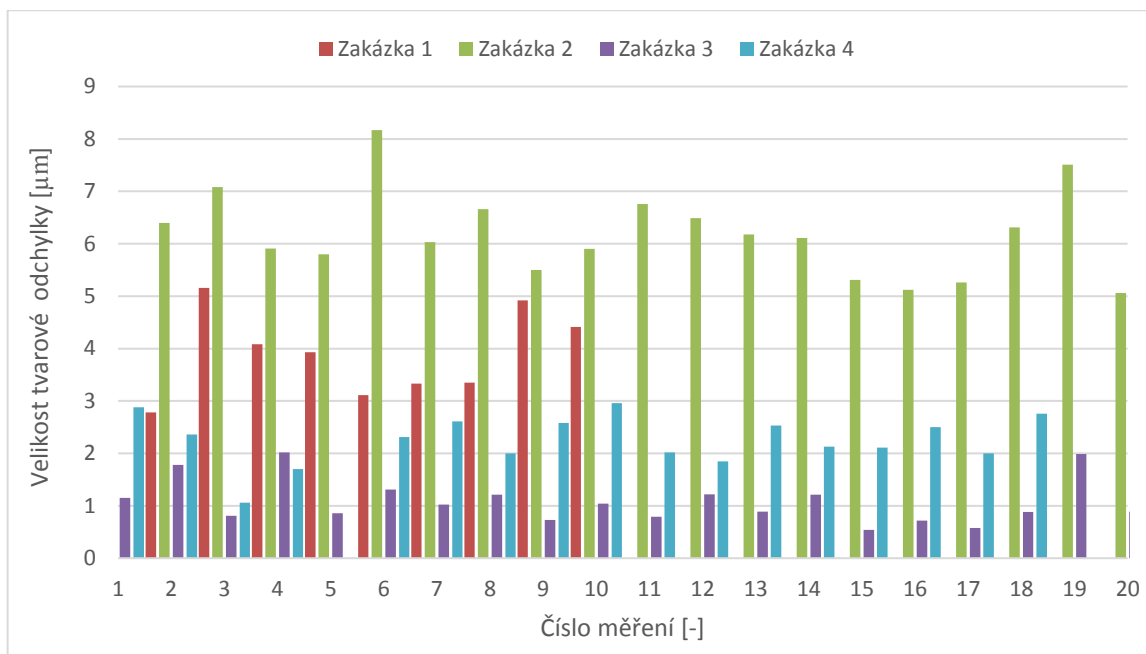
Tabulka 7 – Výsledky vyhodnocení tvarové odchylky na čelní ploše

	Typ destičky				
	A	B	C	D	E
<b>Celkový počet destiček [-]</b>	68	210	121	193	168
<b>Počet destiček mimo toleranci [-]</b>	21	99	69	0	0
<b>Počet zmetků [-]</b>	0	0	0	0	0
<b>Maximální tvarová odchylka [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	8,2	8,7	15,4	2,4	6,1
<b>Minimální tvarová odchylka [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	0	1,7	0,5	0	0
<b>Průměrná tvarová odchylka [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	3,3	4,85	7,9	0,6	1,38

Následující porovnávání dat u jednotlivých zakázek slouží jako uvedení příkladu, jaké další hlediska lze použít ke podrobnějšímu zkoumání a zhodnocení vlivu použitých procesů na tvorbu skutečné tvarové odchylky zaoblení na hřbetní ploše ostří VBD. Je zde uvedeno 1 další kritérium pro každý typ destičky, na jehož základě by bylo možné podrobněji hodnotit zkoumané vlivy.

#### Porovnání všech zakázek u destičky typu A:

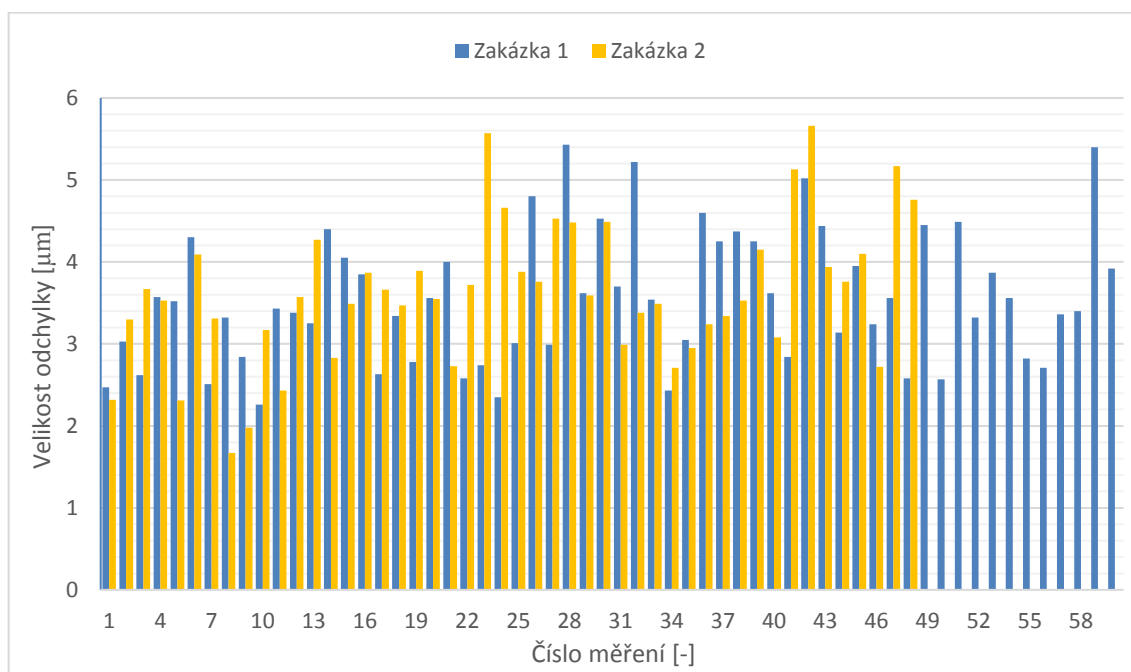
Na grafu číslo 7 je uveden příklad graficky zpracovaných naměřených tvarových odchylek zaoblení ostří na čelní ploše ze všech zakázek. Jako uvedení příkladu srovnání všech zakázek byl vybrán typ destičky A z důvodu menšího počtu měření, protože při menším počtu měření je výsledný graf přehlednější. Lze zde pozorovat velký rozestup hodnot mezi jednotlivými zakázkami. To mohlo nastat z důvodu změny pracovních podmínek, například nehomogenitou tryskacího média nebo kolísáním rychlosti proudícího média



Graf 7 – Tvar. odchylky na hřbetní ploše pro všechny zakázky u VBD typu A

### Porovnání dvou zakázek u destičky typu B:

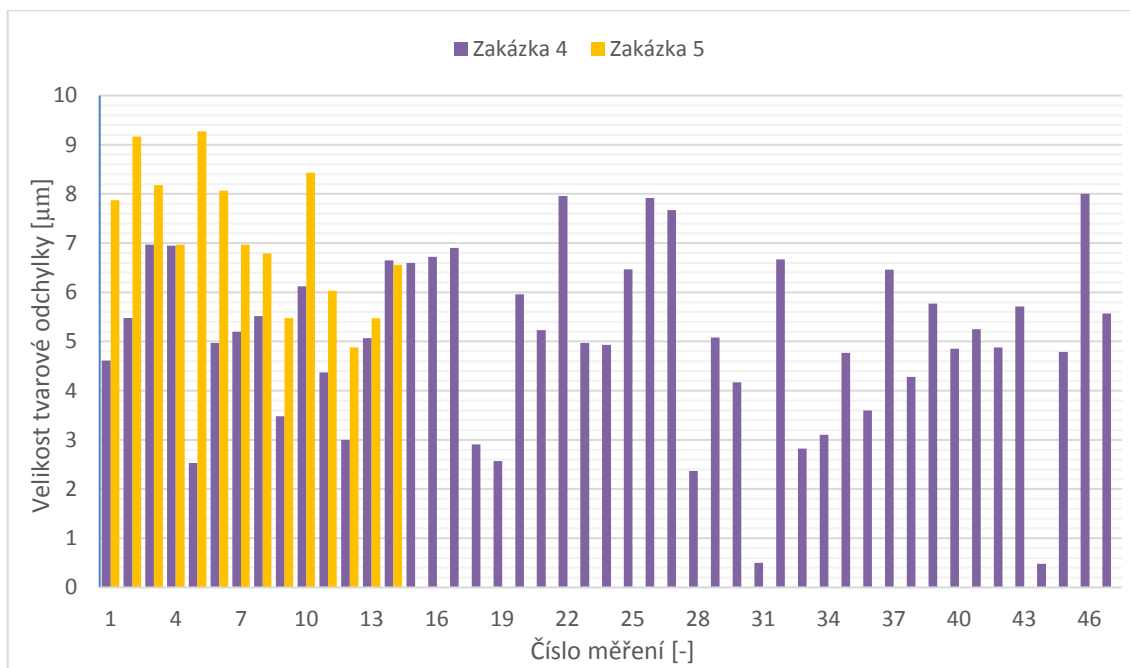
Jako příklad pro uvedení porovnávání dvou zakázek, bylo vybráno srovnání naměřených hodnot první a druhé zakázky a je ukázáno na grafu číslo 8.



Graf 8 – Porovnávání naměřených hodnot první a druhé zakázky u destičky B

### Porovnávání nejmenších tvarových odchylek u destičky typu C ze 2 zakázek:

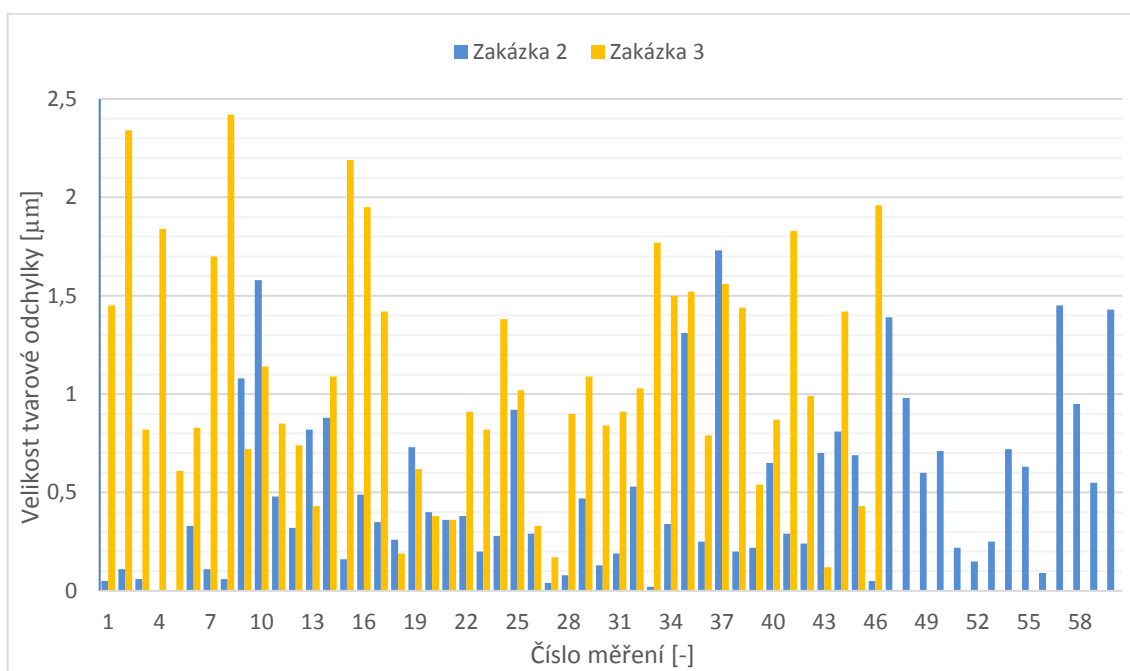
Porovnávání dvou zakázek s nejmenšími odchylkami ze všech zakázek v grafické podobě je ukázáno v grafu číslo 9.



Graf 9 – Porovnávání dvou zakázek s nejmenšími odchylkami u destičky C

#### Porovnávání největších tvarových odchylek u destičky typu D ze 2 zakázek:

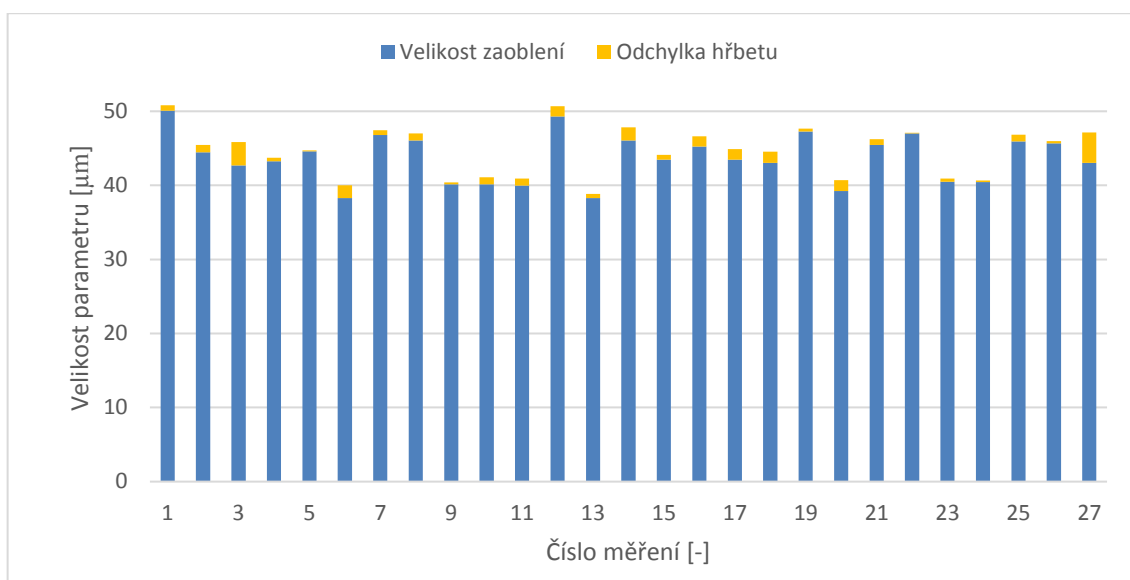
Na grafu číslo 10 je zobrazené porovnávání dvou zakázek s nejvyššími tvarovými odchylkami ze všech zkoumaných zakázek.



Graf 10 – Porovnávání dvou zakázek s nejvyššími odchylkami u destičky D

#### Parametr tvarová odchylka na hřbetní ploše u destičky typu E:

Grafické srovnání velikosti zaoblení a tvarové odchylky zaoblení na čelní ploše u jednotlivých naměřených vzorků z druhé zakázky je zobrazeno na grafu číslo 11.



Graf 11 – Srovnání velikosti zaoblení a tvar. odchylky na hřbetní ploše u destičky A

### 3.5.3 Vyhodnocení parametru odchylky zaoblení na čelní ploše

Po vyhodnocení tohoto parametru výsledky ukázaly vysoký počet destiček naměřených mimo toleranci u destičky typu A. Tedy by bylo vhodné tento proces opakovat s větším počtem měření pro ověření této statistiky a případně podrobným prozkoumáním tvorby této odchylky při daném procesu. Vzhledem k počtu vzorků vyhodnocených jako zmetek, s největším počtem vyšly výsledky destiček typu C, zde je doporučeno pozměnit použitý parametr přítlak u procesu kartáčování. Zmenšením hodnoty přítlaku kartáčů je možné dosáhnout zlepšení zmiňovaných výsledků. U tohoto typu destičky byly také naměřena vysoká hodnota maximální tvarové odchylky. Je možné, že se jedná o chybu měření, a je tedy třeba provést další testování k ověření tohoto výsledku. Tabulky zpracovaných dat tohoto parametru jsou k dispozici v příloze číslo 27. Všechny výsledky tohoto vyhodnocení jsou uvedeny v tabulce číslo 8.

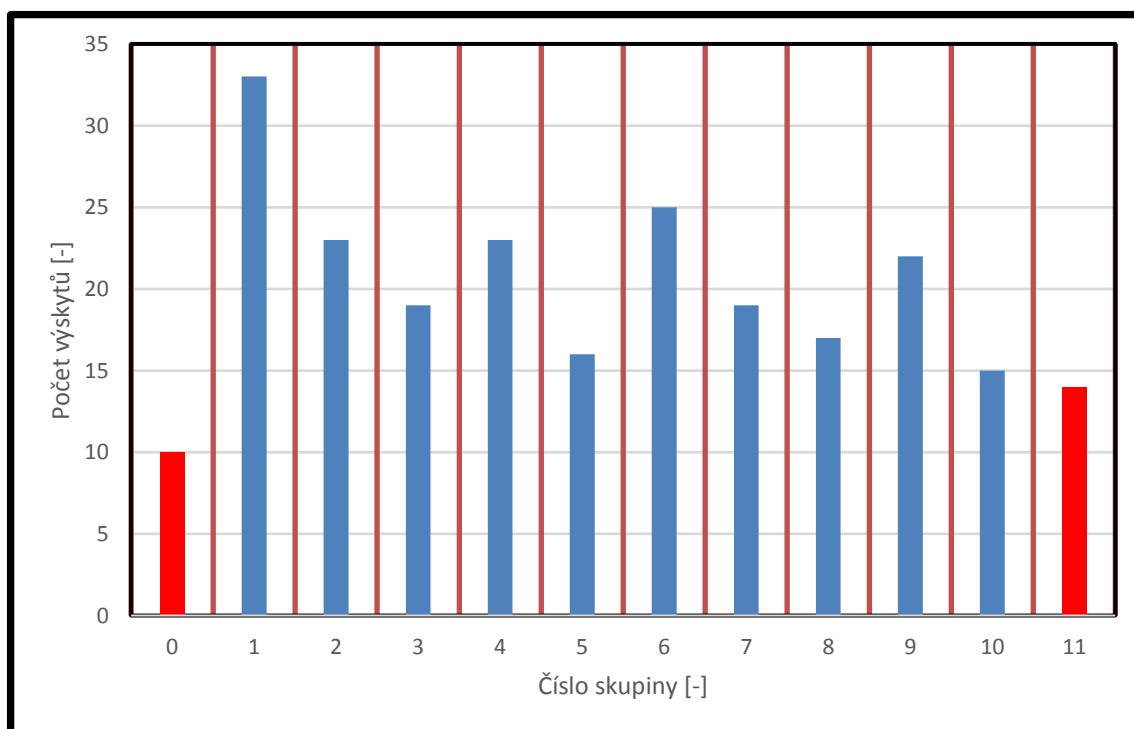
Tabulka 8 – Výsledky vyhodnocení tvarové odchylky na čelní ploše

	Typ destičky				
	A	B	C	D	E
<b>Celkový počet destiček [-]</b>	68	210	121	193	168
<b>Počet destiček mimo toleranci [-]</b>	42	87	60	63	54
<b>Počet zmetků</b>	1	0	23	3	4
<b>Maximální tvarová odchylka [μm]</b>	18,5	15,1	52,8	18,8	21,3
<b>Minimální tvarová odchylka [μm]</b>	-7	-3,7	-17,1	-7,7	9,9
<b>Průměrná tvarová odchylka [μm]</b>	6,1	4,7	2,7	3,7	4,6

### 3.5.4 Vyhodnocení zkoumaných parametrů pro jednotlivé procesy

#### Vyhodnocení parametrů pro proces mokrého pískování:

Zkoumané parametry byly stejné jako v hodnocení minulé kapitoly. Průměrné výsledky každého parametru byly složeny z hodnot 2 typů VBD. Tedy z celkového součtu 236 změřených destiček vyšlo 24 kusů destiček mimo požadovanou toleranci a z toho b 10 kusů zmetků. VBD, které vykazují tvarovou odchylku zaoblení na hřbetní ploše, bylo 168 a počet zaoblení vykazujících tvarovou odchylku na čelní ploše vyšel s hodnotou 68 destiček. Při hodnocení parametru tvarové odchylky zaoblení na hřbetní ploše bylo zjištěno, že 21 kusů bylo mimo požadovanou toleranci a 2 kusy měly nulovou odchylku. Maximální tvarová odchylka dosahovala hodnot 8,2  $\mu\text{m}$  a minimální měla nejnižší hodnotu 0  $\mu\text{m}$ . Průměrná tvarová odchylka byla vyčíslena na 2,4  $\mu\text{m}$ . Zhodnocené výsledky parametru tvarové odchylky zaoblení přinesly výsledky počtu kusů mimo povolenou toleranci, tedy 96 kusů, velikost maximální odchylky 21,3  $\mu\text{m}$  a velikost minimální odchylky se zápornou hodnotou 9,9  $\mu\text{m}$ . Žádná z destiček zhotovená tímto procesem neoplývala nulovou odchylkou. V grafu číslo 12 je vyobrazení četnosti výskytů pro jednotlivé skupiny u procesu mokrého pískování. Tabulka se všemi výsledky je uvedena v příloze číslo 28.

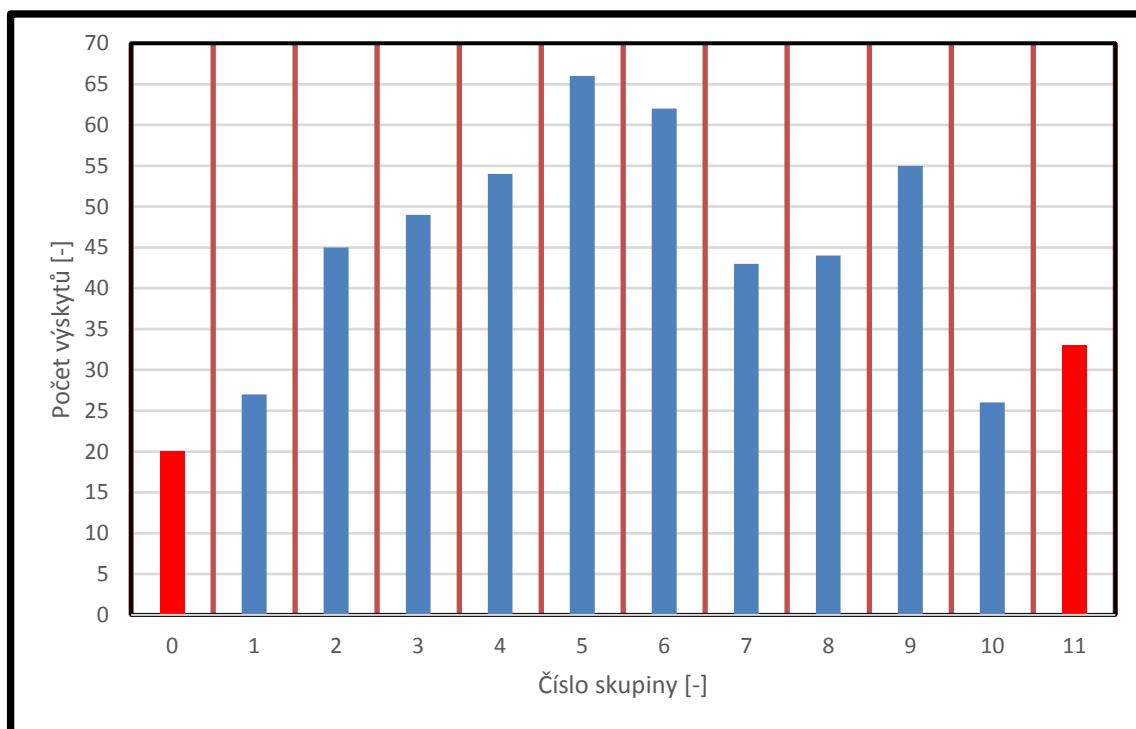


Graf 12 – Četnosti výskytů pro jednotlivé skupiny tolerance u procesu mokrého pískování

#### Vyhodnocení parametrů pro proces kartáčování:

Pro zhodnocení procesu kartáčování byly použity zkompletovaná data měření ze 3 typů destiček. Po sečtení počtu měřených kusů destiček vyšel výsledek s hodnotou 524. Mimo

požadovanou toleranci u výsledného zaoblení destiček bylo 53 kusů a z tohoto počtu vyšlo 20 kusů destiček jako zmetek. Z hodnocení dat parametru tvarové odchytky zaoblení na hřbetní ploše byl zjištěn výsledek počet destiček vykazujících tuto tvarovou odchytku u 370 kusů. Počet destiček, vykazující tvarovou odchytku zaoblení na čelní ploše, bylo 153. Po prozkoumání naměřených výsledků tvarové odchytky na hřbetní ploše vyšly výsledky počtu kusů mimo povolenou toleranci o velikosti 168 kusů. Pomocí technologie kartáčování byly zjištěny nulové hodnoty popisované odchytky ve dvou případech. Maximální tvarová odchytky na hřbetní ploše byla 15,4  $\mu\text{m}$ , minimální 0,5  $\mu\text{m}$  a průměrná hodnota této odchytky vyšla 6,4  $\mu\text{m}$ . Po zhodnocení naměřených dat parametru tvarové odchytky zaoblení na čelní ploše byly zjištěny údaje o velikosti počtu kusů mimo toleranci s hodnotou 210, o hodnotě maximální odchytky 52,8  $\mu\text{m}$ , o hodnotě minimální odchytky -17,7  $\mu\text{m}$  a o velikosti průměrné odchytky s hodnotou 4,8  $\mu\text{m}$ . Tabulka všech výsledků je uvedena v příloze číslo 29.



Graf 13 – Četnosti výskytů pro jednotlivé skupiny tolerance u procesu kartáčování

### 3.5.5 Srovnání výsledků všech typů destiček

V tabulce číslo 7 jsou pro přehledné srovnání znázorněny výsledky četnosti výskytů rozdělených podle skupin 0 až 11 pro parametr velikost poloměru zaoblení. Dále srovnání počtu destiček naměřených v toleranci, mimo toleranci a zmetků je v tabulce číslo 8. Komparace počtu destiček vykazujících tvarovou odchytku na čelní a hřbetní ploše je ukázáno v tabulce číslo 9.



Tabulka 9 – Počet výskytů všech typů destiček pro parametr velikost poloměru zaoblení

Číslo skupiny	Typ destičky				
	A	B	C	D	E
0	2	0	17	3	8
1	2	8	7	12	31
2	5	16	10	19	18
3	4	27	10	12	15
4	4	33	2	19	19
5	5	31	10	25	11
6	10	29	8	25	15
7	5	20	9	14	14
8	8	13	10	21	9
9	10	23	6	26	12
10	5	5	7	14	10
11	8	5	25	3	6

Tabulka 10 – Počet destiček naměřených v toleranci a mimo toleranci

	Typ destičky				
	A	B	C	D	E
<b>Celkový počet destiček</b>	68	210	121	193	168
<b>Destičky naměřené v toleranci</b>	58	205	79	187	154
<b>Destičky naměřené mimo toleranci</b>	10	5	42	6	14
<b>Destičky vyhodnocené jako zmetek</b>	2	0	17	3	8

Tabulka 11 – Počet destiček vykazujících tvarovou odchylku na čelní a hřbetní ploše

	Typ destičky				
	A	B	C	D	E
<b>Celkový počet destiček</b>	68	210	121	193	168
<b>Odchylka na čelní ploše</b>	20	15	87	51	48
<b>Odchylka na hřbetní ploše</b>	48	195	34	141	120
<b>Rádus</b>	0	0	0	1	0

V tabulce číslo 10 je vyhodnocení pořadí všech typů destiček pro jednotlivá hodnocení zmiňovaná výše v této kapitole. Na prvním místě při vyhodnocení pořadí pro přesnost zhotoveného zaoblení byla ta destička, která měla nejvyšší přesnost při výrobě vzhledem k požadovanému zaoblení. U vyhodnocení pořadí dle počtu kusů mimo toleranci se typ

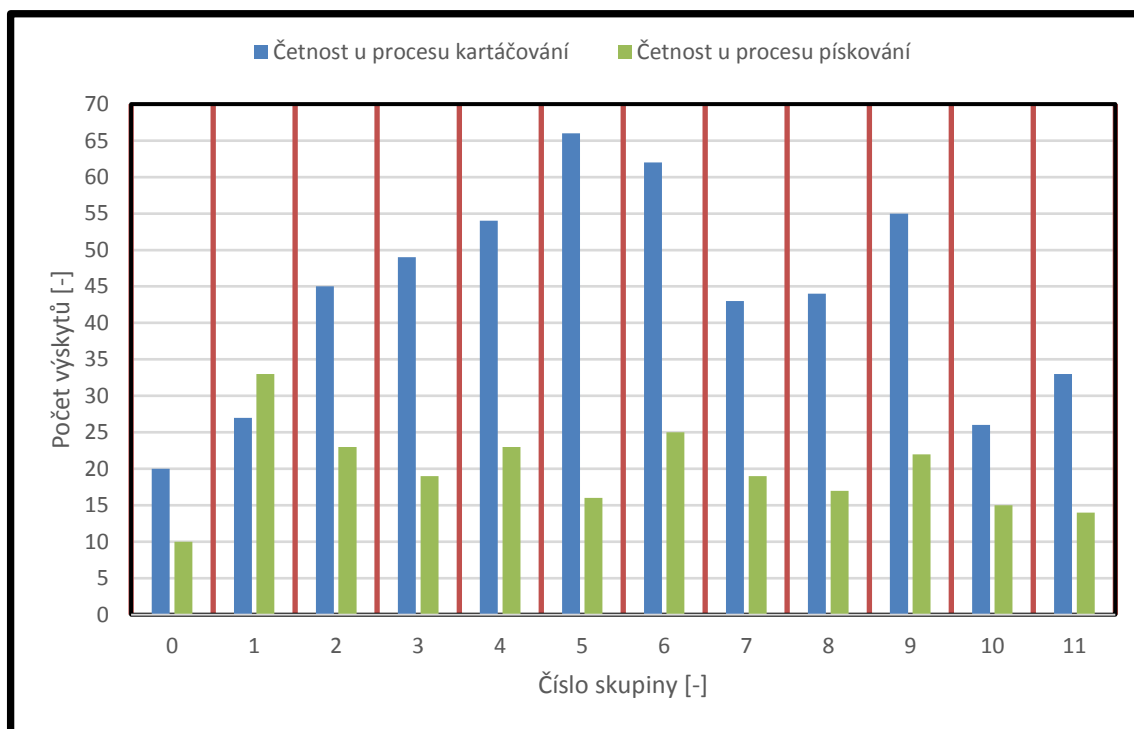
destičky s nejmenším počtem umístil na prvním místě. To samé platí pro zmetkovitost. Pořadí celkového hodnocení byla dáno vyhodnocením předešlých tří pořadí.

Tabulka 12 – Vyhodnocení pořadí všech typů destiček pro jednotlivá hodnocení

	Pořadí				
	1.	2.	3.	4.	5.
<b>Přesnost zhotoveného zaoblení</b>	B	D	A	C	E
<b>Počet kusů mimo toleranci</b>	B	D	E	A	C
<b>Zmetkovitost</b>	B	D	E	A	C
<b>Celkové zhodnocení</b>	B	D	E	A	C

### 3.5.6 Porovnání použitých procesů

Při porovnávání byly použity tabulky sečtených a zprůměrovaných hodnot z jednotlivých typů destičky vyráběných daným procesem. Jak bylo zmíněno už dříve, procesem kartáčování se upravovaly destičky typu B, C, D. Destičky typu A a E byly upravovány procesem mokrého pískování. Byly srovnávány všechny parametry hodnocené v předchozích podkapitolách. V grafu číslo 14 lze vidět grafické srovnání četnosti výskytů parametru velikosti zaoblení v jednotlivých skupinách tolerance (viz tabulka číslo 6) u srovnávaných procesů.



Graf 14 – Počet výskytů VBD u srovnávaných procesů v jednotlivých skupinách tolerance

Tabulka 13 – Vyhodnocení procesů dle parametru velikosti poloměru zaoblení

Kritérium	Pořadí	
	1.	2.
Přesnost zhotoveného zaoblení	Kartáčování	Mokré pískování
Počet kusů v toleranci	Kartáčování	Mokré pískování
Zmetkovitost	Kartáčování	Mokré pískování
Celkové zhodnocení	Kartáčování	Mokré pískování

Tabulka 14 – Vyhodnocení procesů dle parametru tvar. odchylky na hřbetní ploše

Kritérium	Pořadí	
	1.	2.
Počet kusů mimo toleranci	Mokré pískování	Kartáčování
Počet kusů s nulovou tolerancí	Mokré pískování	Kartáčování
Maximální naměřená odchylka	Mokré pískování	Kartáčování
Celkové zhodnocení	Mokré pískování	Kartáčování

Tabulka 15 – Vyhodnocení procesů dle parametru tvar. odchylky na čelní ploše

Kritérium	Pořadí	
	1.	2.
Počet kusů mimo toleranci	Kartáčování	Mokré pískování
Počet kusů s nulovou tolerancí	Stejně hodnoty	Stejně hodnoty
Maximální naměřená odchylka	Mokré pískování	Kartáčování

## 4 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ

Po zhodnocení výsledků parametru velikosti zaoblení bylo vyzkoumáno procento naměřených kusů v toleranci u VBD typu A 73,5 %, u VBD typu B 97,6 %, u VBD typu C 65,3 %, u VBD typu D 96,9 % a u VBD typu E 91,6 %. Z pohledu vykazování tvarových odchylek zaoblení na hřbetní ploše, destička typu A vykazovala tyto tvarové odchylky u 70 % měřených vzorků, destička typu B u 93 % měřených vzorků, destička typu C u 28 % vzorků. Destička typu D vykazovala tvarové odchylky na hřbetní ploše u 73 % měřených vzorků a u destičky typu E bylo naměřeno 71 % vzorků vykazujících tyto odchylky. Po prozkoumání a zhodnocení překročených tolerancí u jednotlivých typů destiček pro parametr velikosti zaoblení bylo zjištěno procento naměřených vzorků u VBD typu C s hodnotou necelých 34 %. To je největší procento vzorků mimo toleranci ze všech zkoumaných typů destiček. Naopak největší procento vzorků v toleranci bylo u výroby zaoblení VBD typu B. Podobně na tom byla výroba zaoblení VBD typu D, která vykazovala počet vzorků v požadované toleranci necelých 97 %. Vzhledem ke zmetkovitosti při výrobě jednotlivých typů destiček, nejpříznivější výsledky prokázala destička typu B, kde nebyl ani jeden kus, který by nešel další úpravou zaoblení zařadit mezi kusy v požadované toleranci. Největší zmetkovitost ukázaly výsledky destičky typu C, kde zmetků bylo naměřeno 14 %.

K tvarovým odchylkám, zaoblené VBD typu A, B, D a E vykazovaly tvarovou odchylkou na hřbetní ploše. To znamená, že zaoblení těchto typů VBD bylo zhotovené převážně s formou mikrogeometrie vodopádu. U VBD typu C převažovaly kusy vykazující tvarovou odchylku na čelní ploše, tedy měly zhotovené zaoblení převážně s formou geometrie trumpety. U jediného vzorku ze všech zkoumaných měření bylo zaoblení tvarových odchylek na hřbetní a čelní ploše stejné. Toto výsledné zaoblení mělo pravidelně zaoblený rádius a vzniklo u destičky typu D. Při srovnávání přesnosti velikosti zhotoveného poloměru zaoblení, podle procent naměřených VBD ve skupině tolerance 5 a 6, bylo zjištěno nejvyšší procento naměřených vzorků 28,6 % u VBD typu B a nejnižší 14,9 % u VBD typu C. Skupina 5 a 6 jsou skupiny s hodnotou zhotoveného zaoblení nejbližší požadovanému zaoblení.

Po zpracování zmiňovaných hodnocení všech typů destiček pro jednotlivé parametry vyplynulo, že neoptimalnější a neekonomičtější výroba všech zkoumaných typů destiček proběhla u destičky typu B a druhá nejvýhodnější u destičky typu D. Nejméně příznivé výsledky hodnocených parametrů ukázaly naměřené hodnoty destičky typu C. Destička typu B se umístila na prvním místě v hodnocení pro přesnost výroby zaoblení na požadovanou

toleranci, pro počet naměřených hodnot mimo toleranci a také pro zmetkovitost. VBD typu B obsadila druhé místo pro všechny tři zmiňované hodnocení. Nejméně příznivé výsledky hodnocení zmiňovaných parametrů se zjistily u destičky typu C.

Zhodnocením procesu mokrého pískování pro jednotlivé parametry se zjistilo, že zhotovení zaoblení v požadované toleranci proběhlo u téměř 90 % všech hodnocených destiček. Procento zmetkovitosti při výrobě bylo vyčísleno na 4,2 %. Také bylo zjištěno, že zde převládaly destičky vykazující tvarové odchylky zaoblení na hřbetní ploše. Tuto odchylku vykazovalo 71 % z celkového počtu měřených destiček. Mimo požadovanou toleranci tvarové odchylky zaoblení na hřbetní ploše bylo vyrobeno zaoblení VBD téměř 9 %. Destiček vyhodnocených mimo požadovanou toleranci tvarové odchylky zaoblení na čelní ploše bylo 40 %. Tento proces tedy zaoblil břity destiček v 71 % na formu geometrie vodopádu a v 29 % na formu geometrie kapky. Po vyhodnocení naměřených výsledků pro jednotlivé parametry u procesu kartáčování se došlo k závěru, že zhotovených zaoblení měřených destiček v požadované toleranci bylo také 90 %. Zmetkovitost byla vyčíslena na necelé 4 % ze všech naměřených destiček zpracovávaných tímto procesem. Naměřené hodnoty ukázaly při zaoblování procesem kartáčování převládající počet VBD vykazujících tvarové odchylky na hřbetní ploše u 70 % zkoumaných destiček. Z pohledu tvarové odchylky na hřbetní ploše, vyšlo mimo požadovanou toleranci 32 % ze všech zaoblených destiček. Také zde byly zjištěny 2 destičky s naměřenou nulovou odchylkou. Při prozkoumání hodnot tvarových odchylek na čelní ploše se došlo k závěru, že mimo požadovanou toleranci zmíněné odchylky bylo vyrobeno 40 % destiček.

Z porovnání parametru zaoblení zhotovených destiček, zdali vyšel v toleranci, mimo toleranci nebo jako vadný kus, zpracovaných procesem kartáčování a procesem mokrého pískování vyplynulo, že pro výrobu zaoblení destiček zkoumaných typů nelze jednoznačně říct, který z použitých procesů je pro tuto výrobu zaoblení VBD výhodnější. Podle prozkoumaných parametrů oba tyto procesy vykazují velice podobné výsledky. Zhodnocením parametru tvarové odchylky zaoblení na čelní ploše se došlo ke stejnému závěru, tedy výsledky obou srovnávaných procesů jsou podobné. Ovšem prozkoumáním parametru tvarové odchylky zaoblení na hřbetní ploše se ukázalo, že proces mokrého pískování je vhodnější pro úpravu zaoblení těchto typů destiček. U destiček zaobleným procesem mokrého pískování bylo zjištěno, že necelých 9 % ze zkoumaných destiček vyšlo mimo požadovanou toleranci. U procesu kartáčování, hodnota tohoto parametru dosáhla 32 %. Na druhou stranu, po zhodnocení procentuálního podílu zhotovených zaoblení, které vyšly ve skupinách 5 a 6 bylo výhodnější zaoblování procesem kartáčování. U procesu

kartáčování bylo v těchto dvou skupinách 24 % ze všech měřených destiček zpracovávaných tímto procesem. Pro proces mokrého pískování, procento naměřených vzorků zařazených do skupiny 5 a 6 bylo 17 %. Pro zaoblení hodnocených typů VBD je tedy doporučen proces kartáčování.

Pro přesnější vyhodnocení výroby destičky typu A by bylo vhodné opakovat vyhodnocení s větším počtem naměřených vzorků. Vhodný počet naměřených výsledků pro přesnější výsledky by mohl být 150 a více. U destičky typu B je doporučeno podrobněji prozkoumat výrobu a zjistit důvod, proč téměř polovina destiček vykazuje tvarovou odchylku na hřbetní ploše mimo povolenou toleranci. Podobně je tomu u tvarové odchylky na čelní ploše. U výroby typu destičky C, kde vyšly výsledky naměřených vzorků mimo toleranci a výsledky počtu zmetků negativně, stojí za uvážení případný zásah do procesu. Také by bylo vhodné otestovat zaoblení destičky typu C procesem mokrého pískování a vyzkoušet tak, jak budou hodnocené parametry ovlivněny. Dále je doporučeno opakovat hodnocení zkoumaných procesů s větším množstvím dat a provést podrobnější prozkoumání pro jednotlivé, v této práci hodnocené parametry.

### Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Tomáši Zlámalovi, Ph.D. za rady ohledně bakalářské práce a panu Ing. Ondřeji Vortelovi za spolupráci a výpomoc při tvorbě bakalářské práce.

## 5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. MRKVICA, Ivan a Václav MORAVEC. Úpravy břitů a povrchů řezných nástrojů. MM Průmyslové spektrum [online]. 2007, 2007(6), 4 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/upravy-britu-a-povrchu-reznych-nastroju.html>
2. ZETEK, Miroslav, Helena ZÍDKOVÁ a Ivana ČESÁKOVÁ. *VLIV TVARU ŘEZNÉ HRANY NÁSTROJE NA PRŮBĚH ŘEZNÉHO PROCESU* [online]. 2009 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/15-2009/pdf/147-150.pdf>
3. ČESÁKOVÁ, Ivana, Miroslav ZETEK a Vojtěch ŠVARC. Evaluation of cutting tool parameters [online]. Plzeň, 2013 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: [https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings\\_2013/147.pdf](https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings_2013/147.pdf). Disertace. Západočeská univerzita Plzeň, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ivana Česáková. [https://www.researchgate.net/publication/321659963\\_Cutting\\_Edge\\_Microgeometry\\_and\\_Preparation\\_Methods](https://www.researchgate.net/publication/321659963_Cutting_Edge_Microgeometry_and_Preparation_Methods)
4. Pokrok v měření a hodnocení struktury povrchu. MM Průmyslové spektrum [online]. 11. 4. 2001, 2001(4), 4 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/pokrok-v-mereni-a-hodnoceni-struktury-povrchu.html>
5. Vývoj strojírenské měřicí techniky. MM Průmyslové spektrum [online]. 18. 6. 2003, 2003(6), 3 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vyvoj-strojirenske-merici-techniky.html>
6. Úprava mikrogeometrie ostří. CemeCon: Technologie, Úprava mikrogeometrie ostří [online]. Ivančice: CemeCon [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <http://www.cemecon.cz/technologie-uprava-mikrogeometrie-ostri>
7. Mechanická úprava monolitních nástrojů před PVD povlaky. MM Průmyslové spektrum [online]. 25. 4. 2007, 2007(4), 4 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/mechanicka-uprava-monolitnich-nastroju-pred-pvd-povlaky.html>
8. SCHNEIDER, George. Cutting tool applications [online]. Farmington Hills, MI: George Schneider, Jr., c2002 [cit. 2019-05-05]. ISBN 06-151-2191-8. Dostupné z: <http://www.opensourcemachine tools.org/archive-manuals/Cutting-Tool-Applications.pdf>



9. KARAFIÁTOVÁ, Stanislava a Ivo LANGER. Nekonvenční technologie: [učebnice]. Havlíčkův Brod: Fragment, 1998. Učebnice pro odborné školy (Fragment). ISBN 80-720-0296-1.
10. Omílání jako univerzální metoda pro úpravu povrchů. MM Průmyslové spektrum [online]. 16. 5. 2002, 2002(5), 3 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/omilani-jako-univerzalni-metoda-pro-upravu-povrchu.html>
11. Dotykové, nebo bezdotykové měření struktury povrchu. MM Průmyslové spektrum [online]. 15. 6. 2005, 2005(6), 2 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/dotykovne-nebo-bezdotykovne-mereni-struktury-povrchu.html>
12. Cutting edge micro-geometry characterisation [online]. Chennai, 2016 [cit. 2019 05-10]. Dostupné z: [https://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/195757/12/12\\_chapter%204.pdf](https://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/195757/12/12_chapter%204.pdf). f. Disertace. ANNA University.
13. JULIO CORTÉS RODRÍGUEZ, Carlos. Cutting Edge Preparation of Precision Cutting Tools by Applying Micro-abrasive Jet Machining and Brushing [online]. Kassel University Press, 2009 [cit. 2019-05-10]. ISBN 9783899587128. Dostupné z: <http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-712-8.volltext.frei.pdf>
14. FRIEMUTH, Thomas. Herstellung spanender Werkzeuge. Düsseldorf, 2002. ISBN 3183615029. Dissertation. University Hannover.
15. DIN 6582:1988-02. Begriffe der Zerspantechnik; Ergänzende Begriffe am Werkzeug, am Schneidkeil und an der Schneide. Germany: Beuth Verlag, 1988.
16. NEUSCHAEFER-RUBE, Ulrich. Sensoren un Geräteprinzipien für kleine Merkmale. Neunte VDI-Fachtagung Koordinatenmesstechnik. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2014, s. 225-239. ISBN 3180922435.
17. FRIEMUTH, Thomas, Roland HEILER a Peter MÜLLER. Bohrer und Gewindewerkzeuge: Werkzeugkonzepte: Fertigungstechnologien und elektronische Werkzeugauswahl. Landsberg: Verlag Moderne Industrie, 2003. ISBN 9783478933001.
18. TOMIS, Jan. Vliv velikosti zaoblení ostří na trvanlivost VBD. Brno, 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Martin Binder.
19. MOSER, Martin. The Importance of Cutting Edge Preparation In Metal Cutting Technology. In OTEC Präzisionsfinish [online]. Německo: OTEC, 2006 [cit. 2011-

- 12-07]. Dostupné online z: <https://www.slideserve.com/roy/the-importance-of-cutting-edge-preparation-in-metal-cutting-technology-presented-by>
20. TRENT, Eduard Mark a Paul Kenneth WRIGHT. Metal cutting. 4th ed. Boston: Butterworth-Heinemann, c2000. ISBN 978-075-0670-692.
  21. Shatla, Mark, Constable Kerk and Thomas Altan. Process modeling in machining . Part II: validation and applications of determined flow stress data. In: *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 41 (2001), S. 1659-1680
  22. Cemented tungsten carbide: material properties. In: Matmatch [online]. Mnichov: Ceratizit, c2019 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://matmatch.com/suppliers/cera-ceratizit/examples/cemented-tungsten-carbide-properties>
  23. CHILDS, Thomas. Metal machining: theory and applications. New York: Wiley, 2000. ISBN 978-0340691595.
  24. KOČMAN, Karel. Technologie obrábění. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0.
  25. PODANÝ, Pavel a Antonín KRŽIŽ. Předdepoziční procesy při výrobě tenkých vrstev [online]. Hradec nad Moravicí, 2006 [cit. 2019-05-10]. Dostupné online z: [http://www.ateam.zcu.cz/podany\\_metal06.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/podany_metal06.pdf)
  26. Základní rozdělení brusných kotoučů k ostření nástrojů. TumliKOVO: Technologie strojního obrábění kovů [online]. Praha, 2010, 10. listopadu 2010 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/zakladni-rozdeleni-brusnych-kotoucu-k-ostreni-nastroju/>
  27. Optický profilometr Nexview NX2. In: Optixs: Lasery a přístrojová technika [online]. Praha, 2015, 2017 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://www.optixs.cz/mereni-povrchu-38k/opticke-profilomery-87k/opticky-profilometr-nexview-nx2-161p>
  28. Drsnoměr Tesa Rugosurf 90G. In: SOMEX servis spol. s r.o. [online]. Teplice, 1994, 2016 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://somex.cz/drsnomery/drsnomer-tesa-rugosurf-90g.html>
  29. WOON, Keng and Michael Rahmna. Investigation of tool edge radius effect in micromachining. Part I: A FEM simulation approach. In: *Journal of Materials Processing Technology* 195 (2001), S. 1395-1407
  30. Technologie úprav nástrojů před a po povlakování. MM Průmyslové spektrum [online]. 7. 9. 2005, 2005(9), 6 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z:

- <https://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-uprav-nastroju-pred-a-po-povlakovani.html>
31. RAMESH, Varun. Cutting edge preparation [online]. Bangalore, 2015 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/baa8/02dc3ca16b6b772ba837465bedc8ab19e5f4.pdf>. Bachelor thesis. Bangalore Institute of Technology.
32. Influence of the cutting edge microgeometry on the tool life in austenitic stainless steel machining with carbide end mill. In: ResearchGate [online]. 2008, August 2017 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/318110843\\_Influence\\_of\\_the\\_cutting\\_e dge\\_microgeometry\\_on\\_the\\_tool\\_life\\_in\\_austenitic\\_stainless\\_steel\\_machining\\_w ith\\_carbide\\_end\\_mill](https://www.researchgate.net/publication/318110843_Influence_of_the_cutting_edge_microgeometry_on_the_tool_life_in_austenitic_stainless_steel_machining_with_carbide_end_mill)
33. Five-Axis brushing for cutting edge preparation. In: Springer Link [online]. Springer Automotive Media, 2008, February 2009 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF03224185>
34. Spindle or Drag Finishing: Walther Trowal Drag Finishing Machines. In: RCM Deburring [online]. RCM Deburring, 2014, 2014 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.rcmdeburring.com/equipment/spindledrag.php>
35. MarSurf: Přístroje a systémy pro měření kvality povrchu. In: Panas [online]. Hradiště: Panas [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://panas.sk/storage/app/uploads/public/5c9/2b4/bdf/5c92b4bdf32d5268311605.pdf>
36. Tiger. In: Vapormatt [online]. Bridgwater: Vapormatt [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.vapormatt.com/machines/automatic/tiger>
37. Wheel brushes. In: Osborn International [online]. Huskvarna: Osborn International [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://www.osborn.es/media/PDF/sinjet/IBX-12%20english.pdf>
38. Firemní katalog Dormer Pramet: Nástroje a destičky pro frézování [online]. 2014 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: [https://www.mav.cz/data/katalog/k\\_frez\\_pramet.pdf](https://www.mav.cz/data/katalog/k_frez_pramet.pdf)

## SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1 – PROCESNÍ PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ ŽIVOTNOST NÁSTROJE <sup>3</sup> .....	11
OBRÁZEK 2 – SCHÉMA BŘITU NÁSTROJE <sup>1</sup> .....	12
OBRÁZEK 3 – PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ ZAOBLENÍ, PROFILOMETR (VLEVO) A DRSNOMĚR (VPRAVO) <sup>27,28</sup> .....	15
OBRÁZEK 4 – CHARAKTERIZACE PROFILU OSTŘÍ NÁSTROJE NAVRŽENÉ DLE DENKENA A SPOL. <sup>12</sup> .....	18
OBRÁZEK 5 – ZAOBLENÍ BŘITU PŘED A PO ÚPRAVĚ <sup>2</sup> .....	20
OBRÁZEK 6 – ZÁKLADNÍ DRUHY GEOMETRIE U TECHNOLOGIE ÚPRAVY OSTŘÍ ŘEZNÉHO NÁSTROJE <sup>13</sup> .....	22
OBRÁZEK 7 – SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ TECHNOLOGIE PÍSKOVÁNÍ <sup>32</sup> .....	24
OBRÁZEK 8 – SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ TECHNOLOGIE KARTÁČOVÁNÍ <sup>33</sup> .....	25
OBRÁZEK 9 – SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ TECHNOLOGIE VLEČNÉHO OMÍLÁNÍ <sup>34</sup> .....	26
OBRÁZEK 10 – NÁRUST TRÍSKY V URČITÝCH POMĚRECH $R_n/H$ <sup>29</sup> .....	27
OBRÁZEK 11 – MIKROSTRUKTURA WC-CO KARBIDU <sup>22</sup> .....	30
OBRÁZEK 12 – ZNÁZORNĚNÍ ZMĚŘENÉ VELIKOSTI ZAOBLENÍ S ODCHYLKOU NA HŘBETNÍ PLOŠE .....	32
OBRÁZEK 13 – GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ POUŽITÝCH TYPŮ VBD <sup>38</sup> .....	34
OBRÁZEK 14 – STROJ POUŽÍVANÝ PRO TVORBU ZAOBLENÍ BŘITU SINJET IBX 12 <sup>37</sup> .....	35
OBRÁZEK 15 – KARTÁČE SiC 80 A SiC 120 POUŽITÉ PŘI ZAOBLOVÁNÍ VBD .....	36
OBRÁZEK 16 – ZOBRAZENÍ STROJE PRO PROCES MOKRÉHO PÍSKOVÁNÍ <sup>36</sup> .....	38
OBRÁZEK 17 – TRYSKACÍ MÉDIUM POUŽÍVANÝ PRO ZAOBLOVÁNÍ BŘITU VBD .....	39
OBRÁZEK 18 – PALETKA NASKLÁDANÝCH VDB URČENÝCH K ÚPRAVĚ BŘITU .....	40
OBRÁZEK 19 – DOTYKOVÝ PROFILOMETR MARSURF XC 20 <sup>35</sup> .....	41
OBRÁZEK 20 – DESTIČKA UMÍSTĚNÁ V ZÁKLADNĚ .....	42
OBRÁZEK 21 – GRAFICKÁ PODOBA PROGRAMU SAP .....	43
OBRÁZEK 22 – PŘÍKLAD ZOBRAZENÍ NAMĚŘENÝCH DAT V PROGRAMU SAP .....	43
OBRÁZEK 23 – PŘÍKLAD TABULEK ZPRACOVANÝCH VÝSLEDKŮ DESTIČKY TYPU B .....	44

## SEZNAM TABULEK

TABULKA 1 – POUŽITÉ PARAMETRY PRO ZAOBLENÍ DESTIČKY TYPU B .....	37
TABULKA 2 – POUŽITÉ PARAMETRY PRO ZAOBLENÍ DESTIČKY TYPU C .....	37
TABULKA 3 – POUŽITÉ PARAMETRY PRO ZAOBLENÍ DESTIČKY TYPU D .....	37
TABULKA 4 – POUŽITÉ PARAMETRY PRO ZAOBLENÍ DESTIČKY TYPU A .....	39
TABULKA 5 – POUŽITÉ PARAMETRY PRO ZAOBLENÍ DESTIČKY TYPU E .....	39
TABULKA 6 – ROZSAHY SKUPIN TOLERANCE PRO VŠECHNY TYPY VBD .....	44
TABULKA 7 – VÝSLEDKY VYHODNOCENÍ TVAROVÉ ODCHYLKY NA ČELNÍ PLOŠE .....	51
TABULKA 8 – VÝSLEDKY VYHODNOCENÍ TVAROVÉ ODCHYLKY NA ČELNÍ PLOŠE .....	54
TABULKA 9 – POČET VÝSKYTŮ VŠECH TYPŮ DESTIČEK PRO PARAMETR VELIKOST POLOMĚRU ZAOBLENÍ .....	57
TABULKA 10 – POČET DESTIČEK NAMĚŘENÝCH V TOLERANCI A MIMO TOLERANCI .....	57
TABULKA 11 – POČET DESTIČEK VYKAZUJÍCÍCH TVAROVOU ODCHYLKU NA ČELNÍ A HŘBETNÍ PLOŠE .....	57
TABULKA 12 – VYHODNOCENÍ POŘADÍ VŠECH TYPŮ DESTIČEK PRO JEDNOTLIVÁ HODNOCENÍ .....	58
TABULKA 13 – VYHODNOCENÍ PROCESŮ DLE PARAMETRU VELIKOSTI POLOMĚRU ZAOBLENÍ .....	59

TABULKA 14 – VYHODNOCENÍ PROCESŮ DLE PARAMETRU TVAR. ODCHYLKY NA HŘBETNÍ PLOŠE .....	59
TABULKA 15 – VYHODNOCENÍ PROCESŮ DLE PARAMETRU TVAR. ODCHYLKY NA ČELNÍ PLOŠE .....	59

## SEZNAM GRAFŮ

GRAF 1 – HISTOGRAM TVOŘENÝ NAMĚŘENÝMI VZORKY 1. ZAKÁZKY DESTIČKY TYPU B .....	45
GRAF 2 – HISTOGRAM PRO PARAMETR VELIKOSTI ZAOBLENÍ DESTIČKY TYPU A.....	47
GRAF 3 – HISTOGRAM PRO PARAMETR VELIKOSTI ZAOBLENÍ DESTIČKY TYPU B.....	48
GRAF 4 – HISTOGRAM PRO PARAMETR VELIKOSTI ZAOBLENÍ DESTIČKY TYPU C.....	49
GRAF 5 – HISTOGRAM PRO PARAMETR VELIKOSTI ZAOBLENÍ DESTIČKY TYPU D .....	50
GRAF 6 – HISTOGRAM PRO PARAMETR VELIKOSTI ZAOBLENÍ DESTIČKY TYPU E.....	50
GRAF 7 – TVAR. ODCHYLKY NA HŘBETNÍ PLOŠE PRO VŠECHNY ZAKÁZKY U VBD TYPU A .....	52
GRAF 8 – POROVNÁVÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT PRVNÍ A DRUHÉ ZAKÁZKY U DESTIČKY B .....	52
GRAF 9 – POROVNÁVÁNÍ DVOU ZAKÁZEK S NEJMENŠÍMI ODCHYLKAMI U DESTIČKY C .....	53
GRAF 10 – POROVNÁVÁNÍ DVOU ZAKÁZEK S NEJVYŠŠÍMI ODCHYLKAMI U DESTIČKY D .....	53
GRAF 11 – SROVNÁNÍ VELIKOSTI ZAOBLENÍ A TVAR. ODCHYLKY NA HŘBETNÍ PLOŠE U DESTIČKY A .....	54
GRAF 12 – ČETNOSTI VÝSKYTŮ PRO JEDNOTLIVÉ SKUPINY TOLERANCE U PROCESU MOKRÉHO PÍSKOVÁNÍ .....	55
GRAF 13 – ČETNOSTI VÝSKYTŮ PRO JEDNOTLIVÉ SKUPINY TOLERANCE U PROCESU KARTÁČOVÁNÍ .....	56
GRAF 14 – POČET VÝSKYTŮ VBD U SROVNÁVANÝCH PROCESŮ V JEDNOTLIVÝCH SKUPINÁCH TOLERANCE.....	58

**SEZNAM PŘÍLOH**

PŘÍLOHA 1 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU A, ZAKÁZKA 1 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 2 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU A, ZAKÁZKA 2 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 3 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU A, ZAKÁZKA 3 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 4 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU A, ZAKÁZKA 4 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 5 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU B, ZAKÁZKA 1 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 6 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU B, ZAKÁZKA 2 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 7 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU B, ZAKÁZKA 3 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 8 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU B, ZAKÁZKA 4 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 9 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU B, ZAKÁZKA 5 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 10 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU C, ZAKÁZKA 1 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 11 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU C, ZAKÁZKA 2 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 12 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU C, ZAKÁZKA 3 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 13 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU C, ZAKÁZKA 4 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 14 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU C, ZAKÁZKA 5 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 15 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU D, ZAKÁZKA 1 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 16 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU D, ZAKÁZKA 2 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 17 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU D, ZAKÁZKA 3 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 18 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU D, ZAKÁZKA 4 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 19 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU D, ZAKÁZKA 5 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 20 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU E, ZAKÁZKA 1 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 21 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU E, ZAKÁZKA 2 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 22 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU E, ZAKÁZKA 3 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 23 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU E, ZAKÁZKA 4 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 24 – NAMĚŘENÉ HODNOTY DESTIČKY TYPU E, ZAKÁZKA 5 .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 25 – TABULKY VÝSLEDKŮ PARAMETRU VELIKOSTI POLOMĚRU ZAOBLNĚNÍ .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 26 – TABULKY VÝSLEDKŮ PARAMETRU TVAROVÉ ODCHYLKY NA HŘBETNÍ PLOŠE.....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 27 – TABULKY VÝSLEDKŮ PARAMETRU TVAROVÉ ODCHYLKY NA ČELNÍ PLOŠE.....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 28 – VÝSLEDKY ZKOUMANÝCH PARAMETRŮ PROCESU MOKRÉHO PÍSKOVÁNÍ .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>
PŘÍLOHA 29 – VÝSLEDKY ZKOUMANÝCH PARAMETRŮ PROCESU KARTÁČOVÁNÍ .....	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>