

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T004 Strojírenská technologie – technologie
obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vliv úpravy hlavního břitu monolitního šroubovitého vrtáku na
trvanlivost nástroje

Autor: **Bc. Petra ŠULDOVÁ**

Vedoucí práce: **Ing. Miroslav ZETEK, Ph.D.**

Akademický rok 2012/2013

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Autorská práva

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

Poděkování za pomoc při řešení diplomové práce

Děkuji všem pracovníkům Západočeské univerzity, kteří mne vedli a pomáhali mi během studia a při tvorbě diplomové práce a kolektivu pracovníků halových laboratoří KTO.

Zvláštní poděkování patří mé rodině za bezmeznou podporu, kterou mi při studiích poskytovala.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Šuldová	Jméno Petra	
STUDIJNÍ OBOR	2303T004 Strojírenská technologie – technologie obrábění		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Zetek, Ph.D.	Jméno Miroslav	
PRACOVISTĚ	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Vliv úpravy hlavního břítu monolitního šroubovitého vrtáku na trvanlivost nástroje		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2013
---------	---------	---------	-----	-------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	80	TEXTOVÁ ČÁST	66	GRAFICKÁ ČÁST	14
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Práce se zabývá porovnáním chování monolitních vrtáků s různou úpravou hlavního břítu a vlivem těchto úprav břítu nástroje na jeho trvanlivost.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Mikrogeometrie, trvanlivost, vrták, zaoblení, fazeta

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Šuldová	Name Petra	
FIELD OF STUDY	2303T004 - Manufacturing Processes - Technology of Metal Cutting		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Zetek, Ph.D.	Name Miroslav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Influence of the cutting edge design of solid twist drill on tool life		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2013
---------	---------------------------	------------	-------------------------	--------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	80	TEXT PART	66	GRAPHICAL PART	14
---------	----	-----------	----	----------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This task deals with the explanation of basic concepts in microgeometry improvements and describes its influence on tool life.
KEY WORDS	Microgeometry, tool life, twist drill, rounded edge, chamfered edge

Obsah

Předmluva	3
1 Úvod	4
1.1 Nástroje pro vrtání [7].....	4
1.2 Řezné materiály.....	8
1.2.1 Řezné materiály pro monolitní vrtáky.....	9
1.2.2 Ostatní řezné materiály.....	10
1.3 Tenké vrstvy.....	11
1.3.1 Tenké vrstvy pro monolitní vrtáky.....	13
1.4 Makrogeometrie řezného nástroje.....	16
1.4.1 Makrogeometrie monolitního šroubovitého vrtáku [26].....	16
2 Mikrogeometrie nástroje	20
2.1 Vliv mikrogeometrie na řezný proces.....	20
2.2 Typy mikrogeometrie.....	22
2.3 Velikosti zaoblení a zkosení.....	24
2.4 Technologie výroby mikroúprav[1, 3, 4].....	24
2.4.1 Kartáčování, leštění[1,3].....	25
2.4.2 Pískování (mikro otryskávání proudem abraziva) [1, 3, 6].....	26
2.4.3 Mikro otryskávání vodním paprskem.....	29
2.4.4 Magnetické dokončování.....	29
2.4.5 Omílání v granulátech [3, 20, 21, 22].....	30
3 Experimentální část	32
3.1 Návrh mikroúprav.....	32
3.2 Experiment č. 1.....	33
3.2.1 Použité vybavení.....	33
3.2.2 Popis nástroje.....	35
3.2.3 Obrobek.....	35
3.2.4 Naměřená data a vyhodnocení.....	36
3.3 Experiment č. 2.....	44
3.3.1 1. část experimentu.....	44

3.3.2	2. část experimentu	47
4	Technicko – ekonomické zhodnocení.....	53
5	Závěr	57
	Seznam literatury	58
	Seznam příloh.....	61

Předmluva

Ve strojírenském průmyslu, strojírenské technologii, a proto i v oblasti technologie obrábění, dochází k neustálému zvyšování produktivity s cíleným snižováním celkových výrobních nákladů a s ohledem na životní prostředí. Obrábění je již dlouhou dobu celosvětově důležitá technologie, která zahrnuje několik vědních odvětví, uspokojuje nároky na přesnost a jakost výrobků a zahrnuje finální procesy, kterými dostávají součásti svůj konečný požadovaný tvar, vzájemnou polohu ploch, přesnost a jakost povrchu. Technologie obrábění se neustále zdokonaluje, vyvíjí se konstrukční materiály, řezné nástroje i nové, hospodárnější a méně složité technologie.

Tato diplomová práce bude zaměřena především na řezný nástroj a to konkrétně na úpravu mikrogeometrie břítu vrtáku. V dnešní době je velká pozornost soustředěna právě na mikrogeometrii nástroje, která ovlivňuje nejen řezný proces, ale i kvalitu přilnutí tenké vrstvy na nástroj.

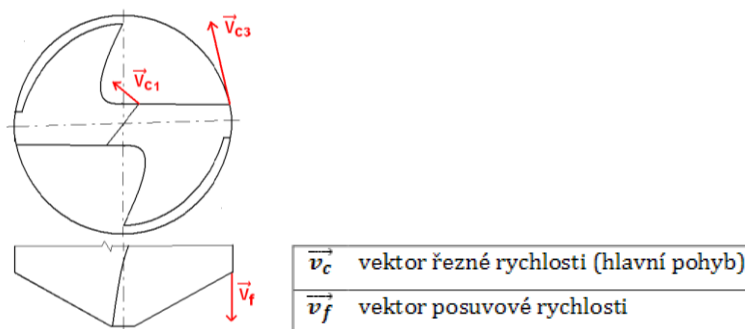
Cílem této práce je výběr několika typů úprav mikrogeometrie šroubovitého monolitního vrtáku, porovnání chování těchto nástrojů při procesu vrtání a posouzení vlivu těchto úprav na trvanlivost nástroje a určení nejvhodnější mikroúpravy hlavního ostří vrtáku z hlediska zvýšení jeho trvanlivosti.

1 Úvod

Technologie vrtání zahrnuje způsob obrábění, který se používá ke zhotovování válcových děr v obrobku při použití řezných nástrojů. Hlavním znakem je rotační pohyb nástroje. Vrtání je charakterizováno tvarovým nástrojem – vrtákem – s jedním nebo více břity, který svým tvarem a dalšími technologickými vlastnostmi ovlivňuje parametry obrobeneé plochy. Vrtáním se zhotovují díry v plném materiálu.

Vrtání se od ostatních technologií (soustružení, frézování) odlišuje tím, že se provádí na již obrobeneé součásti. Pokud tedy nebude mít vrtací nástroj optimální vlastnosti a výkon, může dojít k poškození a v nejhorším případě i ke zničení obrobku v konečné fázi výroby, což výrazně snižuje produktivitu procesu výroby součásti.

Při vrtání vykonává hlavní řezný pohyb obvykle nástroj (vrtání na vrtačkách, vyvrtávačkách, obráběcích centrech) nebo méně často obrobek (vrtání na soustruhu). Vedlejší pohyb je přímočarý posuvný a je konán ve směru osy vrtáku. Vedlejší pohyb obvykle koná nástroj. Směry vektorů řezné a posuvové rychlosti jsou znázorněny na obr. 1. Nástroj je veden do záběru.



Obrázek 1: Kinematika vrtání šroubovitým vrtákem

Řezná rychlost se podél hlavního ostří mění. Od osy vrtáku, kde je řezná rychlost nulová, se směrem k obvodu zvětšuje. Řezná rychlost v každém bodě hlavního ostří závisí na vzdálenosti tohoto bodu od středu a na otáčkách vrtáku.

V technické praxi se obvykle pro výpočty stanovuje jen jedna řezná rychlost a to na obvodu nástroje.

1.1 Nástroje pro vrtání [7]

Nástroje pro vrtání lze obecně rozdělit na:

- Monolitní nástroje
- Nástroje s VBD



a) Monolitní

b) s VBD

Obrázek 2: Základní konstrukce vrtacích nástrojů

Monolitní nástroje jsou používány převážně pro vrtání děr menších průměrů, přibližně 4-16mm. Nástroje s VBD se používají od průměru 16mm. Hlavním důvodem použití VBD je úspora řezného materiálu. Ten je tak pro svou vysokou cenu použit jen na řezné části nástroje. Ze stejného důvodu jsou používány vrtáky s vyměnitelnými hlavičkami. Ty mají oproti VBD rovnoměrnější řezný účinek. Nerovnoměrný řezný účinek je u VBD způsoben jejich nesterjnou vzdáleností od osy nástroje.

Vrtání lze rozdělit na:

- Vrtání krátkých děr
- Vrtání hlubokých děr
- Speciální druhy vrtání

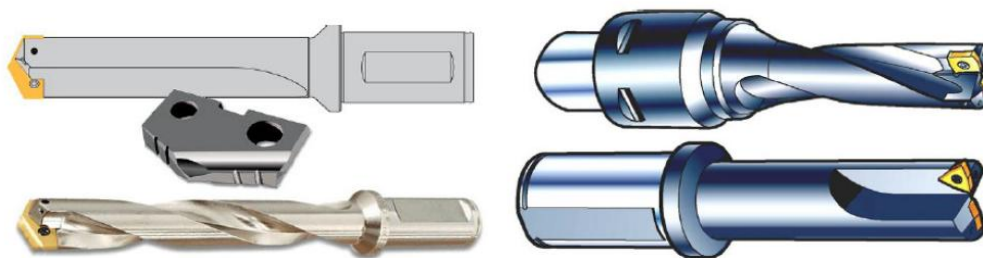
Vrtání krátkých děr

Krátké díry jsou díry s poměrem délky díry L k jejímu průměru D 10:1 tedy $D:L=5$. Pro výrobu krátkých děr se většinou používají šroubovitě vrtáky, kopinaté vrtáky a frézovací vrtáky.

Monolitní šroubovitě vrtáky jsou v praxi nejpoužívanějšími vrtacími nástroji. Je to proto, že díky poměru $L:D$ nejvíce postihují potřeby běžného strojírenství. Dosahují též větší produktivity oproti dělovým vrtákům. Z těchto důvodů se tato práce věnuje úpravě hlavního břitu právě monolitního šroubovitěho vrtáku. (popsán podrobně v kapitole 1.4.1)

Vrtáky s VBD - (obr. 3) mají dvě až tři vyměnitelné břitové destičky upnuté šrouby na tělese vrtáku. Používají se pro $L:D = 2:1$, průměry $D= 12\text{mm}$ až 100mm . Procesní kapalina je přiváděna tělesem vrtáku a třísky odváděny drážkami.

Kopinaté vrtáky (obr. 3) mají vysokou tuhost, umožňují vrtat díry s poměrem $L:D = 3:1$ o průměru 10mm až 128mm . Vyměnitelná břitová destička z rychlořezné oceli nebo slinutého karbidu je umístěna ve vybrání tělesa vrtáku.



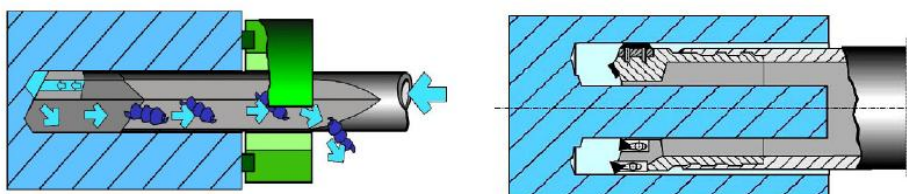
Obrázek 3: Kopinatý a frézovací vrták [9]

Vrtání hlubokých děr

Hlubokými dírami se rozumí díry s poměrem L:D větším než 10:1. Nástroje pro vrtání hlubokých děr musí být schopny díru vyvrtat bez zpětného vyjíždění a odstraňování třísek. Odstraňování třísek je většinou zajišťováno, stejně jako chlazení a mazání, přívodem procesní kapaliny až k ostří nástroje. Používají se především hlavňové vrtáky, ejektorové vrtáky, korunkové trepanační hlavy a nástroje BTA.

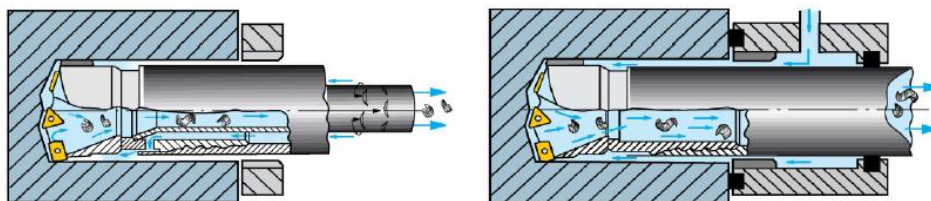
Hlavňové vrtáky (obr. 4) se skládají z řezné části s jedním řezným plátkem a dvěma vodicími a tyče (trubky) potřebné délky. Řezná část z rychlořezné oceli nebo slinutého karbidu je připájena na tyč. Procesní kapalina je přiváděna vnitřkem vrtáku a stejným otvorem jsou odváděny třísky. Vrtáky se vyrábějí pro průměry děr 7 – 70 mm.

Korunkové trepanační hlavy (obr. 4) jsou používány pro vrtání na jádro. Vyrábí se pro průměry děr do 250 mm, mezikruží má rozměr 20 – 50mm. Jsou to mnohabřité nástroje. Vzhledem k obtížnému odvodu třísky je nutné věnovat zvýšenou pozornost jejímu tvarování a dělení.



Obrázek 4: Technologie vrtání hlavňovým a korunkovým vrtákem[9]

Vrtací hlavy využívají buď ejektorový nebo tzv. BTA (Boring and Trepanning Association) princip. Vrtáky s ejektorovým principem (obr. 5) se skládají z vrtací hlavice, která je našroubována do vnější vrtací trubky. Procesní kapalina je přiváděna mezikružím mezi vnější a vnitřní trubkou pod tlakem 0,5 - 2 MPa. Její malé množství odchází štěrbinami v zadní části vnitřní trubky a způsobuje ejektorový efekt. [7] Vyrábí se pro průměry nad 200 mm. BTA nástroje (obr. 5) umožňují vrtat do plného materiálu, na jádro, i zvětšování předvrtaných otvorů. Je možné vrtat díry do 200 mm. Procesní kapalina je přiváděna mezi vrtákem a stěnou vrtané díry a je odváděna středem vrtáku. Spolu s kapalinou jsou odváděny i třísky. Tlak procesní kapaliny je 4 - 10 MPa.



Obrázek 5: Technologie vrtání ejektorovým a BTA vrtákem

Charakteristiky řezného nástroje

Základními parametry řezného procesu jsou stav stroje, typ obrábění, řezné podmínky, obráběný materiál a v neposlední řadě také vlastnosti řezného nástroje. Zvýšení produktivity řezných procesů a kvality obrobků vyžaduje vývoj moderních a přesných řezných nástrojů.

K odebrání třísky a vytváření nových povrchů požadovaného tvaru, rozměrů a jakosti musí být k dispozici řezný nástroj, jehož břit má nejen odpovídající houževnatost a současně vysokou tvrdost v oblasti ostří, která nesmí příliš poklesnout ani při vysokých pracovních teplotách, ale i odolnost proti opotřebení, pevnost v ohybu, žárupevnost, žáruvzdornost a otěruvzdornost [10]. Správné nasazení nástrojů je nezbytným předpokladem pro hospodárnost, spolehlivost a produktivitu obráběcího procesu.

Hlavními důvody pro konstrukci nových řezných nástrojů a vývoj nových řezných materiálů je snaha o zvýšení produktivity a hospodárnosti procesů obrábění a nutnost opracování nových konstrukčních materiálů. Jsou kladeny zvyšující se nároky na životnost nástroje, vyšší řezné parametry a objem odebíraného materiálu za jednotku času.

Při návrhu nástroje je nutno vzít v potaz požadavky na řezný nástroj a nároky na něj kladené pro daný obráběný materiál. Při vývoji nových nástrojů jsou posuzovány tyto čtyři hlavní charakteristiky:

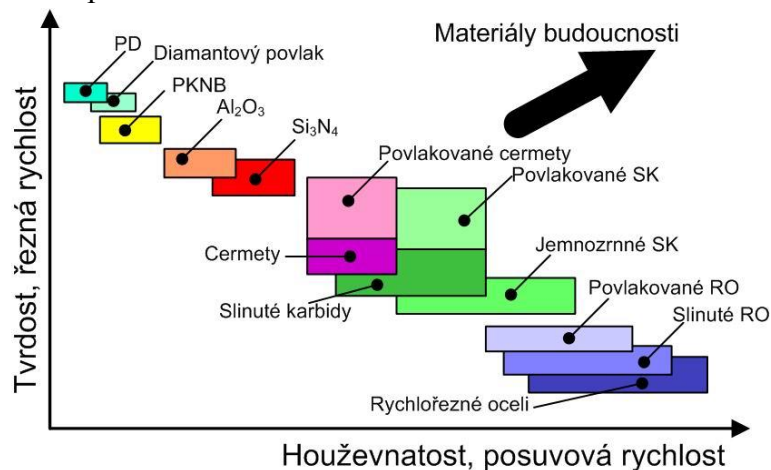
- Materiál řezného nástroje (ekonomické hledisko, vhodnost pro zvolenou technologii)
- Tenká vrstva (zlepšení mechanických vlastností základního řezného materiálu)
- Makrogeometrie (geometrie nástroje umožňující odchod třísky, tvorba požadovaného tvaru třísky)
- Mikrogeometrie (vhodnost pro zvolenou technologii, vhodnost pro následující depozici vrstev)

Kontrola a respektování všech těchto aspektů ovlivňuje kvalitu a spolehlivost řezných nástrojů, které jsou při obrábění moderními technologiemi vystaveny extrémním řezným podmínkám. Tlak mezi nástrojem a obrobkem dosahuje hodnot 100 – 10 000 MPa, teplota 300 – 1200°C a řezná rychlost při vrtání 10 – 300 m/min. [1]

Uvedenými charakteristikami se zabývají následující kapitoly.

1.2 Řezné materiály

Řezné materiály dnes umožňují optimalizaci každé operace obrábění. Existuje několik druhů řezných materiálů, jsou to například HSS (high speed steels) oceli – rychlořezné oceli, slinuté karbidy, keramika, cermety, CBN (cubic boron nitride) - kubický nitrid boru nebo polykrystalický diamant. Jak bylo již zmíněno, základním požadavkem na materiál řezného nástroje je vysoká tvrdost při zachování dostatečné houževnatosti. Rozdělení materiálů v závislosti na jejich tvrdosti a houževnatosti je uvedeno na obr. 6. Je patrné, že vývoj nových materiálů směřuje ke stále vyšším hodnotám obou těchto parametrů.



Obrázek 6: Rozdělení řezných materiálů [10]

Řezný materiál volíme na základě druhu obráběného materiálu, stability řezného procesu, možnosti chlazení a technologických podmínek procesu obrábění. Aplikace jednotlivých druhů řezných materiálů závisí na množství různých faktorů, především můžeme jmenovat fyzikální, mechanické, tepelné a chemické vlastnosti materiálu řezného nástroje.

- Fyzikální (velikost zrna, hmotnost, součinitel tření)
- Mechanické (pevnost v tlaku a ohybu, lomová houževnatost, tvrdost, pružnost)
- Tepelné (tepelná vodivost, délková roztažnost, pracovní teplota, teplota tavení)
- Chemické (chemická stálost, inertnost)

Tyto vlastnosti je nutné znát a při volbě vhodného řezného materiálu je brát v potaz. Na základě těchto vlastností je možné stanovit oblast použití nástroje a optimalizovat tak řezný proces jak z hlediska produktivity a času, tak z hlediska minimalizace nákladů.

Při hrubovacím obrábění a tedy větším průřezu třísky, kde jsou použity vyšší posuvové rychlosti než při dokončování, převládá mechanické zatížení nad tepelným. S výhodou se používají houževnaté řezné materiály. Řezné materiály vyznačující se svou tvrdostí se používají při dokončování, kde jsou vyšší řezné rychlosti a menší průřezy třísky.

1.2.1 Řezné materiály pro monolitní vrtáky

Rychlořezná ocel (RO)

Jsou to nástrojové oceli slitinové s většími přísadami legujících prvků, které podstatně zlepšují jejich řezné vlastnosti. Rychlořezné oceli se vyznačují nejvyšší houževnatostí ze všech řezných materiálů. Používají se výhradně na monolitní nástroje. Mají tvrdost okolo 750 HV. Jejich vlastnosti jsou závislé na vnitřní struktuře. Rychlořezné oceli mohou mít strukturu

- a) litou
- b) práškovou

Nástroje s litou strukturou obsahují nerovnoměrně rozložené hrubé karbidy, které snižují houževnatost a způsobují anizotropní vlastnosti materiálu. Lité oceli jsou stabilní do teploty 550°C (v závislosti na tepelném zpracování). Po překročení této teploty dochází k významnému poklesu tvrdosti a tím zároveň i k poklesu odolnosti vůči opotřebení.

Pro aplikace nad touto teplotní hranicí je možno použít rychlořezné oceli vyrobené práškovou metalurgií. Z vysoce čistého kovového prášku vzniká nástroj s téměř homogenní strukturou a izotropními vlastnostmi. Následné zpracování (kování, válcování) zajistí, že konečný produkt je bez pórů a má velmi jemnou karbidickou strukturu (velikost karbidů cca. 3-5 μ m). Práškové RO se potom vyznačují vyšší tvrdostí a odolností proti opotřebení než konvenční lité rychlořezné oceli. Složení rychlořezných ocelí udává tabulka č. 1.

Prvek	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Co	Nb
[%]	2,4-3,9	<0,8	<0,8	3,75-4,75	9-11,5	4,75-10,75	4-10	8,5-16	2-4

Tabulka 1: Složení rychlořezných ocelí [27]

Slinutý karbid (SK)

Slinuté karbidy jsou výrobky práškové metalurgie. Jsou tvořeny jemnými částicemi alespoň jedné tvrdé fáze v pojivu. Velikost karbidických částic se pohybuje od 0,2 μ m po více než 6 μ m. Tvrdé fáze jsou karbidy některých kovů (nejčastěji W, dále Ti a Ta) nebo karbonitridy (Ti (C, N)), které jsou navzájem spojeny kobaltem. Jako pojivo může ale být použita i kombinace Co, Ni a Fe, nebo Ni a Fe. [28] S rostoucím obsahem kobaltu vzrůstá houževnatost, ale klesá tvrdost a odolnost slinutého karbidu proti opotřebení. Díky nízké termochemické stabilitě nemohou být používány při velmi vysokých řezných rychlostech.

Slinuté karbidy mají vyšší tvrdost než rychlořezné oceli, pohybuje se v rozsahu 780-1850 HV a se zmenšující se velikostí zrna se zvyšuje. Slinutý karbid je materiál s vyšší ohybovou pevností, lomovou houževnatostí a modulem pružnosti. SK mohou být použity pro obrábění vysokými posuvovými rychlostmi a pro těžké přerušované řezy.

Podle druhu obráběného materiálu dělíme SK do šesti tříd:

- P (modrá) – obrábění běžných uhlíkových ocelí
- M (žlutá) – obrábění legovaných, korozivzdorných ocelí
- K (červená) – obrábění litin
- N (zelená) – obrábění neželezných kovů, slitiny Al a Cu
- S (oranžová) – obrábění žáruvzdorných materiálů na bázi Fe, Ti, Ni, a Co
- H (šedá) – obrábění tvrzených materiálů

1.2.2 Ostatní řezné materiály

Kromě předchozích popsaných materiálů existují i další řezné materiály, pro šroubovitě vrtáky jsou však používány především ve výzkumu. Patří mezi ně cermety, PKD a řezná keramika.

Cermet je slinutý karbid tvořený tvrdými částicemi na bázi Ti, Cr, Mo, nebo V. Pojivo je tvořeno směsí Co, Ni a Fe, obsahující 40 – 90% Co, a 4 – 36% Ni a Fe, přičemž poměr Ni:Fe se mění od 1,5:1 po 1:1,5. [29] Ve srovnání s běžnými slinutými karbidy má cermet nižší hmotnost, vyšší odolnost proti otěru a menší tendence k tvorbě nárůstku. Cermety se v současné době používají výhradně pro monolitní nástroje a to především frézy. Uplatňují se při dokončování korozivzdorných ocelí, nodulární litiny, nízkouhlíkových ocelí a feritických ocelí. Pro zvýšení jejich odolnosti proti otěru je možné nanášet tenké vrstvy metodou PVD.

PKD (polykrystalický diamant) je materiál vzniklý slinováním diamantových částic v kovovém pojivu. Protože je diamant nejtvrděší materiál, má také největší odolnost proti otěru. Má ale nízkou chemickou stabilitu, při vyšších teplotách (600°C) se rozpouští v železe a proto je jeho použití limitováno pouze na neželezné materiály. Používá se na monolitní nástroje pro vrtání do kompozitních materiálů (CFRP, MMC) nebo ve formě pájených břitových destiček pro dělové vrtáky.

Řezná keramika se dělí do několika tříd, které umožňují její použití pro širokou oblast aplikací. Je to keramika oxidová, smíšená, nitridová a keramika s whiskery.

Při správném použití keramických řezných materiálů umožňují specifické vlastnosti jednotlivých keramických tříd dosažení vysoké produktivity. Řezná keramika má v porovnání s HSS či SK vyšší tvrdost, ale nižší houževnatost, proto není vhodná pro obrábění přerušovanými řezy.

1.3 Tenké vrstvy

Vlastnosti základního materiálu řezného nástroje lze dále zlepšit deponováním tenkých vrstev na povrch nástroje. V posledních dvou desetiletích zaznamenaly technologie deponování vrstev značný vývoj. Vrstvy o tloušťce několika μm až stovek nm jsou nanášeny zejména na slinuté karbidy a rychlořezné oceli, a to jak na monolitní nástroje, tak na VBD. Jejich hlavním úkolem je:

- Zvýšení odolnosti nástroje vůči opotřebení
- Snížení teplotního zatížení nástroje
- Zabránění tvorbě nárůstku na břitu
- Snížení odporu při průchodu třísky drážkou nástroje
- Snížení vytvářeného tepla mezi třískou a čelem nástroje

Systém vrstva – substrát tvoří v podstatě kompozitní materiál, o jehož vlastnostech rozhoduje celý tento systém. Výhodou materiálů tenkých povrchových vrstev je to, že jejich vlastnosti jsou rozdílné od vlastností stejného materiálu v objemové formě. Kompozitní materiál (vrstva- substrát) lze rozdělit do několika částí, z nichž každá ovlivňuje různé vlastnosti materiálu.

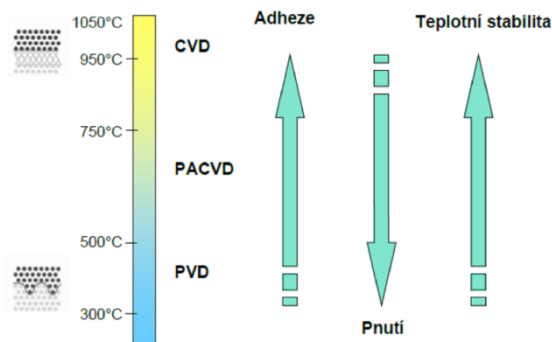
- Povrchová část vrstvy
- Objemová část vrstvy
- Rozhraní vrstva – substrát
- Substrát

Povrchová část vrstvy přichází do styku s okolím a zajišťuje vlastnosti jako je povrchová mikrotvrдость, odolnost proti korozi a opotřebením, tření. Objemová část vrstvy rozhoduje o vlastnostech jako je pevnost, tvrdost, elektrická a tepelná vodivost. Rozhraní substrát – vrstva má zásadní vliv na adhezi vrstvy.

Rozlišujeme dvě základní metody deponování tenkých vrstev, lišící se principem depozice. Jedná se o metodu PVD a CVD. Hlavním rozdílem je způsob přípravy vrstvy, tj. z pevného terče u PVD (Physical Vapour Deposition) metod a z plynné fáze u CVD (Chemical Vapour Deposition). Obě metody se dále liší teplotou při které je tenká vrstva nanášena. Metoda PVD probíhá za nižších teplot než metoda CVD, jak je vidět na obr. 8. Relativně novou metodu depozice je MT-CVD (Middle Temperature Chemical Vapour Deposition), depozice tenkých vrstev při středních teplotách, nebo PA-CVD (Plasma Assisted Chemical Vapour Deposition) je povlakování nástrojů při mnohem nižších teplotách než u konvenčních CVD technik. Plazmou aktivovaný CVD proces umožňuje snížit teplotu potřebnou pro vznik vrstvy na povrchu substrátu na 470 – 530 °C. [2] Nejčastěji používané tenké vrstvy jsou TiN, TiC, Ti(C,N), (Ti,Al)N, Al₂O₃.

Z obr. 7. dále vyplývá, jaký vliv mají teploty depozice na změnu vlastností tenké vrstvy. Je zde znázorněno, že při zvyšující se teplotě depozice roste schopnost adheze tenké vrstvy k substrátu a zároveň dochází ke zvyšování teplotní stability vrstvy. Adheze k substrátu ovlivňuje odolnost proti mechanickému opotřebením. Čím lépe přilne vrstva k substrátu, tím lépe odolává napětím a snižuje se tak velikost opotřebením. Teplotní stabilita vrstvy zvyšuje odolnost proti oxidaci, difuzi a adhezi obráběného materiálu, tj. tepelně aktivovaným jevům. Adheze vrstvy i teplotní stabilita příznivě ovlivňují trvanlivost nástroje.

Se snižující se teplotou depozice tenké vrstvy se dále snižují pnutí ve vrstvě a zvyšuje se tak odolnost nástroje proti mechanickému namáhání. Je to způsobeno tím, že při nižších teplotách ve vrstvě vznikají tlaková pnutí, která zvyšují soudržnost základní vrstvy a substrátu.



Obrázek 7: Vlastnosti deponovaných vrstev

V případě depozice vrstvy na povrch s vadami (např. otřepy) může dojít na místech defektů při obrábění k porušení tenké vrstvy, která pak přestává plnit svůj účel.

Tenké vrstvy můžeme zařadit do několika generací:

- **Vrstvy 1. generace** – monovrstva, bez adhezní vrstvičky (TiN, CrN, AlTiN)
- **Vrstvy 2. generace** – gradientní, nanovrstvy, multivrstvy (AlTiN, AlCrN, nACo)
- **Vrstvy 3. generace** – TripleCoatings3
- **Vrstvy 4. generace** – QUADCoatings4

1.3.1 Tenké vrstvy pro monolitní vrtáky

Běžné vrstvy

Jako běžné tenké vrstvy je možno označit monovrstvy na bázi TiN a TiC.

Tenká vrstva na bázi **TiN** (nitrid titanu) patří vzhledem k vyrovnaným vlastnostem k nejběžněji používaným povlakům. Používá se pro vrtáky z rychlořezné oceli a pro vrtání hliníku. Vrstva TiN vykazuje nízkou reakci s kovovými materiály a zabraňuje tak opotřebením nástrojů zapříčiněným nalepováním. Snáší pracovní teplotu do 600°C. [13] Používá se při obrábění materiálů na bázi železa, zvyšuje životnost nástroje v průměru pětikrát až desítkrát. Nanáší se PVD technologií na nástroje z rychlořezné oceli a slinutých karbidů pro frézování, vrtání, výrobu závitů při nízkých a středních rychlostech. Deponovaná vrstva TiN má zlatou barvu, díky níž je snadno pozorovatelné opotřebením nástroje. Tloušťka vrstvy je 1-7 μm.

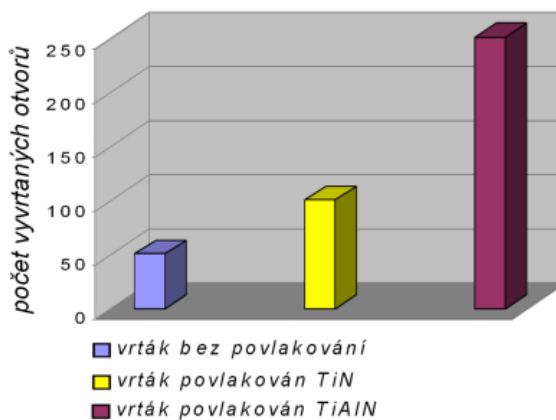
Tenká vrstva na bázi **TiC** (karbid titanu) výrazně snižuje koeficient tření nástroje (ve srovnání s ocelí na méně než polovinu), je-li vhodně aplikována, může zvýšit životnost nástroje více než dvacetkrát [12]. TiC má špatnou přilnavost k základnímu substrátu. Má obvykle šedou až stříbrnou barvu, nanáší se technologií CVD, tloušťka vrstvy je přibližně 6 μm.

Tenká vrstva na bázi TiAlN

Barva vrstvy závisí na poměru Al:Ti a mění se proto od černé až po červenohnědou barvu. Má vyšší tvrdost než TiN - 30 GPa a snáší vyšší pracovní teploty. Maximální teplota použití je 800°C. Při těchto teplotách vytváří na povrchu tenkou vrstvu Al₂O₃, která je odolná proti oxidaci. Při opotřebením se tato vrstvička obnovuje z hliníku obsaženého ve vrstvě TiAlN. Je nanášena metodou PVD. Tloušťka vrstvy je obvykle 2 - 4 μm. Nástroje s vrstvou TiAlN je možno použít při obrábění s minimálním chlazením.

Jak je vidět z obr. 8 při porovnání výkonnosti nástrojů s různými deponovanými vrstvami dosahují nástroje s vrstvou TiAlN lepších výsledků.

Zkoušený vrták:
 vrták HSS DIN 338
 průměr vrtáku: 6 mm
 vrtaná hloubka: 15 mm
 vrtaný materiál: 1.2379
 pevnost materiálu: 800 N/mm²
 chlazení: emulze 5%



Obrázek 8: Porovnání výkonnosti při vrtání [15]

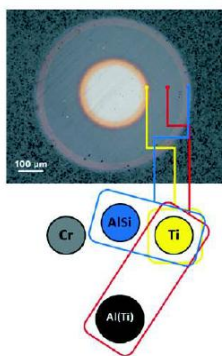
Moderní tenké vrstvy [30]

Nejmodernější tenké vrstvy kombinují vlastnosti několika deponovaných vrstev pro zlepšení vlastností řezného nástroje.

Tenká vrstva s označením **nACo** je nanokompozitní vysoce odolná vrstva na bázi ALTiN/Si₃N₄, která má fialově modrou barvu. Pro její velmi vysokou tvrdost (45 GPa) a teplotní odolnost až 1200 °C je tato vrstva vhodná pro obrábění tvrzených kalených materiálů.

Povlaky s obchodním označením **TripleCoatings3** (obr. 9) jsou připravovány technologií PVD, jejich barva je modrozelená. Skládají se ze tří vrstev:

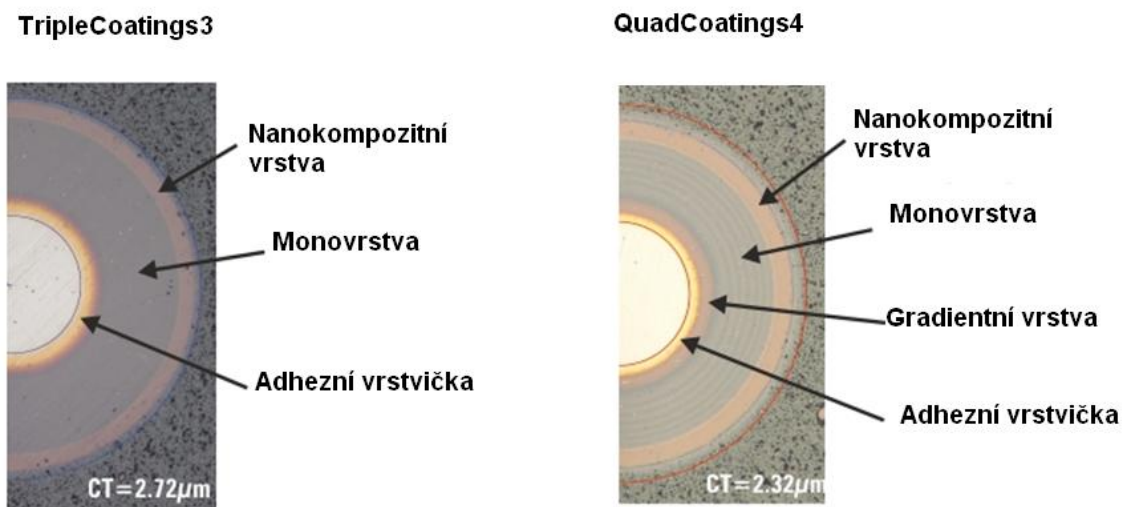
- Tenká adhezní vrstva (200nm, Ti, Cr)
- Houževnatá základní vrstva (TiAlN-AlTiN)
- Povrchová nanokompozitní vrstva – velmi tvrdá, otěruvzdorná, tepelně odolná (CrAlN/SiN nebo TiAlN/SiN)



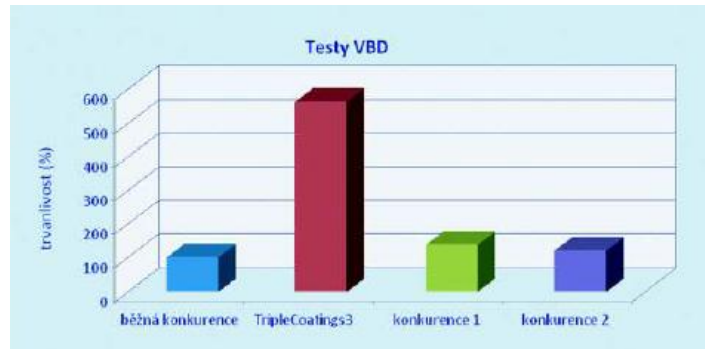
Obrázek 9: Povlak TripleCoatings3 TiN+AlTiN+TiAlSiN

Podle testů společností SHM a PrametTools [18] vykazuje nástroj s povlakem TripleCoatings3 několikanásobně vyšší trvanlivost, jak je zřejmé z obr. 11. Povlaky TripleCoatings3 představují nejmodernější povlaky na trhu, kombinují vynikající houževnatost a tvrdost vrstev AlTiN a extrémně vysokou tvrdost nanokompozitních vrstev. Používají se pro obrábění kalených a nerezových ocelí, těžko obrobitelných materiálů.

Moderní povlak 4. generace **QuadCoatings4** je nanášen metodou PVD. Ke třem vrstvám, které tvoří povlak **TripleCoatings3**, byla přidána tenká vrstva navíc. Mezi adhezí vrstvou a monovrstvou je vložena tenká gradientní vrstva (obr. 10).



Obrázek 10: Srovnání TripleCoatings3 a QuadCoatings4



Obrázek 11: Výsledky testů povlaku TripleCoatings3 [18]

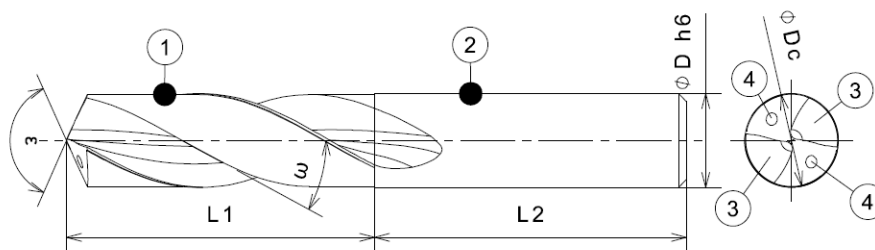
Kromě materiálu nástroje a deponované vrstvy je další významnou charakteristikou, která ovlivňuje proces vrtání, makrogeometrie monolitního vrtáku.

1.4 Makrogeometrie řezného nástroje

Pod pojmem makrogeometrie řezného nástroje si lze představit tvar a rozměry nástroje, profil břitu vzniklý broušením, který vychází z technologické operace, pro kterou bude nástroj použit, nástrojové úhly definované na základě použitého řezného materiálu, obráběného materiálu a řezného prostředí, zaoblení, zkosení a utvařeče třísky, umožňující splnit požadavky na řezný proces, jako je odvod třísky, tvar třísky, drsnost apod.

1.4.1 Makrogeometrie monolitního šroubovitého vrtáku [26]

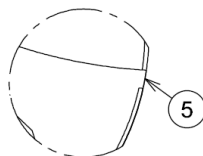
Tato diplomová práce je zaměřena na monolitní šroubovitě vrtáky, a proto jsou v této části představeny jeho základní konstrukční prvky a popsána geometrie šroubovitého vrtáku.



Obrázek 12: Základní části šroubovitého vrtáku [26]

Šroubovitý vrták (obr. 12) se skládá z řezné (1) a upínací (2) části. Řezná část má délku L_1 , která určuje maximální hloubku vrtané díry. Na řezné části je špička nástroje, která je určena úhlem ε . Dva břity šroubovitého vrtáku jsou tvořeny průnikem plochy drážek (3) a plochy hřbetu nástroje. Tloušťka jádra nástroje určuje jeho tuhost a ve špičce ovlivňuje velikost řezné síly. Šroubovitý průběh drážek umožňuje odchod

třísky z místa řezu. Kanálky (4) slouží pro přívod procesní kapaliny, která zlepšuje tvorbu třísky a usnadňuje její odvod. Průměr nástroje D_c se měří přes fazetky (5), znázorněné na obr. 13. Šroubovitě monolitní vrtáky se nejčastěji vyrábí v průměrech 2,5 – 25mm, rozsah vrтанých délek až 15D.



Obrázek 13: Fazeta vrtáku[26]

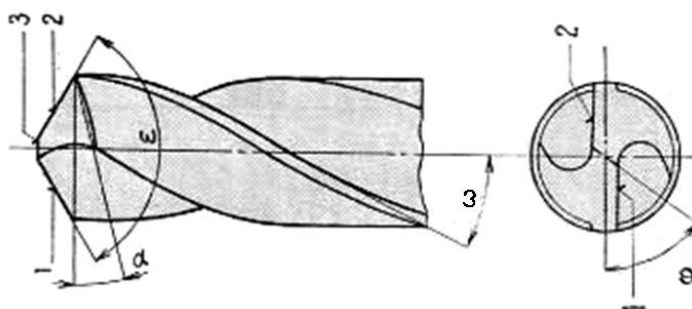
Na obr. 14 je znázorněno hlavní ostří (1,2), příčné ostří (3) a tyto úhly:

α ... úhel hřbetu

ε ... úhel špičky

ω ... úhel sklonu šroubovice

φ ... středový úhel



Obrázek 14: Řezné úhly šroubovitěho vrtáku

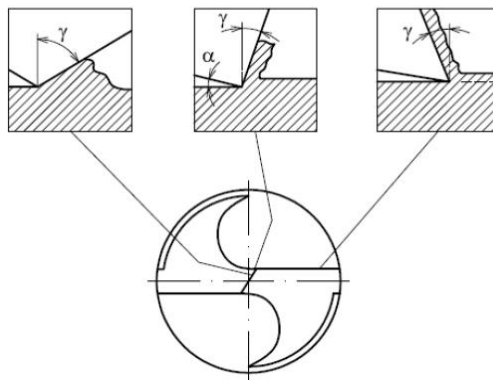
Úhel špičky nabývá hodnot v závislosti na obráběném materiálu. Pro vrtání běžné uhlíkové oceli střední pevnosti se volí od 110° do 130° , pro vrtání zušlechtěné oceli, mědi a hliníku a jejich slitin $130^\circ - 140^\circ$, pro vrtání plastických hmot a tvrdé pryže $80^\circ - 100^\circ$, obvykle 90° . [31]

Úhel sklonu šroubovice drážek závisí na obráběném materiálu. Pro houževnaté materiály s dlouhou třískou se obecně používají úhly větší, pro tvrdé materiály s drobnou třískou úhly menší (tab. 2).

Obráběný materiál	Úhel stoupání [°]
Konstrukční oceli, šedá a temperovaná litina	25 ± 2
Slitiny hliníku, bronz cínový	25 ± 2
Bronz hliníkový, niklový a manganový, mosaz	12 ± 1
Hliník, měď, slitiny hořčíku	40 ± 5
Plasty	12 ± 1
Mramor	12 ± 1

Tabulka 2: Úhly sklonu šroubovice [7]

Úhel čela γ hlavního ostří je podél celého ostří proměnný a závisí na úhlu stoupání šroubovice. Obecně se však směrem k ose nástroje zmenšuje, v blízkosti jádra vrtáku může dosahovat i záporných hodnot (obr. 15).



Obrázek 15: Úhel čela v různých bodech hlavního ostří[26]

Nástrojový ortogonální úhel hřbetu hlavního ostří α_o opět závisí na obráběném materiálu (tab. 2). Udává se na obvodu nástroje, jeho velikost je po podél hlavního ostří proměnná, hlavně v závislosti na způsobu broušení.

Obráběný materiál	α_o [°]
Oceli do $R_m=900$ MPa	10 až 12
Slitinové oceli $R_m=900$ až 1200 MPa	8 až 10
Šedá litina	8 až 10
Měď, hliník, plasty, mosaz, bronz	12 až 15
Slitiny hliníku	10 až 12

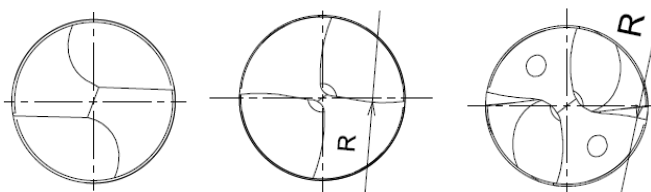
Tabulka 3: Úhly hřbetu šroubovitého vrtáku [7]

Monolitní šroubovitě vrtáky mají několik nevýhod, které je ale možno různými úpravami zlepšit či odstranit. Jak bylo již řečeno, řezná rychlost při vrtání není konstantní a směrem ke středu vrtáku se snižuje, až je potom v jeho středu nulová.

Proměnlivá je i geometrie břitu, směrem ke středu se zvyšuje úhel řezu, což způsobuje, že nejslabším místem vrtáku je fazeta. Na fazetě je zároveň nejvyšší řezná rychlost a proto na ní působí nejvyšší teplota. Dalším slabým místem je příčné ostří, kde dochází k protlačování materiálu a opotřebení je proto zde značné.

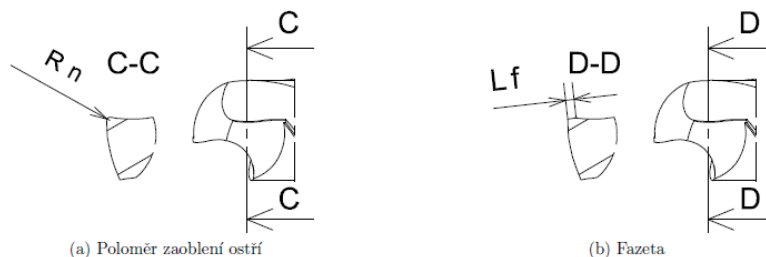
Protlačování materiálu u příčného ostří je možné upravit dvěma způsoby, a to buď tzv. křížovým výbrusem, který zkrátí příčné ostří a prodlouží tak část, která materiál odřezává a nikoli protlačuje, nebo vybroušením příčného ostří do tvaru S. Tím se vytvoří vlastní špička s pozitivnější geometrií. Tím se sníží teplotní zatížení a břit proniká lépe do materiálu.

Dalšího zvýšení produktivity úpravou geometrie lze dosáhnout změnou tvaru hlavního ostří. Přímkové ostří je někdy nahrazováno konkávním či konvexním tvarem ostří. Výroba přímkového ostří je složitější. Jednodušší na výrobu jsou konvexní a konkávní ostří, které je možno vyrobít standardním brusným kotoučem. Konkávní tvar ostří lépe dělí třísku a směřuje ji do drážky. Vznikne tak ale ostrý přechod na fazetce a ta je tak vystavena většímu namáhání. Naopak konvexní tvar ostří zpevňuje břit vrtáku [26]. Všechny tvary hlavního ostří jsou znázorněny na obr. 16.



Obrázek 16: Porovnání (zleva) přímého, konkávního a konvexního ostří [26]

Vlastnosti hlavního ostří a tak vlastnosti a produktivitu celého vrtáku je možno dále zlepšovat úpravami, které souhrnně nazýváme úpravami mikrogeometrie. Jedná se o zaoblení hlavního ostří nebo jeho zkosení, kterým se vytvoří na ostří fazetka. Obě tyto mikroúpravy jsou znázorněny na obr. 17. Cílem této práce je zjištění vlivu jednotlivých úprav hlavního ostří šroubovitého vrtáku na jeho trvanlivost, a proto je mikrogeometrii a jejím úpravám dále věnována samostatná kapitola.



Obrázek 17: Základní úpravy mikrogeometrie hlavního ostří [26]

2 Mikrogeometrie nástroje

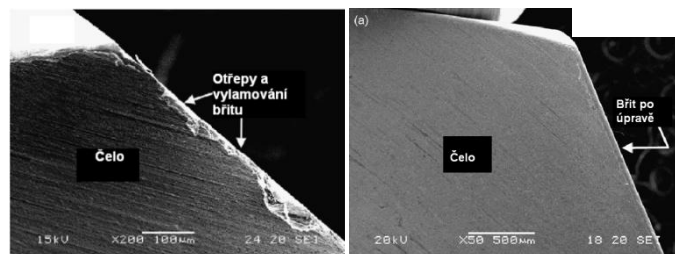
Mikrogeometrie zahrnuje geometrii břitu v řádech mikrometrů, útvary nacházející se přímo na břitu, drsnost a povrch ploch hřbetu a čela v blízkosti břitu, zakřivení povrchu břitu způsobené vlivem drsnosti vzniklé po broušení. Použitím vhodných úprav můžeme eliminovat poškození břitu, zlepšit nejen pevnost a výkon nástroje a jeho trvanlivost, ale i kvalitu obrobku.

Mikrogeometrie a její úpravy umožňují ovlivnit širokou oblast procesu obrábění. Produktivnějšího a přesnějšího nástroje lze dosáhnout relativně jednoduchou úpravou (v porovnání s ostatními výrobními procesy). Tento aspekt má význam u nástrojů určených především pro hromadnou výrobu

2.1 Vliv mikrogeometrie na řezný proces

Výzkumy dokazují, že úpravy mikrogeometrie řezného nástroje mají značný vliv na řezný proces.

- **Odstranění vad břitu**
 - Minimalizace vylamování břitu
 - Příprava ploch pro depozici tenkých vrstev
 - **Zlepšení drsnosti povrchu nástroje**
 - Snazší adheze tenké vrstvy
 - Odolnost proti opotřebení nástroje
 - **Úprava tvaru řezné hrany**
 - Tvar deformačních zón
 - Řezné síly
 - Průběh napětí při obrábění
 - Tvar a odchod třísky
 - Odvod tepla při obrábění
- Kvalita povrchu obrobku
Řezivost nástroje
Trvanlivost nástroje



Obrázek 18: a) břit po broušení, b) břit po úpravě mikrogeometrie [33]

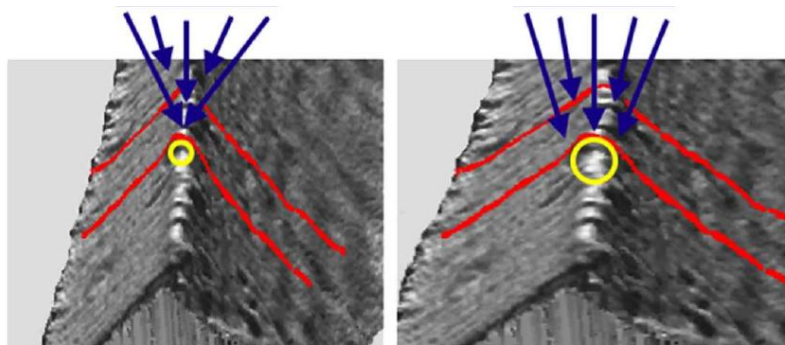
Po broušení je tvar řezné hrany nepravidelný a hrana je náchylnější k poškození. Tento problém nastává především u nástrojů ze slinutých karbidů, kde vznikají ostré hrany po broušení vlivem vytrhávání tvrdých karbidů z pojiva (obr. 18).

Mikroskopické vady břitu způsobují nerovnoměrnost výkonu a předčasné poškození břitu. Mají negativní vliv na trvanlivost řezného nástroje. Na břitu po broušení a bez úprav se vyskytují tyto vady – vylamování, otřepy, velká drsnost povrchu a nepravidelnosti, jejichž následkem je nízká mechanická odolnost a nestabilní řezný proces. Vhodnou úpravou břitu se řezná hrana zaoblí a plochy vyhladí, čímž se odstraní defekty vzniklé broušením.

Výrazný vliv na řezný proces a řezivost má deponovaný povlak. Tenká vrstva kopíruje tvar základního materiálu, na který je nanášena. Pokud je povrch nekvalitní a vyskytují se na něm vady, ovlivňuje to negativně výsledný povrch vrstvy a tedy i nástroje. Při nanášení povlaku na tzv. dokonale ostrou hranu může docházet k vylupování nanesené vrstvy.

Negativním vlivem nečistot na povrchu povlaku je zpomalování odvodu třísek z místa řezu, což je nepříznivým jevem především v procesu vrtání. Tyto negativní jevy lze minimalizovat úpravou povrchu nástroje po povlakování nebo volbou vhodné technologie přípravy břitu před depozicí. Optimalizací technologie úpravy břitu před depozicí tenké vrstvy lze docílit lepší kvality výsledného povrchu, snížení tření mezi obrobkem a břitem a snížení přenosu tepla do nástroje.

Mikrogeometrie hraje roli ve způsobu rozložení napětí na břitu. Na ostré hraně břitu s téměř žádným zaoblením vzniká větší napětí, jelikož síly na břitu působí na menší plochu. Pokud je hrana zaoblená vlivem předchozích mikroúprav břitu, vznikne větší plocha a napětí se zmenší, protože síly se rozloží na větší plochu (obr. 19). Tím se zvýší pevnost břitu a odolnost proti namáhání.



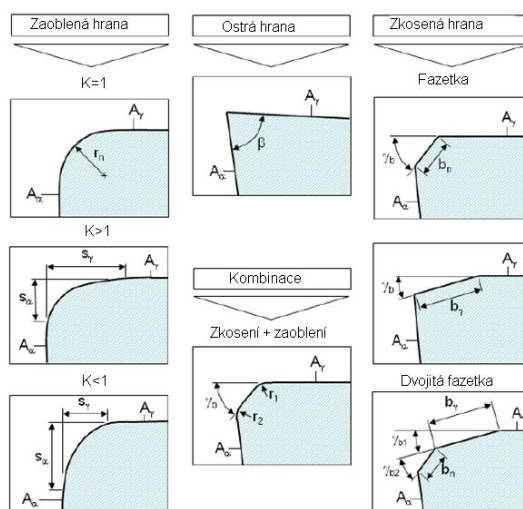
Obrázek 19: Rozložení působících sil na plochu ostří [3]

Řeznou hranu je možno upravit nejen zaoblením, ale také vytvořením fazetky na břitu, která má za úkol zvýšit jeho pevnost. Ke zpevnění břitu dojde rozkladem sil na fazetce. Síly působí více směrem do materiálu, a tudíž klesá napětí na špičce nástroje.

2.2 Typy mikrogeometrie

Rozeznáváme tedy tři základní typy mikrogeometrie a jejich kombinace (obr. 20):

- ostrá hrana
- zaoblení
- fazetka

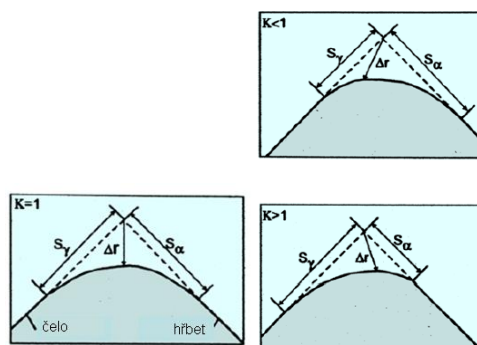


Obrázek 20: Typy mikrogeometrie [1]

Pro popis tvaru zaoblení se užívá takzvaný K faktor (obr. 21). Jeho velikost je určena poměrem:

$$K = \frac{S_\gamma}{S_\alpha}$$

kde S_γ poloměr zaoblení na čele a S_α poloměr zaoblení na hřbetě.



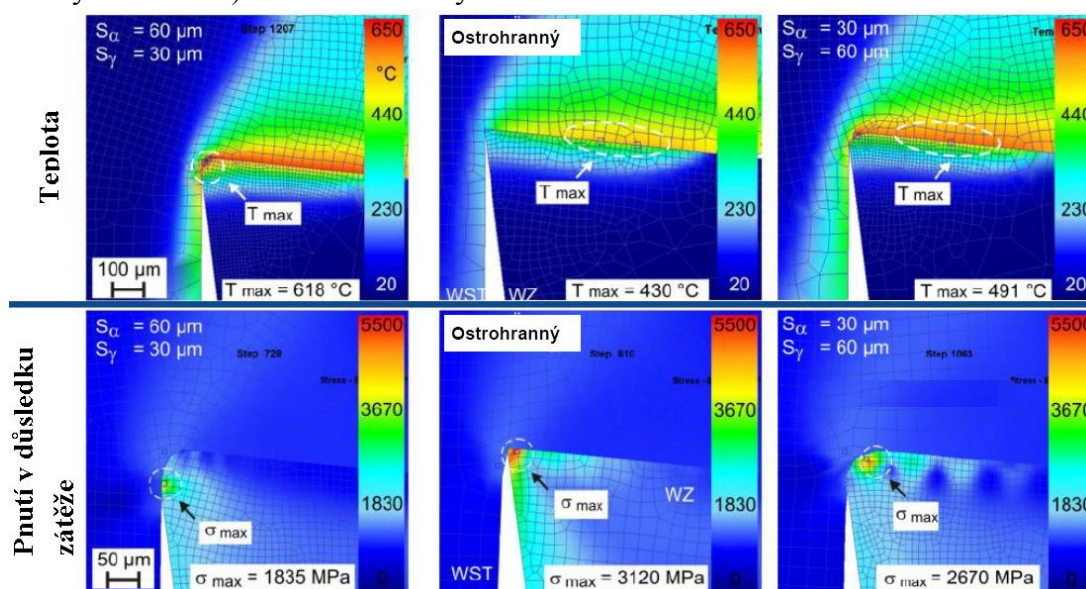
Obrázek 21: Tvar řezné hrany podle hodnoty K faktoru[1]

Ostrá hrana je teoreticky definována jako průsečnice plochy čela a hřbetu nástroje.

Zaoblení je dáno poloměrem mezi plochou čela a plochou hřbetu. Je-li zaoblení souměrné, je faktor $K=1$. Pokud je poloměr zakřivení větší na straně plochy čela a menší na hřbetě, je $K>1$. Je-li poloměr zakřivení větší na hřbetě a menší na čele, je $K<1$. Zaoblení se používá u nástrojů z HSS ocelí, slinutých karbidů a diamantu. Je vhodné pro dokončování, předdokončovací operace a přesné obrábění.

Hodnota K – faktoru výrazně ovlivňuje rozložení a velikost teploty a napětí v nástroji v důsledku zátěže. Jak je vidět na obr. 22, pokud je $K=0,5$, teplota je soustředěna na řezné hraně a dosahuje teploty 618°C . Největší pnutí při $K=0,5$ se vyskytuje na hřbetě nástroje, kde se rozloží na větší plochu a dosahuje hodnot 1835 MPa , což je v porovnání s ostrou hranou a $K=2$ nejnižší hodnota. Při $K=2$ se napětí posouvá směrem k čelu. Největší napětí působí na nástroj s ostrou řeznou hranou, kde se soustředí přímo na hranu.

Zkosená hrana (fazetka) je určena rovinnou plochou, která spojuje plochu čela a plochu hřbetu nástroje a definována délkou zkosení b_n nebo b_γ a úhlem zkosení γ_b . Je možné i dvojitě zkosení. Zkosení se používá převážně u nástrojů pro hrubovací operace a přerušované řezy, vyrobených z KNB (kubický nitrid boru), PKNB (polykrystalický kubický nitrid boru) a řezné keramiky.

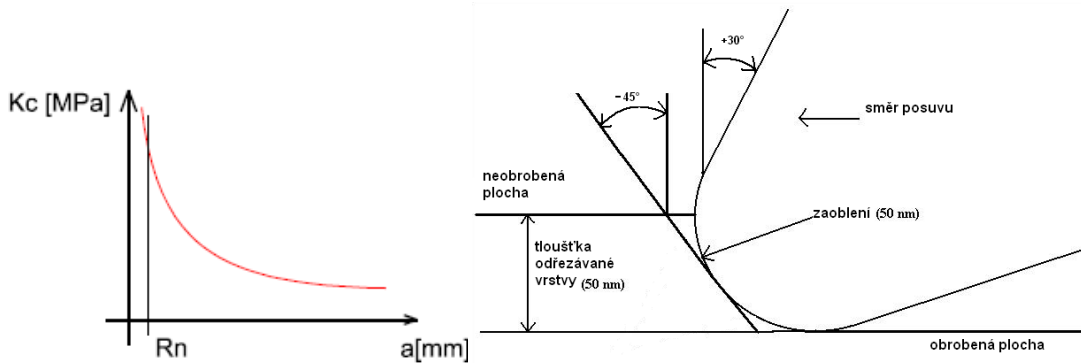


Obrázek 22: Simulace teploty a napětí nástroji v důsledku zátěže [23]

2.3 Velikosti zaoblení a zkosení

Ostré hrany vyrobené broušením HSS ocelí či slinutých karbidů mají poloměr menší než $5\mu\text{m}$ (v závislosti na procesu broušení může být i větší). Poloměr zaobleného ostří vyrobeného typickými procesy úpravy břitu se pohybuje v intervalu od $5\mu\text{m}$ do $50\mu\text{m}$. Protože má HSS ocel větší pevnost v ohybu než slinutý karbid, je poloměr zaoblení obvykle menší u HSS nástrojů než u nástrojů ze slinutých karbidů. Délka zkosení ostří se pohybuje od $30\mu\text{m}$ do $300\mu\text{m}$ a úhel zkosení od 10° do 45° . [1]

Při volbě velikosti zaoblení je nutné vzít v úvahu, že poloměr zaoblení určuje minimální tloušťku odřezávané vrstvy a_{min} (u vrtání $a_{min} = f_z$). Jak je vidět z grafu 1, bude-li mít a_{min} stejnou velikost jako poloměr zaoblení, dojde k prudkému zvýšení řezného odporu obráběného materiálu a tím se zvýší řezné síly. Důvodem tohoto zvýšení řezného odporu je změna původního úhlu čela v místě zaoblení z pozitivní geometrie na negativní, jak je znázorněno na obr. 23.



Graf 1: Řezný odpor [26]

Obrázek 23: Změna úhlu čela

2.4 Technologie výroby mikroúprav[1, 3, 4]

Tvorba břitu nástroje je výsledkem několika na sebe navazujících kroků při výrobě. Je nutné vzít v úvahu fakt, že po přípravě břitu se následkem nanesení povlaku mikrogeometrie změní, např. dojde k zvětšení poloměru zaoblení.

Cílem procesů výroby mikroúprav je odebrání materiálu tak, aby bylo dosaženo požadované geometrie ostří a kvality povrchu v jeho okolí. Existuje mnoho technologií výroby mikroúprav, které využívají různé zdroje energie.

Rozdělení procesů podle zdroje energie

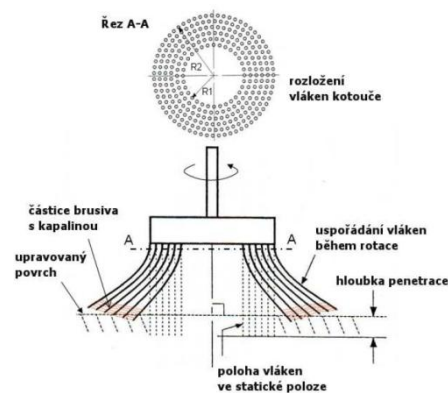
- mechanické
 - kartáčování (brushing)
 - pískování resp. mikro otryskávání (micro abrasive jet machining)
 - mikro otryskávání vodním paprskem (water jet machining)

- omílání v granulátech
 - magnetické dokončování
 - obrábění ultrazvukem
- chemické
 - chemické obrábění
 - elektrochemické obrábění
 - tepelné
 - elektrickým výbojem
 - laserovým paprskem
 - plazmovým paprskem
 - elektronovým paprskem

Základem většiny mechanických metod je abrazivní působení částic na povrch nástroje. Proud těchto částic je unášen vhodným médiem. Tím je např. vzduch, voda, pasta nebo magnet. Úprava mikrogeometrie je dosažena působením částic na obrobek (nástroj) určitou rychlostí a po určitou dobu. Velmi důležitá je schopnost změřit a popsat výsledné úpravy.

2.4.1 Kartáčování, leštění[1,3]

Úprava řezné hrany kartáčováním – leštěním patří do skupiny mechanických úprav. Materiál je odebírán abrazivním působením brusných částic. Používán je měkký kartáč s polymerickými nebo přírodními vlákny. Ta vytvářejí leštící kotouč. Brusivo je tvořeno brusnými zrnky o velikosti 5 - 8 μ m nebo částicemi diamantu. Velikost zrn má vliv na drsnost, se zvětšující se velikostí zrna brusiva se zvyšuje drsnost povrchu obrobku. Používána je brusná pasta složená z jílové kaše a brusiva. K odebírání materiálu a úpravě břitu dochází v důsledku vzájemného pohybu kotouče a brusné pasty s povrchem řezné hrany.

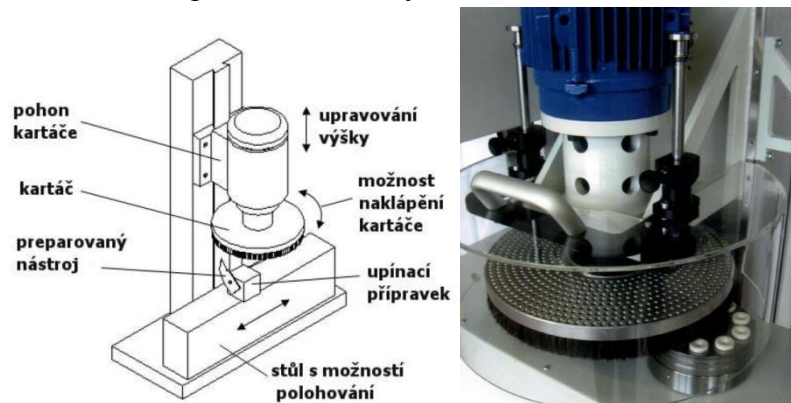


Obrázek 24: Princip kartáčování-leštění [1]



Obrázek 25: Pohled do pracovního prostoru stroje

Mechanismus odebrání materiálu tedy umožňují čtyři komponenty, tj. kartáč, pasta, částice brusiva a obrobek (nástroj). Rotační pohyb kartáče unáší pastu a tím způsobuje přenos částic brusiva. Vzájemným pohybem brusiva a obrobku dochází k odebrání materiálu a úpravě řezné hrany.



Obrázek 26: Uspořádání vybavení pro kartáčování-leštění

Z obrázku je patrné uspořádání vybavení pro úpravu ostří pomocí kartáčování – leštění. Hlava s kartáčem je posuvně připojena na sloupové vedení, které umožňuje úpravu vzdálenosti mezi kartáčem a ostřím, které má být upraveno. Motor je připevněn k hlavě s kartáčem. Umožněno je i naklápění kartáče. Kartáč vykonává rotační pohyb v jednom nebo v obou směrech. Upravovaný nástroj je upnut ke stolu, který má možnost polohování. Výsledný pohyb je tedy kombinací rotace kartáče a lineárního pohybu stolu.

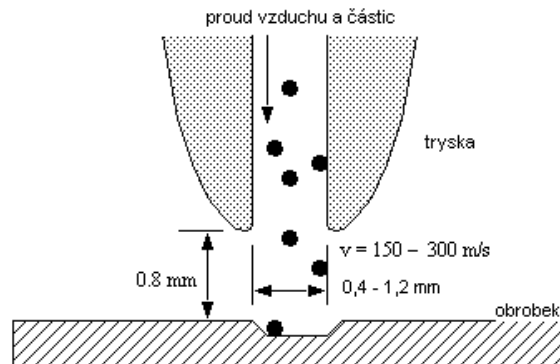
2.4.2 Pískování (mikro otryskávání proudem abraziva) [1, 3, 6]

Principem této technologie je unášení abraziva proudem plynu. K odebrání materiálu dochází následkem mechanického účinku koncentrovaného proudu abraziva dopadajícího na nástroj. Množství odebíraného materiálu lze ovlivnit typem abraziva, velikostí částic abraziva, rychlostí proudu abraziva dopadajícího na nástroj, tlakem plynu unášejícího částice a vzdáleností mezi tryskou a obrobkem (nástrojem). Trysky musí mít vysokou tvrdost, aby byly schopny odolat mechanickému účinku prolétajícího abraziva, proto se vyrábí ze safíru nebo karbidu wolframu (WC). Průměr trysky se

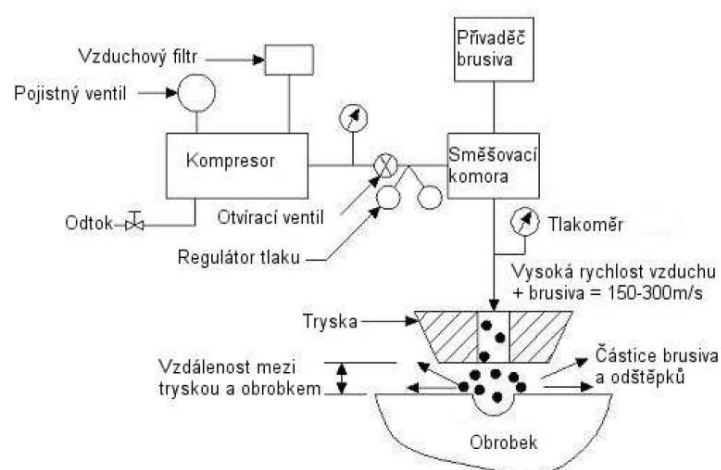
pohybuje od 0,4mm do 1,2mm a při tlaku 6 barů a více. Nejběžněji používaná brusiva jsou křemíková a korundová. Používá se karbid křemíku (SiC) a korund (Al_2O_3). Velikost zrna abrazivních částic je 10-50 μ m, rychlost se kterou dopadají na obrobek je přibližně 150 – 300m/s. Nosným médiem je vzduch. Dosahováno je zaoblení břitu 5 až 20 μ m.

Hlavní výhody:

- rychlý proces
- levný proces
- velmi účinný proces čištění
- možnost recyklace abraziva – ekologický proces
- nepoužívá nebezpečné látky
- příznivé podmínky pro nanášení povlaků



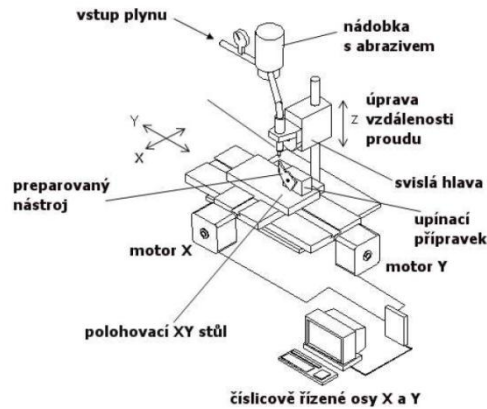
Obrázek 27: Princip mikro otryskávání



Obrázek 28: Schéma uspořádání přístroje pro mikro otryskávání proudem abraziva [1]

Technologie pískování musí vždy respektovat charakter nástroje a jeho funkční plochy. Proto i volba parametrů pískování a řešení automatizace procesu jsou záležitostí

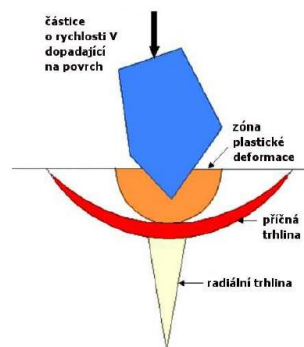
do značné míry empirickou. Bez dlouhodobých experimentů nelze zabránit případným negativním vlivům, jako je nevhodné zaoblení hran, odstranění měkčích fází např. u pájených nástrojů nebo zmatnění zrcadlových dekorativních či upínacích ploch. [4]



Obrázek 29: Uspořádání zařízení pro pískování [1]

Upravovaný řezný nástroj je upnut v upínacím přípravku, který je umístěn na polohovacím stole. Pohyb stolu je v osách X a Y a je číslicově řízen. Úpravu vzdálenosti mezi tryskou a upravovaným nástrojem umožňuje posuvná vertikální hlava, v níž je upevněna tryska. Vertikální hlavu lze naklopit vůči rovině XY. Brusivo je uloženo v nádobě, která má ve spodní části ventil. Vstup plynu je regulován ventilem.

Pro houževnaté a křehké materiály jsou navrženy odlišné mechanismy odstraňování materiálu. U křehkých materiálů je dochází k odstranění materiálu vlivem pružné plastické deformace, kritického plastického namáhání, šíření energie povrchem a radiálního tvoření trhlin. V případě houževnatých materiálů je materiál odstraněn plastickou deformací a pracovním opotřebením nebo plastickým namáháním a deformačním opotřebením. Z tohoto důvodu jsou navrhovány různé analytické modely k určení mechanismu odstraňování materiálu s hledem na jeho křehkost nebo houževnatost.



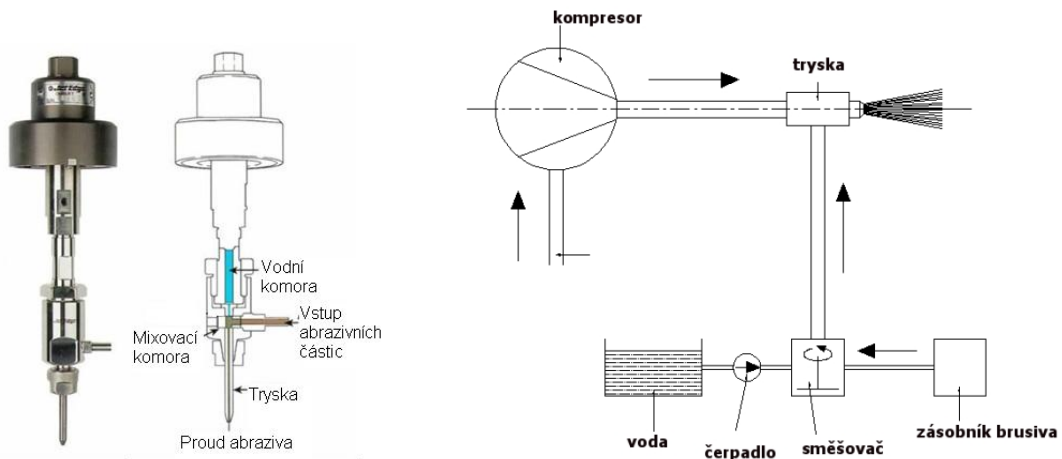
Obrázek 30: Vznik a šíření trhliny [5]

2.4.3 Mikro otryskávání vodním paprskem

Mikro otryskávání vodním paprskem neboli dohlazování proudem vody pracuje na podobném principu jako pískování, nosným médiem je zde ale voda. Poměr objemů (objem kapaliny:objem brusiva) je od 7:1 do 10:1. Materiál je odebírán stejně jako u předchozí metody erozním účinkem částic dopadajících na povrch nástroje.

Hlavní výhody:

- použití jemných částic
- eliminace kontaminace povrchu procesním abrazivem
- redukce prachových částic
- dobrá schopnost redukovat nerovnosti
- možnost recyklace
- eliminuje tepelné deformace malých dílů
- nemění rozměrové tolerance
- bez použití nebezpečných látek
- dobré vzhledové vlastnosti povrchů
- výborný stav povrchu pro povlakování



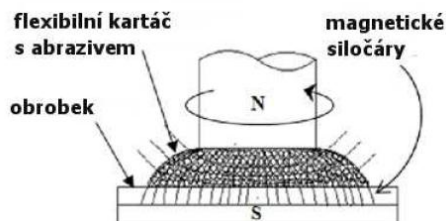
Obrázek 31: Schéma uspořádání přístroje pro mikro otryskávání vodním paprskem[1]

Voda je čerpadlem dodávána do směšovače, kam je zároveň přiváděno brusivo ze zásobníku. Proud vody a abrazivních částic je velkou rychlostí strháván na povrch obrobku (nástroje).

2.4.4 Magnetické dokončování

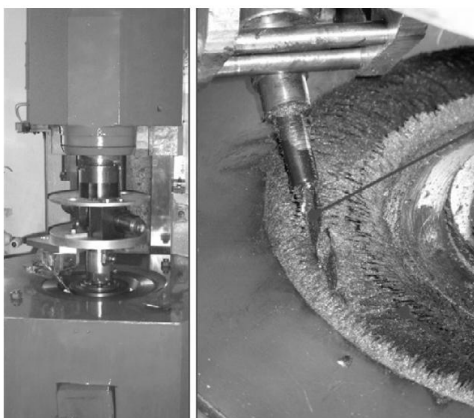
Další z mechanických úprav řezné hrany. Nástroj vytváří magnetické pole, ve kterém je umístěn obrobek. Mezera je vyplněna procesním práškem. Prášek se skládá z magnetické a abrazivní složky. Magnetická složka udržuje prášek v mezeře, abrazivo

(Al_2O_3 , SiC, KBN) slouží jako nástroj. Nástroj se pohybuje po obrobku, prášek působí stálým tlakem na povrch obrobku, přičemž síla působící na povrch obrobku je ovládána změnou intenzity magnetického toku.



Obrázek 32: Schéma magnetického dokončování [25]

Metoda se používá jak pro přesné dokončování těžko obrobitelných kusů, tak pro mikroúprav řezné hrany nástrojů. Lze ji použít k úpravě nástrojů z magnetických (RO), mírně magnetických (SK) i nemagnetických materiálů. Dosahuje se zaoblení 3-50 μm , velké přesnosti a nízké hodnoty drsnosti.



Obrázek 33: Magnetické dokončování vrtáku [24]

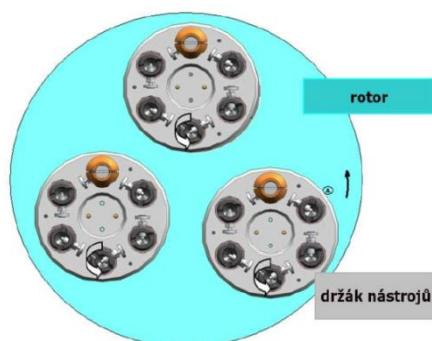
2.4.5 Omílání v granulátech [3, 20, 21, 22]

Mechanická metoda mikroúprav bříty nástroje je obvyklá metoda používaná ve strojírenství. Hlavní využití má jako úprava bříty před depozicí tenké vrstvy. Omílání nástrojů před depozicí pozitivně ovlivňuje adhezi deponované vrstvy na povrch nástroje. Nástroje ze slinitých karbidů jsou nejprve broušeny, ale po broušení jsou bříty nerovnoměrné, broušením se kvality řezné hrany dosáhne jen do určité míry. Je to způsobeno kvalitou brusných kotoučů, kvalitou obsluhy brusek, kvalitou materiálu nástrojů a geometrií broušení. Nerovnoměrnosti bříty mohou způsobit významné snížení řezného výkonu, v případě depozice na neupravenou hranu se může vrstva na ostrých a nepravidelných hranách odlupovat. Tomu lze účinně zabránit právě omíláním.

Úprava břitu omíláním rovněž snižuje drsnost jeho povrchu, řezné síly a příznivě ovlivňuje teplotu při obrábění. Tyto aspekty mají velký vliv na životnost nástroje, která může být zvýšena až o 1300%.



Obrázek 34: Pohled do zařízení na omílání v granulátech



Obrázek 35: Hlava rotoru pro planetový pohyb nástrojů při úpravě [23]

Zařízení pro omílání jsou různě koncipována, k dispozici je velké množství typů granulátů s různou velikostí. Používané granuláty jsou keramická, ocelová a plastová tělíska či skořápky z vlašských ořechů.



Obrázek 36: Granuláty pro omílání: Plastové, ocelové, skořápky z vlašských ořechů

3 Experimentální část

Cílem experimentu je srovnání řezivosti různých vrtáků podobné koncepce s různými úpravami mikrogeometrie břitu při konstantních řezných podmínkách s důrazem na trvanlivost nástroje.

3.1 Návrh mikroúprav

Velikost zaoblení řezné hrany nástrojů se pohybuje v řádech mikrometrů. Po prozkoumání odborné literatury nebyla nalezena žádná závislost či pravidlo pro volbu velikosti zaoblení u monolitních vrtáků. Při návrhu velikosti zaoblení řezné hrany vybraného vrtáku se proto vycházelo z informací získaných z dostupné literatury zabývající se tématem mikroúprav řezných nástrojů. Z té vyplývá, že lepší vlastnosti vykazují zaoblení větších poloměrů (v desítkách μm).

Například článek [32] porovnává zaoblení u monolitního vrtáku ze slinutého karbidu při vrtání do oceli AISI 1045 (odpovídá oceli ČSN 12 050) a je tedy možno ho považovat za referenční. V článku jsou porovnávány vrtáky se zaoblením konstantním a proměnlivým podél řezné hrany, o velikosti zaoblení $r_n = 20$ a $60 \mu\text{m}$. Z článku vyplývá, že nejmenšího opotřebení dosáhl nástroj s větším poloměrem zaoblení, které bylo po délce řezné hrany konstantní.

Dalším zdrojem informací, které vedly k návrhu poloměru zaoblení, je [23] a [33]. Zde je formulováno pravidlo pro hrubý odhad r_n , které říká, že velikost poloměru zaoblení u vrtáků ze slinutého karbidu při vrtání do oceli se rovná $4 \mu\text{m}$ násobené průměrem vrtáku. Pro nástroj o poloměru 12 mm tedy platí: $r_n = 4 \cdot 12 = 48 \mu\text{m}$.

Jako v praxi nejpoužívanější a nejuniverzálnější velikost poloměru zaoblení pro danou aplikaci bylo firmou OTEC Präzisionsfinish GmbH, která vyvíjí a vyrábí stroje pro oblast technologií povrchových úprav, navrženo zaoblení $r_n = 35 \mu\text{m}$.

S ohledem na získané a uvedené informace a doporučení, a s ohledem na dostupné technologie výroby zaoblení, byly navrženy tři velikosti poloměru zaoblení řezné hrany pro vybraný monolitní vrták. Hodnoty jsou dále navrženy tak, aby rozstup mezi jednotlivými velikostmi poloměrů byl stejný a zvýšila se tak schopnost porovnání dat získaných z vlastního experimentu. Výrobu zaoblení zajistila fa OTEC Präzisionsfinish GmbH. Navržené hodnoty jsou uvedené v tabulce 4.

r_n	$[\mu\text{m}]$
r_{n1}	30
r_{n2}	40
r_{n3}	50

Tabulka 4: Navržené hodnoty poloměru zaoblení řezné hrany

Velikostí úhlu fazety se odborná literatura nezabývá tolik jako velikostí poloměru zaoblení a proto i získaných informací bylo méně. V praxi se úhel fazety na hlavním ostří používá $\gamma_{faz} = -30^\circ$. S ohledem na tyto informace a informace získané z dostupné literatury byly pro experiment navrženy tři hodnoty. Úhel $\gamma_{faz} = -30^\circ$ a dále hodnoty uvedené v tab. 5, pro prozkoumání chování nástroje s větším úhlem γ_{faz} . Broušení fazet proběhlo ve firmě HOFMEISTER s.r.o.

γ_{faz}	[°]
γ_{faz1}	-30
γ_{faz2}	-35
γ_{faz3}	-40

Tabulka 5: Navržené hodnoty úhlu fazety na řezné hraně

3.2 Experiment č. 1

Cílem experimentu bylo zjištění vlivu mikroúprav hlavního břitu monolitních šroubovitých vrtáků na trvanlivost nástroje. Při experimentu byl sledován průběh opotřebení jednotlivých nástrojů, průběh řezných sil a momentu, tvar a velikost třísek, příkon obráběcího stroje a drsnost ve vyvrtaných otvorech. Nástroje byly testovány za konstantních řezných podmínek, které byly určeny na základě hodnot z katalogu výrobců nástrojů jako standardní pro daný nástroj a typ materiálu. Při volbě hodnoty posuvu bylo respektováno pravidlo minimální tloušťky třísky (obr. 23), které bylo dodrženo i vzhledem k rozměrům úprav hlavního břitu.

Zvolené řezné podmínky:

Řezná rychlost	$v_c = 80 \text{ m/min}$
Posuv na otáčku	$f_{ot} = 0,3 \text{ mm/ot}$

Experiment byl proveden v halové laboratoři KTO na vertikálním obráběcím centru. Proces řezání probíhal za přívodu procesní kapaliny s vnitřním tlakem 21,5 bar. Nástroj byl upnut do nástrojového upínače. Polotovar ve formě kruhové desky byl upnut do tříčelistového sklíčidla, které bylo připevněno k 4složkovému dynamometru. Vzhledem k omezenému množství polotovarů byly nástroje testovány tak, že každým nástrojem bylo vyvrtáno 21 otvorů (tedy 1 polotovar). Po odvrtání těchto otvorů byly sledovány rozdíly v opotřebení. Vyhodnocení řezných sil bylo provedeno pomocí softwaru LabView. Použité měřicí a vyhodnocovací vybavení je popsáno v další kapitole, technické specifikace jsou uvedeny v příloze.

3.2.1 Použité vybavení

Stroj

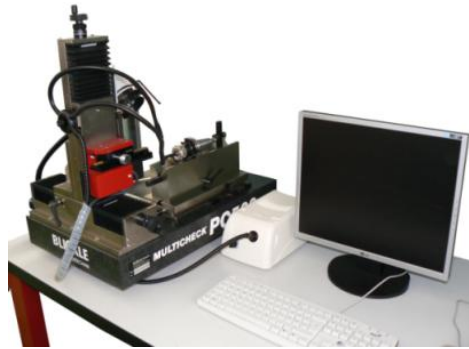
Pro realizaci experimentu bylo použito 3osé vertikální obráběcí centrum MCV 750A. Podrobná specifikace stroje je uvedena v příloze č. 4.



Obrázek 37: Obráběcí centrum MCV 750A

Optický mikroskop

Optický mikroskop MultiCheck PC 500 byl použit k dokumentaci a měření opotřebení v průběhu experimentů. Specifikace mikroskopu je uvedena v příloze č. 2.



Obrázek 38: Optický mikroskop MultiCheck PC 500

Zařízení pro měření řezných sil a krouticího momentu

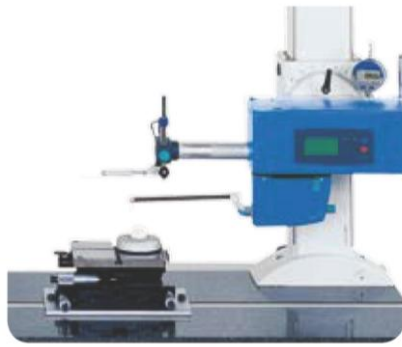
Krouticí moment a řezné síly byly měřeny pomocí čtyřsložkového statického dynamometru KISTLER 9272, který byl zapojen do měřicí soustavy. Specifikace členů měřicí soustavy je uvedena v příloze č. 3.



Obrázek 39: 4složkový dynamometr Kistler 9272

Zařízení pro měření drsnosti

Drsnost ve vyvrtaných otvorech byla měřena drsnoměrem HOMMEL ETAMIC T - 8000.



Obrázek 40: Drsnoměr HOMMEL ETAMIC T-8000

3.2.2 Popis nástroje

Nástroj je dvoubřítý monolitní šroubovitý vrták ze slinutého karbidu s deponovanou tenkou vrstvou TiN. Průměr nástroje je 12 mm. Vrták má vnitřní kanálky pro přívod procesní kapaliny. Upínací stopka hladká o průměru 12 mm. Parametry nástroje jsou uvedeny v tab. 6.

Průměr	12 mm
Délka	100 mm
Délka řezné části	60 mm
Úhel špičky ϵ	140°
Úhel hřbetu α	6°
Úhel sklonu šroubovice ω	30°

Tabulka 6: Parametry nástroje

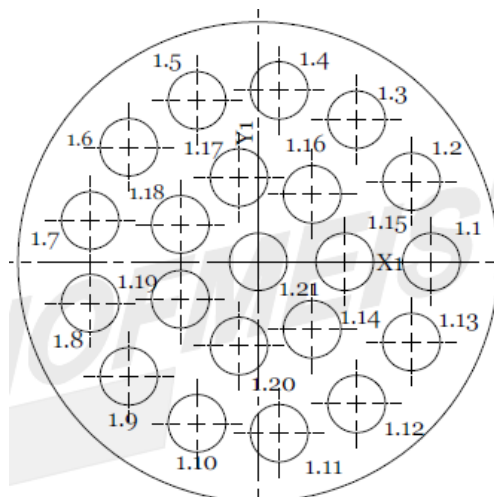
Vyrobené nástroje mají velikosti úprav mikrogeometrie hlavního břitu lišící se od navržených hodnot. Číslování a reálné hodnoty mikrogeometrie testovaných nástrojů jsou uvedeny v tabulce č. 7. Fazety mají z výroby zaoblení $r_{n1,2} = 10\mu\text{m}$.

Úprava	Zaoblení				Fazeta		Bez úpravy
Číslo nástroje	15	11	1	3	6	7	2
r_n/γ_{faz}	35 μm	40 μm	50 μm	60 μm	-40°	-50°	5 μm

Tabulka 7: Číslování a reálné hodnoty mikroúprav testovaných nástrojů

3.2.3 Obrobek

Při experimentu byly otvory o hloubce 25 mm vrtány do obrobku ve formě válcové tyče o průměru 100 mm a délce 36 mm. Materiál obrobku je ocel ČSN 12050.8 o pevnosti 800 MPa. Do obrobku bylo vyvrtáno 21 otvorů. Jejich rozložení je uvedeno v obr. 41. Výkres obrobku s tabulkou děr jsou uvedeny v příloze č. 5.

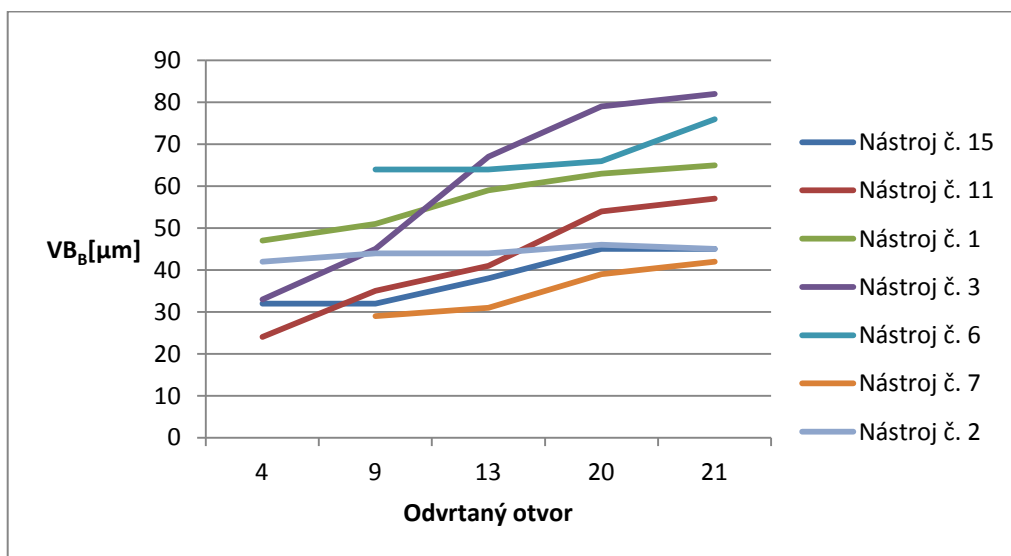


Obrázek 41: Rozložení děr v obrobku

3.2.4 Naměřená data a vyhodnocení

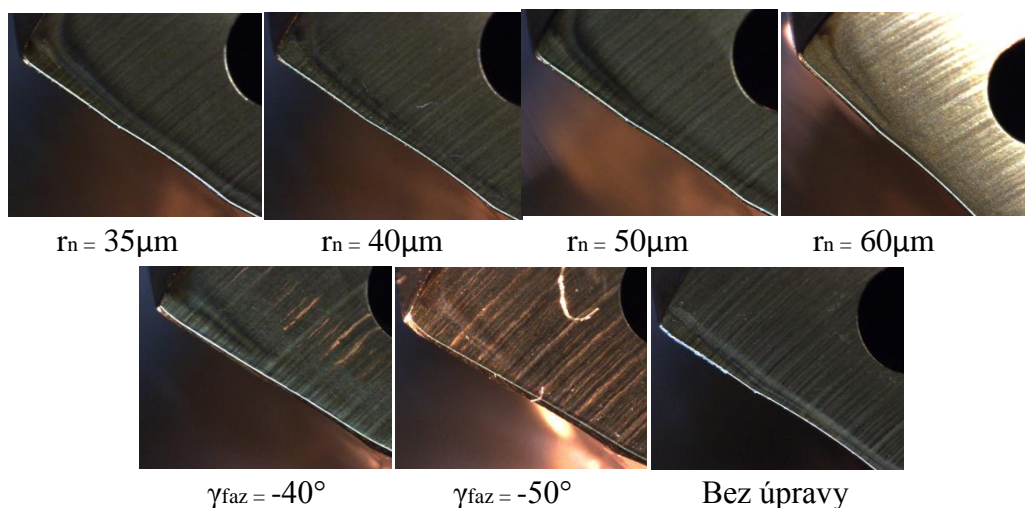
Průběh opotřebení

Při testování byl sledován průběh opotřebení u jednotlivých nástrojů. Porovnání průběhů je znázorněno v grafu 2.

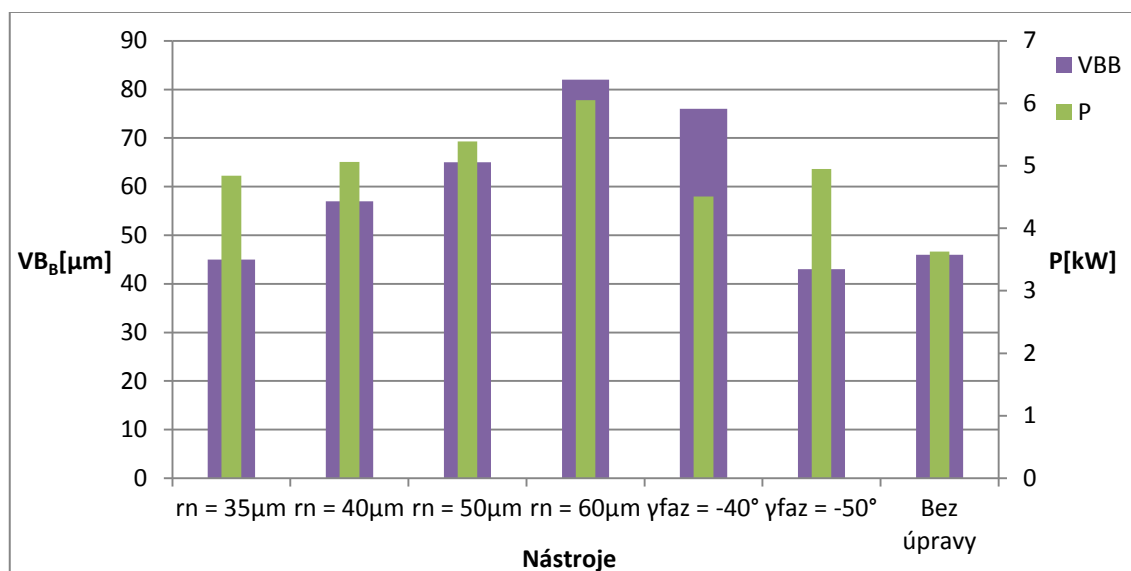


Graf 2: Průběhy opotřebení jednotlivých nástrojů

Z grafu vyplývá, že nejnižší opotřebení po stejném počtu odvrtných děr vykazuje nástroj č. 7, tzn. nástroj s větším úhlem fazety. Oproti tomu nástroj s menším úhlem fazety vykazuje opotřebení vyšší. Nejvíce se opotřeboval nástroj č. 3 se zaoblením $r_n = 60\mu\text{m}$, při jehož použití bylo potřeba největšího příkonu stroje (graf č. 3)



Obrázek 42: Opotřebení břitu po vyvrtání 21 otvorů



Graf 3: Porovnání příkonu stroje a opotřebení

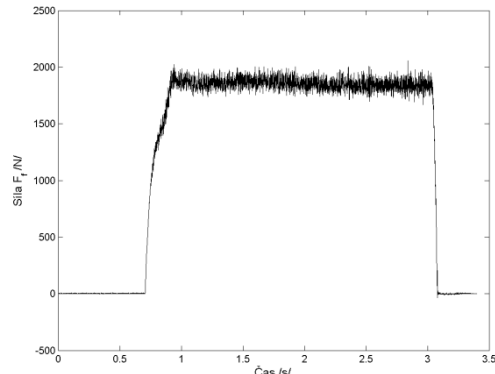
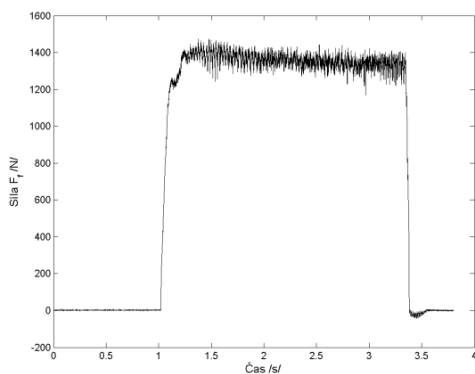
Z tohoto grafu je dále zřejmé, že u nástrojů se zaoblením hlavního břitu lze vysledovat závislost příkonu stroje na velikosti zaoblení. Se zvětšujícím se poloměrem zaoblení roste potřebný příkon stroje. Toto ovšem neplatí u nástrojů s fazetou. Zde lze vyvodit, že materiál klade nástroji s větším úhlem fazety vyšší řezný odpor, a proto je potřebný vyšší příkon stroje. Při vrtání nástrojem č. 3 byl pozorován rozdíl v hodnotách příkonu stroje vzhledem k umístění otvoru. Při vrtání otvorů na vnějším poloměru dále od středu polotovaru nabýval příkon hodnot do 6 kW, na vnitřním poloměru blíže ke středu nepřesáhl 5 kW. To může být způsobeno rozlišnými vlastnostmi materiálu.

Řezné síly a moment

Sledována byla síla posuvová F_f , pasivní F_p a řezný moment M_c . Záznamy sil jsou uvedeny v příloze č. 6.

Nástroj č. 15 - zaoblení

Nástroj č. 6 - fazeta

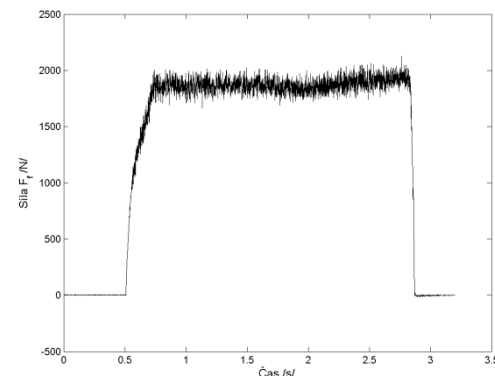
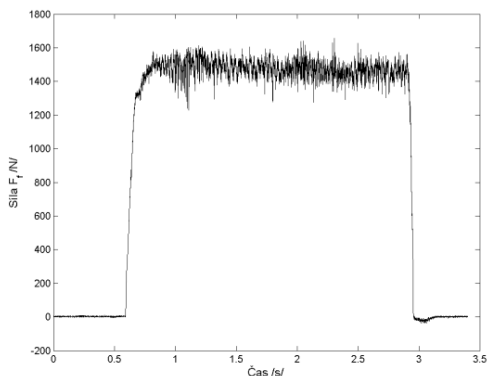


Graf 4: Porovnání síly F_f 1. otvor

Z grafů je patrný nárůst síly F_f v začátku vrtání otvorem se zaoblením, který se nevyskytuje při vrtání nástroje s fazetou, kde má tato síla konstantní průběh po celou dobu vrtání otvoru. To je způsobeno tím, že poloměr zaoblení má v 1. fázi velký řezný odpor kvůli velké kontaktní ploše. V průběhu vrtání se vytváří minimální fazeta ve směru vektoru řezné rychlosti. Vlivem této fazety se v další fázi síly ustálí.

Nástroj č. 15 - zaoblení

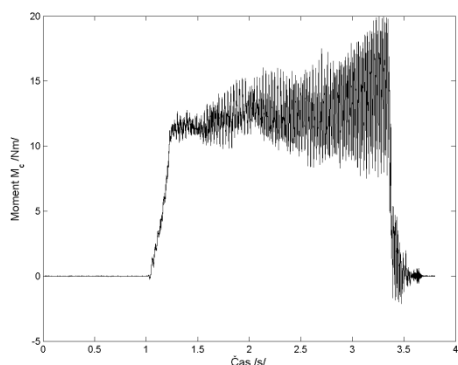
Nástroj č. 6 - fazeta



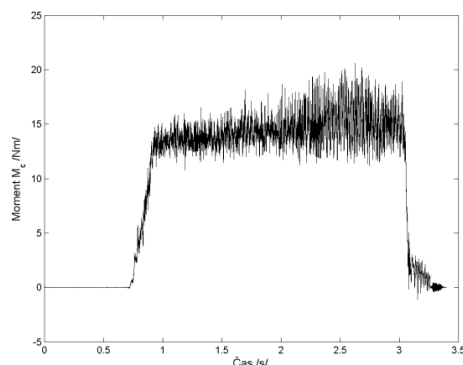
Graf 5: Porovnání síly F_f 21. otvor

Při vrtání dalších otvorů již tento nárůst síly F_f není znatelný vlivem opotřebení bříty. U nástroje s fazetou (nástroj č. 6) je tato síla vyšší.

Nástroj č. 15 - zaoblení



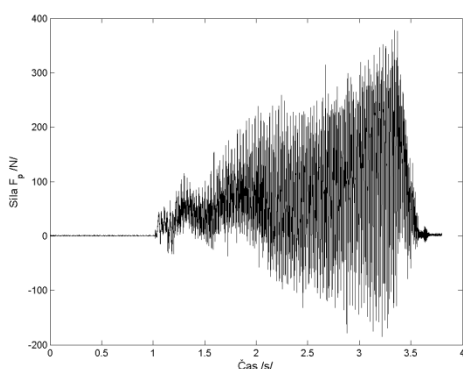
Nástroj č. 6 - fazeta



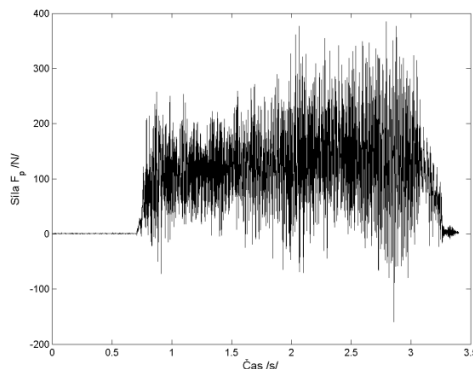
Graf 6: Porovnání momentu M_c , 1. otvor

Dalším poznatkem je rozdíl v průběhu momentu v závislosti na úpravě hlavního ostří. Zatímco při vrtání nástrojem s fazetou je moment v podstatě ustálený na hodnotě cca 14Nm, při vrtání nástrojem se zaoblením je sice jeho velikost nižší, ale nestabilní a s hloubkou díry jeho hodnota roste. Při vrtání 1. otvoru všemi testovanými nástroji se při výjezdu nástroje z otvoru objevují vibrace, jak je též možno vidět z grafu č. 6.

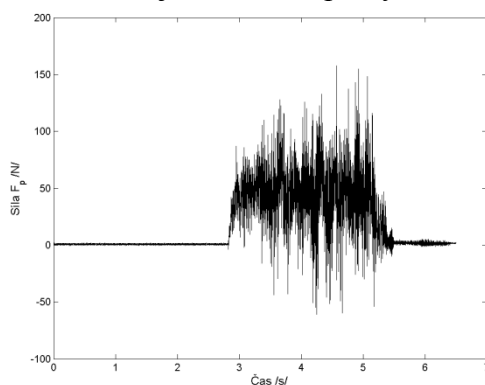
Nástroj č. 15 - zaoblení



Nástroj č. 6 - fazeta



Nástroj č. 2 – bez úpravy



Graf 7: Porovnání průběhu pasivní síly F_p

Nejmenších hodnot nabývá síla F_p při vrtání etalonovým nástrojem, tedy nástrojem bez úpravy hlavního ostří. Zaoblení ostří způsobuje rostoucí průběh této síly, který se ani u nástroje bez úpravy, ani u nástrojů s fazetou neobjevuje.

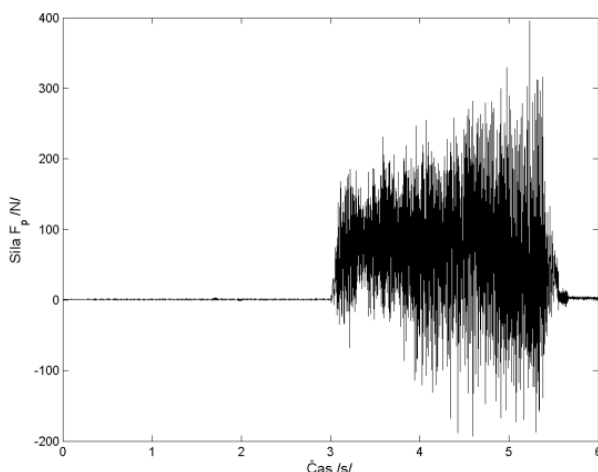
Drsnost

Dalším zjišťovaným parametrem byla drsnost povrchu v otvorech. Drsnost byla měřena pomocí drsnoměru HOMMEL. Hodnoty byly měřeny vždy v polovině 1., 4., a 21. otvoru. Naměřené hodnoty drsnosti uvádí tab. 8.

Drsnost Ra [μm]	Nástroj č.	15	11	1	3	6	7	2
1. otvor		0,09	0,16	0,13	0,11	0,36	1,49	0,78
4. otvor		0,24	0,27	0,10	0,21	0,66	0,59	0,97
21. otvor		0,19	0,29	0,43	0,08	0,45	0,63	1,12

Tabulka 8: Hodnoty drsnosti v otvorech

Obecně lze říci, že na začátku vrtání, když ještě není nástroj opotřeбенý, můžeme vysledovat vliv mikroúprav ostří na drsnost povrchu vyvrtaného otvoru. Z tabulky č. 8 je patrné, že drsnost povrchu prvního otvoru je nejlepší po vrtání nástroji se zaoblením, po vrtání nástroji s fazetou (nástroj č. 6 a č. 7) na hlavním břitu je drsnost povrchu již poněkud horší. To je pravděpodobně způsobeno vibrováním nástroje a vysokou hodnotou síly F_p dosahující hodnot +400 až – 200N (znázorněno na grafu č. 4.). Horší drsnost povrchu u nástrojů s fazetou zůstává i na konci vrtání, po odvrtání všech 21 otvorů. Nicméně na konci vrtání má zcela nejvyšší hodnotu drsnosti povrch vyrobený nástrojem bez úpravy.



Graf 8: Síla F_p , 1. otvor, nástroj č. 7

Třísky

Tvar třísek byl klasifikován dle normy ISO 3685. Při vrtání všemi testovanými nástroji se tvořila tříska, která byla dle normy zařazena do třídy 6.2 – obloukovitá tříska dělená. Při zavrtávání nástroje do materiálu se utvářela tříska kuželovitá šroubovitá, dlouhá – třída 5.1.

U dělených třísek byla určena jejich hmotnost a tloušťka, u šroubovitých třísek počet závitů a jejich rozteč. Naměřené hodnoty uvádí následující tabulky.

Hmotnost[g]	Nástroj č.	15	11	1	3	6	7	2
	4. otvor	0,156	0,140	0,155	0,151	0,190	0,185	0,138
	21. otvor	0,158	0,158	0,135	0,149	0,173	0,166	0,135

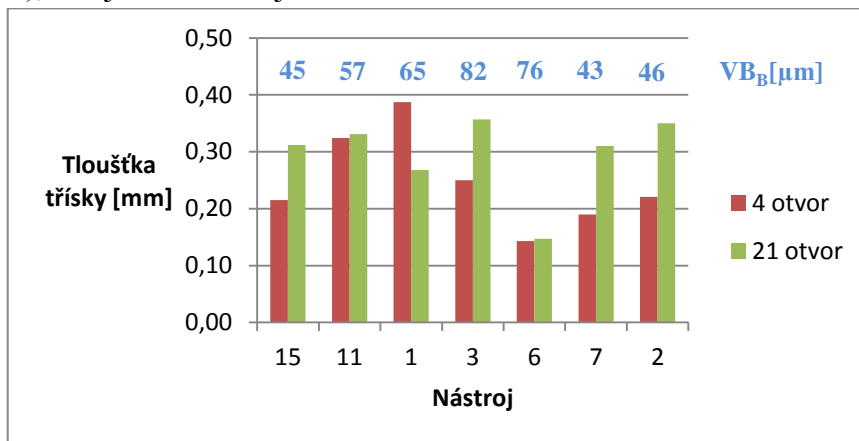
Tabulka 9: Hmotnost dělených třísek

Hmotnost třísek se odvíjí od jejich tvaru (obr. 43). Uzavřená tříška tvořící se při vrtání nástroji s fazetou má větší objem materiálu a tudíž i vyšší hmotnost než třísky u ostatních nástrojů.

Tloušťka[mm]	Nástroj č.	15	11	1	3	6	7	2
	4. otvor	0,215	0,324	0,387	0,250	0,143	0,190	0,221
	21. otvor	0,312	0,331	0,268	0,357	0,147	0,310	0,350

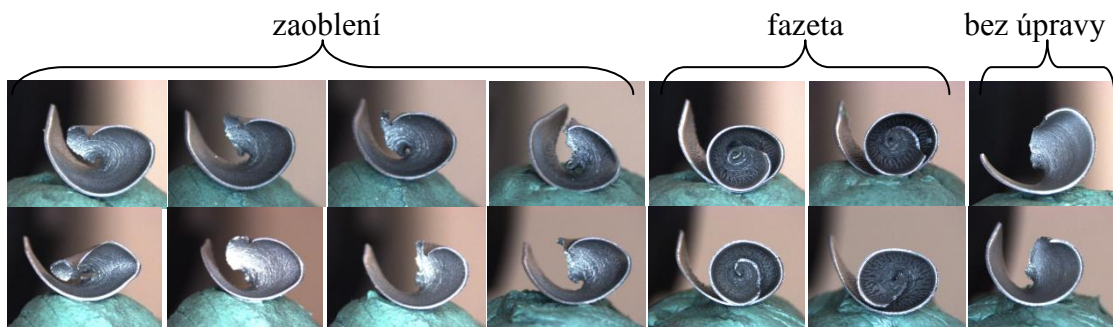
Tabulka 10: Tloušťka dělených třísek

Na grafu č. 9 je možné sledovat změnu v tloušťce třísky na začátku a na konci obrábění testovacího obrobku. Kromě nástroje č. 1, u všech nástrojů docházelo k rostoucímu pěchování třísky. To je způsobeno vlivem opotřebení. Jak se nástroj opotřebovává, ubývá materiál nástroje a mění se tak jeho geometrie, což způsobuje rozdíly v tloušťce třísky. Tříška s nejnižší tloušťkou se tvoří při vrtání nástrojem č. 6 ($\gamma_{faz} = -40^\circ$), kde je zároveň nejmenší rozdíl tloušťek na začátku a na konci vrtání.



Graf 9: Porovnání tloušťky třísky

Na následujících obrázcích je znázorněn tvar dělených třísek po odvrtání 4. a 21. otvoru.

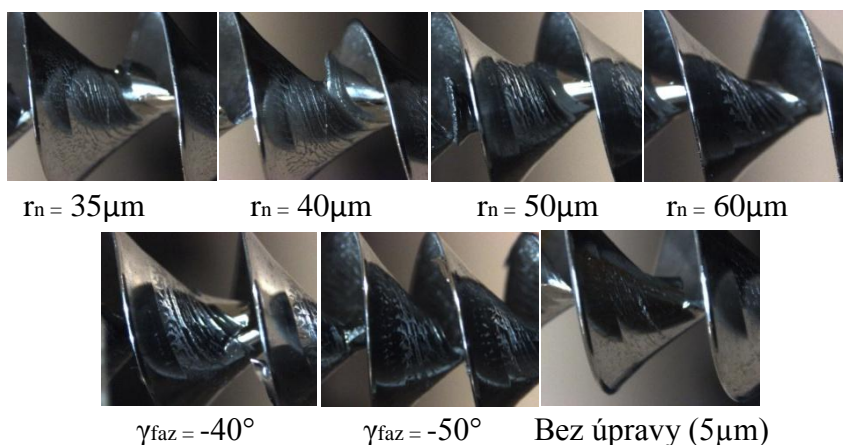


Obrázek 43: Tvar dělených třísek

Z obr. 43 je patrné, že úprava tvaru hlavního ostří nástroje má vliv na tvar utvářených třísek. Zatímco při vrtání nástrojem s fazetou je tříska uzavřená, při vrtání nástrojem bez úpravy a se zaoblením se vytváří tříska otevřená. (Hrana nástroje bez úpravy má též zaoblení - $5\mu\text{m}$). Velikost poloměru zaoblení přitom nemá výrazný vliv na tvar třísky. Při menším úhlu fazety je tříska více stočená.

Nástroj č.	15	11	1	3	6	7	2
Počet závitů	14	15	15	15	14	13	11
Rozteč[mm]	5,669	5,19	4,641	5,193	4,992	3,543	5,28

Tabulka 11: Parametry šroubovitých třísek

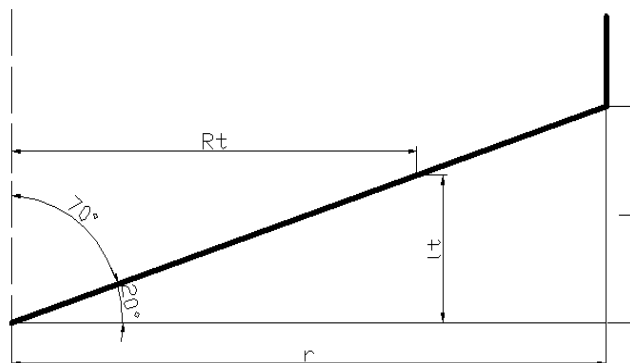


Obrázek 44: Tvar závitů šroubovitých třísek



Obrázek 45: Porovnání velikosti šroubovitých třísek

Čím kratší je tříška vznikající při zařezávání nástroje a tedy čím dříve se tato tříška oddělí, tím dříve začne nástroj řezat celou délkou hlavního ostří, nástroj se stabilizuje a začnou se vytvářet třísky článkovité. Pro výpočet místa, kde se tříška oddělí, byl odvozen výpočet.



Obrázek 46: Hloubka l_t , při které se oddělí šroubovitá tříška

$$l = r \cdot \tan 20^\circ$$

$$l = 6 \cdot \tan 20^\circ = 2,18 \text{ mm}$$

$$l_t = n \cdot f_z$$

kde r poloměr nástroje [mm]

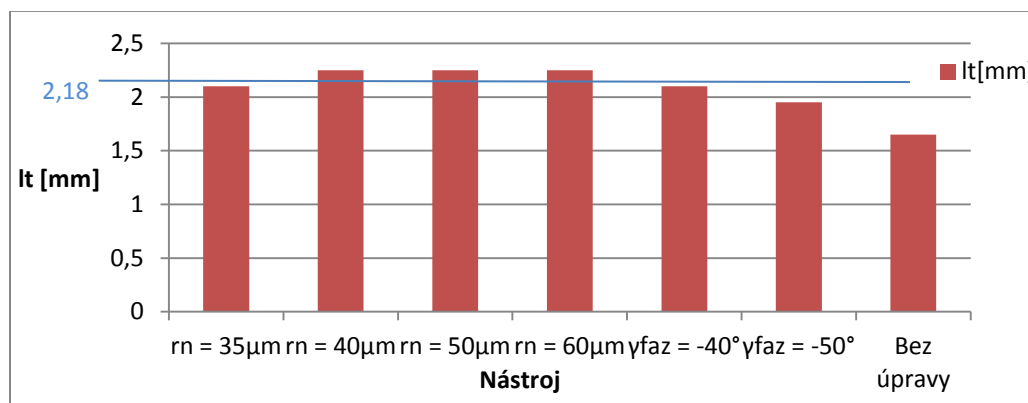
n počet závitů

f_z posuv na zub [mm]

Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce a porovnány v grafu č. 10.

Nástroj č.	15	11	1	3	6	7	2
l_t [mm]	2,1	2,25	2,25	2,25	2,1	1,95	1,65

Tabulka 12: Hloubka oddělení šroubovitě třísky



Graf 10: Porovnání hloubky l_t

Z grafu č. 10 vyplývá, že nejdříve se šroubovitá tříška, tvořící se při zavrtávání nástroje do materiálu, odděluje u nástroje č. 2, tj. nástroje bez úpravy. U nástrojů se zaoblením 40µm, 50µm a 60µm se tříška oddělí až potom, co je nástroj již plně zavrtán do materiálu, což potvrzují i rozdíly v řezných silách zmiňované v grafu č. 4. Nástroje

se zaoblením tvoří na počátku vrtání otvoru delší šroubovitou třísku, která způsobuje rozkmitání nástroje. Po jejím oddělení se nástroj ustálí.

3.3 Experiment č. 2

Cílem experimentu bylo porovnání výsledků zahraniční publikace [32], která zjišťuje vliv velikosti zaoblení na trvanlivost vrtáku z SK do oceli AISI 1045, což odpovídá oceli ČSN 12050. Autoři článku porovnávají zaoblení $r_n = 20\mu\text{m}$ a $r_n = 60\mu\text{m}$ za konstantních zvýšených řezných podmínek.

Řezná rychlost $v_c = 400 \text{ m/min}$
 Posuv na otáčku $f_{ot} = 0,375 \text{ mm/ot}$

Ze závěru článku vyplývá, že nejvyšší trvanlivosti dosáhl vrták s větším zaoblením. Cílem experimentu č. 2 bylo ověření závěru z článku, zjištění ideální úpravy ostří pro dosažení maximální trvanlivosti nástroje a zároveň porovnání trvanlivosti nástrojů se zaoblením a s fazetou.

Experiment probíhal ve dvou etapách. V první části experimentu byly testovány nástroje bez úpravy na obráběcím centru MCV 750A (příloha č. 4). V další části proběhly testy nástrojů s úpravami na obráběcím centru DMU 65 MonoBLOCK (příloha č. 1).

3.3.1 1. část experimentu

Experiment byl proveden v halové laboratoři KTO na vertikálním obráběcím centru, bylo použito stejné zařízení, vybavení a materiál jako při experimentu č. 1. Nástroje bez úpravy mikrogeometrie byly použity pro odlazování řezných podmínek a zjištění vlivu těchto podmínek na opotřebení nástroje. Posuv byl určen konstantní $f_{ot} = 0,25 \text{ mm/ot}$.

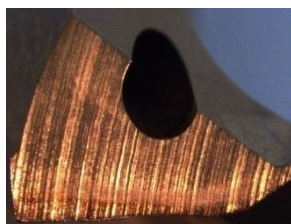
Řezná rychlost byla systematicky zvedána pro zvýšení nárůstu opotřebení.

	1. nástroj						2. nástroj
Otvor	1-6	7-12	13-18	19-24	25-30	31-64	1-21
$v_c[\text{m/min}]$	135	150	180	200	150	180	180

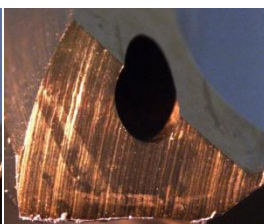
Tabulka 13: Použité řezné rychlosti

1. nástroj

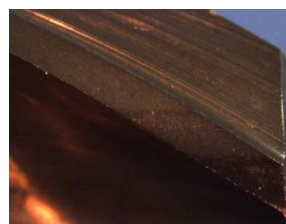
$v_c=150\text{m/min}$
 12. otvor,
 vnitřní chlazení
 8 bar



$v_c=200\text{m/min}$
 21. otvor,
 vnitřní chlazení
 8 bar



$v_c=150\text{m/min}$
 12. otvor,
 vnitřní chlazení
 8 bar

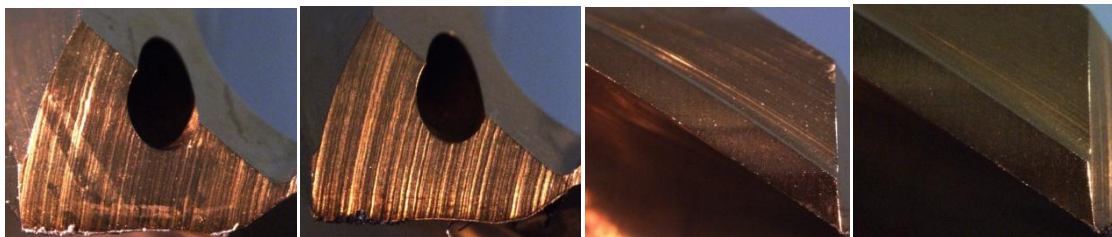


$v_c=200\text{m/min}$
 21. otvor,
 vnitřní chlazení
 8 bar



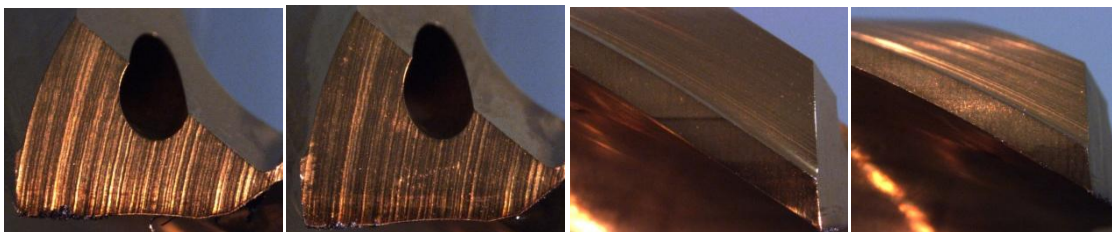
Docházelo k mírnému zvýšení ve tvorbě nárůstku jak na břitu, tak na povrchu fazety. Zatížení vřetene dosáhlo 100% a nebylo tedy možné pokračovat ve zvyšování podmínek na stroji MCV 750A. Pro zvýšení nárůstu opotřebení byl tedy změněn způsob chlazení z vnitřního na vnější. Jak je ale možno vidět na následujících obrázcích, změna způsobu chlazení nepřinesla zvětšení opotřebení.

$v_c=200\text{m/min}$	$v_c=150\text{m/min}$	$v_c=200\text{m/min}$	$v_c=150\text{m/min}$
21. otvor,	30. otvor,	21. otvor,	30. otvor,
vnitřní chlazení	vnější chlazení	vnitřní chlazení	vnější chlazení
8 bar	8 bar	8 bar	8 bar



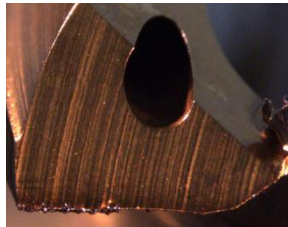
Změna způsobu chlazení nepřinesla rapidní zvětšení opotřebení ani na fazetě, ani na břitu, pouze je patrné vyšší teplotní ovlivnění, které způsobilo změnu barvy nárůstku. Došlo k další úpravě chlazení, polovina trysek byla nasměrována mimo oblast řezu.

$v_c=180\text{m/min}$	$v_c=180\text{m/min}$	$v_c=180\text{m/min}$	$v_c=180\text{m/min}$
30. otvor,	36. otvor,	36. otvor,	42. otvor,
vnější chlazení	vnější chlazení	vnější chlazení	vnější chlazení
8 bar	8 bar	8 bar	8 bar ½ trysek

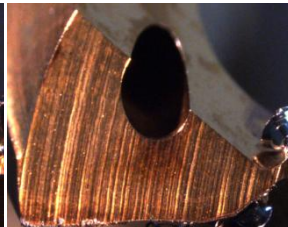


Nasměrování procesní kapaliny mimo oblast řezu nepřineslo žádné výrazné opotřebení na fazetě nástroje ani zvýšení opotřebení na břitu. Odklonění dalších trysek z místa řezu, kapalina byla přiváděna pouze jednou tryskou.

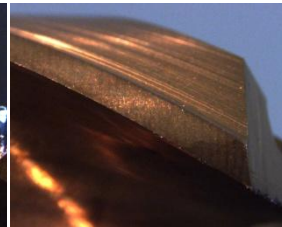
$v_c=180\text{m/min}$
42. otvor,
vnější chlazení
8 bar ½ trysek



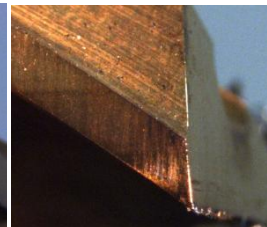
$v_c=180\text{m/min}$
48. otvor,
vnější chlazení
8 bar jen 1 tryska



$v_c=180\text{m/min}$
42. otvor,
vnější chlazení
8 bar ½ trysek

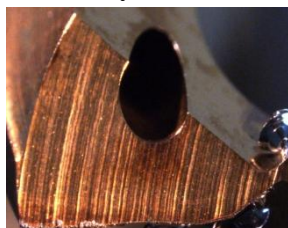


$v_c=180\text{m/min}$
48. otvor,
vnější chlazení
8 bar jen 1 tryska

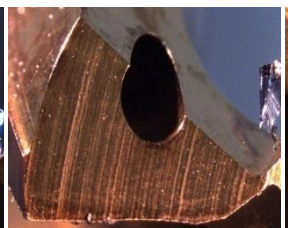


Na břitu se začíná více nalepovat tříska, zejména v oblasti příčného ostří – důkaz vyššího teplotního zatížení. Nasměrování procesní kapaliny mimo oblast řezu však nepřineslo žádné výrazné opotřebení nástroje. Přejít na suché obrábění.

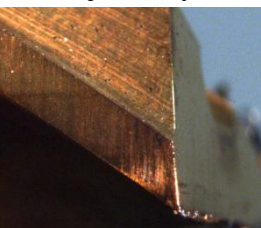
$v_c=180\text{m/min}$
48. otvor,
vnější chlazení
8 bar 1 tryska



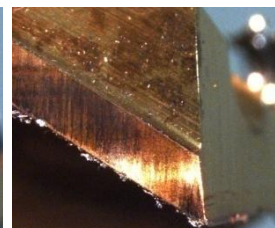
$v_c=180\text{m/min}$
54. otvor,
za sucha



$v_c=180\text{m/min}$
48. otvor,
vnější chlazení
8 bar jen 1 tryska

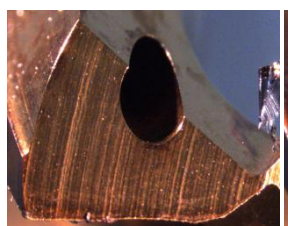


$v_c=180\text{m/min}$
54. otvor,
za sucha

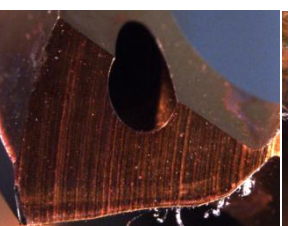


Nalepování v oblasti hlavního ostří je srovnatelné, obrábění za sucha přineslo nalepování třísky i v oblasti fazet. Pokračování vrtání za stejných podmínek.

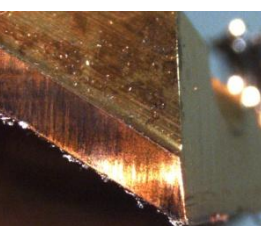
$v_c=180\text{m/min}$
54. otvor,
za sucha



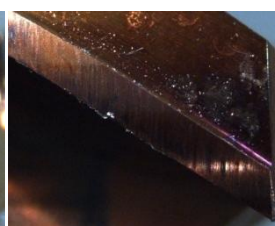
$v_c=180\text{m/min}$
63. otvor,
za sucha



$v_c=180\text{m/min}$
54. otvor,
za sucha



$v_c=180\text{m/min}$
63. otvor,
za sucha



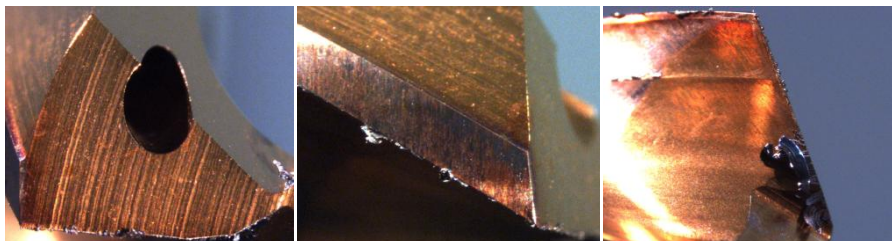
Při obrábění za sucha znatelně rostlo teplotní ovlivnění nástroje, nalepování v oblasti fazet srovnatelné. Na obvodě břitu došlo po vyvrtání 63. otvoru k vylovení základního materiálu nástroje. Výběr nového nástroje a vrtání za podmínek: $v_c=180\text{m/min}$, $f_{ot}=0,25\text{mm/ot}$, za sucha.

2. nástroj

$v_c=180\text{m/min}$
7. otvor,
za sucha

$v_c=180\text{m/min}$
7. otvor,
za sucha

$v_c=180\text{m/min}$
7. otvor,
za sucha



Znatelné teplotní zatížení nástroje, zrychlení frekvence vrtání otvorů. Po 21. otvoru lom nástroje vlivem stahování otvoru.

Jelikož při vrtání za těchto řezných podmínek nedocházelo k výraznému opotřebení nástroje a nebylo možné proto jeho průběh sledovat, bylo rozhodnuto přistoupit k druhé části experimentu a použít vyšší řezné podmínky $v_c=400\text{m/min}$, $f_{ot}=0,25\text{mm/ot}$, za vnějšího přívodu kapaliny, z důvodu snížení adheze třísek k povrchu nástroje a snížení stahování obráběného materiálu. Pro dosažení těchto podmínek již nedostačoval výkon obráběcího centra MCV 750A a proto 2. část experimentu proběhla na 5osém obráběcím centru DMU 65 MonoBLOCK. Jeho podrobná specifikace je uvedena v příloze č. 1.

3.3.2 2. část experimentu

Proces řezání probíhal za přívodu procesní kapaliny s vnitřním tlakem 40 bar. Nástroj byl upnut do nástrojového upínače s konstantním vyložení pro všechny testované nástroje. Použité měřicí a vyhodnocovací vybavení bylo totožné jako v 1. části experimentu.

Číslo nástroje	1	2	3	4	5	6
Úprava	bez úpravy	bez úpravy	-40°	-40°	40 μm	30 μm

Tabulka 14: Číslování nástrojů a jednotlivé úpravy břitu

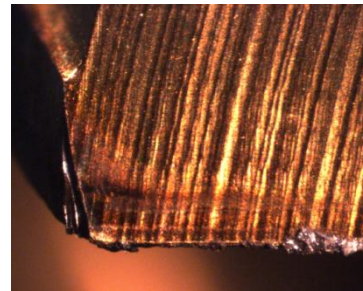
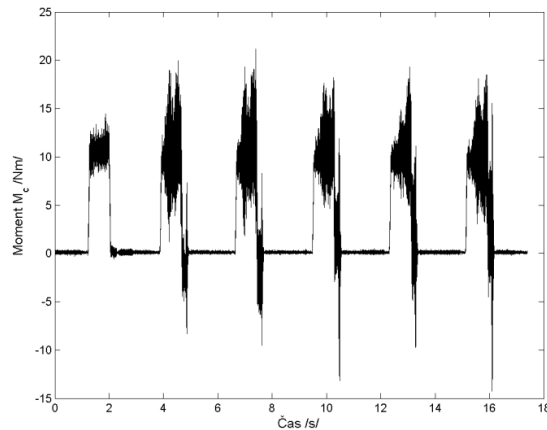
Nástroj č. 2

Pro začátek experimentu byl zvolen nástroj č. 2, bez úpravy. Řezné podmínky $v_c=400\text{m/min}$, $f_{ot}=0,25\text{mm/ot}$. Po vyvrtání 26. otvoru došlo k vyštípnutí materiálu na fazetě, která má poskytovat nástroji oporu, a proto došlo k destabilizaci nástroje. To ukazuje obr. 47. Nástroj dosáhl po odvrtání 42. otvoru opotřebení $VB=1200\mu\text{m}$.

Po vyvrtání otvorů byla měřena drsnost povrchu v otvorech. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 15. Z té je patrné, že vyštípnutí nástroje nemělo výrazný vliv na drsnost.

1. polotovar pro nástroj č. 2			2. polotovar pro nástroj č. 2		
Otvor	Ra[μm]	Rz[μm]	Otvor	Ra[μm]	Rz[μm]
1	0,76	3,84	1	0,8	3,96
11	0,81	4,1	11	0,85	3,87
21	0,98	5,94	21	0,7	4,97

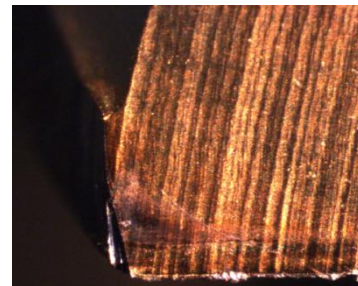
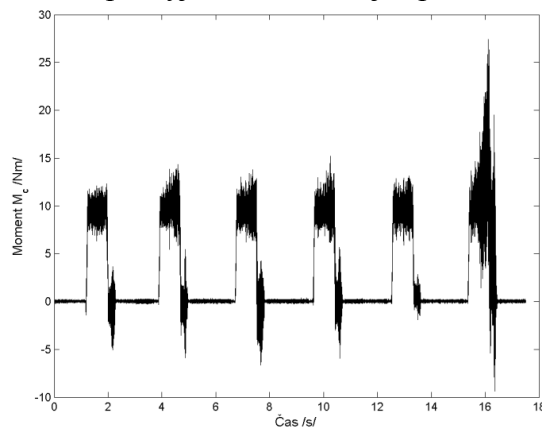
Tabulka 15: Naměřené hodnoty drsnosti



Obrázek 47: Vyštípnutí nástroje č. 2

Nástroj č. 1

Pro zlepšení stability nástroje byla pro další nástroj (č. 1) snížena řezná rychlost na hodnotu $v_c=350\text{m/min}$. Po vyvrtání 27. otvoru došlo stejně jako u předchozího nástroje k vyštípnutí materiálu na fazetě a destabilizaci nástroje. To ukazuje obr. 48. (Nestabilní průběh momentu při výjezdu z otvoru je způsoben vlivem teplotního stahování díry).

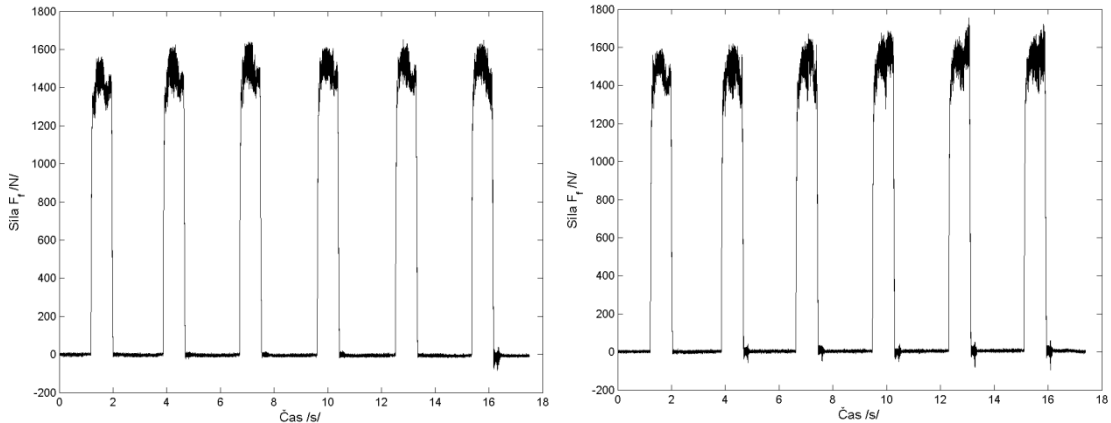


Obrázek 48: Vyštípnutí nástroje č. 1

Vyštípnutí se neprojevovalo na síle F_f , která se pouze v průběhu procesu vrtání mírně zvyšovala, jak ukazují následující grafy. (Na grafech jsou znázorněny průběhy sil u otvorů 22 – 27, a 34 – 39).



Obrázek 49: Tvar třísek při vrtání

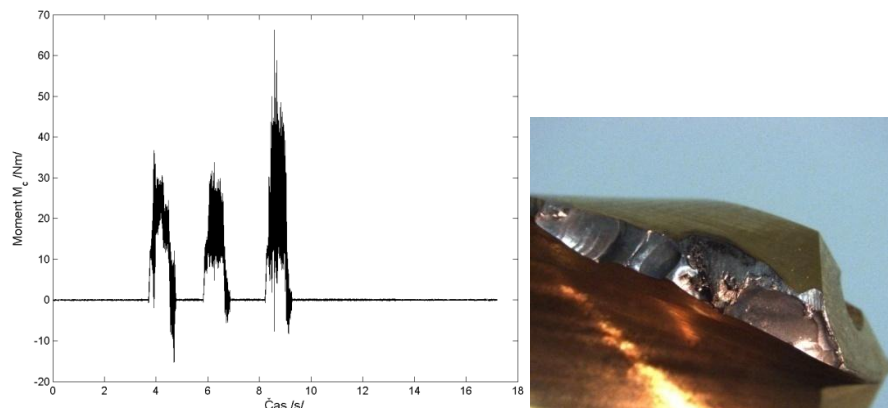


Graf 11: Průběh síly F_f u otvorů 22 - 27 a 34 - 39

Nástroj dosáhl po odvrtání 42. otvoru opotřebení $VB = 700 \mu\text{m}$.

Nástroj č. 3

Po otestování nástrojů bez úpravy hlavního břitu byl vybrán k dalšímu testování nástroj s fazetou $\gamma_{\text{faz}} = -40^\circ$. Řezná rychlost byla stanovena na $v_c = 350 \text{ m/min}$, protože nástroj při $v_c = 400 \text{ m/min}$ nebyl stabilní. Nicméně po vyvrtání 3 otvorů došlo k destrukci nástroje na obvodových fazetách. Po analýze silového zatížení byl vyvozen závěr, že nástroj se nebyl schopen zaříznout. V grafu průběhu řezného momentu je nenázorně vidět, kdy došlo k poškození nástroje.

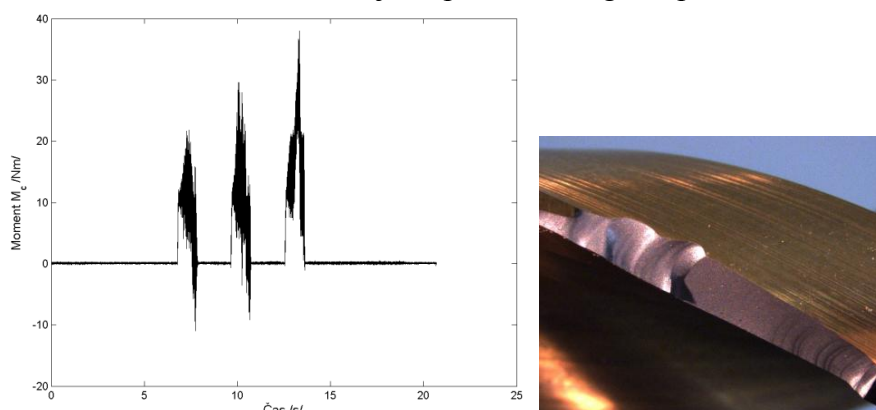


Graf 12: Průběh momentu M_c do poškození nástroje č. 3

Pro ověření závěrů byl následně použit nástroj se stejnou úpravou.

Nástroj č. 4

Tímto nástrojem bylo vyvrtáno 6 otvorů, po nichž opět došlo k destrukci nástroje na obvodových fazetách. Poškození nástroje se promítlo do grafu průběhu momentu M_c .



Graf 13: Průběh momentu M_c u posledních 3 otvorů

Moment byl velmi nestabilní, jeho velikost se zvyšovala, až při vrtání posledního otvoru před destrukcí dosahovala téměř 40Nm. Vlivem fazety se zvyšoval měrný řezný odpor, síla F_f vzrostla z hodnoty 2400N na 2500N, zatímco velikost síly F_p byla zpočátku proměnlivá a po odvrtání 4. otvoru se začala snižovat. Nástroj se nebyl schopen zaříznout, rozkmity nabývaly extrémních hodnot. Nástroj obráběl boky a proto vlivem zatížení došlo k nárůstu napětí v materiálu nad kritickou hodnotu, což se projevilo odštěpením fazety.



Obrázek 50: Tvar třísky při vrtání nástrojem č. 4

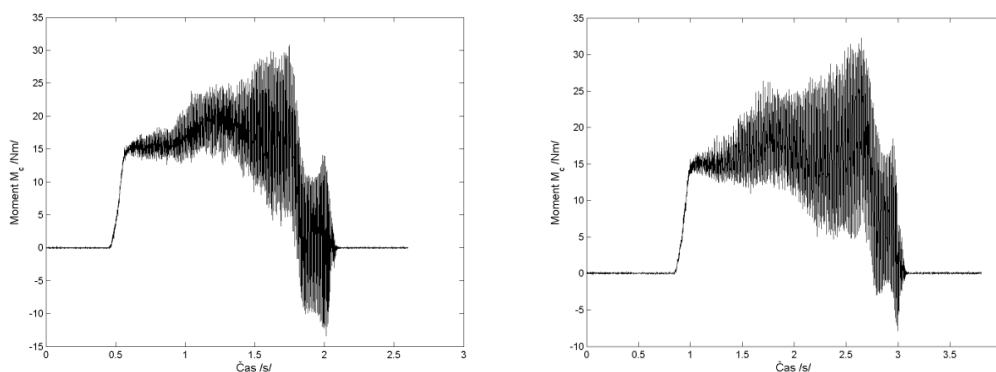
Pro testování dalších nástrojů bylo rozhodnuto změnit řezné parametry, aby se snížilo zatížení nástroje.

Nástroj č. 5

Postupně byla snižována řezná rychlost a zvyšován posuv (pro zvětšení průřezu třísky).

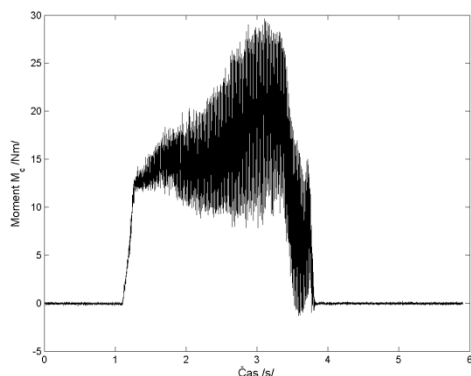
$v_c = 250$ m/min, $f_{ot} = 0,25$ mm/ot

$v_c = 150$ m/min, $f_{ot} = 0,35$ mm/ot

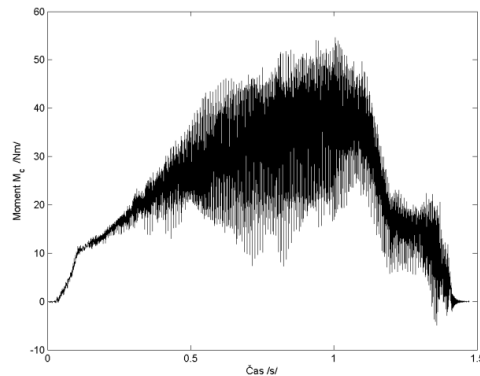


Graf 14: Porovnání momentu M_c při různých řezných podmínkách

$v_c = 120 \text{ m/min}$, $f_{ot} = 0,375 \text{ mm/ot}$

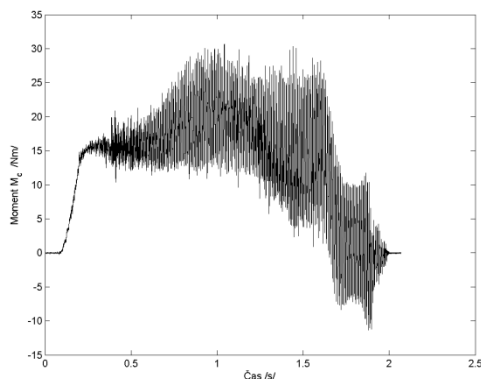


$v_c = 100 \text{ m/min}$, $f_{ot} = 0,35 \text{ mm/ot}$



Graf 15: Porovnání momentu M_c při různých řezných podmínkách

$v_c = 100 \text{ m/min}$, $f_{ot} = 0,3 \text{ mm/ot}$



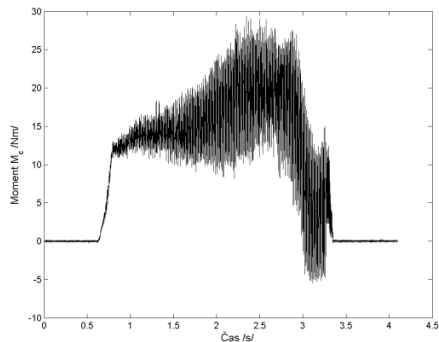
Graf 16: Porovnání momentu M_c při různých řezných podmínkách

Po vyvrtání otvoru těmito řeznými podmínkami došlo k destrukci nástroje. Předchozí grafy znázorňují vliv změny řezných podmínek na proces řezání nástrojem se zaoblením. Je patrné, že proces byl velmi nestabilní, silové zatížení vysoké. Ve snaze stabilizovat proces vrtání byl zvolen nástroj s menším poloměrem zaoblení a parametry dále měněny.

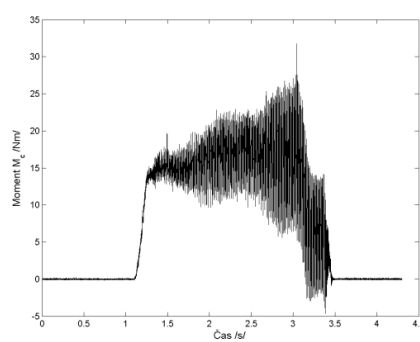
Nástroj č. 6

Řezná rychlost $v_c = 100 \text{ m/min}$ zůstala konstantní, měněn byl posuv.

$f_{ot} = 0,25 \text{ mm/ot}$

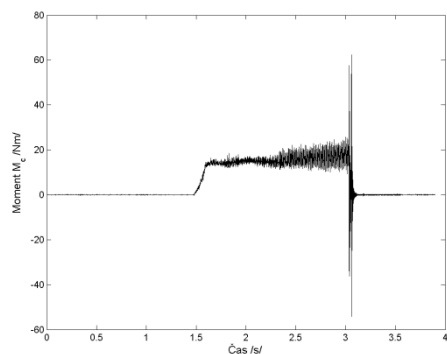


$f_{ot} = 0,35 \text{ mm/ot}$



Graf 17: Porovnání momentu M_c při různých posuvech

$$f_{ot} = 0,38 \text{ mm/ot}$$



Graf 18: Porovnání momentu M_c při různých posuvech

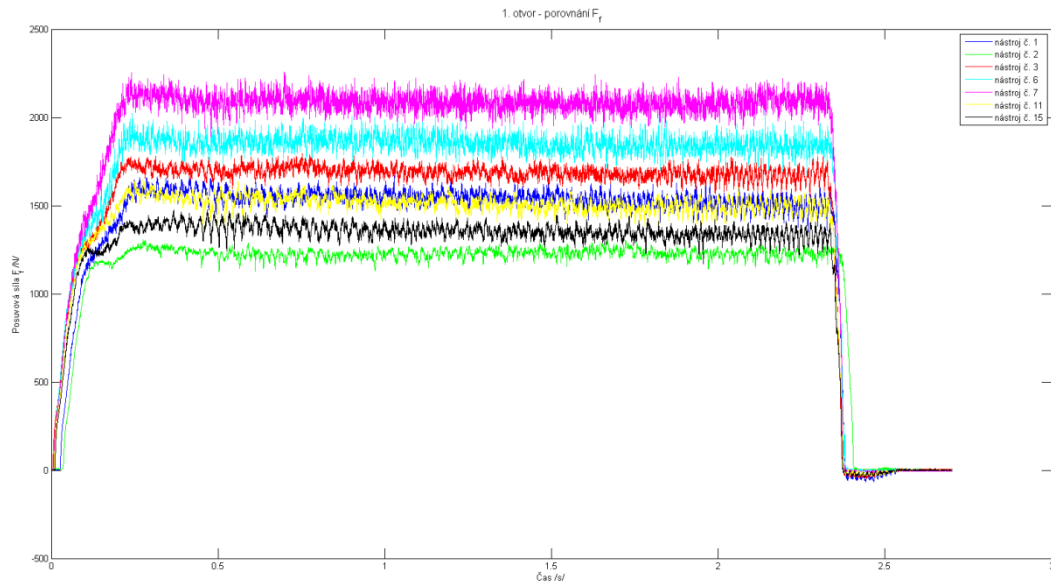
Proces se stabilizovat nepodařilo a po odvrtání 3 otvorů došlo k destrukci nástroje.

Zhodnocení experimentu

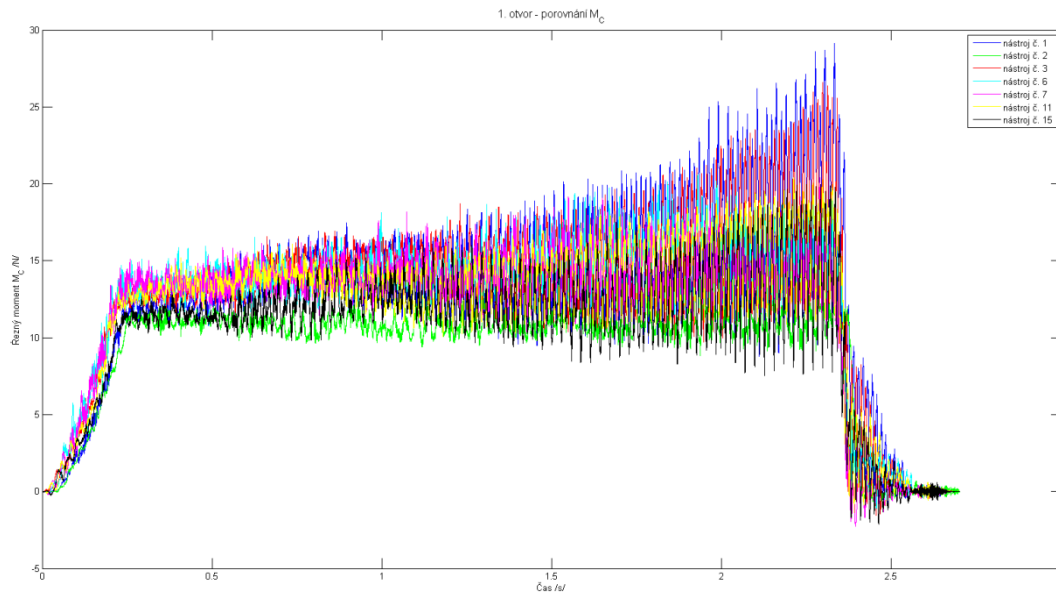
V tomto experimentu se nepodařilo potvrdit výsledky experimentů z článku [32], protože nástroje nebyly schopny odolat zatížení vyvolanému vysokými řeznými podmínkami, které byly v článku uvedeny. Proto nebylo možné ani zjištění ideální úpravy ostří pro dosažení maximální trvanlivosti nástroje ani porovnání trvanlivosti nástrojů se zaoblením a s fazetou.

4 Technicko – ekonomické zhodnocení

V experimentální části byly testovány nástroje s různou úpravou mikrogeometrie hlavního břitu za účelem zjištění nejuvhodnější úpravy břitu s ohledem na trvanlivost nástroje. Pro zhodnocení experimentu byly vygenerovány grafy shrnující průběhy sil a momentu pro všechny testované nástroje.



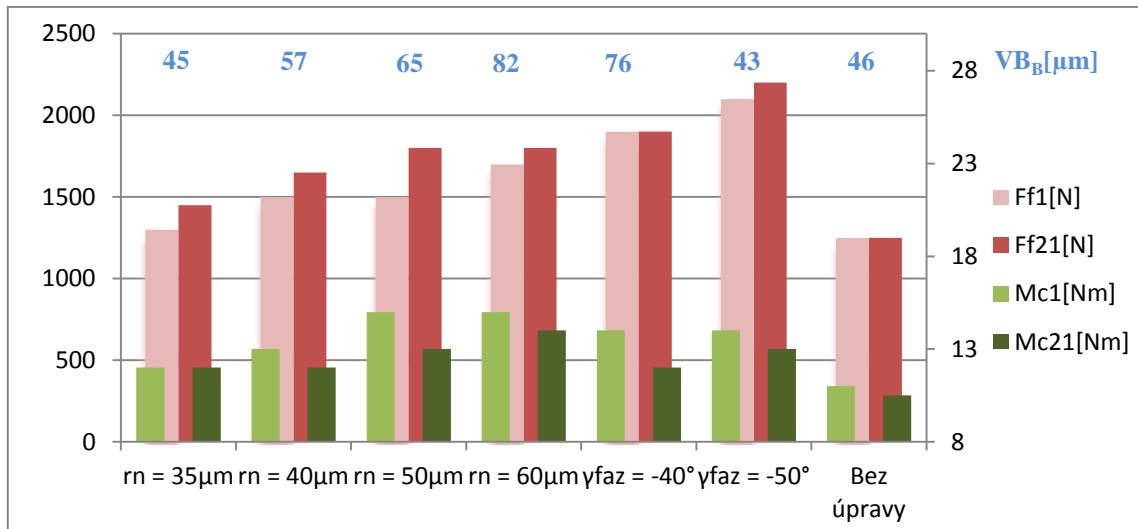
Graf 19: Porovnání sil F_f po 1. odvrtném otvoru



Graf 20: Porovnání momentů M_c po 1. odvrtném otvoru

Grafy č. 19 a 20 porovnávají síly F_f a momenty M_c při vrtání nástroji s různou úpravou hlavního břitu. Z grafů je patrné, že síla F_f přímo závisí na typu a velikosti mikroúprav. Nejmenší síla je u nástroje bez úpravy hlavního břitu. To je dáno tím, že tento nástroj má nejostřejší hranu a proto nejsnáze vniká do materiálu. Velikost síly F_f

se zvětšuje se zvětšujícím se poloměrem zaoblení řezné hrany a také se zvětšujícím se úhlem fazety, přičemž tato síla je vyšší u obou nástrojů s fazetou než u nástrojů se zaoblením.



Graf 21: Průběh síly F_f a momentu M_c

Po analýze průběhu sil a momentu je možno vyvodit závěr, že se posuvová síla s rostoucím počtem otvorů a rostoucím opotřebením nástroje zvyšuje, zatímco moment klesá a stabilizuje se jeho průběh. Nástroj č. 7 ($\gamma_{faz} = -50^\circ$), u něhož byla posuvová síla nejvyšší, dosáhl nejmenšího opotřebením.

Úprava	Zaoblení				Fazeta		Bez úpravy
Číslo nástroje	15	11	1	3	6	7	2
r_n [μm]/ γ_{faz} [$^\circ$]	35	40	50	60	-40	-50	5
max P [kW]	4,84	5,06	5,39	6,05	4,51	4,95	3,63
VB_B [μm]	45	57	65	82	76	43	46
F_{f1} [N]	1300	1500	1500	1700	1900	2100	1250
M_{c1} [Nm]	12	13	15	15	14	14	11
Drsnost R_a [μm]	0,09	0,16	0,13	0,11	0,36	1,49	0,78
Hmotnost třísky [g]	0,156	0,14	0,155	0,151	0,19	0,185	0,138
Tloušťka třísky [mm]	0,215	0,324	0,387	0,25	0,143	0,19	0,221
l_t [mm]	2,1	2,25	2,25	2,25	2,1	1,95	1,65

Tabulka 16: Sumarizace naměřených hodnot

Z výsledků experimentu č. 1 vyplývá, že vrtání nástroji s velkými zaobleními řezné hrany generují velké síly a momenty a jsou příkonově náročná, což se negativně projeví v nákladech na obrábění. Šroubovitá tříska se dělí dlouho, proces vrtání je dlouhodobě nestabilní. Nestabilita je zřetelná především u síly F_p , která dosahuje hodnot až $\pm 400\text{N}$.

Nástroj s větším úhlem fazety je z hlediska trvanlivosti nástroje nevhodnější, nicméně generuje nejvyšší posuvové síly a velké momenty. U hlediska kvality obrobeného povrchu a geometrické přesnosti je vhodnější použití nástrojů s jinou úpravou.

Nástroj bez úpravy, který má naměřené zaoblení řezné hrany $5\mu\text{m}$, se dlouhodobě choval stabilně, síla F_p dosahovala hodnot $\pm 100\text{N}$. V případě požadavku vrtat kvalitně se přibližuje hodnotám ostatních nástrojů, příkonově je nejméně náročný, síly a momenty dosahují v porovnání s ostatními nástroji nejnižších hodnot. Z pohledu opotřebení je srovnatelný s nástroji s menším zaoblením a nástrojem s větším úhlem fazety.

Z hlediska trvanlivosti doporučuji provést další experimenty pro otestování nástrojů s poloměrem zaoblení řezné hrany $5 - 15\mu\text{m}$, kde je možné očekávat větší přínos než u nástrojů s větším zaoblením.

Při experimentu č. 2 v podmínkách, které umožňují laboratoře KTO, nebylo docíleno stejných ani podobných výsledků jako v publikaci [32]. To může být způsobeno jinými vlastnostmi deponované tenké vrstvy TiN nebo rozdílnou makrogeometrií nástroje.

Ekonomické zhodnocení

Protože nástroje použité pro testování se liší pouze v technologii výroby mikroúprav, bude v této části hodnocen jen tento parametr. Mikrogeometrie a její úpravy umožňují ovlivnit širokou oblast procesu obrábění, především trvanlivost nástroje, přičemž náklady na výrobu mikroúprav jsou v porovnání s celkovými náklady na výrobu nástroje v jednotkách procent.

Zaoblení řezné hrany

Zaoblení pro testované nástroje bylo vyrobeno technologií omílání v granulátech. Nejvýznamnější složkou ovlivňující náklady na výrobu zaoblení řezné hrany jsou ceny médií. Rozdíly v cenách omílacích médií jsou dány jejich složením. Náklady na výrobu zaoblení rostou s časem potřebným k jeho výrobě. Čas omílání se liší v závislosti na velikosti požadovaného poloměru zaoblení.

Protože firma vyrábějící zaoblení testovaných nástrojů nesdělila dobu potřebnou pro výrobu jednotlivých zaoblení, budou náklady vyjádřeny cenou za 1 minutu jejich výroby.

- Ceny médií (ceny jsou uvedeny bez DPH):

Pro výrobu zaoblení na testovaných nástrojích bylo použito omílací médium TZM, pro porovnání jsou uvedeny i ceny dalších médií.

Pro zaoblení nad $30\mu\text{m}$:	TZM	756 EUR
Pro zaoblení do $30\mu\text{m}$:	HSC 1/300	784 EUR
Pro leštění keramiky a SK:	H 4/400	2357 EUR

- Životnost médií: 200 – 300 hod

Životnost médií závisí na jejich aplikaci. Pro výpočet je uvažována spodní hranice životnosti.

- Sazba stroje: 1 Kč/min

sazba stroje		1 Kč/min	
sazba médií	HSC 1/300	1,64	Kč/min
	TZM	1,58	Kč/min
	H4/400	4,9	Kč/min

Tabulka 17: Vypočtené sazby médií

Fazeta na řezné hraně

Fazety pro testované nástroje byly broušeny ručně, za použití speciálního přípravku. Doba výroby se pro různé úhly fazety neliší.

- Hodinová mzda dělníka: 120 Kč/hod
- Doba výroby fazety: 20 min
- Sazba dělníka: **2Kč/min**

Náklady na výrobu fazety na jednom nástroji: 40 Kč

Srovnání nákladů na 1 minutu výroby mikroúpravy hlavního břitu nástroje uvádí tabulka č. 18.

Úprava	Zaoblení	Fazeta	Bez úpravy
Náklady na výrobu mikroúpravy[Kč/min]	2,58	2	0

Tabulka 18: Porovnání nákladů na 1 min výroby mikroúprav

5 Závěr

V této práci byly, na základě informací získaných předchozím studiem odborné literatury, navrženy různé úpravy hlavního břitu monolitního šroubovitého vrtáku (zaoblení hlavního břitu a fazety na hlavním břitu).

Následně byly provedeny dva experimenty, z nichž první měl za cíl porovnat chování nástrojů a vliv jejich mikroúprav na trvanlivost. Po zhodnocení všech naměřených parametrů a po analýze silového zatížení nástrojů je možné závěrem říci, že nástroj bez úprav, který má naměřené zaoblení břitu $r_n=5\mu\text{m}$, se svými hodnotami blíží nástrojům s úpravami a bylo proto doporučeno další testování nástrojů s menším zaoblením, v rozsahu $r_n=5 - 15\mu\text{m}$.

V druhém experimentu bylo cílem porovnání výsledků zahraniční publikace [32], která se zabývá vlivem zaoblení $r_n=20\mu\text{m}$ a $r_n=60\mu\text{m}$ na trvanlivost nástroje. Při snaze o testování nástrojů za stejných podmínek však nástroje nebyly takto zvýšeným řezným podmínkám schopny odolat a docházelo k jejich destrukci. To bylo pravděpodobně způsobeno rozdílnou geometrií nástroje.

Seznam literatury

- [1] RODRIGUEZ C. J. C, *Cutting edge preparation of precision cutting tools by applying micro-abrasive jet machining and brushing* Dostupné z:
<http://download.ebooks6.com/Cutting-edge-preparation-of-precision-cutting-tools-by-applying-pdf-e90962.pdf>
- [2] www.vutbr.cz/
- [3] MALÝ J., *Úprava a měření mikrogeometrie břitu nástroje*, Bakalářská práce, ZCU 2012
- [4] *Technologie úprav nástrojů před a po povlakování*. MM Průmyslové spektrum [online]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-uprav-nastroju-pred-a-popovlakovani.html>
- [5] DONG – SAM P. a kol., *Micro-grooving of glass using micro-abrasive jet machining*. ScienceDirect.com [online] 2003 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013603010185>
- [6] MUSIL M., *Příprava řezného nástroje před povlakováním* Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29207
- [7] HON P., *Analýza řezných sil při vrtání šroubovým vrtákem* Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18144
- [8] FOREJT, M., PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [9] HUMÁR, A. *Technologie obrábění - 2.část : Studijní opory pro magisterskou formu studia*. 2004. 95 s. Dostupný z WWW: <<http://ust.fme.vutbr.cz/>>.
- [10] HUMÁR A. *Materiály pro řezné nástroje* Dostupný z WWW: <<http://ust.fme.vutbr.cz/>>.
- [11] <http://www.sandvik.coromant.com>
- [12] VOSTÁLOVÁ P., *Povlaky mnoha barev* Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/povlaky-mnoha-barev.html>
- [13] EIFELER s.r.o., *TiN* Dostupné z : <http://www.commercservice.sk/tin.html>
- [14] www.shm-cz.cz
- [15] STIMZET, *PVD povlakování nástrojů* Dostupné z : http://stimzetvsetin.cz/data/povlakovani_cz.html

- [16] KRISHNAN N., BOPANA S. P., BHAT D. G., *Development of a graded TiCN coating for cemented carbide cutting tools-a design approach* (ScienceDirect)
- [17] DOBRZANSKI L.A., MIKULA J., *Structure and properties of PVD and CVD coated Al₂O₃ + TiC mixed oxide tool ceramics for dry on high speed cutting processes*(ScienceDirect)
- [18] www.shm-cz.cz/files/literatura/50.pdf
- [19] www.stimzet.cz
- [20] www.shm-cz.cz/files/literatura/40.pdf
- [21] www.shm-cz.cz/files/literatura/35.pdf
- [22] www.shm-cz.cz/files/literatura/41.pdf
- [23] OTEC *The Importance of Cutting Edge Preparation*. Ebookbrowse.com [online]. 2006 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://ebookbrowse.com/otec-the-importance-of-cuttingedge-preparation-for-customers-12-06-ppt-d144163136>
- [24] KARPUSCHEWSKI B. a kol. *Magneto-abrasive machining for the mechanical preparation of high-speed steel twistdrills*.ScienceDirect.com [online]. 2009 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000785060900095X>
- [25] *Magneto-abrasive machining for the mechanical preparation of high-speed steel twist drills*.ScienceDirect.com [online]. 2009 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000785060900095X>
- [26] ROUD P., *Konstrukce produktivních vrtacích nástrojů pomocí SW CATIA V5*, diplomová práce ZCU, 2009
- [27] CRUCIBLE MATERIALS CORPORATION, SYRACUSE, NEW YORK, *High hardness powder metalurgy high speed steel article*, Vynálezce: ANDRZEJ L., WILIAM S., Patentový spis: EP 0909 829 A2
- [28] SECO TOOLS AB, *Method for producing cemented carbide products*, Vynálezce: LUNDELL R., JONSON P., PUIDE M., Patentový spis: US2013064708 A1
- [29] KENNAMETAL, INC., *Sintered cemented carbide body and use thereof*, Vynálezce: HEINRICH H-W., SCHMIDT D., Patentový spis: WO0050657 A1
- [30] www.platit.com
- [31] www.tumlikovo.cz

- [32] TERVEY I., BIERMANN D., *Cutting edge preparation to improve drilling tools for HPC processes* (ScienceDirect)
- [33] RISSE K., *Einflüsse von Werkzeugdurchmesser und Schneidkantenverrundung beim Bohren mit Wendelbohrern in Stahl* (ScienceDirect)
- [34] SKLENIČKA J., *Vliv geometrie břitu produktivních vrtacích nástrojů na velikost řezných sil*, Diplomová práce, ZCU 2009

Seznam příloh

Příloha č. 1: Specifikace obráběcího centra DMU 65 MonoBLOCK

Příloha č. 2: Specifikace optického mikroskopu MultiCheck PC 500

Příloha č. 3: Specifikace členů měřicí soustavy

Příloha č. 4: Specifikace obráběcího centra MCV 750A

Příloha č. 5: Výkres obrobku a tabulka

Příloha č. 6 : Záznamy sil a momentu

Příloha č. 1: Specifikace obráběcího centra DMU 65 MonoBLOCK

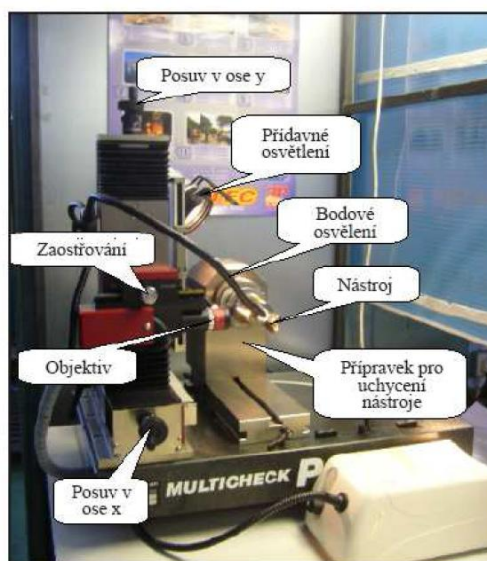
Druh	obráběcí centrum
Typ	DMU 65 MonoBLOCK
Počet řízených os	5
Pojezd v ose X,Y,Z	650, 650, 560 mm
Šířka dveřního prostoru	1430 mm
Výška stolu	800 mm
Rozměry stolu	1,000 × 650 mm
Max. hmotnost obrobku	1800 kg
Rozsah otáček	až 10 000 ot/min



Obr. P 1-1: Obráběcí centrum DMU 65 MonoBLOCK

Příloha č. 2: Specifikace optického mikroskopu MultiCheck PC 500

Rozsah v ose x	0 – 150 mm
Rozsah v ose y	0 – 150 mm
Počet vyměnitelných objektivů	4
Zvětšení vyměnitelných objektivů	10x, 30x, 75x, 150x
Software	WMS



Obr. P 2-1: Optický mikroskop MultiCheck PC 500 [34]

Příloha č. 3: Specifikace členů měřící soustavy

ZESILOVAČ KISTLER 5007

Zesilovač mění elektrický náboj přiváděný od dynamometru speciálním kabelem na měřitelné napětí v požadovaném rozsahu zesílení úměrně k očekávanému zatížení dynamometru. Analogový napěťový signál je přiváděn jednotlivě pro každý kanál k řadiči.

Technická specifikace

Měřicí rozsah	10 – 500 000 pC
Citlivost	0,1 – 11 000 pC/N
Přesnost pro nejcitlivější rozsah	3%
Přesnost pro ostatní rozsahy	1%



Obr. P 3-1: Zesilovač KISTLER 5007 s dálkovým ovládním

SBĚRNÁ KARTA DAQCARD 6062E

Sběrná karta zachycuje měřené analogové signály a mění je na digitální signály. Karta je umístěna v PCMCIA slotu laboratorního počítače.

Technická specifikace

Počet vstupů	16
Počet výstupů	2
Vzorkovací frekvence	500 kHz



Obr. P 3-2: Sběrná karta DAQCARD 6062E

SOFTWARE PRO ZÁZNAM A ZPRACOVÁNÍ DAT LABVIEW 8.2

Pro naměření a zpracování dat byl použit software LabView 8.2 jež snímá velikost řezných sil v závislosti na čase. Vstupní informací je signál ze sběrné karty. Jednotlivé měřené složky interpretuje jako kanály, které jsou barevně odlišeny. Sledované veličiny jsou:

- Řezný moment M_z - bílá barva
- Přítlačná síla F_p – červená barva
- Boční síla F_f – zelená barva

ČTYŘSLOŽKOVÝ STATICKÝ DYNAMOMETR KISTLER 9272

Měřicí rozsah	$F_x, F_y = \pm 5 \text{ kN}, F_z = -5 \text{ až } 20 \text{ kN}, M_z = \pm 200 \text{ kNm}$
Citlivost	$F_x, F_y \approx 2 \text{ mV/N}, F_z \approx 0,5 \text{ mV/N}, M_z \approx 50 \text{ mV/N}$
Vlastní frekvence	$f_{nx}, f_{ny} \approx 2 \text{ kHz}, f_{nz} \approx 2 \text{ kHz}, f_{nMz} \approx 2 \text{ kHz}$
Rozsah provozních teplot	do 70°C
Průměr	100 mm
Výška	70 mm

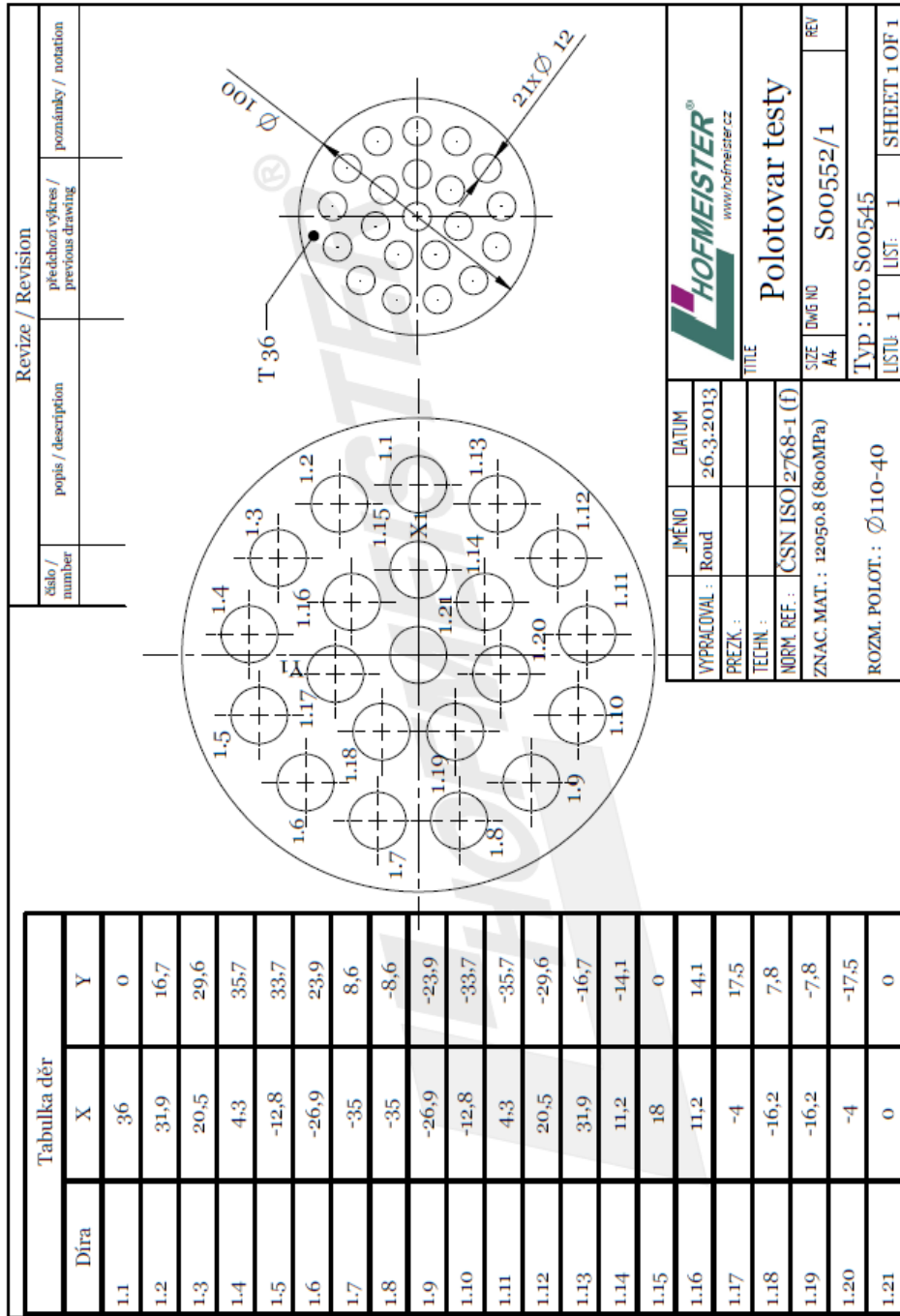
Příloha č. 4: Specifikace obráběcího centra MCV 750A

Druh	vertikální obráběcí centrum
Typ	MCV 750A
Počet NC řízených os	3
Jmenovitý výkon vřetena	16 kW
Rozsah otáček	20 – 13 000 ot/min
Pojezd v ose X, Y, Z	750, 500, 500 mm
Rozměry upínacího stolu	1000 x 500 mm
Pracovní posuv v ose X, Y, Z	1 - 15 000 mm/min
Rychloposuv v ose X, Y, Z	25 000 mm/min
Řídicí systém	Heidenhein TNC 426



Obr. P 4: Obráběcí centrum MCV 750A

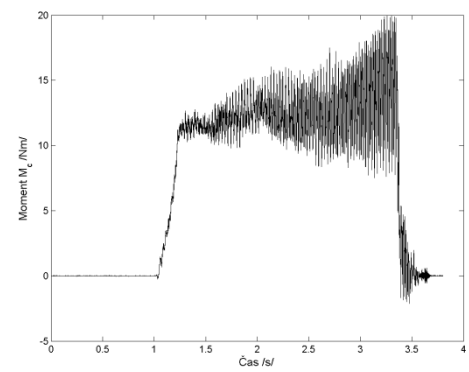
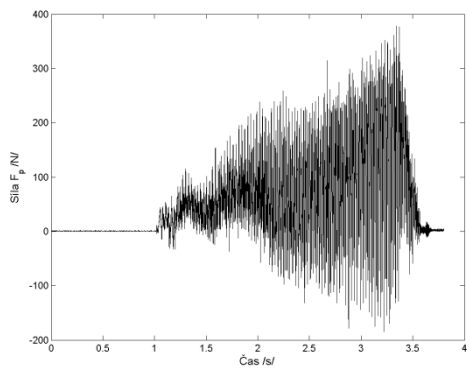
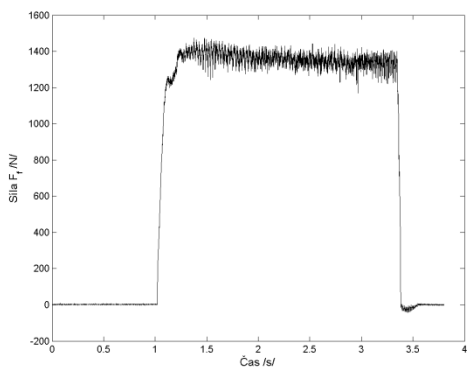
Příloha č. 5: Výkres obrobku a tabulka děr



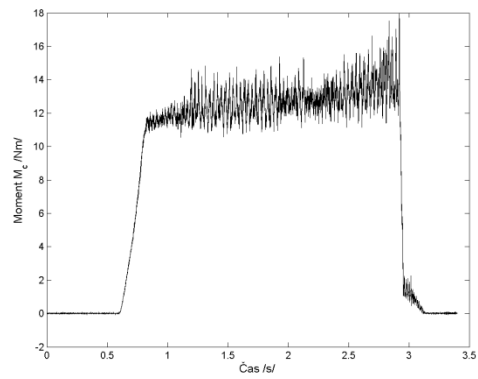
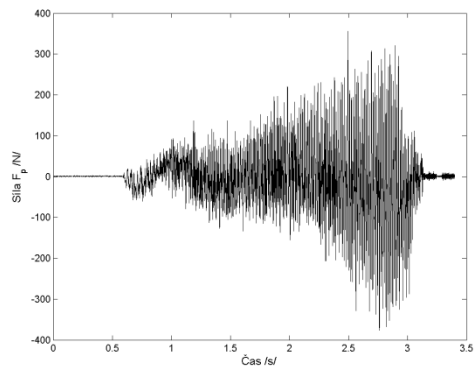
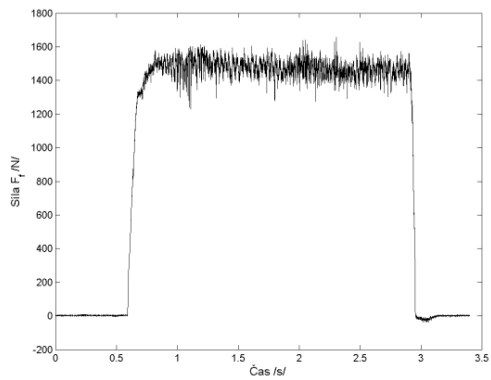
Příloha č. 6: Záznamy sil a momentu

Nástroj č. 15

1. otvor

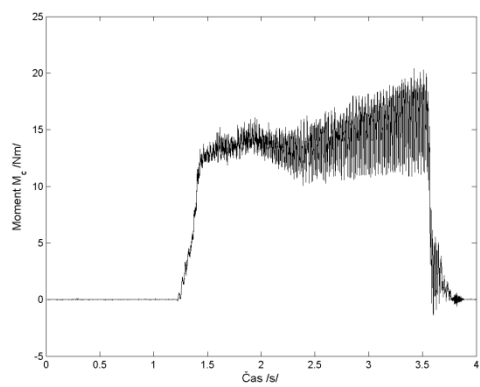
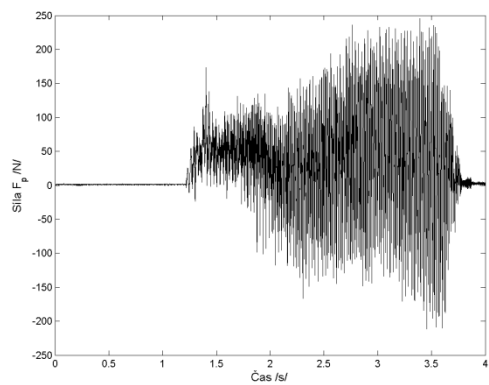
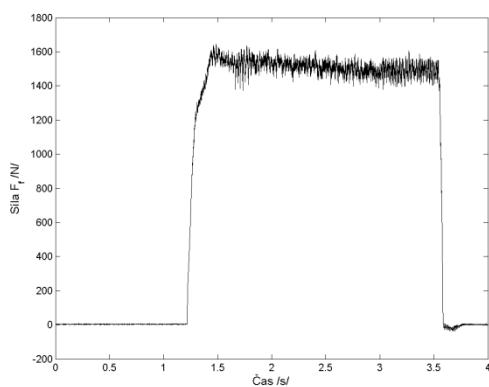


21. otvor

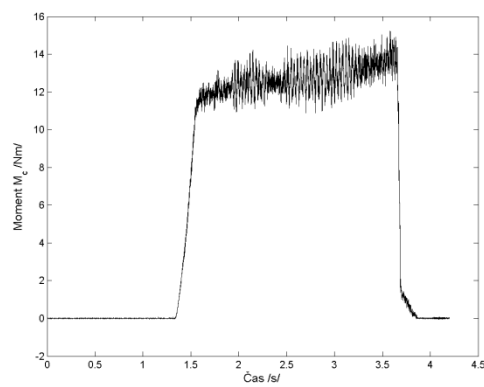
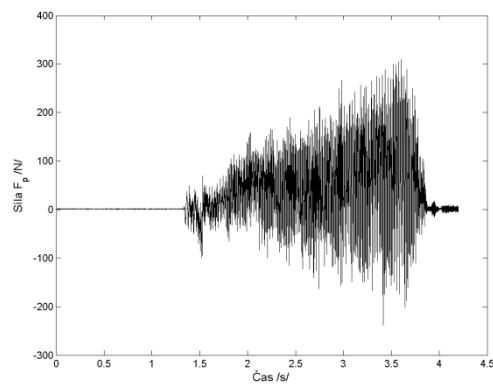
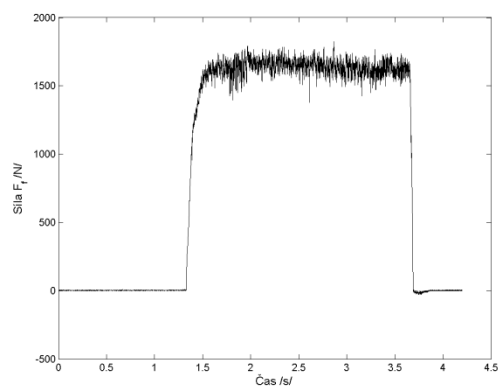


Nástroj č. 11

1. otvor

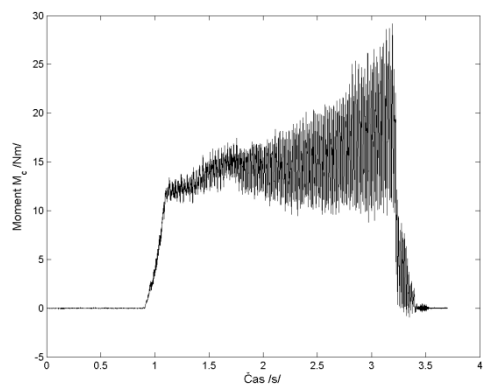
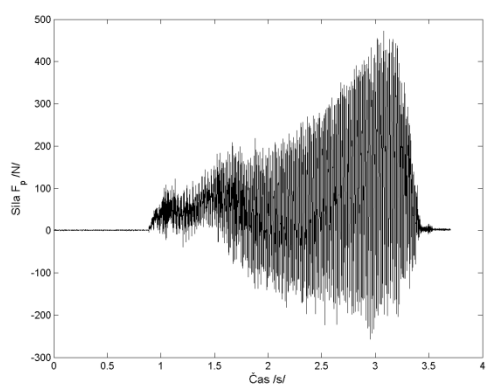
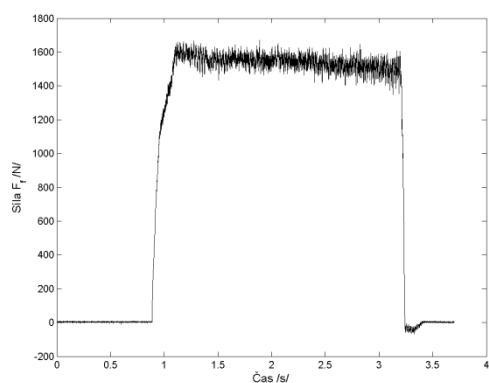


21. otvor

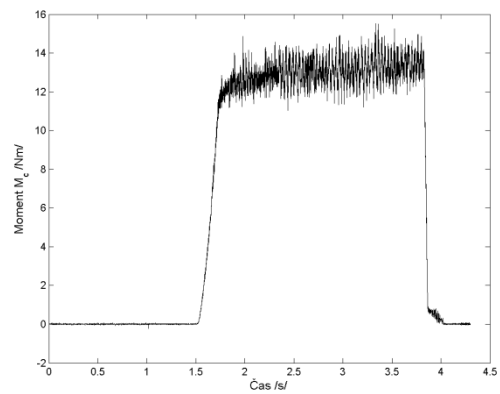
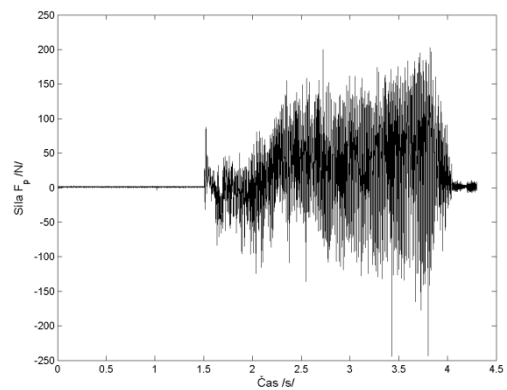
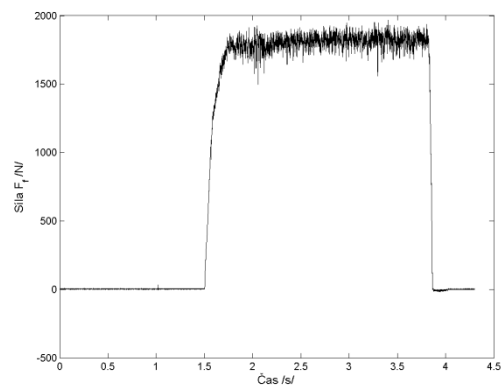


Nástroj č. 1

1. otvor

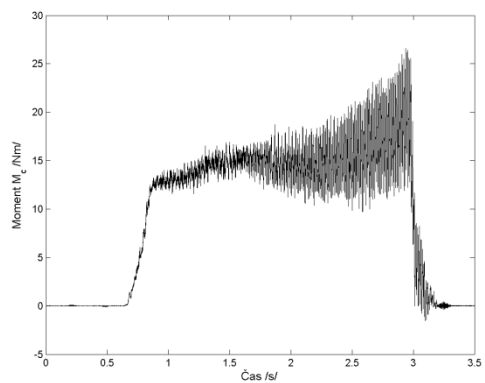
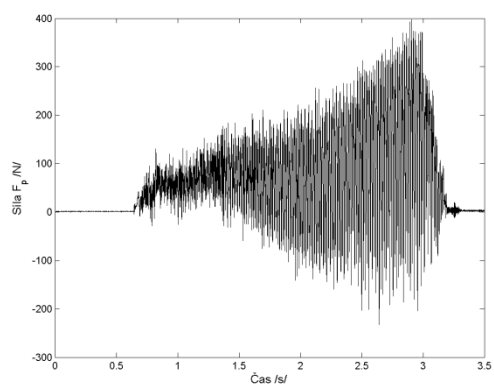
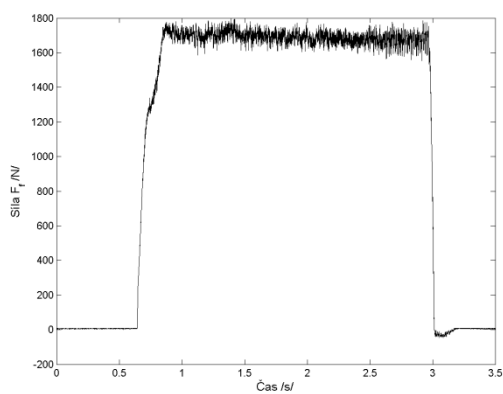


21. otvor

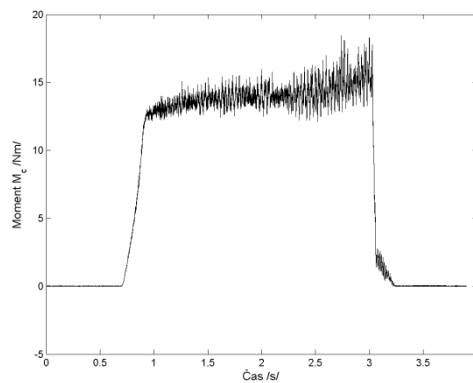
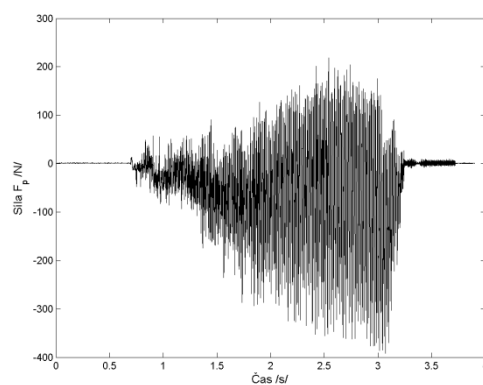
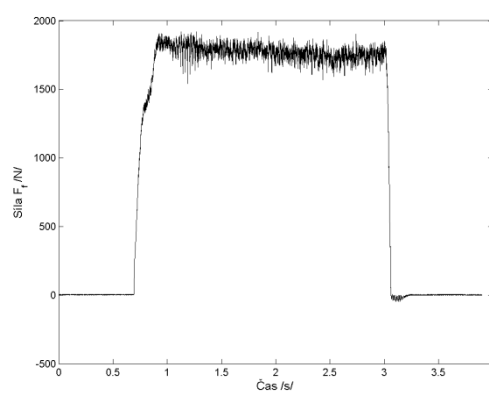


Nástroj č. 3

1. otvor



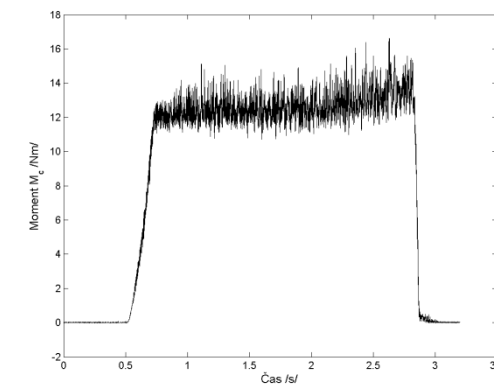
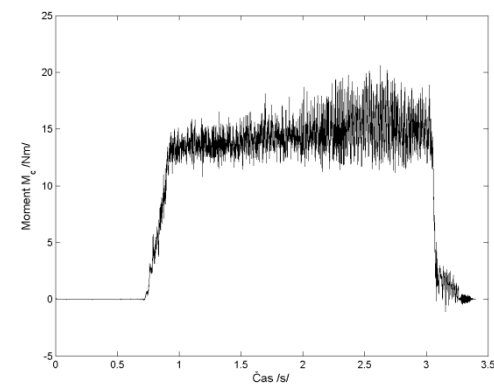
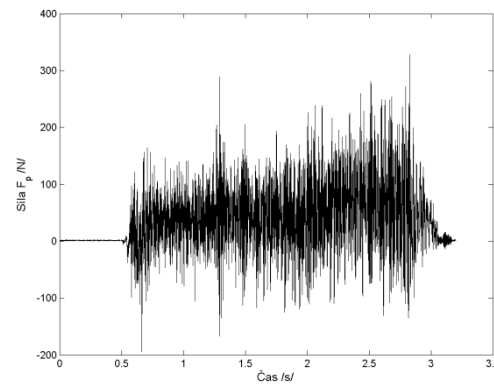
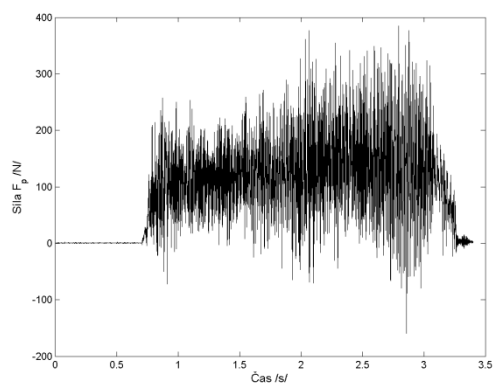
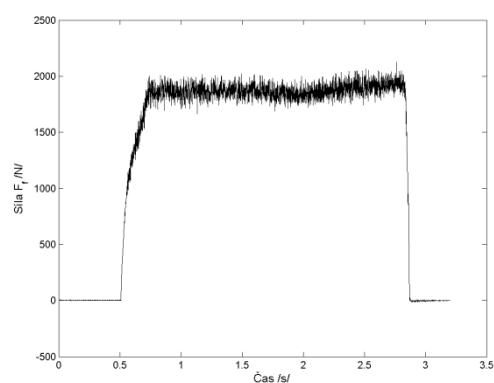
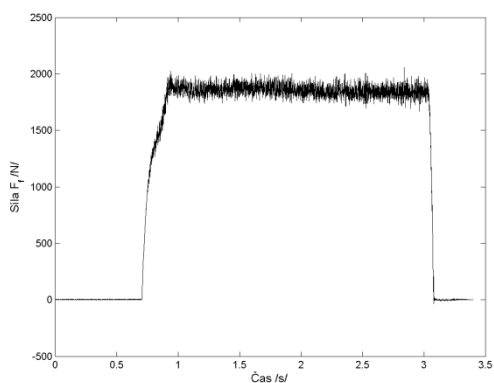
21. otvor



Nástroj č. 6

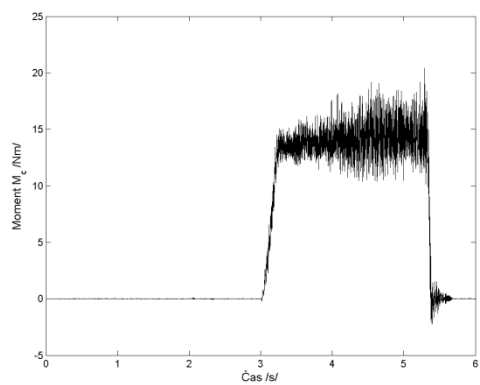
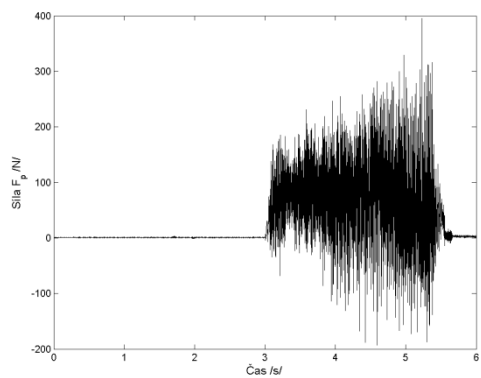
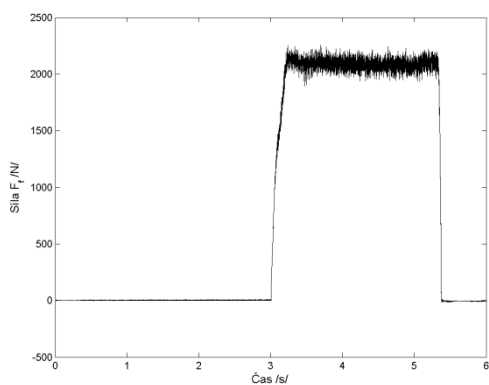
1. otvor

21. otvor

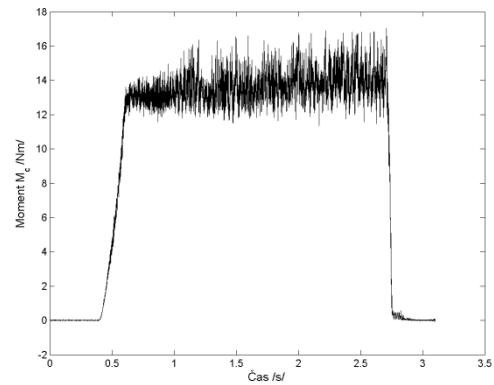
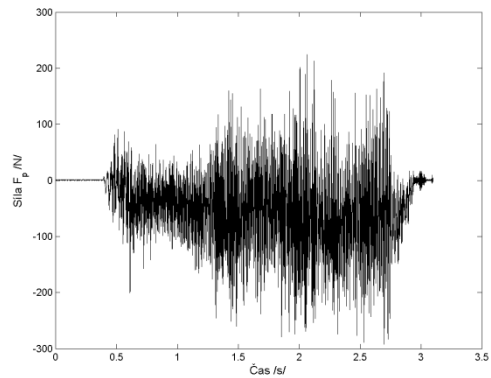
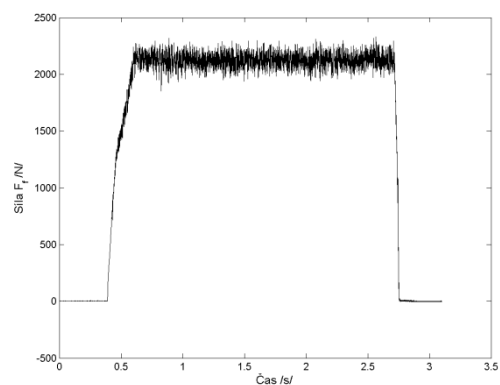


Nástroj č. 7

1. otvor

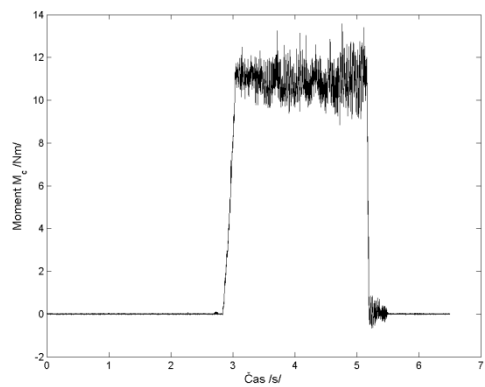
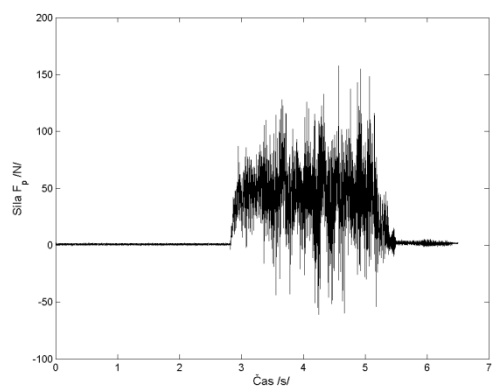
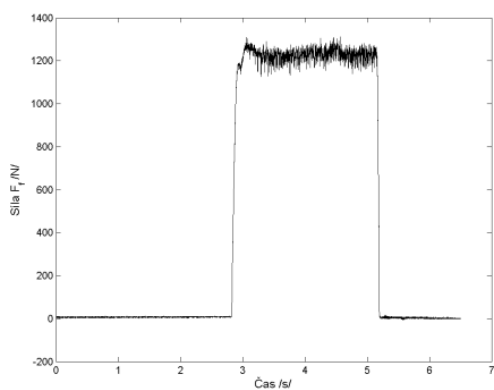


21. otvor



Nástroj č. 2

1. otvor



21. otvor

