

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

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

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Produktivní technologie výroby prototypových utvařečů na řezných nástrojích

Autor: **Bc. Filip Hofmeister**
Vedoucí práce: **Ing. Pavel Kožmín, Ph.D.**

Akademický rok 2015/2016

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Filip HOFMEISTER**
Osobní číslo: **S14N0072P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie - technologie obrábění**
Název tématu: **Produktivní technologie výroby prototypových utvařečů na
řezných nástrojích**
Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod
2. Analýza současného stavu s ohledem na technologie výroby utvařečů
3. Návrh alespoň dvou variant prototypových utvařečů pro konkrétní případ obrábění
4. Výroba prototypových utvařečů disponibilními technologiemi
5. Testování prototypových utvařečů v řezném procesu
6. Technicko-ekonomické hodnocení návrhu jednotlivých utvařečů
7. Závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **50 - 70 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- VLACH, Bohumil. **Technologie obrábění a montáží. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990, 464 s. ISBN 80-03-00143-9.**
- LIEMERT, DRÁBEK, ONDRA, VAVŘÍK, **Obrábění. 1. vyd. Praha: SNTL, 1974, 351 s.**
- RODIN, Petr Rodionovič. **Základy teorie navrhování rezných nástrojů. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963, 158 s. Řada strojírenské literatury.**
- PŘIKRYL, Zdeněk a Rosa MUSÍLKOVÁ. **Teorie obrábění. 1. vyd. Praha: SNTL, 1971, 198 s.**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Pavel Kožmín, Ph.D.**
HOFMEISTER s.r.o.
Konzultant diplomové práce: **Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Datum zadání diplomové práce: **18. října 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **20. května 2016**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 20. října 2015

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Autorská práva

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

Poděkování

Nejprve bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Kožmínovi, Ph.D, který mi poskytl odborné vedení, rady a připomínky pro kvalitní zpracování diplomové práce a umožnil mi tak hlubší poznání tvorby prototypových utvařečů vyráběných nekonvenční technologií. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Čermákovi, který mi poskytl odborné rady k tématu laserového mikroobrábění a za pomoc při výrobě prototypových utvařečů. Za spolupráci při vysokorychlostním záznamu obrábění děkuji Ing. Josefu Káňovi.

Děkuji také svým rodičům za psychickou i finanční podporu při studiu na fakultě strojní.

Anotační list diplomové práce

AUTOR	Příjmení Bc. Hofmeister	Jméno Filip	
STUDIJNÍ OBOR	N2301 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“		
VEDOUČÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Kožmín, Ph.D.	Jméno Pavel	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Produktivní technologie výroby prototypových utvařečů na řezných nástrojích		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2016
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	117	TEXTOVÁ ČÁST	86	GRAFICKÁ ČÁST	31
---------------	-----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Diplomová práce je zaměřena na problematiku tvorby prototypových utvařečů třísek. Konkrétně je v práci řešen jejich návrh, výroba laserovým mikroobráběním, testování v řezném procesu. Na základě vyhodnocení drsnosti je vybrán nejvhodnější utvařeč třísek.
KLÍČOVÁ SLOVA	Utvařeč třísek, prototypové utvařeče třísek, laserové mikroobrábění

Summary of diploma sheet

AUTHOR	Surname Bc. Hofmeister	Name Filip	
STUDIJNÍ OBOR	N2301 „Manufacturing Prozesse – Technology of Metal Cutting“		
SEPERVISOR	Surname (inklusive of degrees) Ing. Kožmín, Ph.D.	Name Pavel	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF THE WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Productive technology of prototype chip breaker manufacturing on cutting tools		

FACULTY	Mechanical engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2016
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	117	TEXT PART	86	GRAPHICAL PART	31
----------------	-----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This master's thesis deals with the issue of production of prototypical chip breakers. More specifically, this thesis discusses their design, production using laser micromachining, as well as testing in cutting process. The most suitable chip breaker is selected on the basis of roughness evaluation.
KEY WORDS	Chip breaker, prototype chip breaker, laser micromachining

Obsah

Seznam obrázků.....	10
Seznam tabulek.....	13
Seznam použitých zkratk 14	14
Seznam použitých symbolů.....	15
1 Úvod	16
1.1 Plastická deformace	16
1.2 Druhy třísek	17
1.3 Způsoby dosažení vhodného tvaru třísky	18
1.4 Utvařeče třísek.....	18
1.4.1 Výroba	19
1.5 Cíl diplomové práce.....	19
2 Analýza současného stavu	20
2.1 Výroba čípku	20
3 Návrh prototypových utvařečů třísek na VBD pro dokončovací nástroj	21
3.1 Návrh hladicí plošky wiper pro pre-experiment č.1	21
3.2 Návrh utvařečů třísek pro pre-experiment č.2	22
3.2.1 Postup návrhu v softwaru Catia V5	22
3.3 Návrh utvařečů třísek pro experiment	25
3.3.1 Postup návrhu v softwaru Catia V5	25
4 Výroba prototypových utvařečů třísek na VBD pro dokončovací nástroj	28
4.1 Mikroobrábění laserovým paprskem	28
4.2 Postup výroby prototypových utvařečů	29
5 Testování prototypových utvařečů v řezném procesu na VBD pro dokončovací nástroj	31

5.1	Pre-experiment č. 1	31
5.1.1	Podmínky pre-experimentu.....	31
5.1.2	Průběh pre-experimentu č. 1	32
5.1.3	Vyhodnocení pre-experimentu č. 1	33
5.1.4	Závěr	36
5.2	Pre-experiment č. 2.....	37
5.2.1	Podmínky pre-experimentu č. 2.....	37
5.2.2	Průběh pre-experimentu č.2.....	38
5.2.3	Vyhodnocení pre- experimentu č. 2.....	40
5.2.4	Závěr	56
5.3	Experiment.....	57
5.3.1	Podmínky experimentu	57
5.3.2	Průběh experiment	58
5.3.3	Vyhodnocení experimentu - Obrábění materiálu W.Nr.1.4329+QT	59
5.3.4	Vyhodnocení experimentu - Obrábění materiálu W.Nr.1.4923+QT	66
5.3.5	Závěr	78
6	Technicko-ekonomické vyhodnocení	80
6.1	Výpočet normy času operace - původní technologie výroby čípku	80
6.2	Výpočet normy času operace - nová technologie výroby čípku.....	81
6.3	Celkové vyhodnocení	82
7	Závěr	83
	Citovaná literatura	84
	Seznam příloh	86

Seznam obrázků

Obrázek č. 1.1: Plastické deformace	16
Obrázek č. 1.2: Terciální plastická deformace	17
Obrázek č. 1.3: Druhy třísek.....	17
Obrázek č. 1.4: Rozdělení třísek dle ISO	18
Obrázek č. 1.5: Plánovaný cyklus cílů diplomové práce.....	19
Obrázek č. 2.2: Dokončovací nástroj.....	20
Obrázek č. 2.1: Čípek	20
Obrázek č. 3.1: Návrh plošky wiper	21
Obrázek č. 3.2: Ploška wiper - kopírování povrchu čípku	21
Obrázek č. 3.3: Typ A	22
Obrázek č. 3.4: Postup návrhu utvařeče typu A	23
Obrázek č. 3.5: Typ B.....	23
Obrázek č. 3.6: Typ C.....	23
Obrázek č. 3.7: Typ D	24
Obrázek č. 3.8: Typ E.....	24
Obrázek č. 3.9: Typ F	25
Obrázek č. 3.10: Typ 7	25
Obrázek č. 3.11: Typ 8	26
Obrázek č. 3.12: Typ 9	26
Obrázek č. 3.13: Typ 10	26
Obrázek č. 4.1: Ablace ps pulzy	29
Obrázek č. 4.2: Kontrola přesnosti tvaru.....	30
Obrázek č. 5.1: Povrch čípku šupinovitého charakteru	33
Obrázek č. 5.2: Čípek s excentrickým zápichem.....	36
Obrázek č. 5.3: Záznam obrábění vysokorychlostní kamerou FastCam	39
Obrázek č. 5.4: Zaostrování kamery s pomocí matice.....	39

Obrázek č. 5.5: Scan povrchu čípku pro utvařeč A a $vf=120$ [mm/min].....	40
Obrázek č. 5.6: Scan povrchu čípku pro utvařeč A a $vf=256$ [mm/min].....	41
Obrázek č. 5.7: Scan povrchu čípku pro utvařeč A a $vf=384$ [mm/min].....	42
Obrázek č. 5.8: Scan povrchu čípku pro utvařeč B a $vf=120$ [mm/min].....	43
Obrázek č. 5.9: Scan povrchu čípku pro utvařeč B a $vf=256$ [mm/min].....	44
Obrázek č. 5.10: Scan povrchu čípku pro utvařeč B a $vf=384$ [mm/min].....	44
Obrázek č. 5.11: Scan povrchu čípku pro utvařeč C a $vf=120$ [mm/min].....	46
Obrázek č. 5.12: Scan povrchu čípku pro utvařeč C a $vf=256$ [mm/min].....	46
Obrázek č. 5.13: Scan povrchu čípku pro utvařeč C a $vf=384$ [mm/min].....	47
Obrázek č. 5.14: Scan povrchu čípku pro utvařeč D a $vf=120$ [mm/min].....	48
Obrázek č. 5.15: Scan povrchu čípku pro utvařeč D a $vf=256$ [mm/min].....	49
Obrázek č. 5.16: Scan povrchu čípku pro utvařeč D a $vf=384$ [mm/min].....	50
Obrázek č. 5.17: Scan povrchu čípku pro utvařeč E a $vf=120$ [mm/min].....	51
Obrázek č. 5.18: Scan povrchu čípku pro utvařeč E a $vf=256$ [mm/min].....	52
Obrázek č. 5.19: Scan povrchu čípku pro utvařeč E a $vf=384$ [mm/min].....	52
Obrázek č. 5.20: Scan povrchu čípku pro utvařeč F a $vf=120$ [mm/min].....	53
Obrázek č. 5.21: Scan povrchu čípku pro utvařeč F a $vf=256$ [mm/min].....	54
Obrázek č. 5.22: Scan povrchu čípku pro utvařeč F a $vf=384$ [mm/min].....	55
Obrázek č. 5.23: Scan povrchu čípku pro utvařeč- 7A a $vf=128$ [mm/min].....	59
Obrázek č. 5.24: Scan povrchu čípku pro utvařeč 7A a $vf=192$ [mm/min].....	60
Obrázek č. 5.25: Scan povrchu čípku pro utvařeč 8A a $vf=128$ [mm/min].....	61
Obrázek č. 5.26: Scan povrchu čípku pro utvařeč 8A a $vf=192$ [mm/min].....	61
Obrázek č. 5.27: Scan povrchu čípku pro utvařeč 9A a $vf=128$ [mm/min].....	62
Obrázek č. 5.28: Scan povrchu čípku pro utvařeč 9A a $vf=192$ [mm/min].....	63
Obrázek č. 5.29: Scan povrchu čípku pro utvařeč 10A a $vf=128$ [mm/min].....	64
Obrázek č. 5.30: Scan povrchu čípku pro utvařeč 10A a $vf=192$ [mm/min].....	65
Obrázek č. 5.31: Scan povrchu čípku pro utvařeč 7A a $vf=128$ [mm/min].....	66

Obrázek č. 5.32: Scan povrchu čípku pro utvařeč 7A a $vf=128$ [mm/min] – opakování	67
Obrázek č. 5.33: Scan povrchu čípku pro utvařeč 7A a $vf=192$ [mm/min].....	67
Obrázek č. 5.34: Scan povrchu čípku pro utvařeč 7A a $vf=192$ [mm/min] – opakování	68
Obrázek č. 5.35: Scan povrchu čípku pro utvařeč 8A a $vf=128$ [mm/min].....	69
Obrázek č. 5.36: Scan povrchu čípku pro utvařeč 8A a $vf=128$ [mm/min] – opakování	69
Obrázek č. 5.37: Scan povrchu čípku pro utvařeč 8A a $vf=192$ [mm/min].....	70
Obrázek č. 5.38: Scan povrchu čípku pro utvařeč 8A a $vf=192$ [mm/min] – opakování	70
Obrázek č. 5.39: Scan povrchu čípku pro utvařeč 8A a $vf=192$ [mm/min] – 2. opakování	71
Obrázek č. 5.40: Scan povrchu čípku pro utvařeč 8A a $vf=192$ [mm/min] – 3. opakování	72
Obrázek č. 5.41: Scan povrchu čípku pro utvařeč 9A a $vf=128$ [mm/min].....	73
Obrázek č. 5.42: Scan povrchu čípku pro utvařeč 9A a $vf=128$ [mm/min] - opakování.....	73
Obrázek č. 5.43: Scan povrchu čípku pro utvařeč 9A a $vf=192$ [mm/min].....	74
Obrázek č. 5.44: Scan povrchu čípku pro utvařeč 9A a $vf=192$ [mm/min] – opakování	74
Obrázek č. 5.45: Scan povrchu čípku pro utvařeč 10A a $vf=128$ [mm/min].....	75
Obrázek č. 5.46: Scan povrchu čípku pro utvařeč 10A a $vf=128$ [mm/min] – opakování	76
Obrázek č. 5.47: Scan povrchu čípku pro utvařeč 10A a $vf=192$ [mm/min].....	77
Obrázek č. 5.48: Scan povrchu čípku pro utvařeč 10A a $vf=192$ [mm/min] – opakování	77

Seznam tabulek

Tabulka 4.1: Čas výroby utvařečů.....	30
Tabulka 5.1	31
Tabulka 5.2: Řezné podmínky pro pre-experiment č. 1	32
Tabulka 5.3: Vyhodnocení obrábění pro mat. W.Nr. 1.4923+QT	34
Tabulka 5.4: Vyhodnocení obrábění pro mat. W.Nr. 1.4329+QT	35
Tabulka 5.5: Rozměry čípku po obrobení	35
Tabulka 5.6: Řezné podmínky pro pre-experiment č. 2	38
Tabulka 5.7: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařeči typu A.....	43
Tabulka 5.8: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařeči typu B.....	45
Tabulka 5.9: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařeči typu C.....	48
Tabulka 5.10: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařeči typu D.....	51
Tabulka 5.11: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařeči typu E	53
Tabulka 5.12: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařeči typu F	56
Tabulka 5.13: Řezné podmínky experimentu.....	58
Tabulka 5.14: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařečem typu 7.....	60
Tabulka 5.15: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařečem typu 8.....	62
Tabulka 5.16: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařečem typu 9.....	64
Tabulka 5.17: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařečem typu 10.....	65
Tabulka 5.18: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařečem typu 7.....	68
Tabulka 5.19: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařečem typu 8.....	72
Tabulka 5.20: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařečem typu 9.....	75
Tabulka 5.21: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařečem typu 10.....	78
Tabulka 6.1: Tabulka pro výpočet normy času původní technologie výroby	80
Tabulka 6.2: Řezné podmínky pro výpočet normy času nové technologie výroby.....	81
Tabulka 6.3: Tabulka pro výpočet normy času nové technologie výroby.....	81

Seznam použitých zkratk

Symbol	Název
CNC	Computer numerical control
VBD	Vyměnitelná břitová destička
VTP	Vědecko-technický park
SK	Slinutý karbid
ISO	International Organization for Standardization
CAD	Computer aided design
PKD	Polykrystalický diamant
CBN	Kubický nitrid bóru
HSK	Označení pro upínací kužel
TRIBOS	Silově deformační upínání fy SCHUNK
STL	Polygonová optimalizovaná síť
SNO	Soustava stroj – nástroj - obrobek
OMNO	Oblast plastické deformace

Seznam použitých symbolů

Symbol	Název	Jednotky
v_f	Posuvová rychlost	[mm/min]
n	otáčky	[ot/min]
R_z	Výška nerovnosti profilu určená z 10 bodů	[μm]
R_a	Střední aritmetická úchylka profilu	[μm]
r	Rádus	[mm]
f	Frekvence	[Hz]
S_p	Překrytí pulsů laserového paprsku v ose x	[%]
H	Překrytí pulsů laserového paprsku v ose y	[%]
W_o	Poloměr fokusovaného paprsku	[μm]
T_A	Norma jednotkového času	[Nmin/ks]
T_{AC}	Norma jednotkového času s podílem času směnového	[Nmin/ks]
T_B	Norma času dávkového	[Nmin/ks]
T_{BC}	Norma času dávkového s podílem času směnového	[Nmin/ks]
$N\check{c}_d$	Normovaný čas na operaci na dávku	[min/dávka]
$N\check{c}_k$	Normovaný čas na operaci na kus	[min/kus]
d_v	Velikost výrobní dávky	Ks/dávka

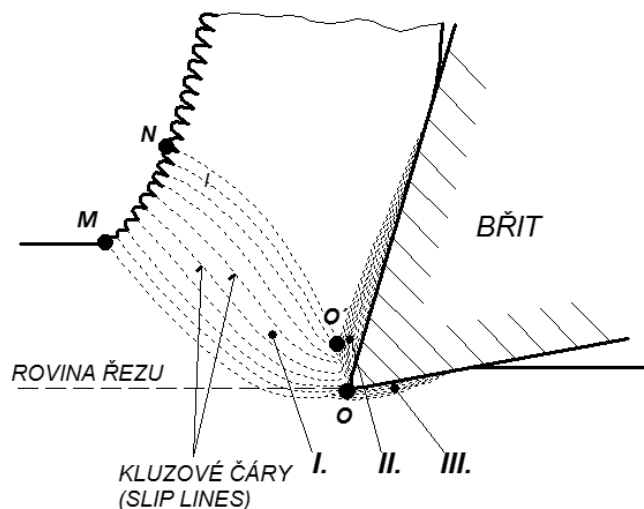
1 Úvod

Vznik třísky [1, 3]

Pro vznik třísky je zapotřebí zvolit vhodné nastavení břitu na tloušťku odřezávané vrstvy, zajistit relativní pohyb mezi obrobkem a nástrojem a zajistit vhodné silové působení pro vznik elastických, plastických a rozrušivých deformací. Při vzniku a oddělení třísky má největší význam plastická a rozrušivá deformace.

1.1 Plastická deformace

Plastická deformace se dělí na primární, sekundární a terciální.

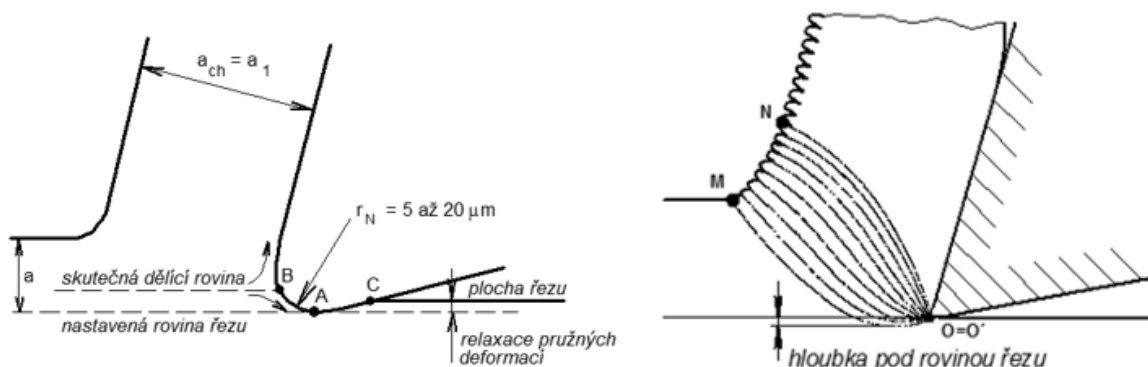


Obrázek č. 1.1: Plastické deformace [1]

Primární plastická deformace vzniká v oblasti OMNO' před břitem nástroje. Její velikost je závislá na vlastnostech obráběného materiálu, geometrii břitu, řezných podmínkách a řezném prostředí.

Sekundární plastická deformace vzniká v místě dotyku třísky a čela nástroje. Dochází zde k intenzivnímu tření, které je zapříčiněno překonáváním povrchových nerovností a adhezivních sil. Tato deformace je charakteristická tvorbou nárůstku.

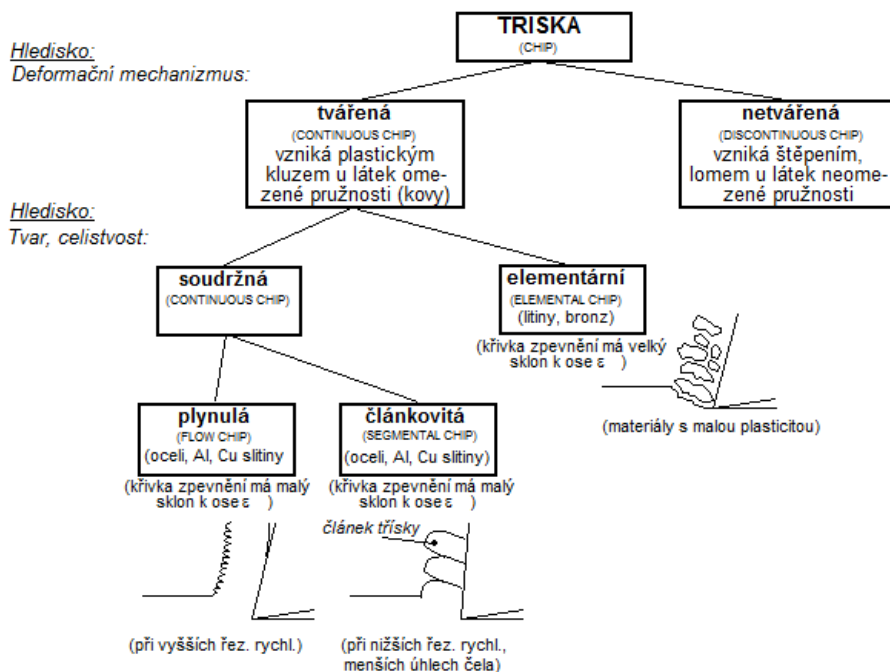
Terciální plastická deformace vzniká v místě dotyku obrobené plochy a hřbetu nástroje, kde je povrchová vrstva obrobené plochy plasticky deformována. Příčiny tohoto jevu jsou: zaoblené ostří a zasahující oblast primární plastické deformace OMNO' pod rovinu řezu. Důsledkem je zpevněná povrchová vrstva obrobku. [1, 4, 5]



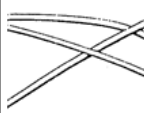


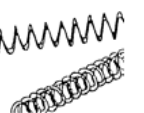
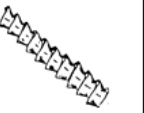



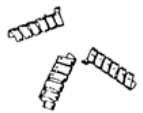





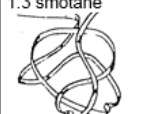
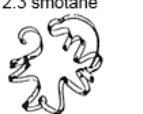
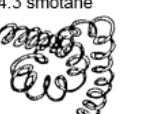
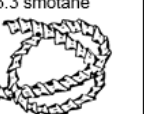
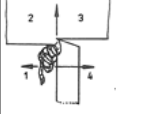
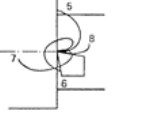
Obrázek č. 1.2: Terciální plastická deformace [1]

1.2 Druhy třísek

Při obrábění je důležité zajistit vhodný tvar třísek. Vhodný tvar je důležitý, aby nedošlo k poškození obrobenej plochy či poškození břitu nástroje. Nevhodný tvar třísky může znamenat bezpečnostní riziko pro obsluhu stroje. Pokud jsou třísky příliš dlouhé a objemné, potom se zvyšují náklady třískového hospodářství. Cílem je zajistit krátkou dělenou třísku: kuželovitou, šroubovitou, obloučkovitou, přípustná je taktéž elementární a jehlovitá. [1]



Obrázek č. 1.3: Druhy třísek [1]

1. Stužkové třísky	2. Vlnuté třísky	3. spirálové třísky	4. vlnité šroubovitě třísky	5. Kuželovité šroubovitě třísky	6. Obloučkovité třísky	7. Elementární třísky
1.1 dlouhé 	2.1 dlouhé 	3.1 ploché 	4.1 dlouhé 	5.1 dlouhé 	6.1 spojené 	7. Elementární třísky 
1.2 krátké 	2.2 krátké 	3.2 kuželovité 	4.2 krátké 	5.2 krátké 	6.2 dělené 	8. Jehlovité 
1.3 smotané 	2.3 smotané 		4.3 smotané 	5.3 smotané 		
	Směr odchodu třísky je charakterizován třetím číslem ..1 - do směru posuvu od obrobku ..2 - do směru posuvu od obrobku ..3 - proti posuvu ..4 - proti posuvu			Třetí číslo rovněž udává způsob dalšího lámání třísky ..5 - o hlavní rovinu řezu ..6 - o hřbet břitu ..7 - o obráběný povrch ..8 - o obrobený povrch		

Obrázek č. 1.4: Rozdělení třísek dle ISO [1]

1.3 Způsoby dosažení vhodného tvaru třísky

Tvar třísky je závislý na:

- druhu obráběného materiálu a jeho vlastnostech (chemické složení, houževnatost, tvrdost, pevnost)
- řezných podmínkách (řezná rychlost, hloubka řezu, posuv)
- řezném prostředí
- geometrii řezného nástroje

Požadovaného tvaru třísky je možné dosáhnout vhodnou kombinací těchto parametrů.

Další metodou pro dosažení vhodného tvaru jsou utvařeče a lamače třísek. [1, 4, 7]

1.4 Utvařeče třísek

Utvařeče pomáhají dělit a utvářet třísku (zlepšení vlnutí) do vhodných tvarů. Nevýhodou je zatížení soustavy S-N-O vyššími řeznými silami. To může způsobit vznik chvění a zhoršení kvality obrobeného povrchu.

Použití vhodného utvařeče třísek má za následek lépe rozlámanou třísku, kterou je možné snáze odvést z místa řezu, aniž by poškodila obrobený povrch nebo nástroj. Změnou tvaru utvařeče je možné měnit směr odchodu třísky a tím zajistit nepoškozený obrobený povrch.

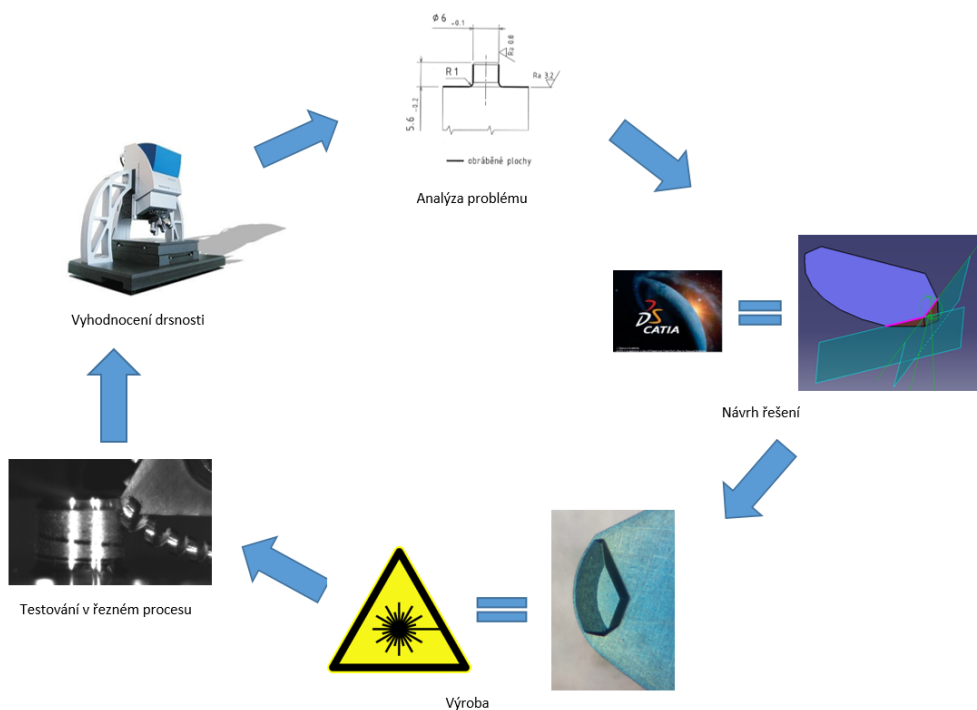
1.4.1 Výroba

- Broušením - utvařeče mohou být vybroušeny do čela břitu.
- Lisováním - v případě výroby VBD ze slinutého karbidu je vhodné utvařeče lisovat do čela břitu před procesem slinování.
- Dalším mechanickým dílem - mechanicky upevněný utvařeč na čelo břitu.

Pokud jsou utvařeče na katalogových a VBD nástrojích nevyhovující, potom je možné je vyrobit nekonvenčními technologiemi. Touto nekonvenční technologií je laserové mikroobrábění, které umožňuje výrobu jakéhokoliv tvaru do různých materiálů. S pomocí pulsního laserového paprsku lze provádět úpravy mikrogeometrie i na jinak neobrobitelných diamantových VBD. [1, 16]

1.5 Cíl diplomové práce

Cílem diplomové práce je provést cyklus tvorby prototypových utvařečů disponibilní technologií a to na praktickém příkladu. Cyklem je myšlen: návrh utvařečů na základě analýzy řešeného problému, výroba disponibilní technologií, testování v řezném procesu, vyhodnocení kvalitativních parametrů a chování třísky. V případě nedosažení žádaných výsledků je nutné cyklus opakovat.



Obrázek č. 1.5: Plánovaný cyklus cílů diplomové práce – dle [2]

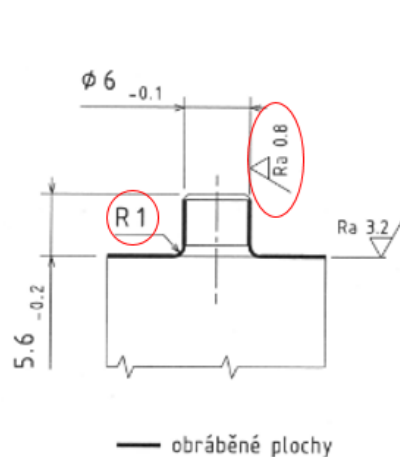
2 Analýza současného stavu

V podniku zákazníka je vyráběn čípek, který slouží pro držení lopatky turbíny. Při výrobě čípku je obráběn materiál z martenzitické oceli W.Nr. 1.4923+QT o tvrdosti 230 HB a z austenitické oceli W.Nr. 1.4329+QT o tvrdosti 180 HB. Problémem je dosažením drsnosti povrchu $Ra=0,8 \mu\text{m}$ a dlouhé strojní časy.

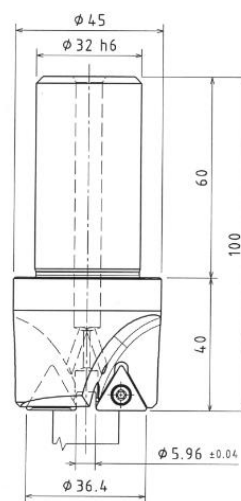
Výroba je prováděna na pětiosém frézovacím centru Mazak Vari-axis čelní válcovou frézou (toroidní). Čípek je vyráběn z čtvercové tyčoviny postupným obkružováním hrubovací frézou a následně dokončovací frézou na konečný rozměr. Proces je zdoluhavý a není dosaženo požadované drsnosti povrchu, proto byla podána zakázka na nový nástroj, kterým bude dosaženo požadované kvality a zkrácení doby výroby. [17]

2.1 Výroba čípku

Konstrukčním oddělením byl navržen hrubovací nástroj se dvěma lůžky pro standardní ISO provedení VBD a dokončovací nástroj obdobné konstrukce (obr. č. 2.2) ovšem se speciálními VBD, které byly předmětem řešení této práce. Mezi povrchem čípku a čelní plochou (o drsnosti $Ra=3,2 \mu\text{m}$) je totiž požadován rádius $r=1 \text{ mm}$. K dokončení osovým pohybem nástroje je tedy nutné použít VBD s tímto rádiem, který však není u standardního ISO provedení VBD k dispozici, proto je nutné provést úpravu VBD a dosáhnout $r=1 \text{ mm}$. Za použití nových nástrojů dojde ke zkrácení doby výroby čípku.



Obrázek č. 2.1: Čípek



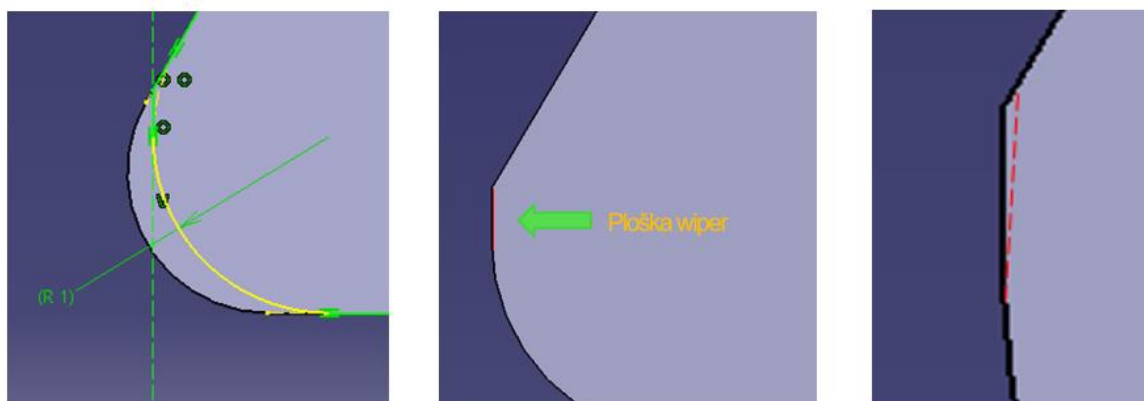
Obrázek č. 2.2: Dokončovací nástroj

3 Návrh prototypových utvařečů třísek na VBD pro dokončovací nástroj [6]

Pro již existující nástroj je potřeba provést úpravy břitu tak, aby bylo dosaženo požadovaných kvalitativních hodnot.

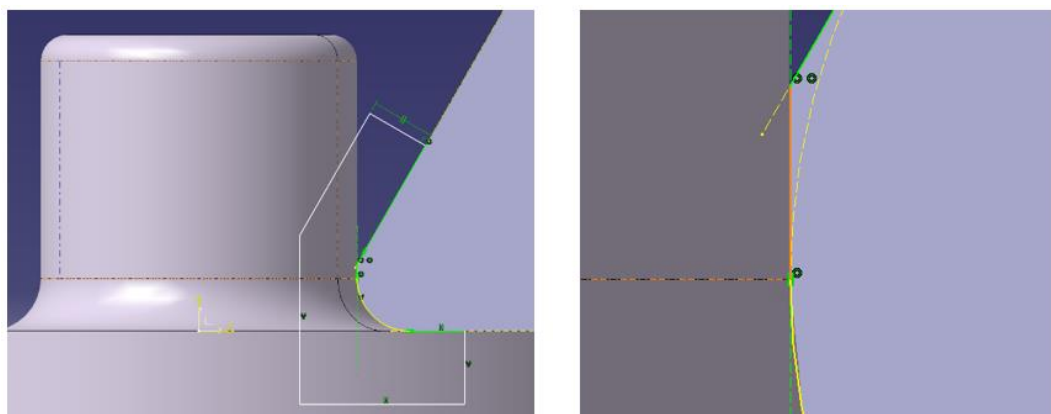
3.1 Návrh hladicí plošky wiper pro pre-experiment č. 1

Za účelem dosažení požadované drsnosti bylo potřeba provést další úpravy VBD, jako první byla navržena hladicí ploška wiper (obr. č. 3.1). Návrh byl proveden v softwaru Catia V5. Ploška spolu s rádiusem R1 byla vytvořena pomocí náčrtu tvaru ve skicáři a oříznutí funkcí „Pocket“.



Obrázek č. 3.1: Návrh plošky wiper

Ploška wiper je navržena tak, aby kopírovala obrobený povrch a snižovala míru nerovností vzniklých obráběním (obr. č. 3.2).



Obrázek č. 3.2: Ploška wiper - kopírování povrchu čípku

Při experimentu (viz kapitola 5.3) se ploška v některých případech zařezávala do obrobeneho povrchu čípku a zhoršovala jeho drsnost. Proto byla provedena úprava natočením plošky o 2° od povrch čípku (obr. č. 3.1).

3.2 Návrh utvařečů třísek pro pre-experiment č.2

Pre-experiment č. 1 ukázal pozitivní vliv plošky wiper na hodnotu drsnosti. Ploška byla proto použita i pro další návrhy úprav břitu. Aby bylo dosaženo zlepšení drsnosti povrchu čípku, byl proveden návrh šesti prototypových utvařečů třísek (označení A, B, C, D, E, F).

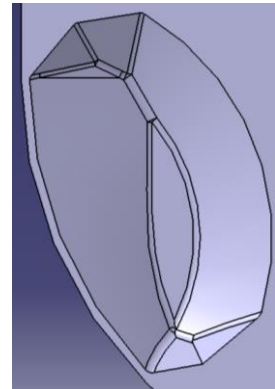
Geometrie a velikosti utvařečů byly navrženy na základě praktických zkušeností. Podle očekávaného odchodu třísky byla navrhována geometrie tak, aby bylo dosaženo výrazného stáčení třísky a jejího odchodu kolmo k ose čípku (od obrobeneho povrchu).

3.2.1 Postup návrhu v softwaru Catia V5

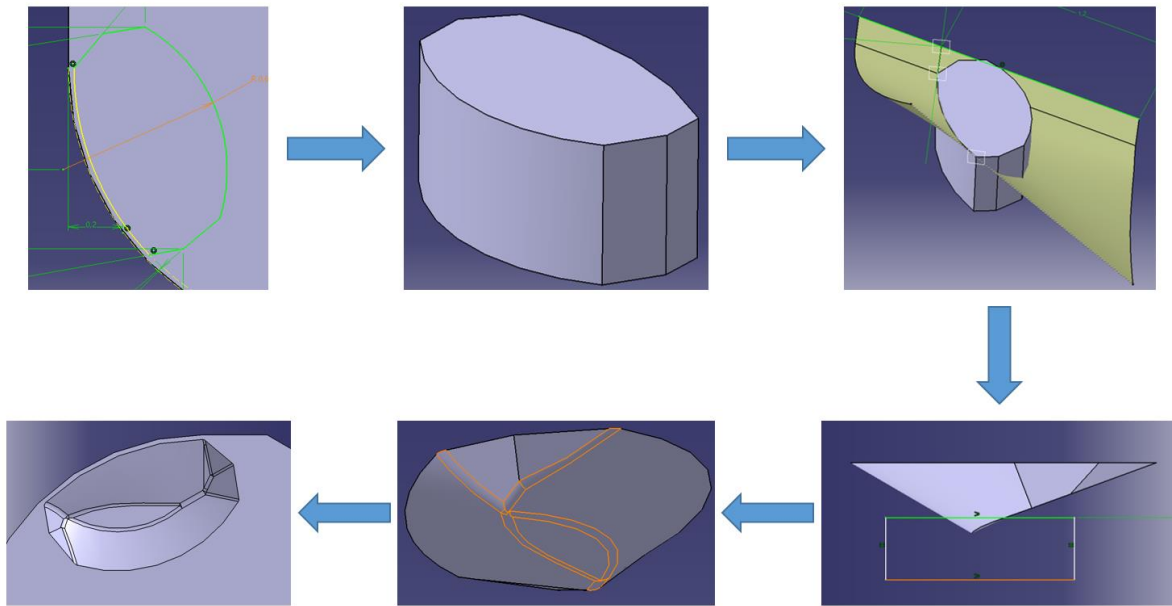
Tvorba utvařeče proběhla návrhem negativu a jeho následným odebráním z objemu VBD.

Postup návrhu utvařeče typu A

- Návrh obrysu – přední hrana je navržena tak, aby kopírovala ostří ve vzdálenosti 0,02 mm a vytvářela fazetu. Velikost obrysu je relativně malá, protože šířka odebírané vrstvy na čípku je pouze 0,2 mm. Natočení a zaoblení zbytku obrysu je voleno tak, aby bylo dosaženo odchodu třísky od povrchu čípku.
- Vytvoření objemu – vytažením obrysu do prostoru (funkce „Pad“).
- Zkosení stěn – Důležitou roli pro odchod třísky a její stáčení má přední a zadní stěna, jejich tvar a zkosení. Pro utvařeč typu A je navržena přední stěna s proměnlivým sklonem. Sklon plynule přechází ze 40° na 20° . Cílem plynulé změny sklonu je odvést třísku od povrchu čípku (funkce „Draft“).
- Zarovnání dna - pro dosažení potřebné hloubky (0,1) a zlepšení odchodu třísky je dno utvařeče oříznuto do roviny (funkce „Pocket“).
- Zaoblení vzniklých hran – rádiu 0,03 mm (funkce „Edgefillet“)



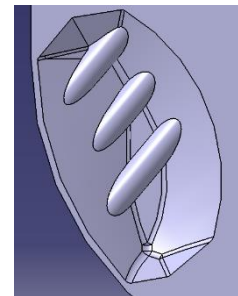
Obrázek č. 3.3: Typ A



Obrázek č. 3.4: Postup návrhu utvařeče typu A

Postup návrhu utvařeče typu B

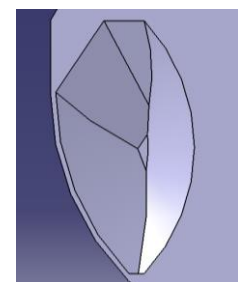
Postup návrhu utvařeče typu B je shodný jako u typu A. Liší se návrhem vroubků o průměru 0,09 mm na dně utvařeče. Vroubky jsou natočeny o 40° vůči plošce wiper a jsou navrženy tak, aby třísku mírně přizvedly a nasměrovali její odchod od povrchu čípku ještě před tím, než se začne stáčet vlivem sklonu a natočení zadní stěny.



Obrázek č. 3.5: Typ B

Postup návrhu utvařeče typu C

- Návrh obrysu – přední hrana je navržena tak, aby kopírovala ostří ve vzdálenosti 0,02 mm a vytvářela fazetu. Natočení a zaoblení zbytku obrysu je voleno tak, aby bylo dosaženo odchodu třísky od povrchu čípku.
- Vytvoření objemu – vytažením obrysu do prostoru.
- Zkosení stěn – přední stěna je zkosená pod úhlem 20°, aby byla zachována dostatečná masa materiálu a nedocházelo k vydrolování ostří. Zkosení stěn u horních hran je pod úhlem 15°, toto zkosení nemá při obrábění velký význam. Významná je zadní stěna, která má vliv na stáčení a odchod třísky, ta je oříznuta pod úhlem 30°.
- Zarovnání dna – pro dosažení potřebné hloubky (0,1 mm) a zlepšení odchodu třísky je dno utvařeče oříznuto do roviny.

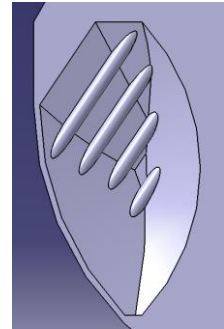


Obrázek č. 3.6: Typ C

- Zaoblení vzniklých hran – rádiu 0,03 mm.

Postup návrhu utvařeče typu D

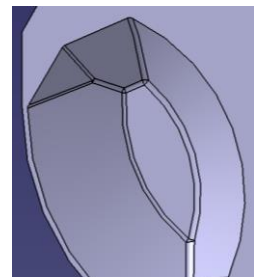
Postup návrhu utvařeče typu D je shodný jako u typu C. Liší se návrhem vroubků o průměru 0,05 mm na dně utvařeče. Ty jsou natočeny o 34° vůči plošce wiper a jsou navrženy tak, aby třísku mírně přizvedly a nasměrovali její odchod od povrchu čípku ještě před tím, než se začne stáčet vlivem sklonu a natočení zadní stěny.



Obrázek č. 3.7: Typ D

Postup návrhu utvařeče typu E

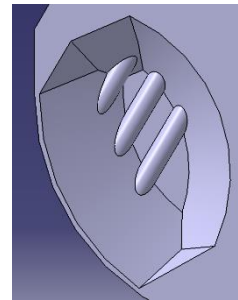
- Návrh obrysu – přední hrana je navržena tak, aby kopírovala ostří ve vzdálenosti 0,02 mm a vytvářela fazetu. Natočení a zaoblení zbytku obrysu je voleno tak, aby bylo dosaženo odchodu třísky od povrchu čípku.
- Vytvoření objemu – vytažením obrysu do prostoru.
- Zkosení stěn – přední stěna je zkosená pod větším úhlem 30° , aby bylo dosaženo dvojnásobné hloubky 0,2 mm (oproti předchozím variantám), tím je snížen objem materiálu VBD u ostří a hrozí vyšší riziko vylamování ostří. Hloubka je volena vyšší, aby byl zjištěn její vliv na utváření třísky a drsnost výsledného povrchu. Zkosení stěn u horních hran je pod úhlem 40° , toto zkosení nemá při obrábění velký význam. Významná je zadní stěna, která má vliv na stáčení a odchod třísky, ta je oříznuta pod úhlem 40° .
- Zarovnání dna – pro dosažení potřebné hloubky (0,2 mm) a zlepšení odchodu třísky je dno utvařeče oříznuto do roviny.
- Zaoblení vzniklých hran – rádiu 0,03 mm.



Obrázek č. 3.8: Typ E

Postup návrhu utvařeče typu F

Postup návrhu utvařeče typu F je shodný jako u typu E. Liší se návrhem vroubků o průměru 0,09 mm na dně utvařeče. Ty jsou natočeny o 30° vůči plošce wiper a jsou navrženy tak, aby třísku mírně přizvedly a nasměrovali její odchod od povrchu čípku ještě před tím, než se začne stáčet vlivem sklonu a natočení zadní stěny.



Obrázek č. 3.9: Typ F

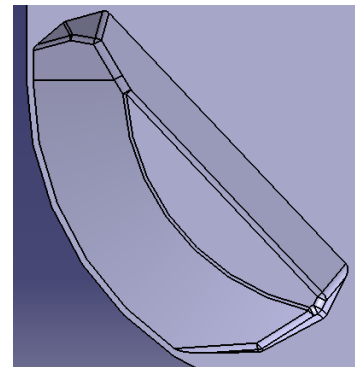
3.3 Návrh utvařečů třísek pro experiment

Výsledky z pre-experimentu č. 2 ukázaly nevhodný směr odchodu třísky (viz kapitola 5.2). Z kamerového záznamu bylo viditelné odlišné chování třísky v utvařečích, než bylo původně očekáváno. Proto byl proveden návrh čtyř nových typů utvařečů (označení 7, 8, 9, 10). Hlavními úpravami byla změna natočení zadní stěny, zvětšení plochy utvařeče. Cílem byl odchod třísky kolmo k ose čípku.

3.3.1 Postup návrhu v softwaru Catia V5

Postup návrhu utvařeče typu 7

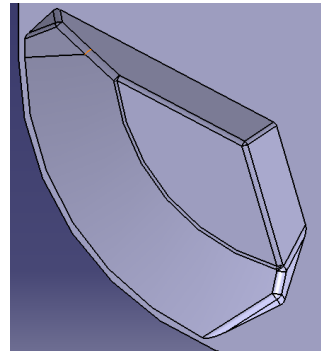
- Návrh obrysu – přední hrana je navržena tak, aby kopírovala ostří ve vzdálenosti 0,02 mm a vytvářela fazetu. Zadní hrana je natočena pod úhlem 45° vůči plošce wiper.
- Vytvoření objemu – vytažením obrysu do prostoru.
- Zkosení stěn – přední stěna je zkosená pod úhlem 20°, tím je zachován dostatečný objem materiálu břitu, aby nedocházelo k vydrolování ostří. Zkosení stěn u horních hran je pod úhlem 40°, toto zkosení nemá při obrábění velký význam. Zkosení stěny u spodní hrany je pod úhlem 15°. Významná je zadní stěna, která má vliv na stáčení a odchod třísky, ta je oříznuta pod úhlem 40°.
- Zarovnání dna – pro dosažení potřebné hloubky (0,1 mm) a zlepšení odchodu třísky je dno utvařeče oříznuto do roviny.
- Zaoblení vzniklých hran – rádiu 0,03 mm.



Obrázek č. 3.10: Typ 7

Postup návrhu utvařeče typu 8

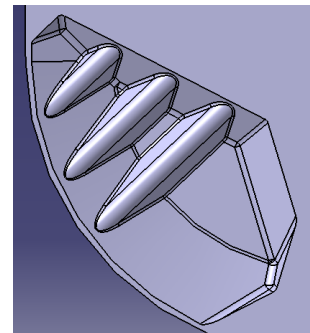
- Návrh obrysu – přední hrana je navržena tak, aby kopírovala ostří ve vzdálenosti 0,02 mm a vytvářela fazetu. Zadní hrana je zalomená a natočena pod úhlem 60° a po zalomení 16° vůči plošce wiper.
- Vytvoření objemu – vytažením obrysu do prostoru.
- Zkosení stěn – přední stěna je zkosená pod úhlem 20° , tím je zachován dostatečný objem materiálu břitu, aby nedocházelo k vydrolování ostří. Zkosení stěn u horních hran je pod úhlem 40° , toto zkosení nemá při obrábění velký význam. Zkosení stěny u spodní hrany je pod úhlem 15° . Významná je zadní stěna, která má vliv na stáčení a odchod třísky, ta je oříznuta pod úhlem 40° a v polovině zalomená. Zalomení má pomoci odchodu třísky od povrchu čípku.
- Zarovnání dna – pro dosažení potřebné hloubky (0,1 mm) a zlepšení odchodu třísky je dno utvařeče oříznuto do roviny.
- Zaoblení vzniklých hran – rádiu 0,03 mm.



Obrázek č. 3.11: Typ 8

Postup návrhu utvařeče typu 9

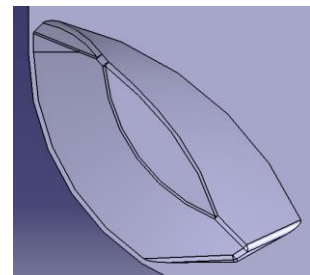
Postup návrhu utvařeče typu 9 je shodný jako u typu 8. Liší se návrhem vroubek na dně utvařeče. Vroubky jsou vysoké 0,09 mm, od spodu se zužují pod úhlem 60° a poloměr zaoblení jejich vrcholu je 0,04 mm. Vroubky jsou natočeny o 49° vůči plošce wiper a jsou navrženy tak, aby třísku mírně přizvedly a nasměrovali její odchod od povrchu čípku ještě před tím, než se začne stáčet vlivem sklonu a natočení zadní stěny.



Obrázek č. 3.12: Typ 9

Postup návrhu utvařeče typu 10

- Návrh obrysu – přední hrana je navržena tak, aby kopírovala ostří ve vzdálenosti 0,02 mm a vytvářela fazetu. Zadní hrana je zaoblená.
- Vytvoření objemu – vytažením obrysu do prostoru.



Obrázek č. 3.13: Typ 10

- Zkosení stěn – přední stěna je zkosena pod úhlem 20° , tím je zachován dostatečný objem materiálu břitu, aby nedocházelo k vydrolování ostří. Zkosení stěny u horní hrany je pod úhlem 20° , toto zkosení nemá při obrábění velký význam. Zkosení stěny u spodní hrany je pod úhlem 15° . Významná je zadní stěna, která má vliv na stáčení a odchod třísky. Zadní stěna má plynule se měnící sklon z 15° až na 70° (od spodní hrany k horní). Proměnlivý sklon a zaoblení stěny je navrženo za účelem odchodu třísky od povrchu čípku.
- Zarovnání dna – pro dosažení potřebné hloubky (0,1 mm) a zlepšení odchodu třísky je dno utvařeče oříznuto do roviny.
- Zaoblení vzniklých hran – rádiu 0,03 mm.

4 Výroba prototypových utvařečů třísek na VBD pro dokončovací nástroj

Utvařeče třísek je možné vyrábět konvenčně (lisováním před slinováním, broušením) nebo nekonvenčně (např. laserovým paprskem). Návrhy prototypových utvařečů provedené v předchozí kapitole není možné vyrobit broušením. Při volbě způsobu výroby utvařečů je nutné uvažovat výrobní náklady. Pro sériovou až hromadnou výrobu se vyplatí výroba lisováním, zatímco při malém počtu kusů bude výhodnější výroba laserovým mikroobráběním. Produktivita výroby lisováním je vyšší.

Pro výrobu navržených utvařečů třísek byla zvolena technologie laserovým mikroobráběním. Důvodem je výroba malého počtu utvařečů třísek, pro který by se nevyplatila výroba nástroje pro lisování.

4.1 Mikroobrábění laserovým paprskem

Laserová zařízení je možné rozdělit dle: typu aktivního prostředí, délky pulzu, velikosti vlnové délky, typu buzení, typu výstupního svazku, výstupního výkonu.

Délka pulzu [9, 11 12]:

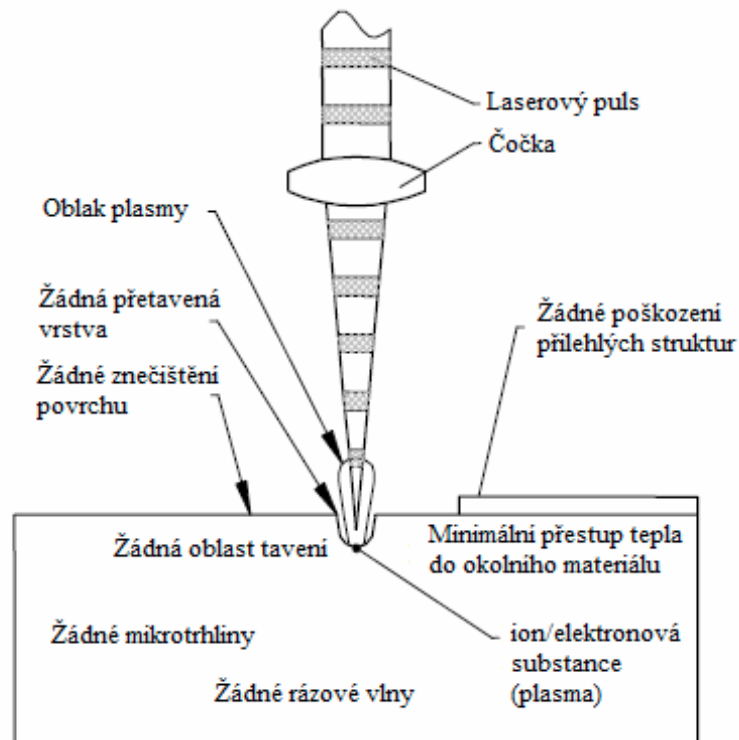
- Kontinuální
- Pulzní - dlouhé (μs a ns pulzy) a ultrarychlé (ps a fs pulzy).

Dnes jsou v průmyslu pro obráběcí operace nejvíce používány lasery s dlouhou délkou pulzu (déle než 10 ps). Nevýhodou je větší tepelně ovlivněná oblast než u ultrarychlých. Při dlouhé délce pulzu dochází k difundování energie do obráběného materiálu, tím je snížena účinnost laserového obrábění. V důsledku difundování energie do obrobku se teplota v zaostřeném bodě laserového paprsku nedostane dostatečně vysoko nad teplotu tavení. Dochází tak k natavování materiálu místo vhodnějšího odpařování

Při obrábění ultrarychlými pulsy je tepelně ovlivněná oblast minimální. K odstranění přebytečného materiálu dochází na základě vhodně nastavených pracovních podmínek (výkon, průměr paprsku, vlnová délka, překrytí, hloubka odebírané vrstvy, frekvence). K odstranění materiálu dochází na principu studené ablace (přeměna pevného skupenství přímo na plynné).

Pro výrobu navržených utvařečů třísek byla vybrána výroba na laserovým obráběcím stroji s pikosekundovou délkou pulzu. Obráběním laserovým paprskem s touto délkou pulzu je možné

obrábět jinak neobrobitelné materiály (PKD,CBN). Při vhodně nastavených pracovních podmínkách umožňuje výroba laserem dosažení přesnosti v řádu mikronů. [2, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]



Obrázek č. 4.1: Ablace ps pulzy [2,12]

4.2 Postup výroby prototypových utvařečů

Postup výroby je stejný pro všechny typy navržených utvařečů. Po provedení návrhu negativu utvařečů v softwaru Catia V5 je potřeba převést současný formát modelu CATpart do formátu STL se kterým je software laserového obráběcího stroje schopen pracovat. Do pracovního prostoru stroje je vložena VBD, která je zaměřena kamerou. Podle zaměřené VBD je provedeno polohování utvařeče třísek tak, aby odpovídalo návrhu. Polohování je provedeno podle ostří, které je rovnoběžné s přední hranou utvařeče. Drobným otáčením a posouváním je docíleno vzdálenosti mezi ostřím a hranou (v celém rozsahu) 0,02 mm s minimální odchylkou. Tím je polohování návrhu utvařeče vůči VBD ukončeno a následuje výrobní proces.

Pracovní podmínky pro výrobu utvařečů na VBD ze slinutého karbidu:

- Frekvence: $f=200$ [kHz]
- Překrytí:
 - $Sp=80\%$ - ve směru osy x
 - $H=80\%$ - ve směru osy y
- Vlnová délka: 532 [nm] (II.H)
- Poloměr fokusovaného laserového paprsku: $W_0=12,5$ [μm]
- Počet vrstev: 258 vrstev pro hl. 0,1 [mm]
- Hloubka úběru jedné vrstvy: 0,3 [μm]

Nastavení pracovních podmínek je zvoleno stejné pro výrobu utvařečů pro pre-experiment č. 1, č. 2 i pro experiment.

Doba výroby jednotlivých typů utvařečů:

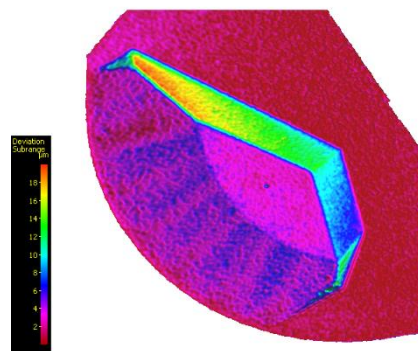
Čas výroby utvařečů	
Typ utvařeče	min:sek
A	1:29
B	1:27
C	1:23
D	1:20
E	3:25
F	3:21
7	2:32
8	2:40
9	2:30
10	2:39

Tabulka 4.1: Čas výroby utvařečů

Kontrola kvality vyrobených utvařečů:

U vyrobených utvařečů třísek byla provedena kontrola tvarové přesnosti diferenční analýzou. Naměřené hodnoty se pohybovaly v povolené toleranci. Odchyłky od plánovaného tvaru byla max. do 0,02 mm.

Provedena byla také kontrola hloubky vyrobených utvařečů, která se lišila od návrhu v řádu mikronů, což je vyhovující.



Obrázek č. 4.2: Kontrola přesnosti tvaru

5 Testování prototypových utvařečů v řezném procesu na VBD pro dokončovací nástroj

5.1 Pre-experiment č. 1

V září roku 2015 bylo provedeno testování nově navržených VBD s úpravou geometrie břitu pro získání požadované kvality drsnosti povrchu čípku. Testy byly provedeny v dílenské laboratoři Vědeckotechnického parku města Plzně (VTP) na frézovacím stroji DMU 65 monoblock od firmy DMG MORI.

5.1.1 Podmínky pre-experimentu

Nástroj – hrubovací: Speciální nástroj firmy HOFMEISTER dle OB06188/1.

Nástroj - dokončovací: Speciální nástroj firmy HOFMEISTER dle OB06189/1 osazený ve dvou lůžkách výměnnými břitovými destičkami trojúhelníkového tvaru. Destičky jsou povlakovány tenkou vrstvou TripleCoating Cr ve firmě SHM Šumperk. Povlak je tvořený adhezí vrstvou TiN, střední vrstvou AlTiN a vrchní vrstvou CrAlSiN. Na výměnných břitových destičkách je provedena úprava jednoho břitu tak, aby měl rádius $R=1\text{mm}$. Další úpravou na břitu VBD byla výroba plošky wiper (tabulka 5.1). Byly vyrobeny tři páry VBD označené: č. 4 a 5, č. 6 a 7, č. 9 a 10.

VBD č.	Úprava	Způsob výroby
4 a 5	Rádius R1 + ploška wiper	Broušením
6 a 7	Rádius R1	Broušením
9 a 10	Rádius R1 + ploška wiper	Laserem

Tabulka 5.1

Obrobek: Obrobkem je tyč čtvercového průřezu o rozměrech 28x28x140mm z materiálu W.Nr.1.4329+QT (180HB) a W.Nr.1.4923+QT (230HB).

Stroj: 5-osé frézovací centrum DMU 65 monoblock od firmy DMG MORI – upínání HSK A63. Upnutí nástroje bylo provedeno mechanickým polygonním upínačem TRIBOS od firmy SCHUNK o průměru 32mm. Obrobek byl upnut ve svěráku uchyćeném ke stolu stroje.

Řezné podmínky:

Řezné podmínky		
	Hrubování	Dokončování
Otáčky - n	2750 [ot/min]	3200 [ot/min]
Posuvová rychlost - v_f	60 [mm/min]	120/256/384 [mm/min]
Chlazení	emulzí - koncentrace 6,5%, tlak 39bar	emulzí - koncentrace 6,5%, tlak 39bar

Tabulka 5.2: Řezné podmínky pro pre-experiment č. 1

5.1.2 Průběh pre-experimentu č. 1

Testy byly rozděleny do čtyř variant podle osazení držáku různou kombinací VBD. První varianta byla s osazením VBD č. 6 a 7 (broušený R1), druhá s osazením VBD č. 4 a 5 (broušený R1 + Wiper), třetí s osazením VBD č. 9 a 10 (laserovaný R1 + Wiper). Čtvrté osazení držáku bylo kombinací VBD s ploškou Wiper a druhou VBD bez plošky Wiper.

Příprava polotovaru pro finální operaci obrobení povrchu čípku dokončovacím nástrojem byla provedena speciálním hrubovacím nástrojem dle OB06188/1 vyrobeným ve firmě HOFMEISTER. Technologie hrubování byla nastavena tak, aby hrubovací nástroj obrobil čípek s přídavkem. Na povrchu čípku byl ponechán přídavek 0,4mm a na zarovnání čela u kořene čípku 0,2mm.

Startovací řezné podmínky byly nastaveny na $n=3200$ [ot/min], $v_f=120$ [mm/min] a začínalo se na tvrdším materiálu W.Nr. 1.4923+QT. Držák byl osazen VBD č. 6 a 7. Již na prvním polotovaru se ukázala velká geometrická nepřesnost u průměru čípku ($\varnothing 5,55$ mm), který byl navíc podpíchnut (obr. č. 5.2). Změnou kombinace VBD na sestavu čísel 4 a 5 při zachování startovacích řezných parametrů se geometrická přesnost čípku nezlepšila. Naměřené hodnoty se pohybovaly v rozsahu průměrů 5,58-5,9mm. Čípek byl tedy oválového tvaru a dokonce u varianty s výjezdem rychloposuvu se na povrchu objevil závit. Kvalita opracování na čípku se výrazně zlepšila po úpravě hloubky obrábění. To znamená, že nástroj pro opracování na čisto nezarovnával čelo u kořene čípku, ale pouze průměrovou část čípku. Výsledná hodnota byla v požadované toleranci a rozměr čípku měl $\varnothing 5,92$ mm. Tím se zjistilo, že když při finální operaci nástroj odebírá z čela ponechaný přídavek v celé šíři řezné hrany, tak vlivem zvýšeného řezného odporu dochází k vychýlení upnutého obrobku. Při zpětném pohybu pak dochází k nechtěnému obrábění. Aby nebylo obrábění čípku negativně ovlivňováno úběrem

materiálu z čela, tak byla zadána hloubka pro obrábění na čisto na stejnou hodnotu jako u hrubování, a to 5,4mm místo 5,6mm. Tím je dosaženo toho, že nástroj se nepatrně dotkne čelní plochy a začistí ji. Nedojde k vychýlení obrobku jako při úběru přídavku 0,2mm. Aby nedocházelo k negativnímu ovlivnění obrábění úběrem přídavku z čela, byla pro další kombinace VBD zvolena vždy hloubka obrábění na čisto stejná jako byla hloubka obrábění pro hrubování a to 5,4mm. Startovací řezné podmínky byly použity u všech zvolených kombinací VBD, potom byla regulována posuvová rychlost a opět byly zachovány tyto podmínky pro všechny kombinace VBD. Po obrobení čípku na čisto byl čípek ručně odříznut a uschován pro vyhodnocení drsnosti. Podrobné hodnocení drsnosti bylo provedeno po ukončení testů na 3D scanneru Alicona.

5.1.3 Vyhodnocení pre-experimentu č. 1

Na odříznutých čípcích bylo provedeno optické měření drsnosti pomocí přístroje Alicona. Měření bylo provedeno v rovnoběžném směru s osou čípku. V některých případech byly na čípcích v určitých místech viditelné stopy po vibracích, i když se nástroj lehce dotkl čela. Vizuálně to vypadá jako zdrsněný povrch jedné poloviny čípku. Při optickém zkoumání při zvětšení 200x má zdrsněný povrch šupinovitý charakter (obr. č. 5.1).



Obrázek č. 5.1: Povrch čípku šupinovitého charakteru

Změřením drsnosti u tvrdšího materiálu (W.Nr. 1.4923+QT) byla zjištěna hodnota drsnosti v rozmezí Ra 0,5-1,1 (tabulka 5.3).

Lepších výsledků bylo dosaženo u VBD s ploškou wiper, a to zejména s ploškou vyrobenou laserem, která umožnila zvýšení posuvové rychlosti při dodržení požadované drsnosti povrchu.

Materiál W.Nr. 1.4923+QT					
Kombinace VBD č.	Obráběná hloubka [mm]	Posuvová rychlost v_f [mm/min]	Pohyb zpět	Drsnost Ra [μm]	Poznámky
4 a 5	5,3	120	v_f	0,6	
4 a 5	5,3	120	Rychloposuv	0,5	Stopa po výjezdu
4 a 5	5,4	256	v_f	0,8	1. strana
4 a 5	5,4	256	v_f	0,8-1	2. strana - stopa po vibraci
4 a 5	5,4	384	v_f	0,8	
4 a 5	5,6	120	v_f	0,8-1,1	2. strana - stopa po vibraci
4 a 5	5,6	120	v_f	1	1. strana
6 a 7	5,4	120	v_f	0,8	1. strana
6 a 7	5,4	120	v_f	0,8-1	2. strana - stopa po vibraci
6 a 7	5,4	256	v_f	0,7	1. strana
6 a 7	5,4	256	v_f	0,9-1	2. strana - stopa po vibraci
6 a 10	5,4	256	v_f	0,8	1. strana
6 a 10	5,4	256	v_f	0,8-1	2. strana - stopa po vibraci
6 a 10	5,4	320	v_f	0,5	
6 a 10	5,4	384	v_f	0,7	
9 a 10	5,4	120	v_f	0,4	1. strana
9 a 10	5,4	120	v_f	0,5-0,9	2. strana - stopa po vibraci
9 a 10	5,4	256	v_f	0,6-0,8	Stopa po vibraci
9 a 10	5,4	384	v_f	0,6	

Tabulka 5.3: Vyhodnocení obrábění pro mat. W.Nr. 1.4923+QT

U měkkého materiálu (W.Nr. 1.4329+QT) byly naměřeny hodnoty drsnosti v rozmezí Ra 0,5-0,8. Všechny měřené vzorky se vešly do požadované tolerance (tabulka 5.4).

Materiál W.Nr. 1.4329+QT					
Kombinace VBD č.	Obráběná hloubka [mm]	Posuvová rychlost v_f [mm/min]	Pohyb zpět	Drsnost Ra [μm]	Poznámky
4 a 5	5,4	120	v_f	0,8	
4 a 5	5,4	384	v_f	0,6	
5 a 6	5,4	120	v_f	0,7-0,8	Stopa po vibraci
6 a 7	5,4	120	v_f	0,6	
6 a 7	5,4	120	Rychloposuv	0,6	Stopa po výjezdu
6 a 7	5,4	256	v_f	0,6	
6 a 7	5,4	384	v_f	0,8	
9 a 10	5,4	120	v_f	0,5	

Tabulka 5.4: Vyhodnocení obrábění pro mat. W.Nr. 1.4329+QT

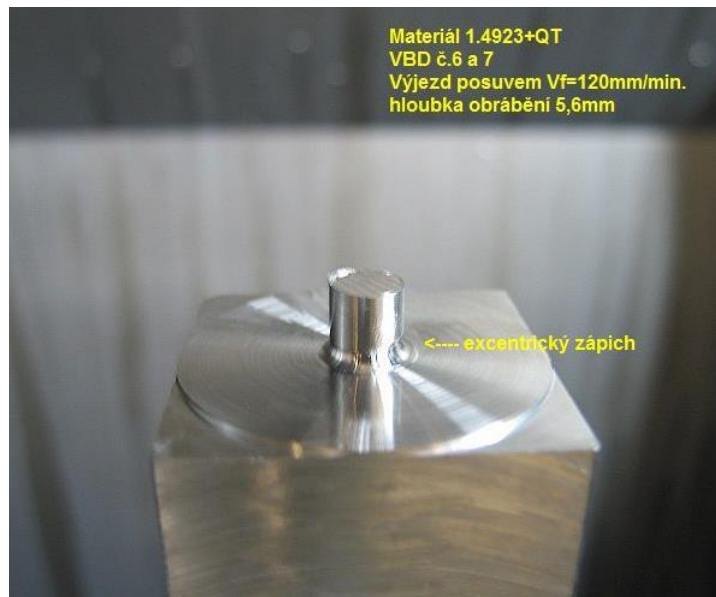
Rozměrová přesnost čípků odpovídala též požadavkům výkresové dokumentace ($\varnothing 6-0,1\text{mm}$), i když některé rozměry byly těsně u spodní hranice tolerance (Tabulka 5.5). Tyto výsledky jsou ovlivněny vstupní přesností vyrobených VBD a upnutím v lůžku držáku.

Rozměry čípku po obrobení	
Kombinace VBD č.	Průměr čípku [mm]
6 a 7	5,91
4 a 5	5,91 - 5,92
9 a 10	5,93 - 5,94
5 a 6	5,91
6 a 10	5,93

Tabulka 5.5: Rozměry čípku po obrobení

5.1.4 Závěr

Testováním bylo zjištěno, že velký vliv na kvalitu obrobení čípku má tuhost upnutí obrobku v souvislosti s velikostí odebíraného přídavku na čelní ploše. Zarovnáváním čelní plochy došlo ke zvýšení řezného odporu a to způsobilo vychýlení obrobku. Při zpětném posuvu nástroje docházelo k nechtěnému obrábění čípku a změně jeho geometrie (obr. č. 5.2).



Obrázek č. 5.2: Čípek s excentrickým zápichem

Úpravou hloubky obrábění tak, že se nástroj pouze dotkl čelní plochy a nezarovnával ji, došlo ke zlepšení.

Z hlediska požadované drsnosti byla úprava břitu ploškou wiper přínosem. Touto úpravou bylo umožněno zvýšit posuvovou rychlost dvojnásobně až trojnásobně a to při udržení požadované drsnosti povrchu.

Jako problém se jeví zhoršená drsnost u některých čípků na polovině povrchu (šupinovitý povrch). Tento jev je způsoben dotykem nástroje s čelní plochou, kdy může dojít ke vzniku vibrací, které způsobí zhoršení kvality povrchu. Drsnost ve zhoršené části dosahuje hodnot okolo $Ra=1 \mu\text{m}$.

Požadavek na drsnost čelní plochy $Ra=3,2 \mu\text{m}$ byl dodržen. Drsnost této plochy byla změřena $Ra=0,8 \mu\text{m}$.

5.2 Pre-experiment č. 2

V listopadu roku 2015 bylo provedeno testování VBD s nově navrženými utvařeči třísek (viz kapitola 3.2). Z předchozích úprav na VBD byla zachována ploška wipper vyrobená pomocí pulsů laserového paprsku. Testy byly provedeny v dílenské laboratoři VTP na frézovacím stroji DMU 65 monoblock od firmy DMG MORI.

5.2.1 Podmínky pre-experimentu č. 2

Nástroj – hrubovací: Speciální nástroj firmy HOFMEISTER dle OB06188/1.

Nástroj - dokončovací: Speciální nástroj firmy HOFMEISTER dle OB06189/1 osazený ve dvou lůžkách výměnnými břitovými destičkami trojúhelníkového tvar. Destičky jsou povlakovány tenkou vrstvou TripleCoating Cr ve firmě SHM Šumperk. Na výměnných břitových destičkách je provedena úprava jednoho břitu tak, aby měl rádius $R=1\text{mm}$. Ploška wipper měla při předchozím testování pozitivní vliv na kvalitu povrchu, proto je tato úprava provedena na všech VBD pro toto testování. Nově je na všech VBD provedena úprava na čele v podobě utvařečů třísek (viz kapitola 3.2). Pro testování byly využity VBD v párech s označením: 1A-2A, 1B-2B, 1C-2C, 1D-2D, 1E-2E, 1F-2F. Písmenné označení A-F značí druh utvařeče.

Obrobek: Obrobkem je tyč čtvercového průřezu o rozměrech 28x28x163mm a tyč 28x28x139mm z materiálu W.Nr.1.4923+QT (230HB).

Stroj: 5-osé frézovací centrum DMU 65 monoblock od firmy DMG MORI – upínání HSK A63. Upnutí nástroje bylo provedeno mechanickým polygonním upínačem TRIBOS od firmy SCHUNK o průměru 32mm. Obrobek byl upnut ve svěráku uchyceném ke stolu stroje.

Příslušenství: Vysokorychlostní kamera Fastcam SA-X2 RV

Řezné podmínky:

Řezné podmínky		
	Hrubování	Dokončování
Otáčky - n	2750 [ot/min]	3200 [ot/min]
Posuvová rychlost - v_f	60 [mm/min]	120/256/384 [mm/min]
Chlazení	Bez chlazení - z důvodu následného natáčení rychlokamerou	Bez chlazení - z důvodu natáčení rychlokamerou

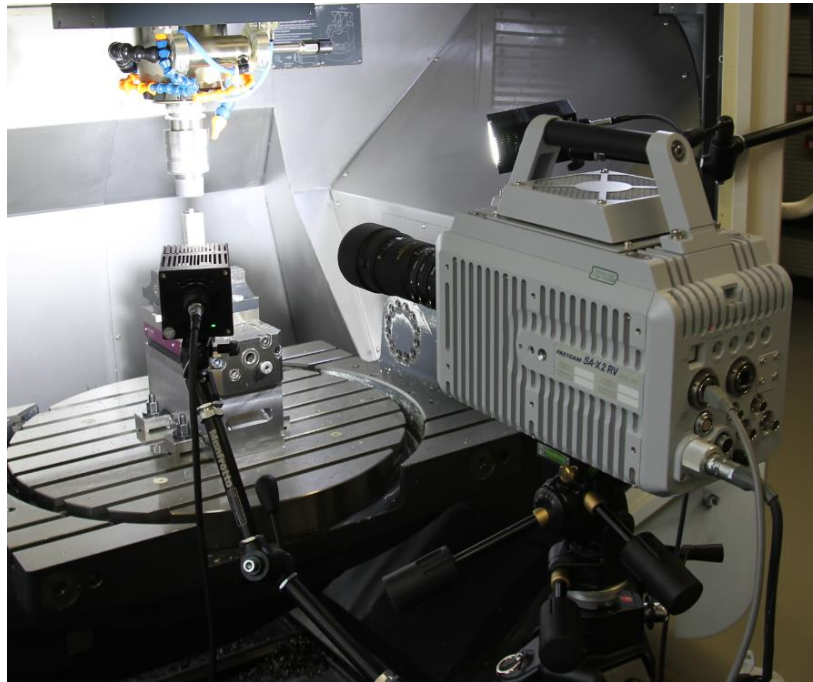
Tabulka 5.6: Řezné podmínky pro pre-experiment č. 2

5.2.2 Průběh pre-experimentu č.2

Před testováním jednotlivých variant upravených VBD proběhl hrubovací proces obrábění. Hrubovacím nástrojem byl vyroben čípek s přídávkem 0,4 mm, délka obráběné válcové plochy čípku byla nastavena na 5,4 mm. Čípek byl změřen mikrometrem v jednom směru a ve směru kolmém na předchozí měření. Při větších odchylkách mezi měřeními byly hrubovací VBD vyměněny za nové nebo otočeny tak, aby další obrábění proběhlo novou, neopotřeбенou řeznou hranou.

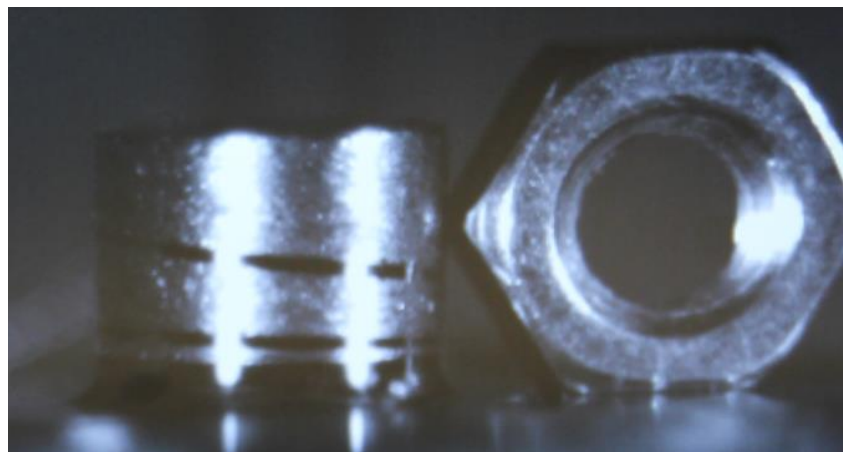
Testování dokončovacích VBD byly rozděleny podle řezných podmínek. První byla nastavena posuvová rychlost na hodnotu 384 mm/min, při zachování této posuvové rychlosti byl držák postupně osazen páry VBD s určitou variantou utvařeče třísek (A – F) a válcová plocha čípku byla obrobena v délce 5,4 mm (stejná jako při hrubování). Tato hodnota vychází ze zjištění z předchozího testování. Cílem je, aby se VBD čelní plochy dotkla minimálně. Po otestování všech variant VBD byla nastavena posuvová rychlost na hodnotu 120 mm/min a postup výměny VBD se opakoval. Tento proces se celý opakoval při posuvové rychlosti na hodnotu 256 mm/min.

Z důvodu zaznamenávání obrazu dokončovací operace vysokorychlostní kamerou Fastcam SA-X2 RV (obr. č. 5.3) bylo provedeno hrubování i dokončování bez chlazení emulzí (za sucha). Při hrubování nebyla využita chladicí emulze z důvodu zachování čistoty stroje. Při dokončování byly posuvné, krycí dveře otevřené, aby bylo možné snímat obraz vysokorychlostní kamerou. Chlazení by zde znemožnilo kamerový záznam.



Obrázek č. 5.3: Záznam obrábění vysokorychlostní kamerou FastCam

Vysokorychlostní kamerou bylo zaznamenáváno pouze dokončovací obrábění pro vyhodnocení chování třísky vlivem úprav VBD. Po hrubování byl vyměněn nástroj za dokončovací, vysokorychlostní kamera se umístila na předem připravené body, umístili a upevnili se reflektory a došlo k zaostření té části čípku, kde byla očekávána dobrá pozorovatelnost odřezávané třísky. Pole ostrosti bylo zjištěno pomocí matice (obr. č. 5.4). Obraz byl zaznamenáván 81 000 snímky za vteřinu v rozlišení 512x272 pixelů. Po dokončení obrábění byla vysokorychlostní kamera spolu s reflektory přemístěna stranou, tak, aby bylo umožněno další obrábění. Celý proces se opakoval při každé dokončovací operaci.



Obrázek č. 5.4: Zaostřování kamery s pomocí matice

Pro vyhodnocování bylo potřeba chytat třísky, k tomu sloužila textilní plachta uchycená pod pracovním prostorem stroje pomocí kobercové lepicí pásky. Plachta byla uchycena před dokončovacím obráběním, před hrubováním dalšího vzorku byla odstraněna.

Po dokončení obrábění byl čípek odříznut ruční pilkou tak, aby nedošlo k poškození obrobeneho povrchu a uchován spolu s odchycenými třískami pro další vyhodnocení.

Testován byl tvrdší materiál W.Nr. 1.4923+QT.

5.2.3 Vyhodnocení pre- experimentu č. 2

Na odříznutých čípcích bylo provedeno měření drsnosti pomocí přístroje Alicona a vyhodnoceno chování třísky ze záznamu z vysokorychlostní kamery.

Měření drsnosti povrchu bylo provedeno v rovnoběžném směru s osou čípku, vždy ve třech místech: na počátku, středu a na konci odříznutého čípku. Tyto tři měření byly zopakovány po náhodném pootočení čípku okolo své osy.

Chování třísky bylo hodnoceno v horní, střední a spodní části čípku, pokud byl záznam dostatečně dlouhý. Vysokorychlostní kamera Fastcam umožnila záznam jedné vteřiny reálného času obrábění při snímání 81 000 snímky za vteřinu, to způsobilo, že při nižší posuvové rychlosti nebylo zaznamenáno obrábění celého povrchu čípku, ale polovina, v některých případech pouze třetina. Při posuvové rychlosti 120 mm/minutu bylo chování třísky vyhodnocováno pouze na počátku a ve střední části čípku.

5.2.3.1 Vyhodnocení VBD s utvařeči typu A

Posuvová rychlost $v_f=120$ [mm/min]

Povrch čípku byl po obrobení na první pohled v pořádku. Při provedení scanu části plochy čípku jsou zřetelná místa s vytrhanými kusy materiálu (obr. č. 5.5) Hodnoty drsnosti po změření jsou v toleranci a pohybují se okolo $Ra=0,65-0,8 \mu\text{m}$.



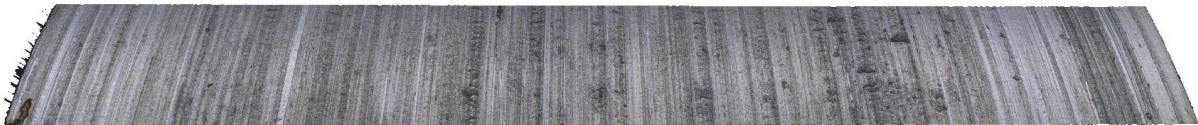
Obrázek č. 5.5: Scan povrchu čípku pro utvařeč A a $v_f=120$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
V této části čípku je z kamerového záznamu viditelné stáčení třísky vlivem utvařeče. Tříska odchází směrem do středu nástroje.
- Střední část čípku
Tříska se přestává stáčet. To je způsobeno odchodem třísky do středu nástroje, kde se kumuluje a zabraňuje plynulému odchodu třísky.
- Spodní část čípku
Z důvodu nedostatečně dlouhého kamerového záznamu není možné tuto část vyhodnotit.

Posuvová rychlost $v_f=256$ [mm/min]

Z naskenovaného povrchu je patrné zlepšení oproti obrábění posuvovou rychlostí 120 mm/min. Došlo ke snížení vytrhaných částí materiálu a opticky se tak povrch jeví hladší (obr. č. 5.6). Změřením drsnosti je zlepšení potvrzeno. Hodnoty drsnosti R_a se pohybují v rozmezí 0,53-0,59 μm .



Obrázek č. 5.6: Scan povrchu čípku pro utvařeč A a $v_f=256$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
Vlivem utvařeče dochází k minimálnímu stáčení třísky. Ta odchází směrem do středu nástroje, kde se hromadí a brání stáčení třísky.
- Střední část čípku
Průběh odchodu třísky je obdobný jako v horní části čípku.
- Spodní část čípku
V koncové části odchází tříska bez stáčení do povrchu čípku a omotává ho.

Posuvová rychlost $v_f=384$ [mm/min]

Povrch čípku je na pohled hladký, bez výrazných vytrhaných částí materiálu (obr. č. 5.7). Naměřená drsnost povrchu se pohybuje v rozmezí $R_a=0,6-0,77\mu\text{m}$.



Obrázek č. 5.7: Scan povrchu čípku pro utvařeč A a $v_f=384$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
V této části čípku dochází při obrábění k výraznému stáčení třísky vlivem utvařeče, ale tříška odchází do středu nástroje.
- Střední část čípku
Ve středu nástroje dochází k hromadění třísky. Nahromaděná tříška způsobuje zhoršené stáčení třísky.
- Spodní část čípku
Došlo k oddělení třísky. Nová tříška se kumuluje na čele VBD.

Shrnutí:

Při posuvové rychlosti 120 mm/min bylo dosaženo nejhorších výsledků z hlediska drsnosti povrchu, tyto výsledky jsou však dostačující a vyhovují zadané toleranci. Povrch byl potrháný. Ke zlepšení došlo zvýšením posuvové rychlosti na hodnotu 256 mm/min. Změnou tohoto parametru bylo dosaženo hladkého povrchu bez vytrhaných částí. Dalším zvýšením posuvové rychlosti na hodnotu 384 mm/min nedošlo ke zlepšení drsnosti. Drsnost se nepatrně zhoršila, ale její hodnota je stále v požadované toleranci (tabulka 5.7)

Chování třísky nemělo výrazný vliv na zlepšení či zhoršení jakosti povrchu. Změna stáčení třísky se na povrchu čípku neprojevila. Ke změnám nedochází, protože je tloušťka odebírané vrstvy příliš malá.

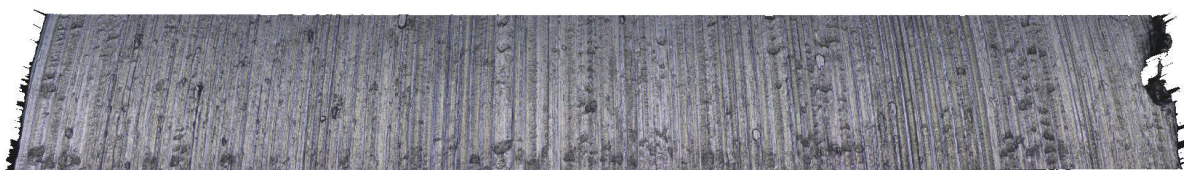
VBD	Posuvová rychlost	Drsnost Ra			Drsnost Rz		
		Horní	Střed	Spodní	Horní	Střed	Spodní
1A 2A	120	0,738	0,718	0,669	4,4076	4,0385	3,8254
1A 2A_1	120	0,658	0,641	0,803	4,5142	4,3923	5,429
1A 2A	256	0,532	0,555	0,581	3,9106	3,5619	3,8199
1A 2A_1	256	0,538	0,594	0,55	3,6773	3,6906	3,5209
1A 2A	384	0,669	0,63	0,595	4,5068	4,2727	3,923
1A 2A_1	384	0,771	0,74	0,743	4,1839	3,8443	4,2578

Tabulka 5.7: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařeči typu A

5.2.3.2 Vyhodnocení VBD s utvařeči typu B

Posuvová rychlost $v_f=120$ [mm/min]

Na povrchu čípku jsou viditelné rýhy a mírně vytrhané části materiálu (obr. č. 5.8). Rýhy jsou nejvýraznější v dolní třetině. Naměřená drsnost povrchu je v rozmezí $Ra=0,64-0,79\mu\text{m}$.



Obrázek č. 5.8: Scan povrchu čípku pro utvařeč B a $v_f=120$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku

Vlivem utvařeče dochází k výraznému stáčení třísky a k jejímu odchodu do středu nástroje.

- Střední část čípku

Odchod třísky do středu nástroje zde způsobí její nahromadění a zhoršení odchodu třísky ve středu čípku z místa řezu. To má za následek mírné stáčení třísky.

- Spodní část čípku

Z důvodu nedostatečně dlouhého kamerového záznamu není možné tuto část vyhodnotit.

Posuvová rychlost $v_f=256$ [mm/min]

Na povrchu čípku jsou viditelné drobné rýhy a v první třetině také vytrhaný povrch (obr. č. 5.9). Ve druhé třetině je povrch opticky lepší (bez vytrhaných částí). Ve třetí třetině je povrch opět mírně potrháný. Naměřené hodnoty drsnosti se pohybují v rozmezí $Ra=0,66-0,76 \mu\text{m}$ a jsou v požadované toleranci.



Obrázek č. 5.9: Scan povrchu čípku pro utvařec B a $v_f=256$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
Vlivem utvařeče dochází ke stáčení třísky a k jejímu odchodu do středu nástroje.
- Střední část čípku
Ve střední části čípku nedochází ke stáčení třísky, ale ke kumulaci před VBD (vytváří se chumel).
- Spodní část čípku
Došlo k oddělení nakumulované třísky, a proto je umožněno opětovné stáčení. Odchod je kolmo k ose nástroje.

Posuvová rychlost $v_f=384$ [mm/min]

Oproti posuvové rychlosti 120 mm/min i 256 mm/min je viditelné výrazné zlepšení povrchu. V celém rozsahu čípku se nenacházejí vytrhané části materiálu. Na povrchu jsou viditelné rýhy, které jsou dále od sebe vlivem vyšší posuvové rychlosti (obr. č. 5.10). Optické zlepšení povrchu je potvrzeno i měřením, kdy hodnoty drsnosti se pohybují v rozmezí $Ra=0,41-0,5 \mu\text{m}$ a jsou v požadované toleranci.



Obrázek č. 5.10: Scan povrchu čípku pro utvařec B a $v_f=384$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
Vlivem utvařeče dochází k výraznému stáčení třísky a k jejímu odchodu do středu nástroje.
- Střední část čípku
Ve střední části čípku nedochází ke stáčení třísky, ale ke kumulaci před VBD.
- Spodní část čípku
Došlo k oddělení nakumulované třísky, a proto je umožněno opětovné stáčení.

Shrnutí:

Na povrchu čípků jsou ve všech případech obrábění viditelné rýhy, ty jsou způsobeny ploškou wipper, která nejen hladí obrobený povrch, ale i se do něj mírně zařezává. Tento problém je možné vyřešit úpravou plošky natočením o 1-2° směrem od povrchu čípku. Vytrhaný povrch je u čípků obrobených při posuvové rychlosti 120 a 256 mm/min. Tyto čípky mají také podobné hodnoty drsnosti povrchu. Nejlepších výsledků drsnosti je dosaženo při posuvové rychlosti 384 mm/min. Zde je povrch bez defektů (pouze s mírnou rýhou).

Změna chování třísky při obrábění je patrná na čípku obrobeném při posuvové rychlosti 256 mm/min, ale vliv na výslednou drsnost nemá.

Hlavní vliv na změnu kvality povrchu má posuvová rychlost. Požadované drsnosti bylo dosaženo při všech zkoumaných, posuvových rychlostech (tabulka 5.8).

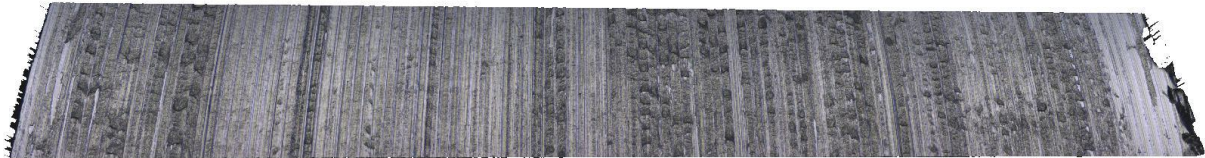
VBD	Posuvová rychlost	Drsnost Ra			Drsnost Rz		
		Horní	Střed	Spodní	Horní	Střed	Spodní
1B 2B	120	0,733	0,738	0,785	4,8041	4,6389	5,3963
1B 2B_1	120	0,637	0,643	0,666	4,2275	4,0319	4,5248
1B 2B	256	0,716	0,764	0,713	4,5776	4,643	4,008
1B 2B_1	256	0,746	0,664	0,676	4,6259	4,2469	4,1453
1B 2B	384	0,451	0,423	0,503	3,3166	3,4661	4,5225
1B 2B_1	384	0,411	0,47	0,466	3,4428	4,1479	3,4224

Tabulka 5.8: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařeči typu B

5.2.3.3 Vyhodnocení VBD s utvařeči typu C

Posuvová rychlost $v_f=120$ [mm/min]

Na povrchu čípku jsou vytrhané části materiálu a to v první čtvrtině a druhé polovině. Druhá čtvrtina čípku je bez poškození (obr. č. 5.11). Drsnost se pohybuje v rozmezí $R_a=0,57-0,74$ μm a je vyhovující.



Obrázek č. 5.11: Scan povrchu čípku pro utvařeč C a $v_f=120$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku

Vlivem utvařeče dochází ke stáčení třísky a odchodu směrem do středu nástroje.

- Střední část čípku

Vlivem hromadění třísky ve středu nástroje je zabráněno plynulému odchodu třísky a ve střední části již nedochází ke stáčení. Tříška odchází do středu nástroje.

- Spodní část čípku

Z důvodu nedostatečně dlouhého kamerového záznamu není možné tuto část vyhodnotit.

Posuvová rychlost $v_f=256$ [mm/min]

Povrch čípku je v první polovině mírně vytrhaný. Ve druhé polovině je výraznější rýha, která je způsobena pravděpodobně ploškou wipper (obr. č. 5.12). Drsnost povrchu čípku se pohybuje v rozmezí $R_a=0,65-0,92$ μm . Drsnost v jedné části čípku je vyhovující, při pootočení čípku je drsnost nevyhovující.



Obrázek č. 5.12: Scan povrchu čípku pro utvařeč C a $v_f=256$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku

Vlivem utvařeče dochází ke stáčení třísky a odchodu směrem do středu nástroje.

- Střední část čípku

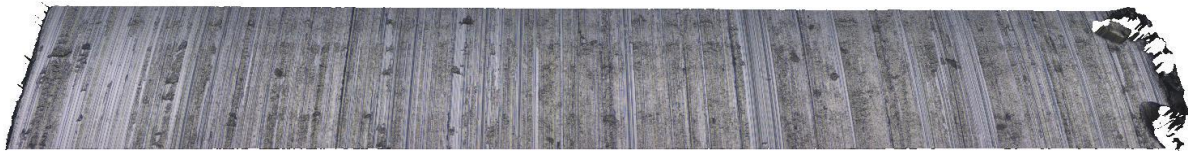
Vlivem hromadění třísky ve středu nástroje je zabráněno plynulému odchodu třísky a ve střední části dochází k výraznému hromadění třísky před VBD. Ploška wipper pravděpodobně odebírá nechtěnou třísku a způsobuje tak rýhu v povrchu čípku.

- Spodní část čípku

Došlo k odtržení nahromaděné třísky a v koncové části čípku se tříska mírně stáčí a odchází kolmo k ose čípku. Ploška wipper pravděpodobně odebírá nechtěnou třísku.

Posuvová rychlost $v_f=384$ [mm/min]

Povrch čípku je oproti předchozím posuvovým rychlostem hladší a bez vytrhaných částí materiálu (obr. č. 5.13). Naměřená drsnost je v rozmezí $R_a=0,5-0,64$ μm a je vyhovující.



Obrázek č. 5.13: Scan povrchu čípku pro utvařeč C a $v_f=384$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku

Vlivem utvařeče dochází k výraznému stáčení třísky a odchodu směrem do středu nástroje.

- Střední část čípku

Vlivem hromadění třísky ve středu nástroje je zhoršen odchod třísky z místa řezu a tříska se stáčí méně výrazně. Odchází směrem do středu nástroje, kde se hromadí.

- Spodní část čípku

Z třísky se tvoří výrazný chumel ve středu nástroje a je tak zabráněno stáčení třísky vlivem utvařeče.

Souhrn:

Nejlepších výsledků z hlediska drsnosti je dosaženo při posuvové rychlosti 384 mm/min, potom při 120 mm/min a nejhorsích při 256 mm/min. Nevyhovující drsnost je pouze při posuvové rychlosti 256 mm/min a to pouze na jedné části čípku ze dvou měřených. Ostatní měřené drsnosti jsou vyhovující.

Při obrábění se tvoří minimální rýhy, výjimkou je obrábění při $v_f=256$ mm/min. Zde jsou rýhy výrazné a jsou způsobené nechtěným odebráním třísky ploškou wipper.

VBD	Posuvová rychlost	Drsnost Ra			Drsnost Rz		
		Horní	Střed	Spodní	Horní	Střed	Spodní
1C 2C	120	0,694	0,736	0,715	4,451	5,8035	4,641
1C 2C_1	120	0,574	0,605	0,601	3,8736	4,2843	3,997
1C 2C	256	0,919	0,88	0,858	4,5602	4,5349	4,7112
1C 2C_1	256	0,651	0,646	0,673	4,6745	4,3066	4,8258
1C 2C	384	0,607	0,627	0,64	3,939	4,2294	4,0165
1C 2C_1	384	0,507	0,531	0,505	3,5785	3,7187	3,5318

Tabulka 5.9: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařeči typu C

5.2.3.4 Vyhodnocení VBD s utvařeči typu D

Posuvová rychlost $v_f=120$ [mm/min]

Povrch čípku je v celém rozsahu stejný. Na povrchu čípku jsou vytrhané části materiálu a jsou zde výrazné rýhy (obr. č. 5.14). Změřená drsnost se pohybuje v rozsahu $R_a=0,62-0,77$ μm a je vyhovující.



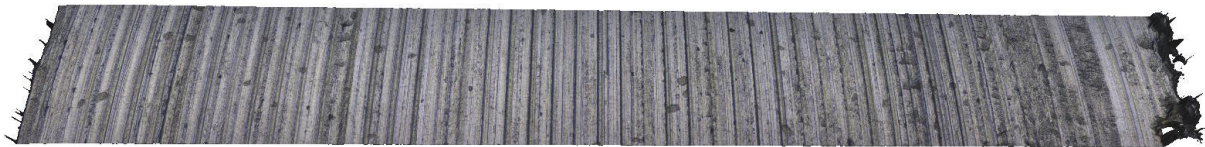
Obrázek č. 5.14: Scan povrchu čípku pro utvařeč D a $v_f=120$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
Vlivem utvařeče dochází ke stáčení třísky a odchodu směrem do středu nástroje.
- Střední část čípku
Méně výrazné stáčení třísky vlivem působení odstředivé síly na neoddělenou třísku (natahuje ji). Tříška odchází do středu nástroje.
- Spodní část čípku
Z důvodu nedostatečně dlouhého kamerového záznamu není možné tuto část vyhodnotit.

Posuvová rychlost $v_f=256$ [mm/min]

Povrch čípku je v celém rozsahu stejný. Na povrchu je minimální množství vytrhaných částí materiálu, ale jsou zde výrazné rýhy (obr. č. 5.15). Změřená drsnost se pohybuje v rozsahu $R_a=0,73-0,83$ μm , což je na hraně požadované drsnosti.



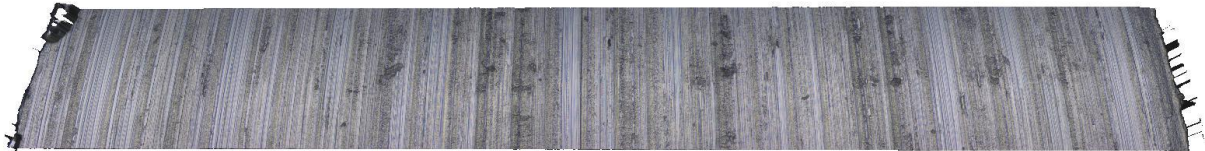
Obrázek č. 5.15: Scan povrchu čípku pro utvařeč D a $v_f=256$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
Vlivem utvařeče dochází ke stáčení třísky a odchodu směrem do středu nástroje. Stáčení je méně výrazné než u obrábění posuvovou rychlostí 120 mm/min.
- Střední část čípku
Došlo k oddělení třísky. Ve střední části čípku již nedochází ke stáčení třísky. Směr odchodu je kolmý k ose čípku.
- Spodní část čípku
Nedochází ke stáčení třísky a směr jejího odchodu je kolmý k ose čípku.

Posuvová rychlost $v_f=384$ [mm/min]

Povrch čípku je hladký v celém svém rozsahu bez vytrhaných částí materiálu a bez výraznějších rýh (obr. č. 5.16). Naměřená drsnost se pohybuje v rozsahu $R_a=0,53-0,58 \mu\text{m}$ a je vyhovující.



Obrázek č. 5.16: Scan povrchu čípku pro utvařeč D a $v_f=384$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku

Vlivem utvařeče dochází ke stáčení třísky a odchodu směrem do středu nástroje.

- Střední část čípku

Stáčení třísky není tak výrazné a dochází k hromadění třísky před VBD. Nahromaděná tříska se postupně posouvá do středu nástroje a nedochází k žádnému stáčení třísky.

- Spodní část čípku

Nedochází ke stáčení třísky a směr jejího odchodu je kolmý k ose čípku.

Souhrn:

Nejlepších výsledků drsnosti je dosaženo při posuvové rychlosti 384 mm/min. Nejhorších je dosaženo při 256 mm/min, kde se tři náměry pohybují těsně nad hranou požadované drsnosti (tabulka 5.10). Postupným zvyšováním posuvové rychlosti došlo k úbytku množství vytrhaných částí materiálu.

VBD	Posuvová rychlost [mm/min]	Drsnost Ra [μm]			Drsnost Rz		
		Horní	Střed	Spodní	Horní	Střed	Spodní
1D 2D	120	0,699	0,768	0,677	4,2584	4,3335	4,3385
1D 2D_1	120	0,703	0,615	0,748	4,8683	3,9445	4,6592
1D 2D	256	0,764	0,802	0,73	4,9746	5,2467	4,6161
1D 2D_1	256	0,828	0,802	0,788	4,9239	4,4869	4,7449
1D 2D	384	0,555	0,576	0,537	3,9259	4,576	3,7296
1D 2D_1	384	0,569	0,577	0,531	3,5621	4,0401	3,3079

Tabulka 5.10: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařeči typu D

5.2.3.5 Vyhodnocení VBD s utvařeči typu E

Posuvová rychlost $v_f=120$ [mm/min]

Kvalita povrchu čípku je nevyhovující, plná nerovností a drsnost je již od pohledu nevyhovující (obr. č. 5.17). Změřená drsnost je v rozmezí $Ra=1,25-1,65 \mu\text{m}$, což výrazně převyšuje požadovanou drsnost.



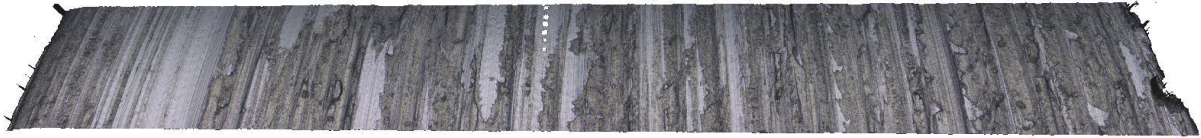
Obrázek č. 5.17: Scan povrchu čípku pro utvařeč E a $v_f=120$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
Tříska se mírně stáčí a je výrazně deformována (shrnuje se). Odchod je směrem do středu nástroje.
- Střední část čípku
Ve střední části je průběh stáčení třísky stejný jako v horní části, ale nedochází zde k deformaci třísky. Odchod je směrem do středu nástroje.
- Spodní část čípku
Z důvodu nedostatečně dlouhého kamerového záznamu není možné tuto část vyhodnotit.

Posuvová rychlost $v_f=256$ [mm/min]

Povrch čípku je plný nerovností, které se střídají s hladkými místy (obr. č. 5.18). Naměřené drsnosti povrchu se pohybují v rozmezí $R_a=0,99-1,6$ μm .



Obrázek č. 5.18: Scan povrchu čípku pro utvařec E a $v_f=256$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
Tříska se mírně stáčí a je výrazně deformována (shrnuje se). Odchod je směrem do středu nástroje.
- Střední část čípku
Tříska se nahrnuje, ale nestáčí a odchází směrem kolmo k ose čípku.
- Spodní část čípku
Průběh tvorby třísky je stejný jako ve střední části čípku.

Posuvová rychlost $v_f=384$ [mm/min]

Povrch čípku je hladký s minimálním množstvím vytrhaných částí ve spodní části (obr. č. 5.19). Naměřené hodnoty drsnosti se pohybují v rozmezí $R_a=0,5-0,65$ μm a to je vyhovující.



Obrázek č. 5.19: Scan povrchu čípku pro utvařec E a $v_f=384$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
Dochází ke stáčení třísky vlivem utvařeče třísek a k odchodu směrem kolmo k ose čípku.

- Střední část čípku

Průběh je totožný jako v horní části čípku.

- Spodní část čípku

Nedochází ke stáčení třísky, ta odchází kolmo k ose čípku a utvařeč na její tvorbu nemá vliv.

Souhrn:

Povrch obrobených čípku je při posuvové rychlosti 120 a 256 mm/min nevyhovující a velmi nekvalitní. Nerovnosti na obrobeném čípku jsou způsobeny dvojnásobnou hloubkou utvařeče oproti předchozím variantám. Drsnost se pohybuje výrazně nad požadovanou hodnotou. Při zvýšení posuvové rychlosti na 384 mm/min je dosaženo kvalitního povrchu s velmi dobrou drsností (tabulka 5.11). Při obrábění VBD s utvařečem typu E nedochází k tvorbě rýh.

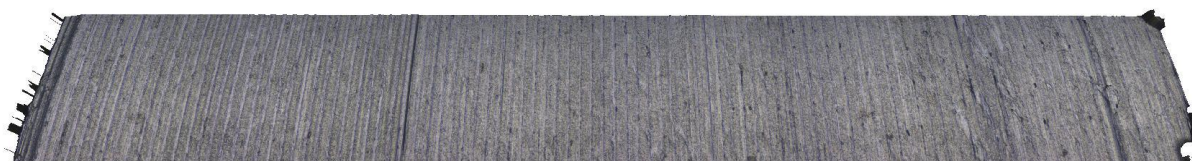
VBD	Posuvová rychlost	Drsnost Ra			Drsnost Rz		
		Horní	Střed	Spodní	Horní	Střed	Spodní
1E 2E	120	1,574	1,456	1,247	8,3498	7,6231	7,4742
1E 2E_1	120	1,4	1,343	1,654	9,0743	8,1923	9,628
1E 2E	256	1,0196	0,988	1,057	6,6559	6,3441	6,4028
1E 2E_1	256	1,596	1,432	1,407	9,9162	7,7466	8,4278
1E 2E	384	0,519	0,515	0,5	3,0981	3,965	3,8936
1E 2E_1	384	0,647	0,61	0,574	4,6043	4,4543	4,2109

Tabulka 5.11: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařeči typu E

5.2.3.6 Vyhodnocení VBD s utvařeči typu F

Posuvová rychlost $v_f=120$ [mm/min]

Povrch čípku je kvalitní a hladký. V první třetině jsou viditelné drobné rýhy, které nemají výrazný vliv na zhoršení drsnosti (obr. č. 5.20). Ta se pohybuje v rozmezí $R_a=0,49-0,56$ μm . Tyto hodnoty jsou vyhovující.



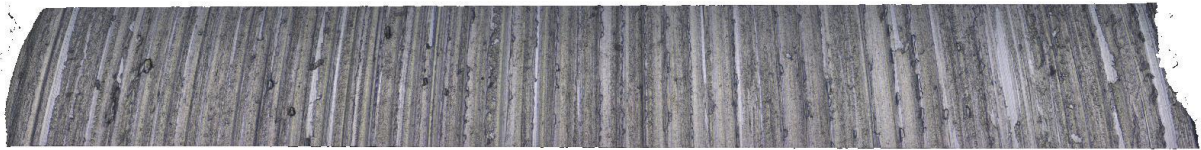
Obrázek č. 5.20: Scan povrchu čípku pro utvařeč F a $v_f=120$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
Dochází zde ke stáčení třísky vlivem utvařeče a odchod je směrem kolmo k ose čípku.
- Střední část čípku
Průběh je totožný jako v horní části čípku.
- Spodní část čípku
Z důvodu nedostatečně dlouhého kamerového záznamu není možné tuto část vyhodnotit.

Posuvová rychlost $v_f=256$ [mm/min]

Povrch čípku není hladký, je plný nerovností. Nepochází zde k vytrhávání částí materiálu (obr. č. 5.21). Naměřené hodnoty drsnosti se pohybují v rozmezí $R_a=0,8-0,93 \mu\text{m}$, což je mírně nad požadovanou hodnotou.



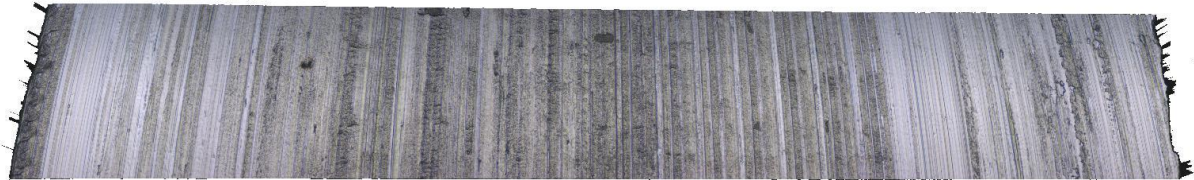
Obrázek č. 5.21: Scan povrchu čípku pro utvařeč F a $v_f=256$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
Dochází zde k velmi malému stáčení třísky vlivem utvařeče. Tříska odchází do středu nástroje, kde se hromadí a vytváří chumel.
- Střední část čípku
Průběh je totožný jako v horní části čípku.
- Spodní část čípku
Tříska odchází kolmo k ose čípku, nestáčí se a dochází k výrazné deformaci (nahrnuje se).

Posuvová rychlost $v_f=384$ [mm/min]

Povrch obrobeného čípku je hladký, bez výraznějších rýh a bez vytrhaných částí materiálu. Opticky se zdá, že střední část čípku má zhoršenou drsnost oproti horní a spodní části (obr. č. 5.22), ale měření ukazuje, že tomu tak není. Drsnost se pohybuje v rozsahu $R_a=0,5-0,56 \mu\text{m}$, Tyto hodnoty splňují požadovanou drsnost povrchu.



Obrázek č. 5.22: Scan povrchu čípku pro utvařeč F a $v_f=384$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
Dochází zde k výraznému stáčení třísky, která zůstává před VBD a hromadí se zde.
- Střední část čípku
Průběh je totožný jako v horní části čípku.
- Spodní část čípku
Ve spodní části se tříška odděluje a stáčí se totožně jako v horní části čípku. Průběh se opakuje.

Souhrn:

Nejhorších výsledků kvality povrchu je dosaženo při obrábění posuvovou rychlostí 256 mm/min, kdy je drsnost nevyhovující. Přestože je utvařeč typu F také dvojnásobně hluboký (oproti utvařečům typu A-D), jako utvařeč typu E, tak drsnost a kvalita povrchu při obrábění posuvovou rychlostí 120 mm/min je velmi dobrá. Dobrých výsledků je také dosaženo při posuvové rychlosti 384 mm/min (tabulka 5.12).

VBD	Posuvová rychlost	Drsnost Ra			Drsnost Rz		
		Horní	Střed	Spodní	Horní	Střed	Spodní
1F 2F	120	0,539	0,556	0,534	3,6928	3,7097	3,6995
1F 2F_1	120	0,485	0,532	0,541	3,5266	3,3071	3,8
1F 2F	256	0,93	0,859	0,837	5,6827	6,1743	5,7039
1F 2F_1	256	0,876	0,885	0,807	5,7582	5,3285	4,7483
1F 2F	384	0,501	0,535	0,55	3,1886	3,4829	3,9381
1F 2F_1	384	0,522	0,555	0,515	3,1974	3,926	3,7849

Tabulka 5.12: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařeči typu F

5.2.4 Závěr

Testy se ukázal významný vliv posuvové rychlosti na kvalitu obrobku. Zvýšením posuvové rychlosti bylo dosaženo snížení počtu vytrhaných částí materiálu obrobku a zlepšení kvality povrchu. Nedošlo k tomu pokaždé, při obrábění VBD s utvařeči typu E, D a F byla drsnost horší při posuvové rychlosti 256 mm/min než při 120 mm/min. Pro posuvovou rychlost 384 mm/min bylo vždy dosaženo nejlepších výsledků kvality povrchu.

U VBD s utvařeči typu E a F (dvojnásobná hloubka utvařečem třísek) bylo dosaženo horších výsledků při nižších posuvových rychlostech než u zbylých typů utvařečů. Při zvýšení posuvové rychlosti na hodnotu 384 mm/min došlo k velmi výraznému zlepšení (především utvařeč typu E).

Odchod třísky při obrábění byl ve většině případů směrem do středu nástroje, kde docházelo k hromadění třísky a bránění přirozenému stáčení. To je způsobeno tvarem utvařeče. Hlavní příčinou je zadní strana, která je nevhodně natočená a způsobuje odchod třísky nepříznivým směrem.

Problémem byl nerovnoměrný úběr páru VBD, kterým byl osazen nástroj. Ve většině případů odebírala jedna VBD většinu materiálu, zatímco druhá neodebírala nic nebo minimální množství. Opatření VBD nebylo rovnoměrné. Výsledné drsnosti byly většinou v požadované toleranci. Častým jevem byl minimální úběr jedné z VBD, která povrch mírně uhlazovala a zlepšila výslednou drsnost.

VBD se všemi variantami utvařečů v testech uspěly a při posuvové rychlosti 384 mm/min splnily požadovanou drsnost povrchu čípku.

5.3 Experiment

V lednu roku 2016 bylo provedeno testování VBD s nově navrženými utvařeči třísek. Z pre-experimentu č. 1 byla zachována ploška wiper a geometrie utvařečů byla pozměněna oproti pre-experimentu č. 2 (viz kapitola 3.3 - zvětšení utvařeče při zachování hloubky a změna natočení zadní stěny). Z důvodu nerovnoměrného úběru páru VBD bylo zvoleno obrábění jednou VBD při snížení posuvové rychlosti na polovinu. Experiment byl proveden v dílenské laboratoři VTP na frézovacím stroji DMU 65 monoblock od firmy DMG MORI.

5.3.1 Podmínky experimentu

Nástroj – hrubovací: Speciální nástroj firmy HOFMEISTER dle OB06188/1.

Nástroj - dokončovací: Speciální nástroj firmy HOFMEISTER dle OB06189/1 osazený v lůžku č. 1 VBD trojúhelníkového tvar. Destičky jsou povlakovány tenkou vrstvou TripleCoating Cr ve firmě SHM Šumperk. Na výměnných břitových destičkách je provedena úprava jednoho břitu tak, aby měl rádius $R=1\text{mm}$. Pomocí laseru je na břitu vyrobena ploška wiper. Na všech VBD provedena úprava na čele v podobě utvařečů třísek (viz kapitola 3.2). Pro testování byly využity VBD: 7A, 8A, 8B, 9A, 10A. Číselné označení 7-10 značí druh utvařeče.

Obrobek: Obrobkem je tyč $28 \times 28 \times 173\text{ mm}$ z materiálu W.Nr.1.4329+QT (180HB) a tyč čtvercového průřezu o rozměrech $28 \times 28 \times 180\text{ mm}$ z materiálu W.Nr.1.4923+QT (230HB).

Stroj: 5-osé frézovací centrum DMU 65 monoblock od firmy DMG MORI – upínání HSK A63. Upnutí nástroje bylo provedeno mechanickým polygonním upínačem TRIBOS od firmy SCHUNK o průměru 32 mm. Obrobek byl upnut ve svěráku uchyceném ke stolu stroje.

Příslušenství: Vysokorychlostní kamera Fastcam SA-X2 RV.

Řezné podmínky:

Řezné podmínky		
	Hrubování	Dokončování
Otáčky - n	2750 [ot/min]	3200 [ot/min]
Posuvová rychlost - v_f	60 [mm/min]	128 a 192 [mm/min]
Chlazení	Bez chlazení - z důvodu následného natáčení rychlokamerou	Bez chlazení - z důvodu natáčení rychlokamerou

Tabulka 5.13: Řezné podmínky experimentu

5.3.2 Průběh experiment

Před testováním VBD s utvařeči byl proveden hrubovací proces a kontrola rozměrů čípku (viz kapitola 5.2.2).

Testování dokončovacích VBD s utvařeči třisek bylo rozděleno podle řezných podmínek a obráběného materiálu. Nástroj byl z důvodu nerovnoměrného úběru VBD osazen pouze jednou výměnnou břitovou destičkou. Jako první bylo provedeno obrábění materiálu W.Nr. 1.4329+QT při nastavení posuvové rychlosti na hodnotu 192 mm/min. Při zachování této posuvové rychlosti byly VBD s utvařeči typu 7-10 v držáku postupně vyměněny. Válcová plocha čípku byla obrobena v délce 5,4 mm jako při hrubování. Po otestování všech variant VBD, byla nastavena posuvová rychlost na hodnotu 128 mm/min a proces byl zopakován.

Dokončování bylo zaznamenáno vysokorychlostní kamerou FastCam SA-X2 RV (obr. č. 5.3). Průběh záznamu je obdobný jako v kapitole 5.2.2. Z důvodu nedostatečně dlouhého záznamu při obrábění nižší posuvovou rychlostí byl snížen počet snímků za vteřinu z 81 000 na 40 000. Tím bylo dosaženo prodloužení záznamu a zachycení celého procesu obrábění.

Z důvodu zaznamenávání obrazu dokončovací operace vysokorychlostní kamerou bylo provedeno hrubování i dokončování bez chlazení emulzí (za sucha).

Čípek byl po dokončování odříznut, naskenován na přístroji Alicona, kde byla změřena i drsnost povrchu.

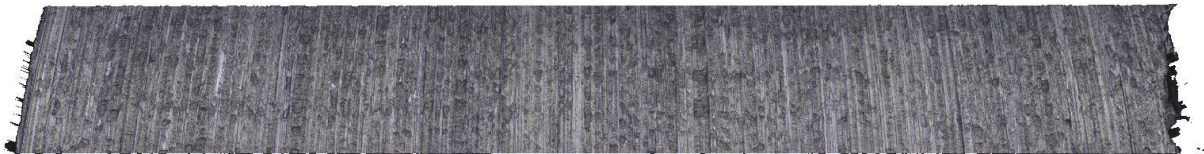
5.3.3 Vyhodnocení experimentu - Obrábění materiálu W.Nr.1.4329+QT

Výsledky experimentu jsou vyhodnocovány z vysokorychlostních kamerových záznamů. Drsnost povrchu čípku je měřena pomocí optického mikroskopu ve třech řezech rovnoběžně s osou čípku.

5.3.3.1 Vyhodnocení VBD s utvařeči typu 7

Posuvová rychlost $v_f=128$ [mm/min]

Povrch čípku je bez výrazných nerovností, po celém povrchu jsou rovnoměrně rozprostřené vytrhané části materiálu (obr. č. 5.23). Naměřená drsnost se pohybuje v rozmezí $R_a=0,63-0,64$ μm .



Obrázek č. 5.23: Scan povrchu čípku pro utvařeč- 7A a $v_f=128$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku

Dochází k výraznému stáčení třísky, která odchází směrem do středu nástroje.

- Střední část čípku

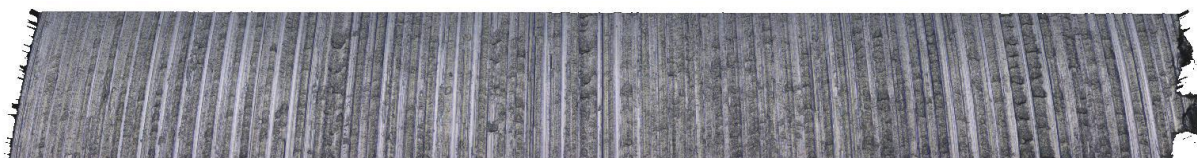
Stáčení třísky není tak výrazné. Dlouhá neoddělené třísky se vlivem odstředivé síly při otáčení odtahuje za utvařeč a není umožněno přirozené stáčení třísky vlivem.

- Spodní část čípku

Z důvodu nedostatečně dlouhého kamerového záznamu není možné tuto část vyhodnotit.

Posuvová rychlost $v_f=192$ [mm/min]

Na povrchu čípku jsou viditelné výrazné rýhy. Vytrhané části materiálu jsou větší než při obrábění posuvovou rychlostí 128 mm/min a jsou především na konci čípku (obr. č. 5.24). Změřená drsnost se pohybuje v rozmezí $R_a=0,75-0,86$ μm . Dvě ze tří změřených hodnot jsou nevyhovující.



Obrázek č. 5.24: Scan povrchu čípku pro utvařeč 7A a $v_f=192$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
Dochází k výraznému stáčení třísky a k požadovanému odchodu směrem od čípku (kolmo k ose).
- Střední část čípku
Ve střední části nedochází ke stáčení třísky, odchod je kolmo k ose čípku.
- Spodní část čípku
Dochází ke stáčení třísky a k odchodu kolmo k ose čípku. Na úplném konci čípku se opět nestáčí.

V celém povrchu odebírá ploška wiper nechtěnou třísku a tvoří v povrchu čípku rýhy.

Souhrn:

Lepších výsledků je dosaženo při obrábění posuvovou rychlostí 128 mm/min, kdy je drsnost vyhovující. Při posuvové rychlosti 192 mm/min se projevila úprava geometrie utvařeče, kdy je dosaženo požadovaného odchodu třísky směrem kolmo k ose čípku. Drsnost je nevyhovující (tabulka 5.14) a to z důvodu nechtěného obrábění ploškou wiper, která vytváří v povrchu rýhy.

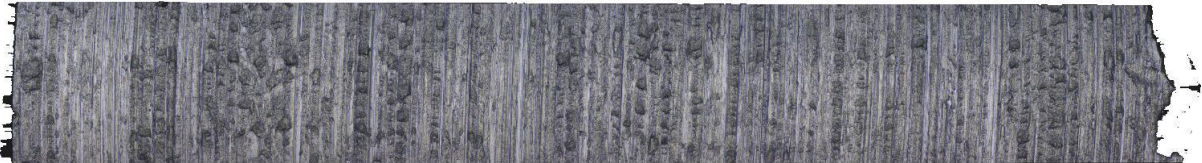
VBD	Posuvová rychlost	Drsnost R_a			Drsnost R_z		
		Horní	Střed	Spodní	Horní	Střed	Spodní
7A	128	0,626	0,644	0,626	4,3661	4,3807	4,3269
7A	192	0,863	0,827	0,749	5,9603	5,288	4,8844

Tabulka 5.14: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařečem typu 7

5.3.3.2 Vyhodnocení VBD s utvařeči typu 8

Posuvová rychlost $v_f=128$ [mm/min]

Na povrchu čípku je viditelná mírná rýha po celém čípku a výrazné množství vytrhaných částí materiálu a to zejména v první třetině, potom se střídají místa s vytrhanými částmi a nevytrhanými (obr. č. 5.25). Naměřená drsnost se pohybuje v rozmezí $R_a=0,77-0,91$ μm . Jedna ze tří naměřených hodnot je nevyhovující.



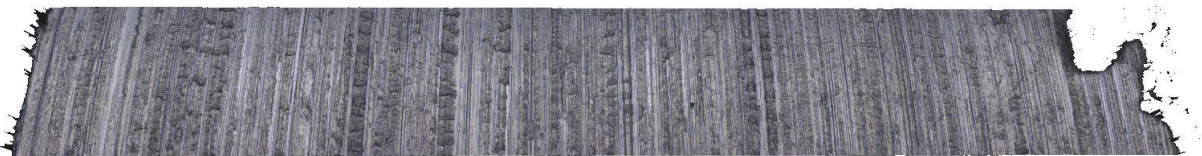
Obrázek č. 5.25: Scan povrchu čípku pro utvařeč 8A a $v_f=128$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
Dochází k výraznému stáčení třísky a k požadovanému odchodu směrem od čípku (kolmo k ose).
- Střední část čípku
Ve střední části nedochází ke stáčení třísky, odchod je kolmo k ose čípku.
- Spodní část čípku
Dochází zde k výraznému stáčení třísky a odchodu kolmo k ose čípku.

Posuvová rychlost $v_f=192$ [mm/min]

V porovnání s obráběním posuvovou rychlostí je na povrchu méně vytrhaných částí materiálu. V povrchu jsou drobné rýhy (obr. č. 5.26). Změřená drsnost se pohybuje v rozmezí $R_a=0,6-0,66$ μm . A je vyhovující.



Obrázek č. 5.26: Scan povrchu čípku pro utvařeč 8A a $v_f=192$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
Dochází k výraznému stáčení třísky a k požadovanému odchodu směrem od čípku (kolmo k ose).
- Střední část čípku
Průběh je stejný jako v horní části čípku.
- Spodní část čípku
Průběh je stejný jako v horní části čípku.

Souhrn:

Lepších výsledků je dosaženo při obrábění posuvovou rychlostí 192 mm/min, povrch je méně vytrhaný. Rýhy jsou stejně výrazné a jsou pravděpodobně způsobeny ploškou wiper (z nahrávky není úběr nechtěné třísky patrný).

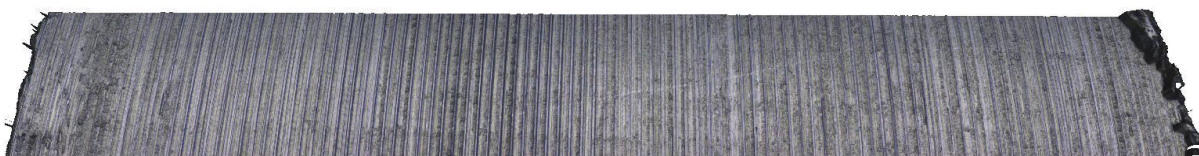
VBD	Posuvová rychlost	Drsnost Ra			Drsnost Rz		
		Horní	Střed	Spodní	Horní	Střed	Spodní
8A	128	0,913	0,796	0,762	4,8914	5,1535	5,0805
8A	192	0,601	0,658	0,624	4,0624	4,8353	4,1643

Tabulka 5.15: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařečem typu 8

5.3.3.3 Vyhodnocení VBD s utvařeči typu 9

Posuvová rychlost $v_f=128$ [mm/min]

Povrch čípku je bez vytrhaných částí materiálu s výraznými rýhami ve střední části (obr. č. 5.27). Naměřená drsnost se pohybuje v rozmezí $Ra=0,58-0,6 \mu\text{m}$ a je vyhovující.



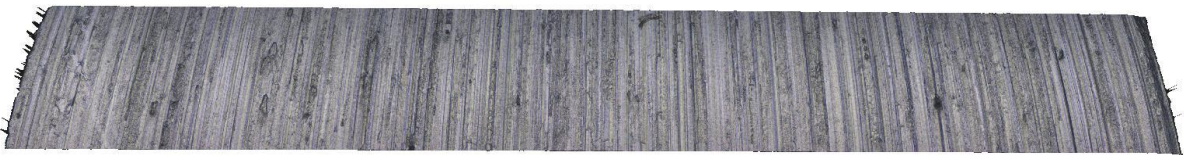
Obrázek č. 5.27: Scan povrchu čípku pro utvařeč 9A a $v_f=128$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
Dochází k výraznému stáčení třísky a k odchodu třísky do středu nástroje
- Střední část čípku
Ve střední části nedochází k tak výraznému stáčení třísky. Odchod je do středu nástroje
- Spodní část čípku
Z důvodu nedostatečně dlouhého kamerového záznamu není možné tuto část vyhodnotit.

Posuvová rychlost $v_f=192$ [mm/min]

Povrch čípku je hladký bez vytrhaných částí materiálu a bez výraznějších rýh (obr. č. 5.28). Naměřená drsnost se pohybuje v rozmezí $R_a=0,65-0,66$ μm a je vyhovující.



Obrázek č. 5.28: Scan povrchu čípku pro utvařec 9A a $v_f=192$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
Dochází k výraznému stáčení třísky a k požadovanému odchodu směrem od čípku (kolmo k ose).
- Střední část čípku
Ve střední části nedochází k tak výraznému stáčení třísky. Odchod je kolmo k ose čípku.
- Spodní část čípku
Průběh je stejný jako ve střední části čípku.

Souhrn:

Nepatrně lepších výsledků drsnosti povrchu bylo dosaženo při obrábění posuvovou rychlostí 128 mm/min i když se opticky jeví tento povrch horší (tabulka 5.16). Mírné rýhy jsou pravděpodobně způsobeny ploškou wiper (z nahrávky není úběr nechtěné třísky patrný).

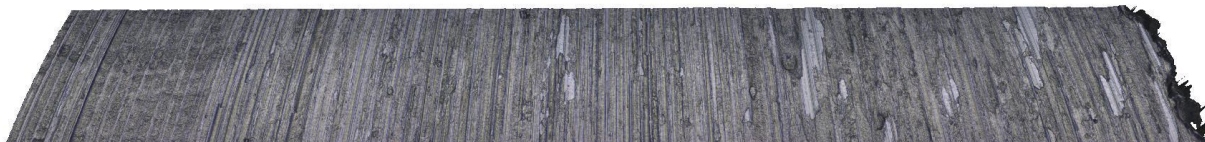
VBD	Posuvová rychlost	Drsnost Ra			Drsnost Rz		
		Horní	Střed	Spodní	Horní	Střed	Spodní
9A	128	0,604	0,592	0,575	3,9234	4,1513	3,7159
9A	192	0,655	0,662	0,648	4,4135	4,3015	4,8141

Tabulka 5.16: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařečem typu 9

5.3.3.4 Vyhodnocení VBD s utvařeči typu 10

Posuvová rychlost $v_f=128$ [mm/min]

Na povrchu čípku jsou v první části výrazné rýhy. V druhé polovině není povrch hladký, je plný výrazných nerovností (obr. č. 5.29). Naměřené hodnoty drsnosti se pohybují v rozmezí $R_a=0,96-1,1 \mu\text{m}$ a jsou nevyhovující.



Obrázek č. 5.29: Scan povrchu čípku pro utvařeč 10A a $v_f=128$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku

V horní části dochází k výraznému stáčení třísky a odchodu směrem do středu nástroje.

- Střední část čípku

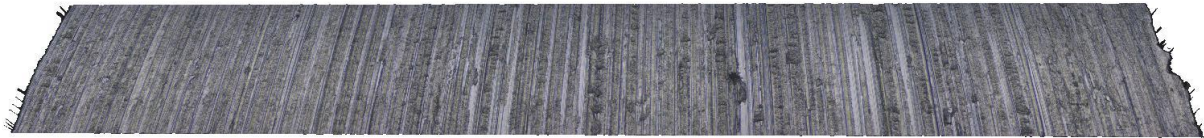
Ve střední části nedochází ke stáčení třísky vlivem nahromaděné třísky ve středu nástroje. Odchod je kolmo k ose čípku.

- Spodní část čípku

Průběh je stejný jako ve střední části čípku.

Posuvová rychlost $v_f=192$ [mm/min]

Povrch čípku je hladší než při obrábění při posuvové rychlosti 128 mm/min. Lokálně se vyskytují vytrhané části materiálu (obr. č. 5.30). Naměřená drsnost se pohybuje v rozmezí $R_a=0,64-0,74$ μm a je vyhovující.



Obrázek č. 5.30: Scan povrchu čípku pro utvařec 10A a $v_f=192$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
V horní části dochází k výraznému stáčení třísky a odchodu kolmo k ose čípku
- Střední část čípku
Ve střední části je průběh stejný jako v horní.
- Spodní část čípku
Tříska se nestáčí a odchází přes utvařec kolmo k ose čípku.

Souhrn:

Výrazně lepších výsledků drsnosti je dosaženo při obrábění posuvovou rychlostí 192 mm/min, které jsou vyhovující (tabulka 5.17). Zvýšení posuvové rychlosti se projevilo zvýšením počtu vytrhaných částí materiálu, ale snížením množství a velikosti nerovností. Při posuvové rychlosti 128 mm/min jsou v povrchu součásti výraznější rýhy, způsobené pravděpodobně ploškou wiper.

VBD	Posuvová rychlost	Drsnost R_a			Drsnost R_z		
		Horní	Střed	Spodní	Horní	Střed	Spodní
10A	128	1,106	0,964	0,966	7,396	6,0952	6,566
10A	192	0,736	0,706	0,64	4,1366	4,0825	4,1656

Tabulka 5.17: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařecem typu 10

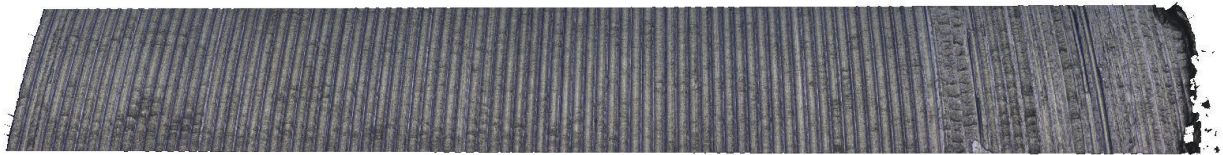
5.3.4 Vyhodnocení experimentu - Obrábění materiálu W.Nr.1.4923+QT

Výsledky experimentu jsou vyhodnocovány z vysokorychlostních kamerových záznamů. Drsnost povrchu čípku je měřena pomocí optického mikroskopu ve třech řezech rovnoběžně s osou čípku.

5.3.4.1 Vyhodnocení VBD s utvařeči typu 7

Posuvová rychlost $v_f=128$ [mm/min]

Na povrchu čípku jsou výrazné rýhy. Vytrhaných částí materiálu je minimum (obr. č. 5.31). Naměřená drsnost se pohybuje v rozmezí $R_a=0,92-0,94 \mu\text{m}$ a je nevyhovující.



Obrázek č. 5.31: Scan povrchu čípku pro utvařeč 7A a $v_f=128$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku

V horní části dochází k výraznému stáčení třísky a odchodu kolmo k ose čípku.

- Střední část čípku

Ve střední části je stáčení méně výrazné a tříška odchází do středu nástroje. Je zde výrazný, nechtěný úběr třísky ploškou wiper.

- Spodní část čípku

Průběh je stejný jako ve střední části čípku.

Posuvová rychlost $v_f=128$ [mm/min] – opakování

Na povrchu čípku jsou rýhy, ale méně výrazné než při prvním obrábění. Povrch je bez vytrhaných částí materiálu (obr. č. 5.32). Naměřené hodnoty drsnosti jsou v rozmezí $R_a=0,53-0,59 \mu\text{m}$ a je vyhovující.



Obrázek č. 5.32: Scan povrchu čípku pro utvařeč 7A a $v_f=128$ [mm/min] – opakování

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku

V horní části dochází k výraznému stáčení třísky a do středu nástroje.

- Střední část čípku

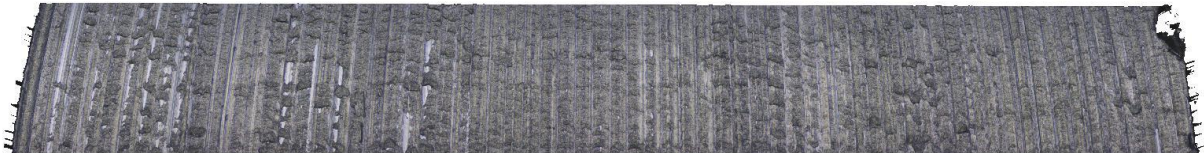
Ve střední části je výrazné stáčení třísky a odchod kolmo k ose čípku

- Spodní část čípku

Stejný průběh jako ve střední části.

Posuvová rychlost $v_f=192$ [mm/min]

Povrch čípku je bez výrazných rýh. Vytrhané části jsou výrazné v první a třetí čtvrtině povrchu (obr. č. 5.33). Naměřená hodnota drsnosti je v rozmezí $R_a=0,55-0,56$ μm a je vyhovující.



Obrázek č. 5.33: Scan povrchu čípku pro utvařeč 7A a $v_f=192$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku

V horní části dochází k výraznému stáčení třísky a do středu nástroje.

- Střední část čípku

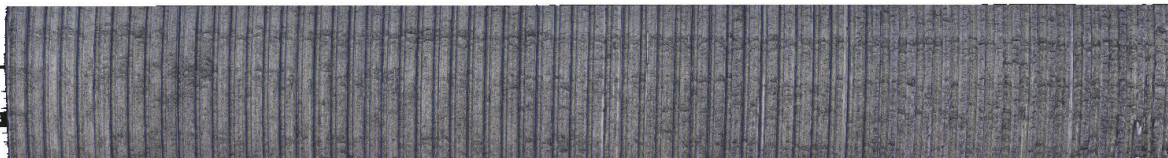
Ve střední nedochází ke stáčení třísky vlivem hromadění ve středu nástroje.

- Spodní část čípku

Nejprve se tříška výrazně stáčí. Na úplném konci čípku opět nedochází ke stáčení. V obou případech tříška odchází kolmo k ose čípku.

Posuvová rychlost $v_f=192$ [mm/min] – opakování

Povrch čípku je bez vytrhaných částí materiálu s výraznými rýhami (obr. č. 5.34).



Obrázek č. 5.34: Scan povrchu čípku pro utvařeč 7A a $v_f=192$ [mm/min] – opakování

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
V horní části dochází k výraznému stáčení třísky a odchodu do středu nástroje.
- Střední část čípku
Ve střední nedochází ke stáčení třísky.
- Spodní část čípku
Tříska je výrazně stáčena a odchází kolmo k ose čípku.

Souhrn:

Lepších výsledků je dosaženo při posuvové rychlosti 192 mm/min (tabulka 5.18). Při obou posuvových rychlostech se vytváří rýhy v povrchu čípku, které jsou způsobené ploškou wiper.

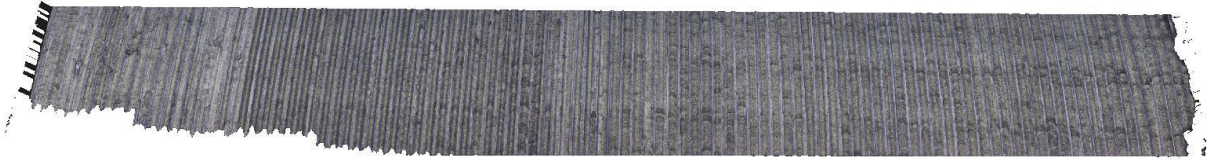
VBD	Posuvová rychlost	Drsnost Ra			Drsnost Rz		
		Horní	Střed	Spodní	Horní	Střed	Spodní
7A_T	128	0,932	0,94	0,916	4,3853	4,4065	4,4215
7A_T_opakování	128	0,534	0,561	0,59	3,409	3,594	3,5123
7A_T	192	0,554	0,561	0,553	3,4916	4,142	3,8418
7A_T_opakování	192	0,706	0,679	0,69	4,1015	3,8197	3,9399

Tabulka 5.18: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařečem typu 7

5.3.4.2 Vyhodnocení VBD s utvařeči typu 8

Posuvová rychlost $v_f=128$ [mm/min]

V první třetině čípku jsou výrazné rýhy. Vytrhaných částí materiálu je minimum (obr. č. 5.35). Naměřená hodnota drsnosti je v rozmezí $R_a=0,7-0,73$ μm a je vyhovující.



Obrázek č. 5.35: Scan povrchu čípku pro utvařeč 8A a $v_f=128$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku

V horní části dochází k výraznému stáčení třísky a odchodu kolmo k ose čípku.

- Střední část čípku

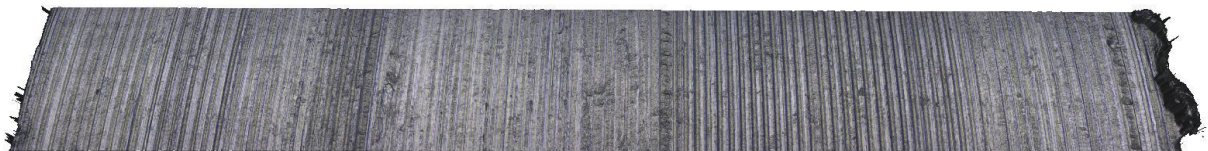
Ve střední nedochází ke stáčení třísky.

- Spodní část čípku

Tříska je výrazně stáčena a odchází kolmo k ose čípku.

Posuvová rychlost $v_f=128$ [mm/min] – opakování

Na povrchu čípku nejsou vytrhané části materiálu, ale ve druhé polovině jsou výrazné rýhy (obr. č. 5.36). Naměřená hodnota drsnosti se pohybuje v rozmezí $R_a=0,69-0,75$ μm a je vyhovující.



Obrázek č. 5.36: Scan povrchu čípku pro utvařeč 8A a $v_f=128$ [mm/min] – opakování

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku

V horní části dochází k výraznému stáčení třísky a odchodu do středu nástroje.

- Střední část čípku

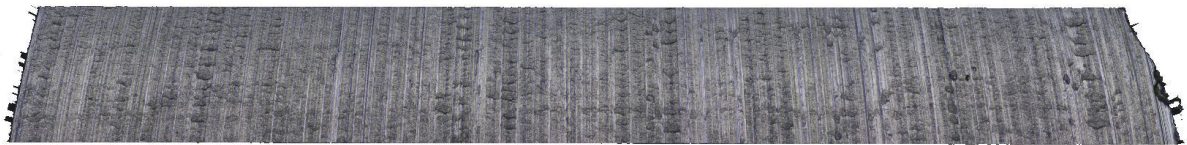
Ve střední nedochází ke stáčení třísky, odchod je směrem do středu nástroje.

- Spodní část čípku

Nedochází ke stáčení třísky, ta odchází kolmo k ose čípku.

Posuvová rychlost $v_f=192$ [mm/min]

Na povrchu čípku je minimální množství vytrhaných částí materiálu a rýhy jsou minimální (obr. č. 5.37). Naměřená hodnota drsnosti je v rozmezí $R_a=0,57-0,65$ μm a je vyhovující.



Obrázek č. 5.37: Scan povrchu čípku pro utvařeč 8A a $v_f=192$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku

V horní části dochází k výraznému stáčení třísky a odchodu kolmo k ose čípku.

- Střední část čípku

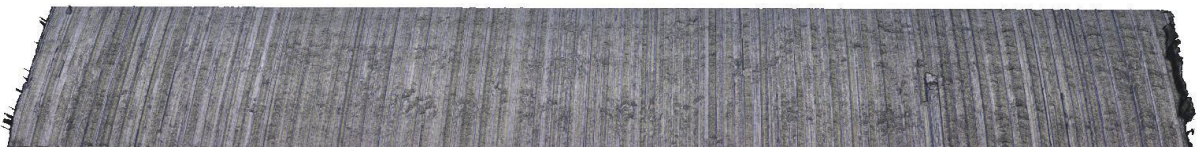
Stáčení třísky je méně výrazné. Tříska odchází kolmo k ose čípku.

- Spodní část čípku

Nedochází ke stáčení třísky, ta odchází mírně do středu nástroje.

Posuvová rychlost $v_f=192$ [mm/min] – opakování

Na povrchu čípku jsou minimální rýhy. Ve třetí třetině čípku je povrch mírně vytrhaný (obr. č. 5.38). Naměřená hodnota drsnosti se pohybuje v rozmezí $R_a=0,57-0,63$ μm a je vyhovující.



Obrázek č. 5.38: Scan povrchu čípku pro utvařeč 8A a $v_f=192$ [mm/min] – opakování

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
V horní části dochází k výraznému stáčení třísky a odchodu kolmo k ose čípku.
- Střední část čípku
Stejný průběh jako v horní části.
- Spodní část čípku
Nedochází ke stáčení třísky, ta odchází kolmo k ose čípku.

Posuvová rychlost $v_f=192$ [mm/min] – 2. opakování

Na povrchu čípku jsou mírné rýhy a ve střední části je povrch mírně vytrhaný (obr. č. 5.39). Naměřené hodnoty drsnosti se pohybují v rozmezí $R_a=0,67-0,7$ μm a je vyhovující.



Obrázek č. 5.39: Scan povrchu čípku pro utvařeč 8A a $v_f=192$ [mm/min] – 2. opakování

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
V horní části dochází k výraznému stáčení třísky a odchodu kolmo k ose čípku.
- Střední část čípku
Stejný průběh jako v horní části.
- Spodní část čípku
Nedochází ke stáčení třísky, ta odchází kolmo k ose čípku.

Posuvová rychlost $v_f=192$ [mm/min] – 3. opakování

Na povrchu čípku jsou mírné rýhy a výrazné vytrhané části materiálu (obr. č. 5.40). Naměřené hodnoty drsnosti jsou v rozmezí $R_a=0,73-0,81$ a jsou na hranici tolerance.



Obrázek č. 5.40: Scan povrchu čípku pro utvařeč 8A a $v_f=192$ [mm/min] – 3. opakování

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
V horní části dochází k výraznému stáčení třísky a odchodu do středu nástroje.
- Střední část čípku
Tříska se výrazně stáčí a odchází kolmo k ose čípku.
- Spodní část čípku
Stejný průběh jako ve střední části čípku.

Souhrn:

Při posuvové rychlosti 128 mm/min jsou na povrchu čípku výrazné rýhy způsobené nechtěným obráběním ploškou wiper. Při zvýšení posuvové rychlosti na hodnotu 192 mm/min dojde ke zmenšení rýh, ale ke zvýšení počtu vytrhaných částí materiálu. Při obrábění touto posuvovou rychlostí byl průběh odchodu třísky optimální a povrch se jevil opticky v pořádku, proto bylo obrábění zopakováno. Drsnost se pohybovala v přijatelných hodnotách (tabulka 5.19) a tříska ve třech případech obrábění odcházela kolmo k ose čípku (vhodný odchod). Při třetím opakování byl odchod třísky nevhodný.

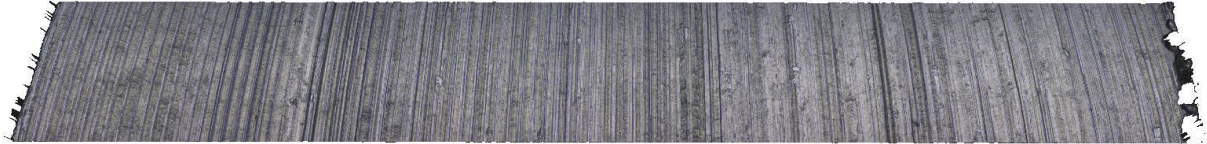
VBD	Posuvová rychlost	Drsnost R_a			Drsnost R_z		
		Horní	Střed	Spodní	Horní	Střed	Spodní
8A	128	0,731	0,728	0,703	4,2089	3,977	4,1578
8A_opakování	128	0,685	0,746	0,722	4,3657	4,6645	4,6822
8A	192	0,565	0,596	0,65	4,114	4,1043	4,7205
8A_opakování	192	0,573	0,617	0,627	4,0413	4,2457	4,4101
8A_2.opakování	192	0,666	0,668	0,703	3,8234	4,0558	4,4424
8A_3.opakování	192	0,81	0,729	0,753	5,2284	4,2438	4,4995

Tabulka 5.19: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařečem typu 8

5.3.4.3 Vyhodnocení VBD s utvařeči typu 9

Posuvová rychlost $v_f=128$ [mm/min]

Povrch čípku je hladký bez vytrhaných částí materiálu, v první třetině s výraznými rýhami (obr. č. 5.41). Naměřená hodnota drsnosti je v rozmezí $Ra=0,71-0,77 \mu\text{m}$ a je vyhovující.



Obrázek č. 5.41: Scan povrchu čípku pro utvařeč 9A a $v_f=128$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku

V horní části dochází ke stáčení třísky a odchodu do středu nástroje.

- Střední část čípku

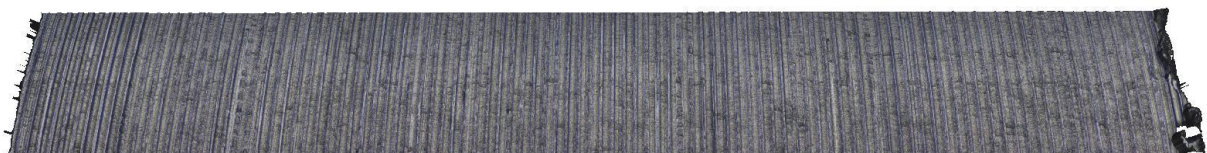
Tříska se nestáčí vlivem jejího hromadění ve středu nástroje.

- Spodní část čípku

Tříska se mírně stáčí a odchází kolmo k ose čípku.

Posuvová rychlost $v_f=128$ [mm/min] - opakování

Povrch čípku je bez vytrhaných částí materiálu s mírnými rýhami v celém rozsahu (obr. č. 5.42). Naměřená drsnost se pohybuje v rozmezí $Ra=0,72-0,79 \mu\text{m}$ a je vyhovující.



Obrázek č. 5.42: Scan povrchu čípku pro utvařeč 9A a $v_f=128$ [mm/min] - opakování

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku

V horní části dochází ke stáčení třísky a odchodu do středu nástroje.

- Střední část čípku

Tříska se nestáčí vlivem jejího hromadění ve středu nástroje.

- Spodní část čípku

Tříška se nestáčí a odchází kolmo k ose čípku.

Posuvová rychlost $v_f=192$ [mm/min]

Povrch čípku je hladký s mírnými rýhami v celém rozsahu, bez vytrhaných částí materiálu (obr. č. 5.43). Naměřená drsnost se pohybuje v rozmezí $R_a=0,54-0,56 \mu\text{m}$ a je vyhovující.



Obrázek č. 5.43: Scan povrchu čípku pro utvařeč 9A a $v_f=192$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku

V horní části dochází ke stáčení třísky a odchodu do středu nástroje.

- Střední část čípku

Dochází k výraznému stáčení třísky a odchodu kolmo k ose čípku.

- Spodní část čípku

Tříška se nestáčí a odchází kolmo k ose čípku.

Posuvová rychlost $v_f=192$ [mm/min] – opakování

Na povrchu čípku jsou místa s vytrhanými částmi materiálu, povrch není tak hladký jako při předchozím obrábění (obr. č. 5.44). Naměřená drsnost se pohybuje v rozmezí $R_a=0,97-0,99 \mu\text{m}$ a je nevhovující.



Obrázek č. 5.44: Scan povrchu čípku pro utvařeč 9A a $v_f=192$ [mm/min] – opakování

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
V horní části dochází ke stáčení třísky a odchodu do středu nástroje.
- Střední část čípku
Nedochází ke stáčení třísky a ta odchází kolmo k ose čípku.
- Spodní část čípku
Tříska se výrazně stáčí a odchází kolmo k ose čípku.

Souhrn:

Při posuvové rychlosti 128 mm/min jsou na povrchu čípku viditelné rýhy, drsnost je ale v požadované toleranci. Zvýšením posuvové rychlosti na 192 mm/min došlo ke zlepšení hodnoty drsnosti, povrch je hladší s mírnými rýhami. Při opakovaném obrábění se zlepšení neopakovalo, povrch není tak hladký a hodnoty drsnosti mírně přesahují povolenou toleranci (tabulka 5.20). Zhoršení oproti původnímu obrábění může být způsobeno opotřebením destičky nebo nečistotou v lůžku VBD.

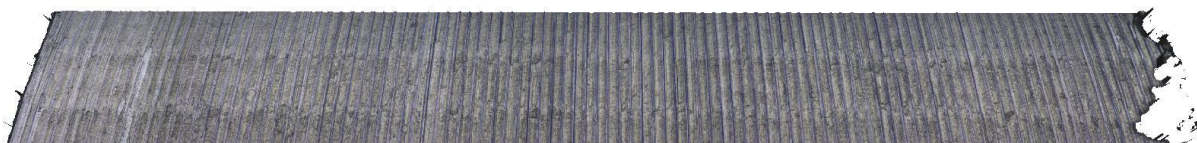
VBD	Posuvová rychlost	Drsnost Ra			Drsnost Rz		
		Horní	Střed	Spodní	Horní	Střed	Spodní
9A	128	0,766	0,714	0,745	5,0776	4,822	5,332
9A_opakování	128	0,789	0,727	0,72	4,325	4,0461	3,901
9A	192	0,543	0,561	0,552	3,4083	3,3473	3,1608
9A_opakování	192	0,993	0,967	0,974	6,0261	5,8578	5,9764

Tabulka 5.20: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařečem typu 9

5.3.4.4 Vyhodnocení VBD s utvařeči typu 10

Posuvová rychlost $v_f=128$ [mm/min]

Povrch čípku je bez vytrhaných částí materiálu s výraznými rýhami (obr. č. 5.45). Naměřená hodnota drsnosti se pohybuje v rozmezí $R_a=0,64-0,69 \mu\text{m}$ a je vyhovující.



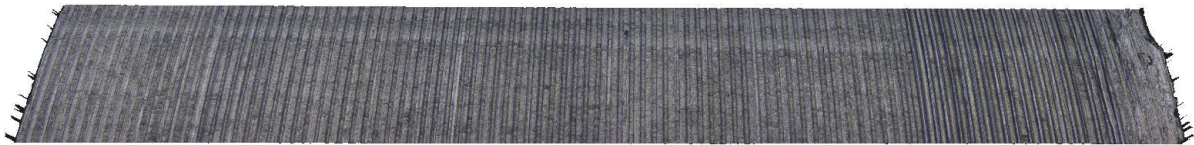
Obrázek č. 5.45: Scan povrchu čípku pro utvařeč 10A a $v_f=128$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
V horní části dochází ke stáčení třísky a odchodu do středu nástroje.
- Střední část čípku
Nedochází ke stáčení třísky a ta odchází kolmo k ose čípku. Ploška wiper výrazně odebírá nechtěnou třísku.
- Spodní část čípku
Průběh je stejný jako ve střední části.

Posuvová rychlost $v_f=128$ [mm/min] – opakování

Povrch součásti je s výraznými rýhami v celém rozsahu, bez vytrhaných částí materiálu (obr. č. 5.46). Naměřená drsnost je v rozmezí $R_a=0,62-0,67$ μm a je vyhovující.



Obrázek č. 5.46: Scan povrchu čípku pro utvařeč 10A a $v_f=128$ [mm/min] – opakování

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
V horní části dochází k mírnému stáčení třísky a odchodu do středu nástroje. Je zde viditelný výrazný, nechtěný úběr ploškou wiper.
- Střední část čípku
Ve střední části se střídá výrazně stáčená tříska s nestáčenou, které odcházejí kolmo k ose čípku. Je zde viditelný výrazný, nechtěný úběr ploškou wiper.
- Spodní část čípku
Průběh je stejný jako ve střední části.

Posuvová rychlost $v_f=192$ [mm/min]

Na povrchu čípku jsou minimální rýhy a mírné množství vytrhaných částí materiálu ve střední části (obr. č. 5.47). Naměřená hodnota drsnosti je v rozmezí $Ra=0,66-0,72 \mu\text{m}$ a je vyhovující.



Obrázek č. 5.47: Scan povrchu čípku pro utvařeč 10A a $v_f=192$ [mm/min]

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
V horní části dochází k výraznému stáčení třísky a odchodu do středu nástroje. Je zde viditelný výrazný, nechtěný úběr ploškou wiper.
- Střední část čípku
Ve střední části dochází ke stáčení třísky a jejímu hromadění před VBD.
- Spodní část čípku
Tříška se nestáčí a odchází kolmo k ose čípku.

Posuvová rychlost $v_f=192$ [mm/min] - opakování

Na povrchu čípku jsou výrazné rýhy v první třetině. Ve třetí třetině není povrch úplně hladký, je mírně potrháný (obr. č. 5.48). Naměřená drsnost se pohybuje v rozmezí $Ra=0,65-0,8 \mu\text{m}$ a je vyhovující.



Obrázek č. 5.48: Scan povrchu čípku pro utvařeč 10A a $v_f=192$ [mm/min] – opakování

Vyhodnocení chování třísky z kamerového záznamu:

- Horní část čípku
V horní části se tříška stáčí a odchází do středu nástroje.

- Střední část čípku

Tříška se stáčí méně výrazně vlivem hromadění ve středu nástroje. Je zde vidět nechtěný úběr ploškou wiper.

- Spodní část čípku

Tříška se nestáčí a odchází před VBD kde se hromadí. Je zde viditelný nechtěný úběr ploškou wiper.

Souhrn:

Zvýšením posuvové rychlosti dojde k mírnému zvýšení vytrhaných částí materiálu, ale sníží se velikost rýh způsobených ploškou wiper. Ke zlepšení hodnot drsnosti ale nedochází (tabulka 5.21).

VBD	Posuvová rychlost	Drsnost Ra			Drsnost Rz		
		Horní	Střed	Spodní	Horní	Střed	Spodní
10A	128	0,688	0,647	0,644	4,3041	3,8264	3,67
10A_opakování	128	0,672	0,647	0,621	3,9084	3,5728	3,4487
10A	192	0,68	0,715	0,657	4,5953	4,5546	4,0365
10A_opakování	192	0,654	0,755	0,799	4,6426	4,8667	5,3098

Tabulka 5.21: Vyhodnocení drsnosti pro VBD s utvařečem typu 10

5.3.5 Závěr

Obrábění materiálu W.Nr.1.4329+QT

Experiment prokázal vliv změny posuvové rychlosti na drsnost povrchu. VBD s utvařeči typu 8 a 10 bylo dosaženo lepších drsností při posuvové rychlosti 192 mm/min. VBD s utvařečem typu 7 byla drsnost při posuvové rychlosti 192 mm/min nevyhovující, při 128 mm/min byla vyhovující a u VBD s utvařečem typu 9 bylo dosaženo obdobných hodnot při změně posuvové rychlosti.

Požadovaného odchodu třísky bylo dosaženo při obrábění VBD s utvařeči typu 8 a 9 při posuvové rychlosti 192 mm/min a VBD s utvařeči typu 7, 8, 9 při posuvové rychlosti 128 mm/min.

Nejlépe se v testech jevila VBD s utvařečem typu 8 při posuvové rychlosti 192 mm/min, kdy hodnota drsnosti byla nejnižší a odchod třísky byl příznivý (kolmo k ose čípku).

Obrábění materiálu W.Nr.1.4923+QT

Experiment neprokázal výrazný vliv změny posuvové rychlosti (ze 128 mm/min na 192 mm/min) na hodnoty drsnosti povrchu. Ty se pohybovali v požadované toleranci, pouze ve dvou případech byla drsnost nevyhovující a to u utvařeče typu 7 při prvním obrábění posuvovou rychlostí 128 mm/min (při opakování byla drsnost vyhovující) a typu 9 při opakovaném obrábění posuvovou rychlostí 192 mm/min. Tyto hodnoty jsou způsoben pravděpodobně nečistotou v lůžku VBD, který způsobila vychýlení VBD a následné obrábění ploškou wiper.

Nejlépe se v testech jevila VBD s utvařečem typu 8. Hodnoty drsnosti byly vyhovující a z kamerového záznamu bylo patrné příznivé chování třísky (odchod kolmo k ose čípku), proto bylo provedeno opakované obrábění a ve třech případech ze čtyř se příznivý odchod třísky potvrdil. Drsnost byla při všech opakování v požadované toleranci.

Změnami v geometrii utvařečů třísek (oproti pre-experimentu č. 2) bylo dosaženo požadovaného odchodu třísky kolmo k ose čípku u VBD s utvařeči typu 7 a 8. VBD s utvařeči typu 9 a 10 dosahovaly příznivého odchodu třísky až ve střední části čípku.

Problémem je ploška wiper, která má příznivý vliv, ale v určitých případech obrábění odebírá nechtěnou třísku, způsobuje rýhy a zhoršuje drsnost povrchu čípku. Pro budoucí použití je vhodné plošku wiper otočit o 1-2° směrem od osy čípku, čímž by mělo být zabráněno nechtěnému úběru materiálu touto ploškou.

6 Technicko-ekonomické vyhodnocení

Technicko-ekonomické porovnání výroby čípku bylo provedeno mezi původní technologií (čelní válcovou frézou) a novou technologií výroby pomocí zahlubovacích nástrojů s VBD. Problémem původní technologie byl dlouhý čas výroby, proto byla porovnána norma času operace kusu a dávky. Výpočet je proveden pro výrobní dávku 500 kusů.

6.1 Výpočet normy času operace - původní technologie výroby čípku

Původní technologie výroby									
Poř. číslo	Popis úkonů	Četnost	t_s [min]	t_{A101} [min]			t_{A31} [min]	t_{B1} [min]	t_{B3} [min]
				t_{A111}	t_{A121}	t_{A131}			
1	Příprava pracoviště, upnutí přípravku pro upínání obrobku, najetí NB	1						35	
2	Upnutí a seřízení hrubovacího nástroje	1						7	
3	Upnutí a seřízení dokončovacího nástroje	1						7	
4	Upnutí obrobku do přípravku	1						1	
5	Výměna nástroje	1	0,17						
6	Hrubovací proces	1	3,5						
7	Výměna nástroje	1	0,17						
8	Dokončovací proces	1	0,75						
9	Výměna nástroje	1	0,17						
10	Kontrola	1		2					
x	Σ složek času		4,76	2	0	0	0	50	0
	Σ času t_{A101}			2			t_{A32}		4,76
	t_{A102} 4%			0,08					
x	t_{A1}			2,08			t_{B1}		50
	t_{A201} %						t_{B201}		
x	$t_{A3} = t_{A31} + t_{A32}$			4,76			t_{B3}		0
	t_A			6,84			t_B		50
	$t_{AC} = t_A \cdot k_C$			7,3872			$t_{BC} = t_B \cdot k_C$		54
Norma času na kus	$N_{ck1} = t_{AC} + t_{BC}/d_v$			7,5					
Norma času dávky	$N_{cd1} = t_{AC} \cdot d_v + t_{BC}$			3747,6					

Tabulka 6.1: Tabulka pro výpočet normy času původní technologie výroby

6.2 Výpočet normy času operace - nová technologie výroby čípku

Strojní časy pro výpočet normy času u nové technologie výroby byly zjištěny pro hrubování a dokončování za podmínek – viz tabulka 6.2:

Řezné podmínky		
	Hrubování	Dokončování
Otáčky - n	2750 [ot/min]	3200 [ot/min]
Posuvová rychlost - v_f	60 [mm/min]	192 [mm/min]

Tabulka 6.2: Řezné podmínky pro výpočet normy času nové technologie výroby

Technologie výroby novými nástroji									
Poř. číslo	Popis úkonů	Četnost	t_s [min]	t_{A101} [min]			t_{A31} [min]	t_{B1} [min]	t_{B3} [min]
				t_{A111}	t_{A121}	t_{A131}			
1	Příprava pracoviště, upnutí přípravku pro upínání obrobku, najetí NB	1						35	
2	Upnutí a seřízení hrubovacího nástroje	1						7	
3	Upnutí a seřízení dokončovacího nástroje	1						7	
4	Upnutí obrobku do přípravku	1						1	
5	Výměna nástroje	1	0,17						
6	Hrubovací proces	1	0,03						
7	Výměna nástroje	1	0,17						
8	Dokončovací proces	1	0,10						
9	Výměna nástroje	1	0,17						
10	Kontrola	1		2					
x	Σ složek času		0,64	2	0	0	0	50	0
	Σ času t_{A101}			2			t_{A32}		0,64
	t_{A102} 4%			0,08					
x	t_{A1}			2,08			t_{B1}		50
	t_{A201} %						t_{B201}		
x	$t_{A3} = t_{A31} + t_{A32}$			0,64			t_{B3}		0
	t_A			2,72			t_B		50
	$t_{AC} = t_A \cdot k_C$			2,9376			$t_{BC} = t_B \cdot k_C$		54
Norma času na kus	$N_{ck2} = t_{AC} + t_{BC}/d_v$			3,0					
Norma času dávky	$N_{cd2} = t_{AC} \cdot d_v + t_{BC}$			1522,8					

Tabulka 6.3: Tabulka pro výpočet normy času nové technologie výroby

6.3 Celkové vyhodnocení

Při obrábění čípku postupným obkružováním čelní válcovou frézou (hrubovací a dokončovací) byla vypočtena norma času na kus 7,5 minuty a norma času na dávku 3747,6 minuty, zatímco při obrábění čípku nově vyrobenými nástroji s upravenými VBD byla vypočtena norma času na kus 3 minuty a norma času na dávku 1522,8 minuty. Oproti původní technologii výroby tak bylo dosaženo 60% úspory času.

Náklady na nástroje původní technologie obrábění během jedné dávky:

- Hrubovací fréza 4500 Kč + ostření 1500 Kč
- Dokončovací fréza 3800 Kč + ostření 1267 Kč

Náklady na nástroje nové technologie obrábění během jedné dávky:

- Hrubovací fréza 6500 Kč + VBD 2167 Kč
- Dokončovací fréza 7000 Kč + 2333 Kč

Náklady na hodinu práce stroje (strojní hodinová sazba stroje + pracovní hodinová sazba) jsou 1350 Kč/hod.

7 Závěr

Cílem diplomové práce bylo provést cyklus tvorby utvařečů (analýza problému, návrh, výroba, testování v řezném procesu, vyhodnocení kvality a odchodu třísky) na praktickém příkladu z praxe. Cíle byly splněny na příkladu výroby čípku, kdy měl zákazník problém s dosažením požadované drsnosti a s dlouhou dobou výroby. Na základě požadavků byl navržen nový nástroj s VBD, které byly upraveny ploškou wiper a utvařeči. Testováním byl zjištěn přínos jednotlivých variant utvařečů. Vyhodnocení kvality povrchu čípku bylo změřeno pomocí optického mikroskopu Alicona. Pro vyhodnocení odchodu a stáčení třísky vlivem utvařečů byla využita vysokorychlostní kamera. Většina výsledků splnila požadované hodnoty drsnosti.

Na základě zjištěných výsledků byl zákazníkovi doporučen pro použití do výroby nástroj s VBD (osazený pouze jednou VBD) s utvařeči typu 8, kterým bylo dosaženo nejlepších hodnot drsnosti a požadovaného směru odchodu třísky, při posuvové rychlosti 192 mm/min.

Citovaná literatura

- [1] PODKLADY PRO ZKOUŠKU Z TEORIE OBRÁBĚNÍ. In: Portál ZČU [online]. Plzeň [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: <https://portal.zcu.cz/CoursewarePortlets2/DownloadDokumentu?id=63025>
- [2] ČERMÁK, Adam. Možnosti úpravy břitu řezného nástroje pomocí LASERu. Plzeň, 2013. Diplomová práce (Ing.). ZČU V PLZNI. Fakulta strojní
- [3] Obrábění. *SPŠ a VOŠT Sokolská, Brno* [online]. Brno [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_19-04.pdf
- [4] VLACH, Bohumil. Technologie obrábění a montáží. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990, 464 s. ISBN 80-03-00143-9.
- [5] LIEMERT, DRÁBEK, ONDRA, VAVŘÍK, Obrábění. 1. vyd. Praha: SNTL, 1974, 351 s.
- [6] RODIN, Petr Rodionovič. Základy teorie navrhování řezných nástrojů. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963, 158 s. Řada strojírenské literatury.
- [7] PŘIKRYL, Zdeněk a Rosa MUSÍLKOVÁ. Teorie obrábění. 1. vyd. Praha: SNTL, 1971, 198 s.
- [8] Novák, Miroslav. Průmyslové lasery (1) - princip laseru. MM spektrum [online]. 13.03.2012 [cit. 2015-11-10]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prumyslove-lasery-1-princip-laseru.html>
- [9] Novák, Miroslav. Průmyslové lasery (4) - Hlavní typy laserů v průmyslové praxi. MM spektrum [online]. 04.09.2012 [cit. 2015-11-12]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prumyslove-lasery-4-hlavni-typy-laseru-v-prumyslove-praxi.html>
- [10] MEIJER, J. a kol. Laser Machining by short and ultrashort pulses, state of the art and new opportunities in the age of the photons. CIRP Annals - Manufacturing Technology [online]. 2002 [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: http://ac.els-cdn.com/S0007850607616990/1-s2.0-S0007850607616990-main.pdf?_tid=bb3bb4e8-8034-11e2-ada3-00000aacb362&acdnat=1361897654_756c6d8d81a7fe54388f45fe4bf1cdb6
- [11] PETKOV, Petko. LASER MILLING: SURFACE INTEGRITY, REMOVAL STRATEGIES AND PROCESS ACCURACY [online]. United Kingdom: Cardiff University 2011 [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://orca.cf.ac.uk/13705/1/2011PetkovPVPhD.pdf>

- [12] Fiber Laser Technology from Coherent. [online]. [cit. 2015-11-03] Dostupné z: http://www.coherent.com/flash/FlashTalisker/co1426_talisker_eng.html
- [13] EWAG AG. LASER LINE - High-end laser machining center for modern tool manufacturing. [online]. Švýcarsko, 2012. [cit. 2015-11-03]. Dostupné z: <http://www.ewag.com/en/products/lasering.html>
- [14] LASERTEC SeriesShape/PrecisionTool/FineCutting/PowerDrill.[online]. Německo: DMG / MokiSeiki Deutschland GmbH, 2011. [cit. 2015-11-03] Dostupné z: http://en.dmg-moriseiki.com/pq/lasertec-40-precisiontool_en/pl0uk11_lasertec_series.pdf
- [15] LASERTEC Precision Tool - Series. [online]. DMG Europe Holding GmbH, 2011. [cit. 2015-11-18] Dostupné z: http://en.dmgmoriseiki.com/pq/lasertec-40-precision-tool_en/pl0uk12_lasertec_precisiontool_series.pdf
- [16] SPSS Brno. Domes SPSS [online]. Brno [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: http://domes.spss-brno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_19-04.pdf
- [17] DEW Stahl 1.4923. DEW [online]. [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: http://www.dew-stahl.com/fileadmin/files/dew-stahl.com/documents/Publikationen/Werkstoffdatenblaetter/RSH/1.4923_de.pdf

Seznam příloh

Příloha č. 1

Obrázkový záznam chování třísky z vysokorychlostní kamery pro pre-experiment č.2.....I

Příloha č. 2

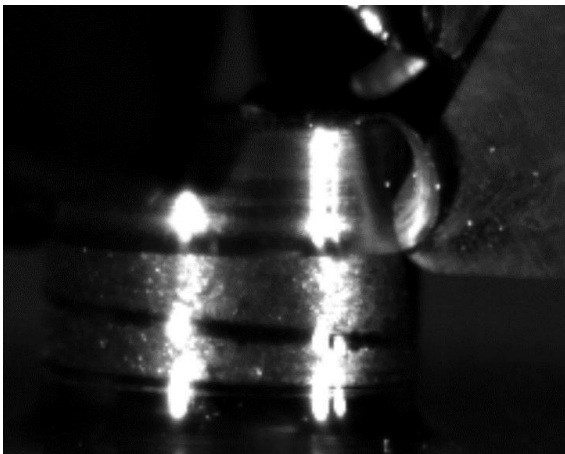
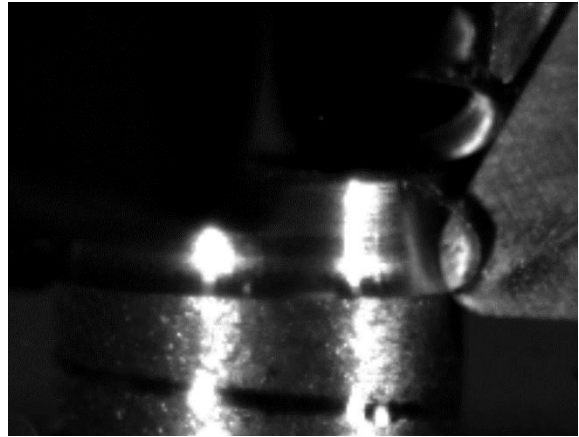
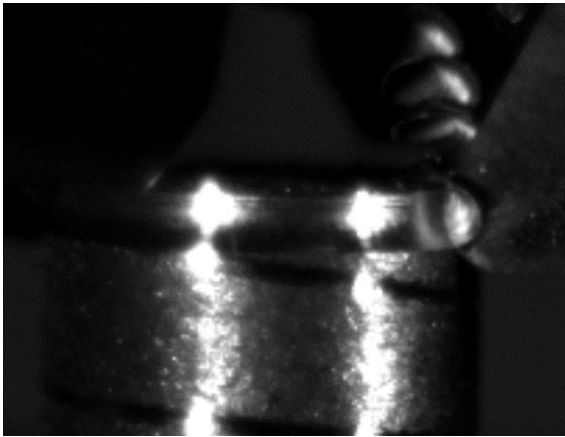
Obrázkový záznam chování třísky z vysokorychlostní kamery pro experiment.....XII

PŘÍLOHA č. 1

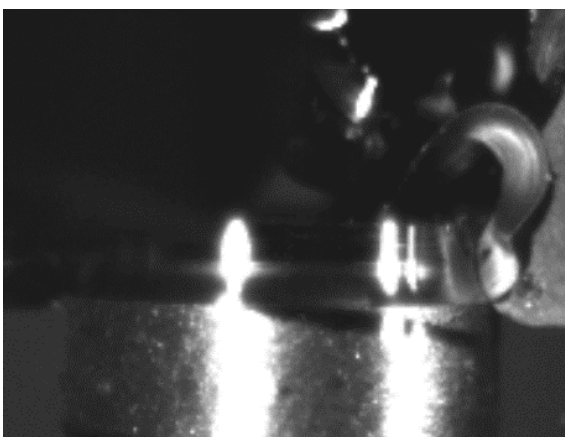
Obrázkový záznam chování třísky z vysokorychlostní kamery pro pre-experiment č. 2

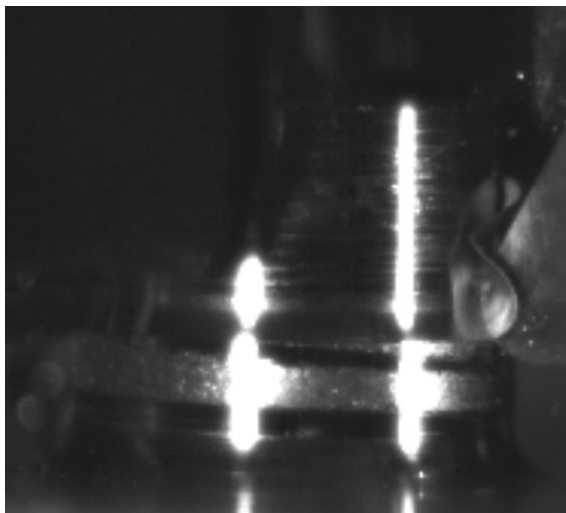
Materiál W.Nr. 1.49293+QT

VBD s utvařečem typu 1A2A $V_f=120$ [mm/min]

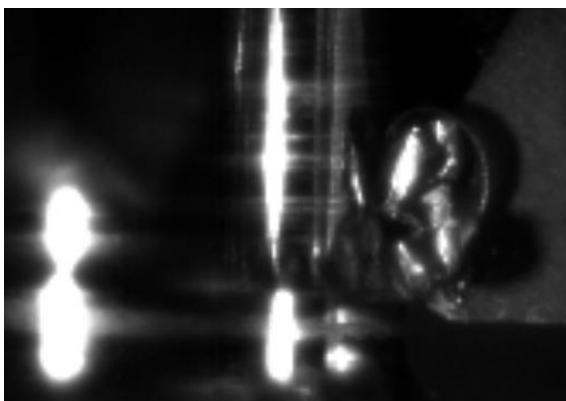
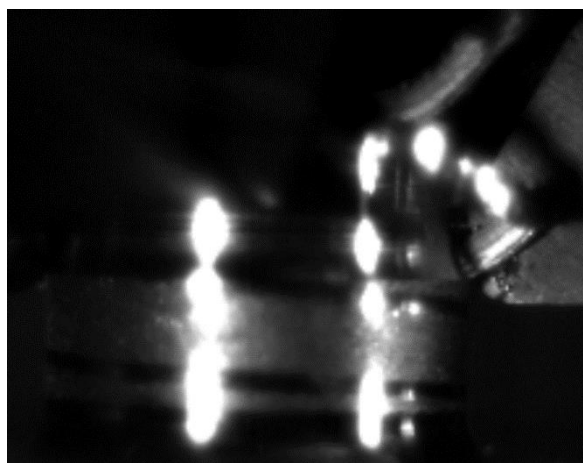
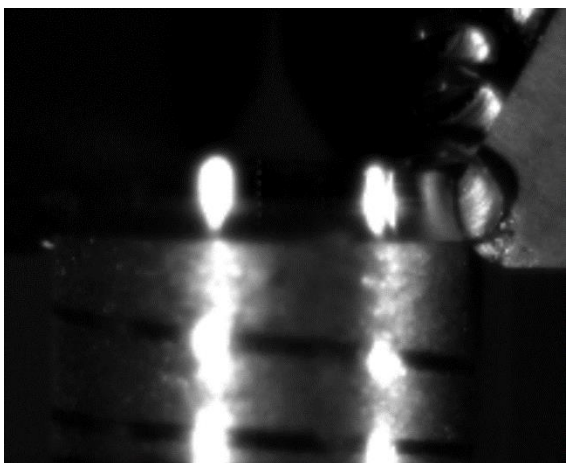


VBD s utvařečem typu 1A2A $V_f=256$ [mm/min]

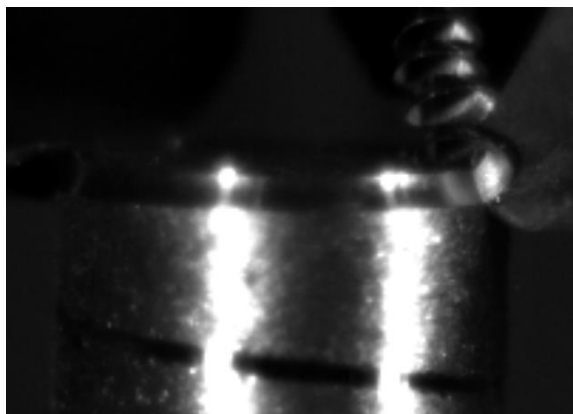




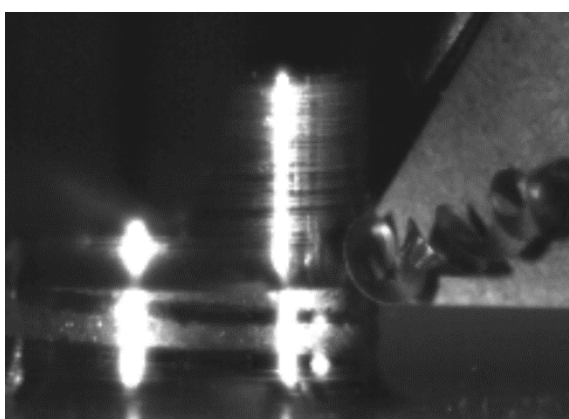
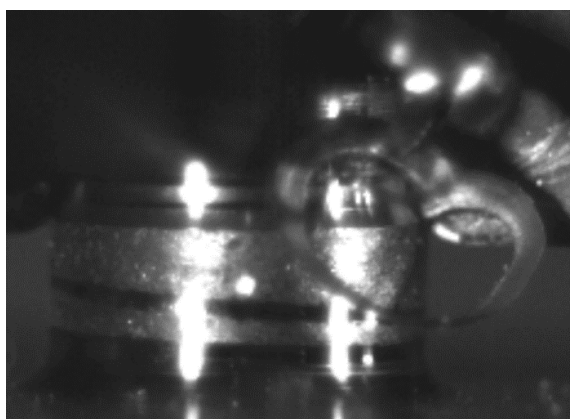
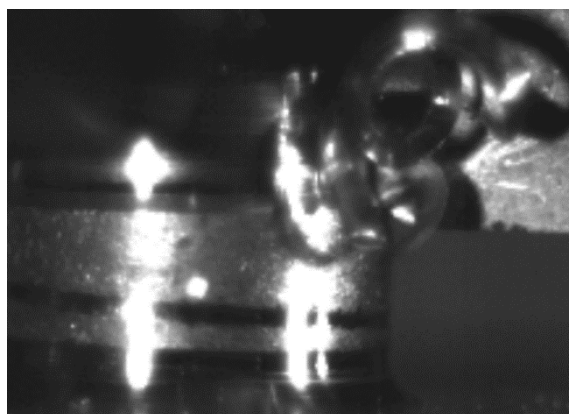
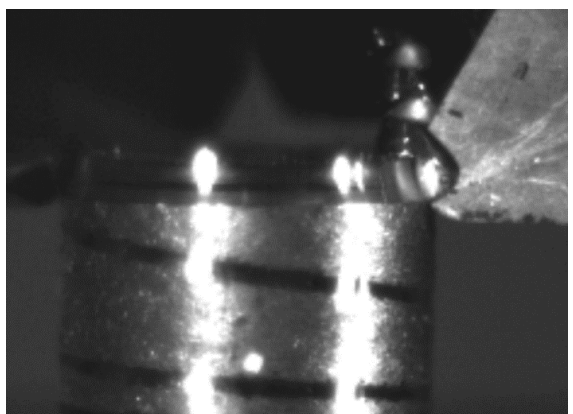
VBD s utvařečem typu 1A2A $V_f=384$ [mm/min]



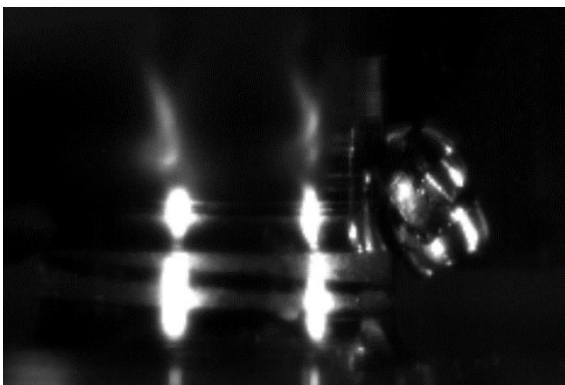
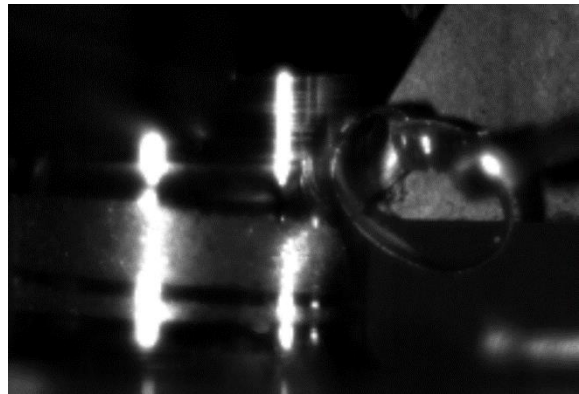
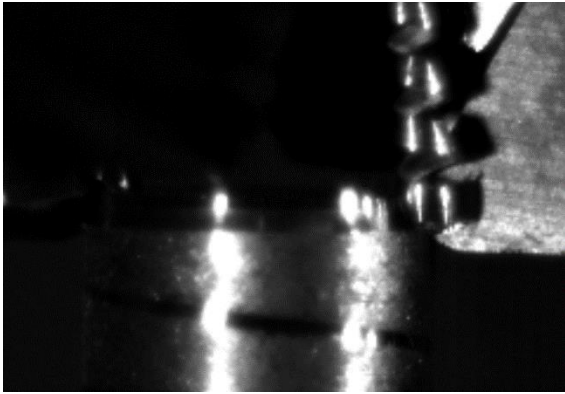
VBD s utvařečem typu 1B2B $V_f=120$ [mm/min]



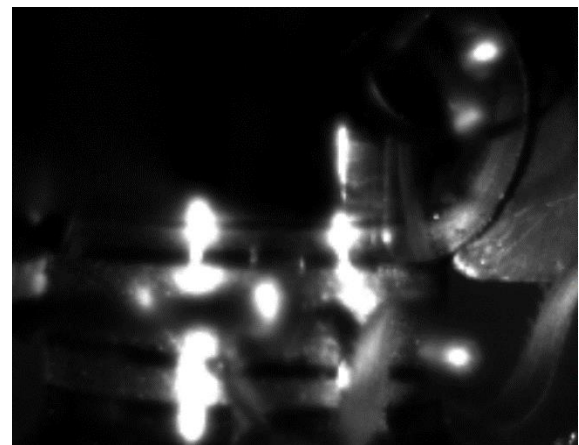
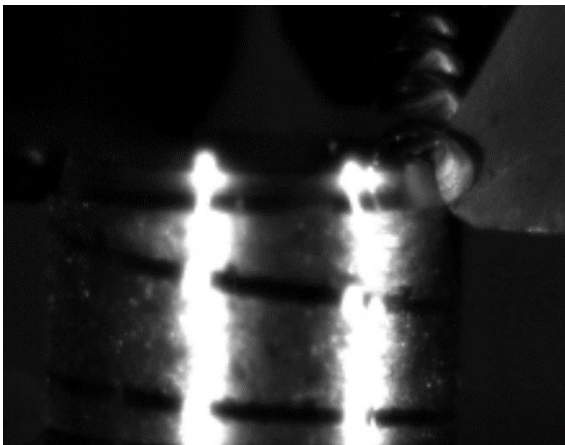
VBD s utvařečem typu 1B2B $V_f=256$ [mm/min]



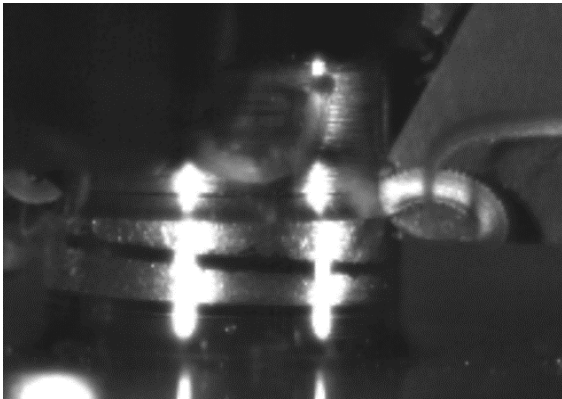
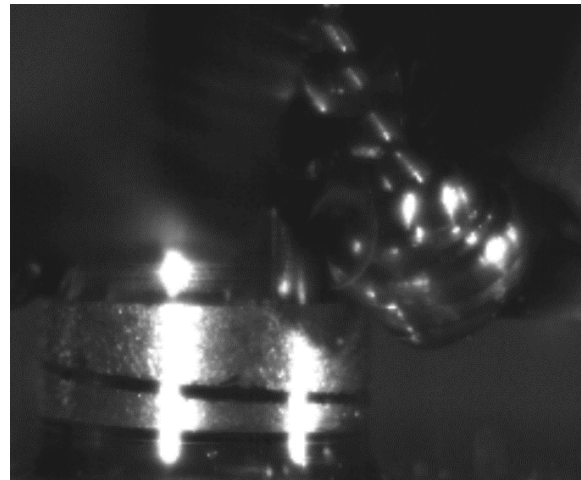
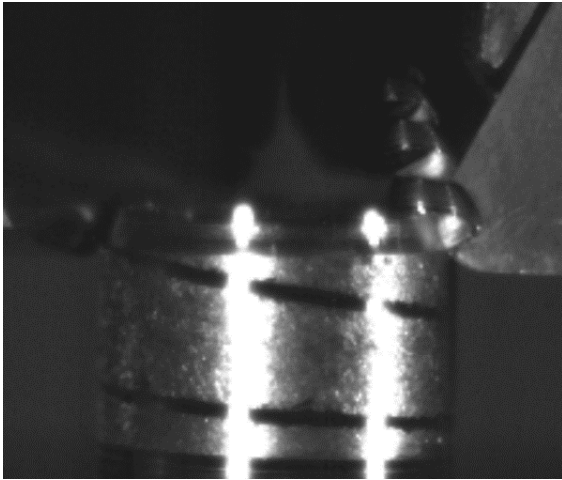
VBD s utvařečem typu 1B2B $V_f=384$ [mm/min]



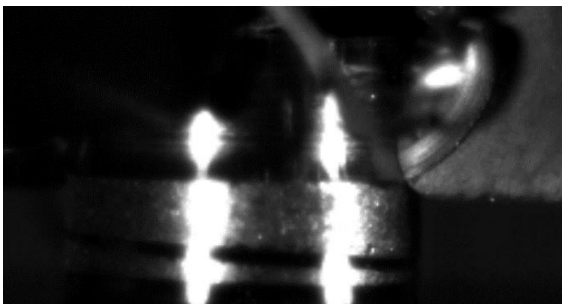
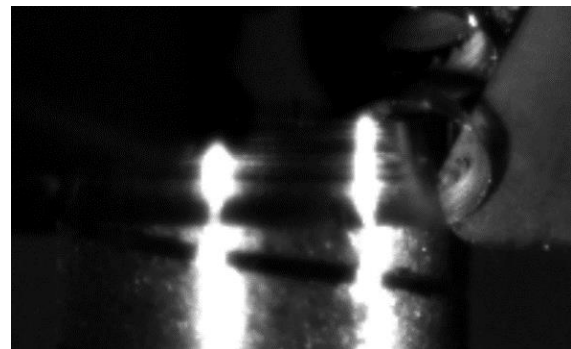
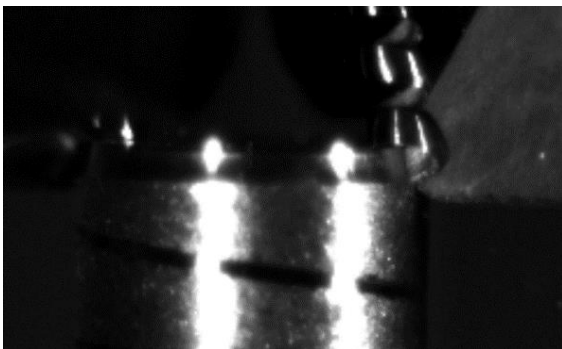
VBD s utvařečem typu 1C2C $V_f=120$ [mm/min]



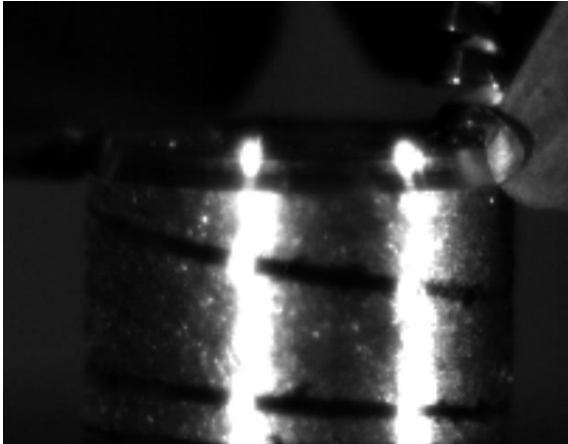
VBD s utvařečem typu 1C2C $V_f=256$ [mm/min]



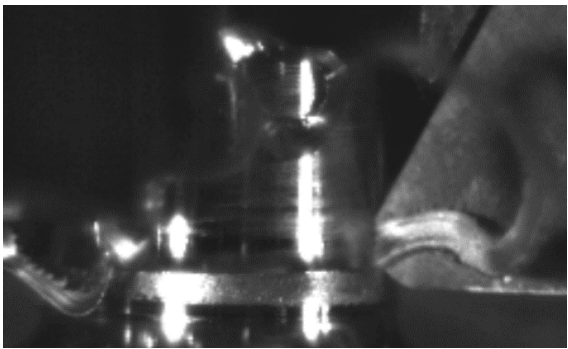
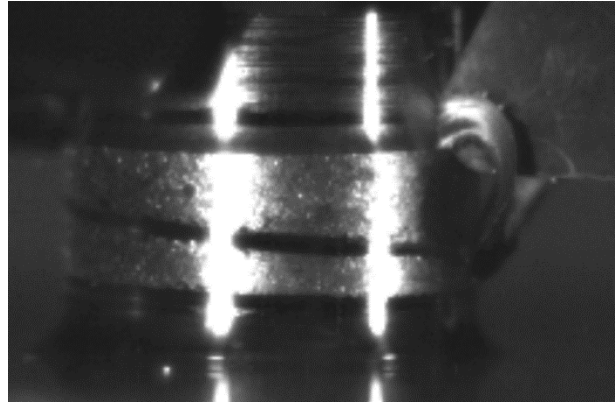
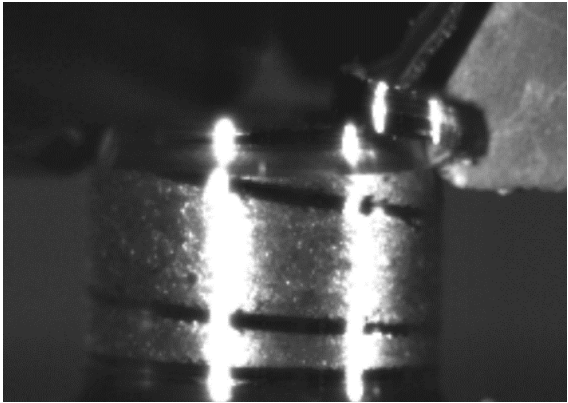
VBD s utvařečem typu 1C2C $V_f=384$ [mm/min]



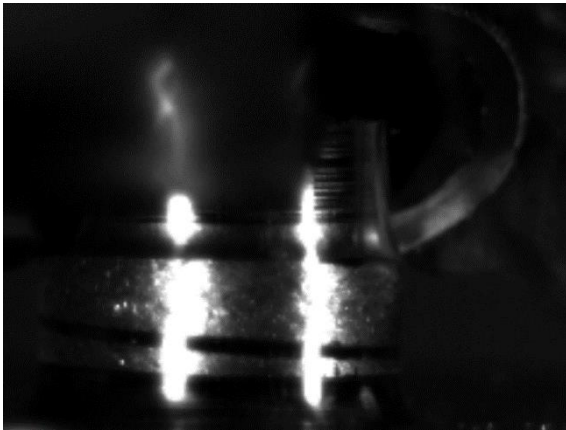
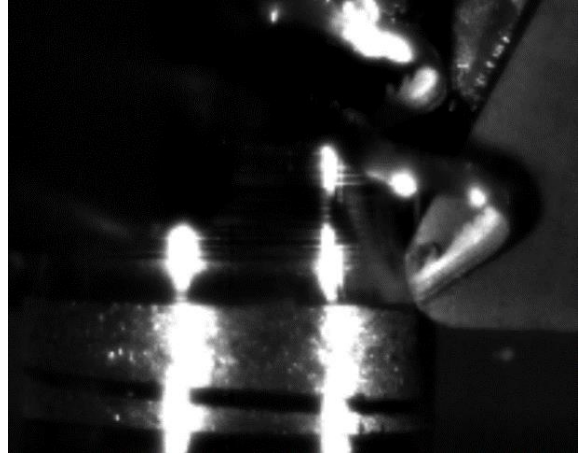
VBD s utvařečem typu 1D2D $V_f = 120$ [mm/min]



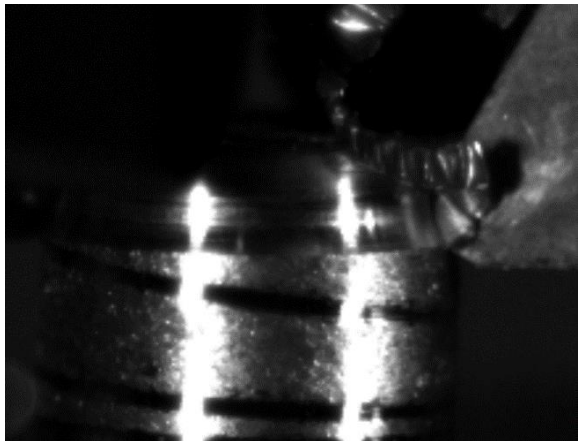
VBD s utvařečem typu 1D2D $V_f = 256$ [mm/min]

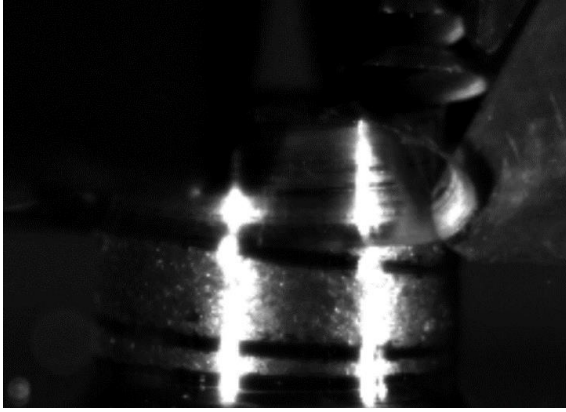


VBD s utvařečem typu 1D2D $V_f=384$ [mm/min]

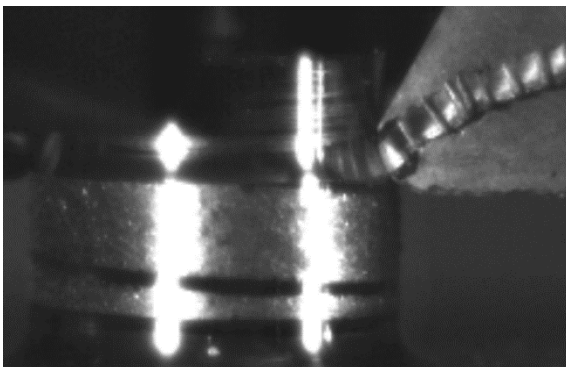
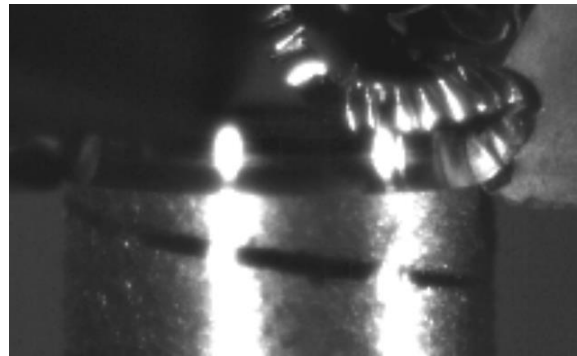
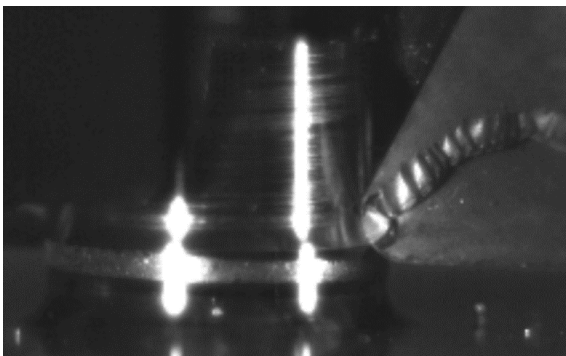


VBD s utvařečem typu 1E2E $V_f=120$ [mm/min]

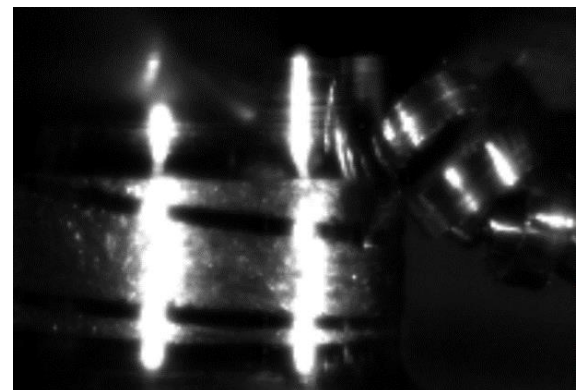
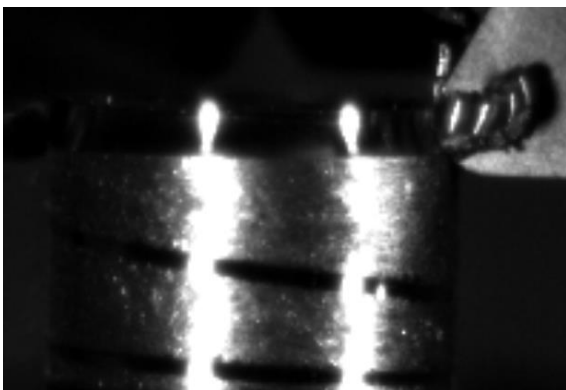


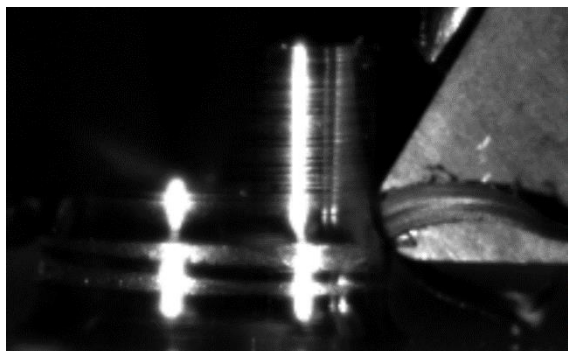


VBD s utvařečem typu 1E2E $V_f = 256$ [mm/min]

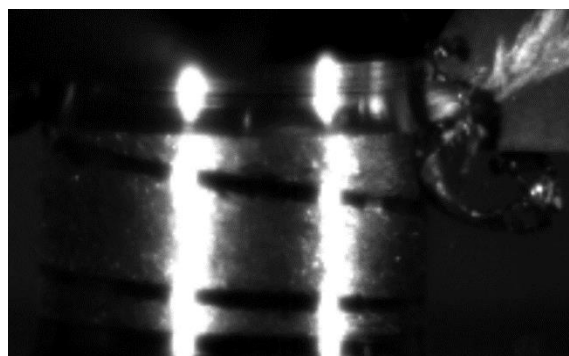
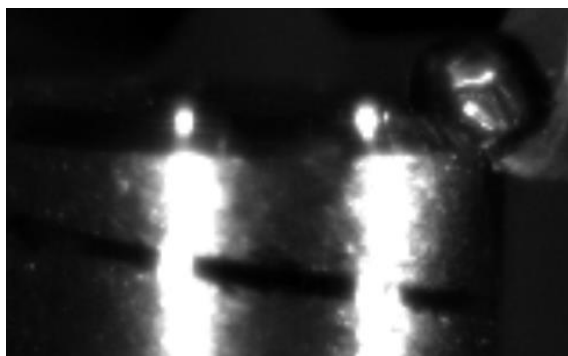


VBD s utvařečem typu 1E2E $V_f = 384$ [mm/min]

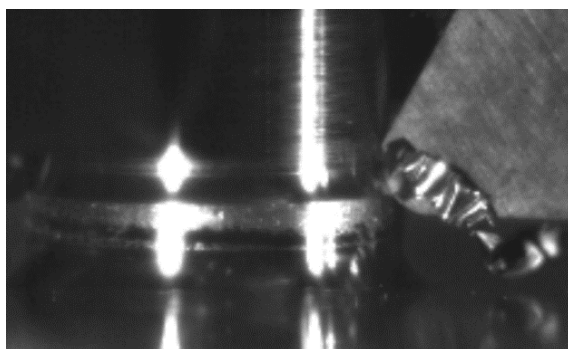
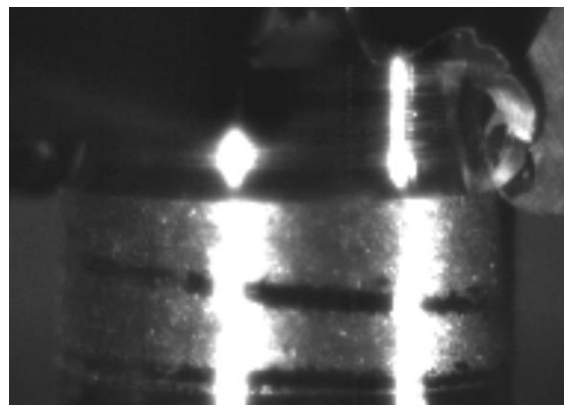
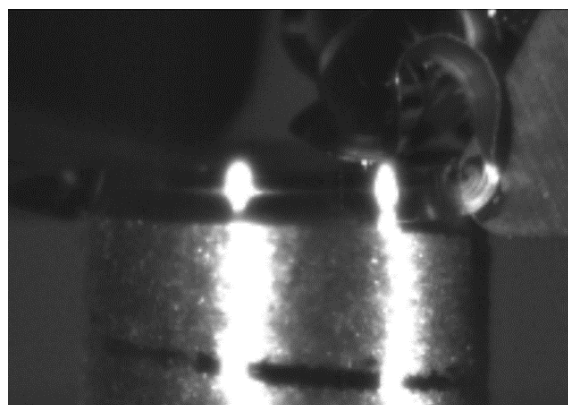




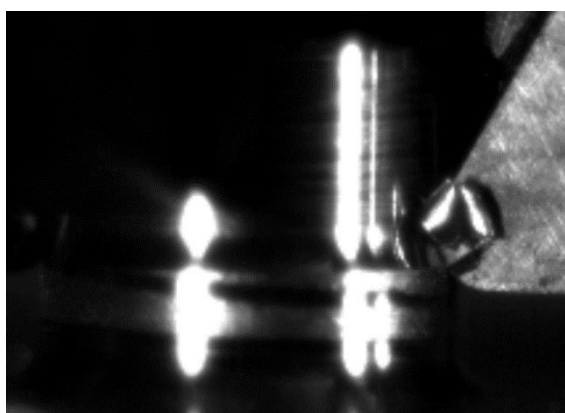
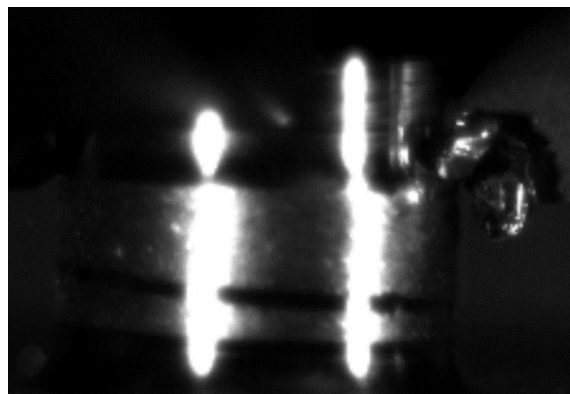
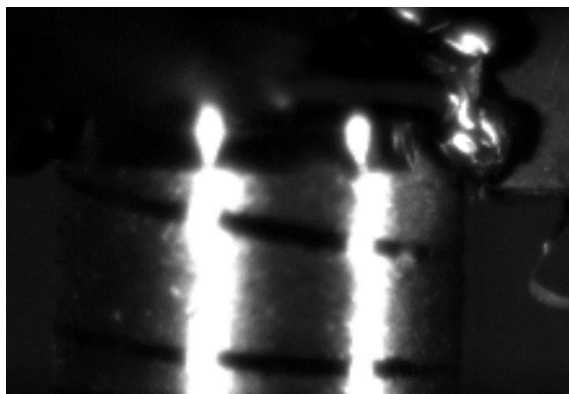
VBD s utvařečem typu 1F2F $V_f=120$ [mm/min]



VBD s utvařečem typu 1F2F $V_f=256$ [mm/min]



VBD s utvařečem typu 1F2F $V_f=384$ [mm/min]

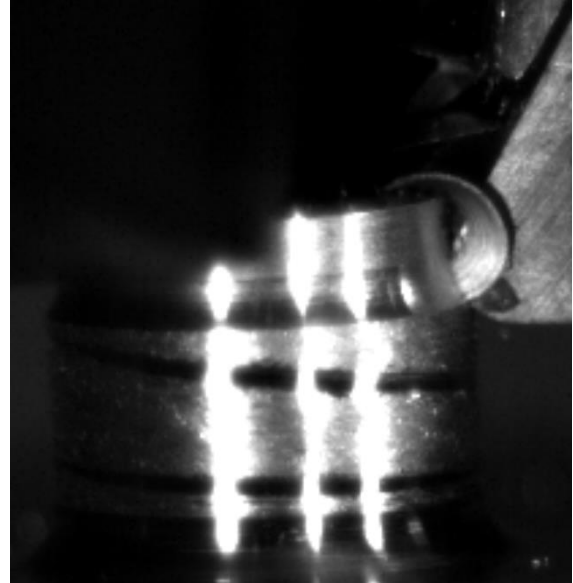
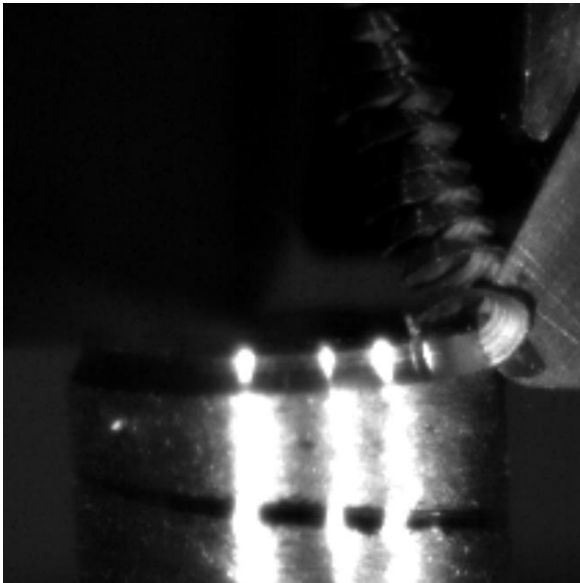


PŘÍLOHA č. 2

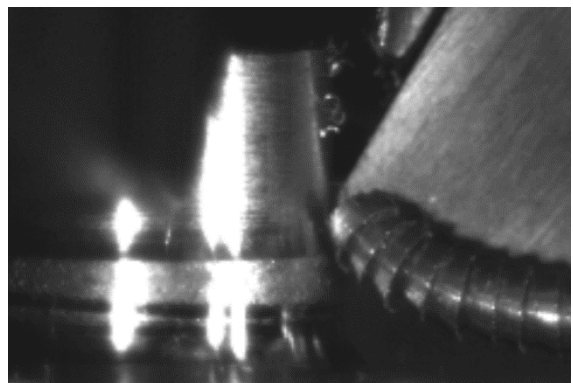
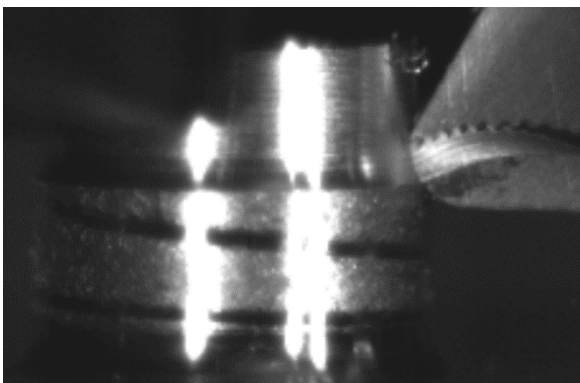
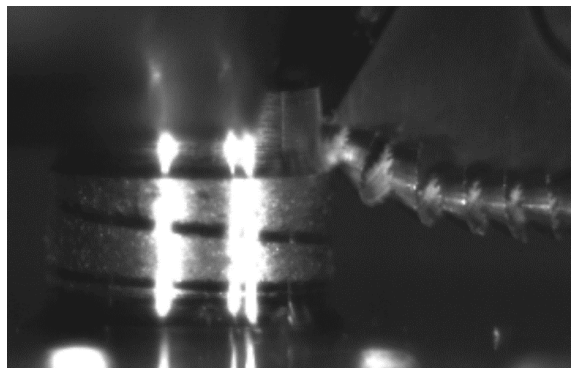
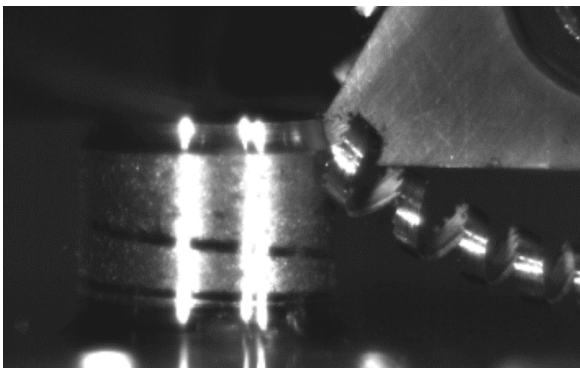
Obrázkový záznam chování třísky z vysokorychlostní kamery pro experiment

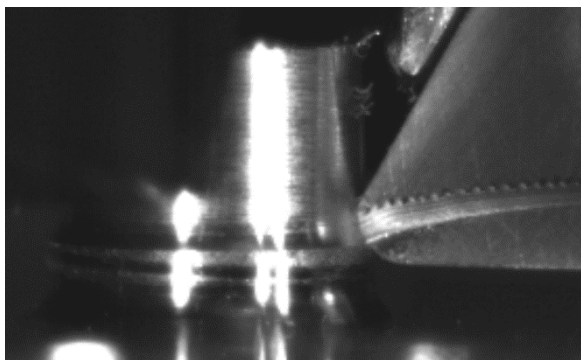
Materiál W.Nr. 1.4329+QT

VBD s utvařečem typu 7A $V_f=128$ [mm/min]

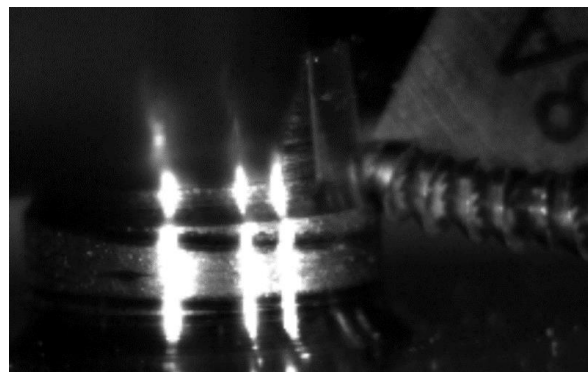
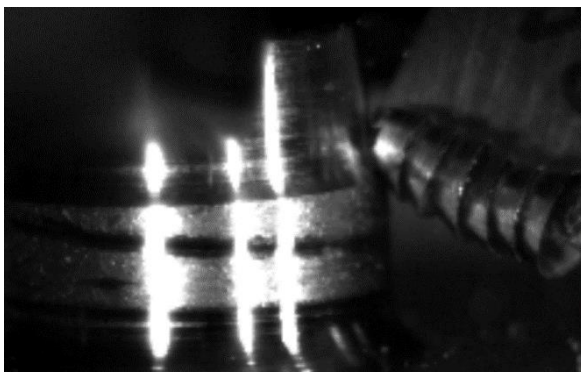
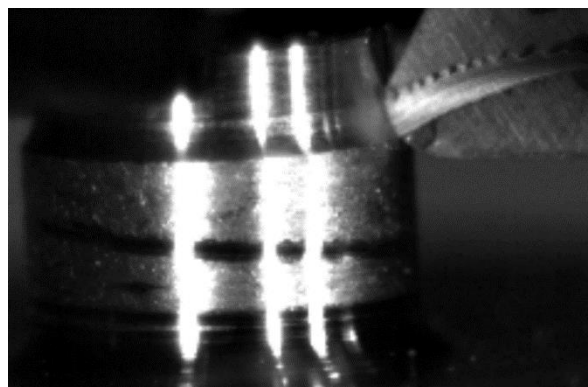


VBD s utvařečem typu 7A $V_f=192$ [mm/min]

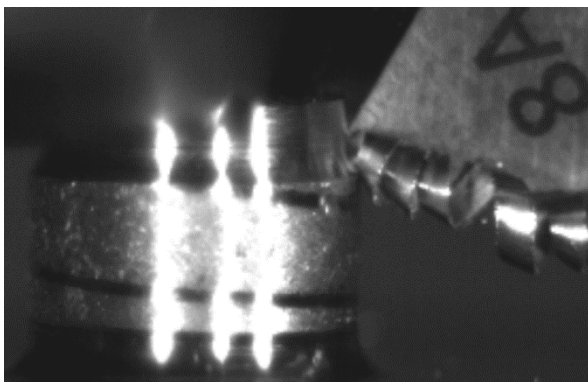
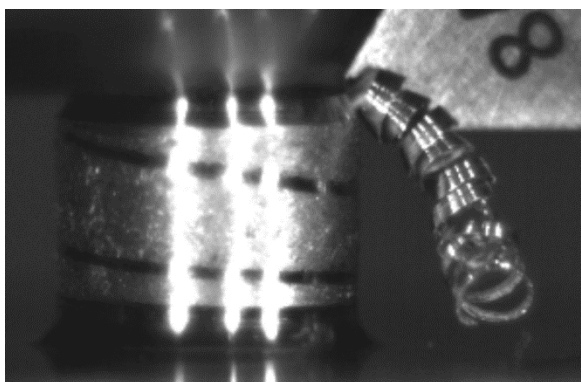




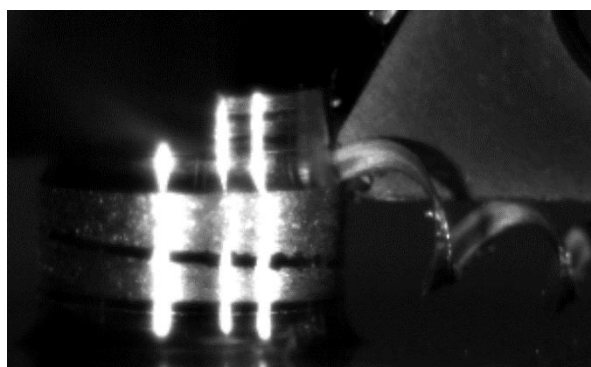
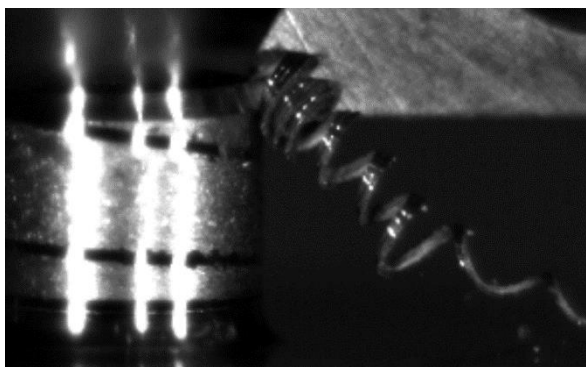
VBD s utvařečem typu 8A $V_f=128$ [mm/min]



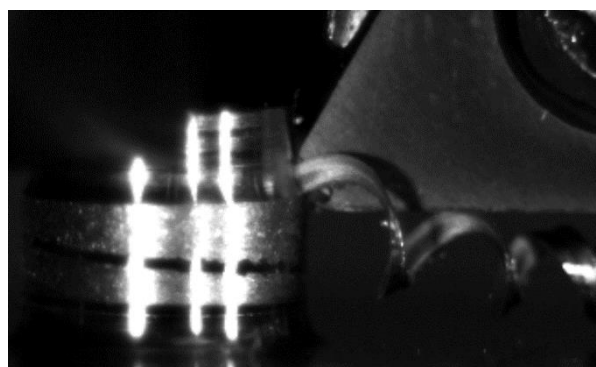
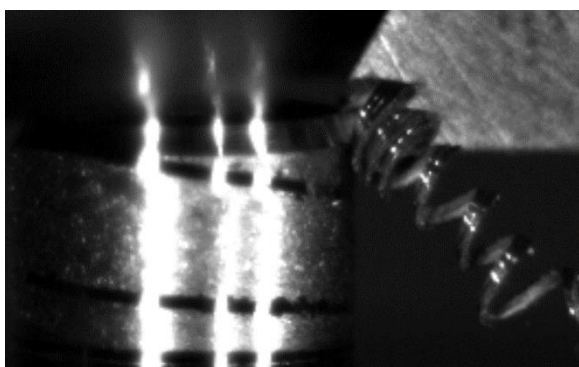
VBD s utvařečem typu 8A $V_f=192$ [mm/min]



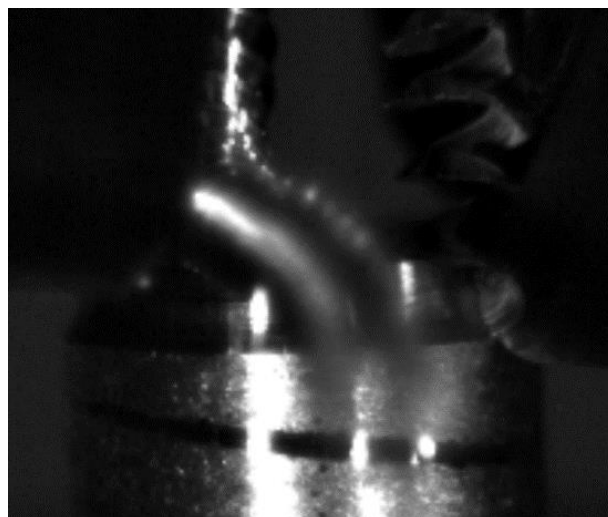
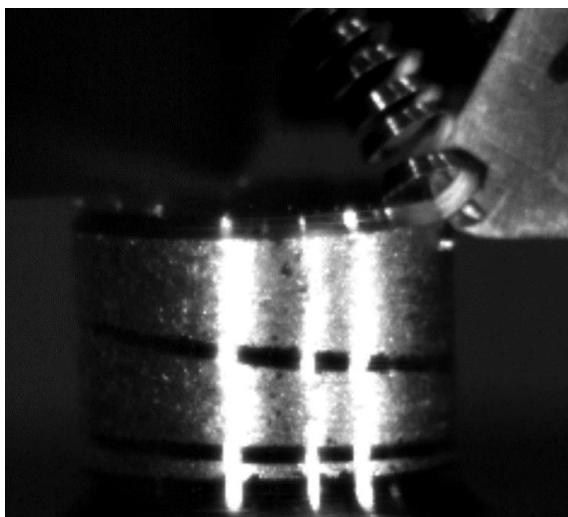
VBD s utvařečem typu 9A $V_f=128$ [mm/min]

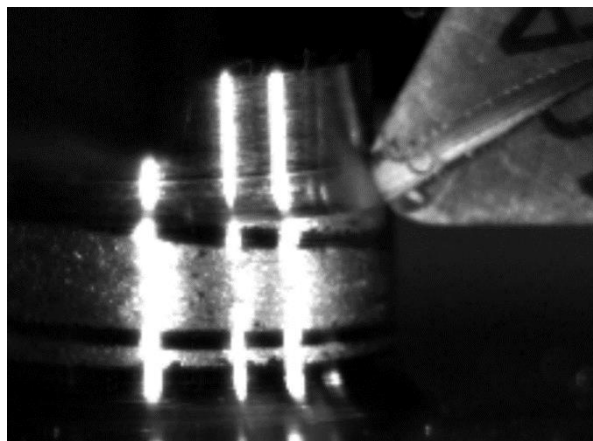
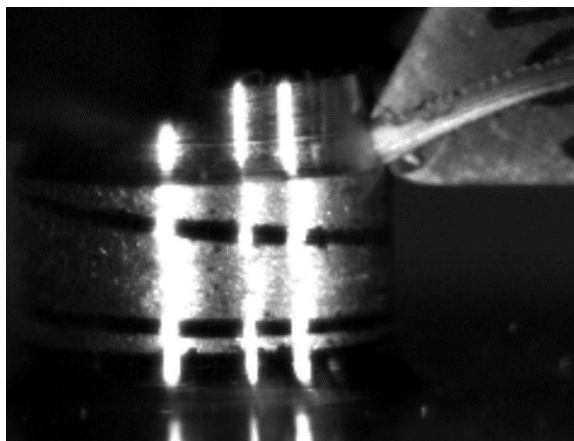


VBD s utvařečem typu 9A $V_f=192$ [mm/min]

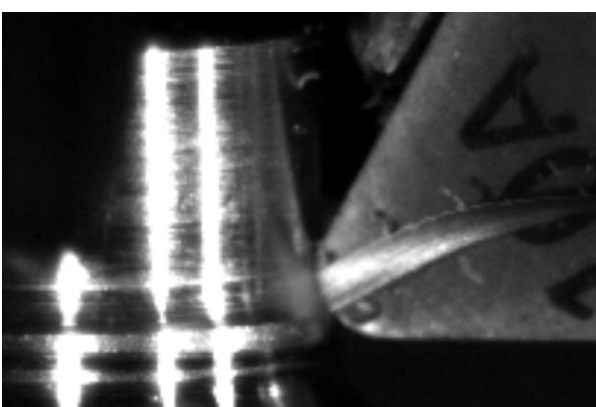
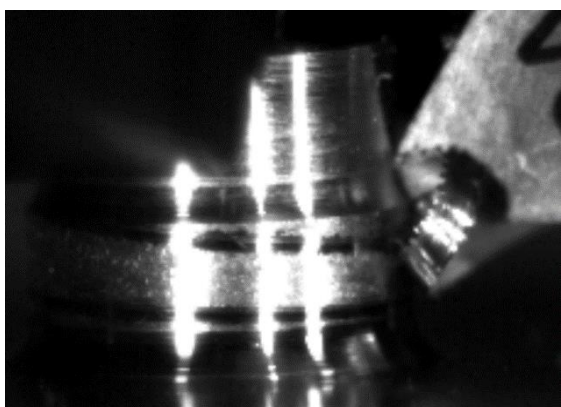
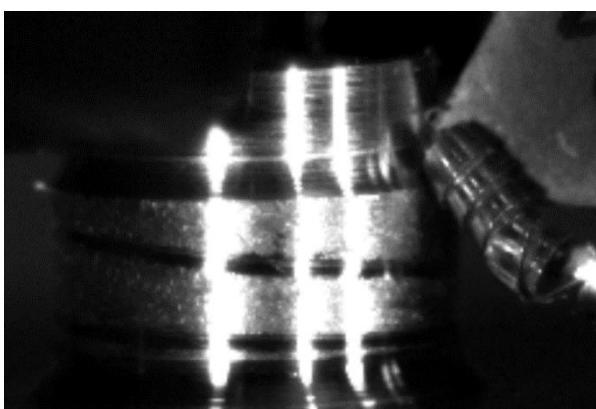
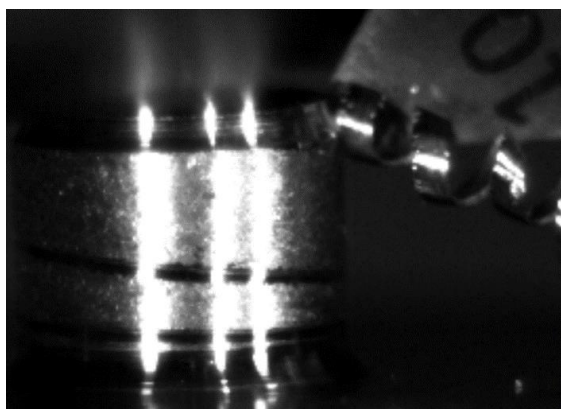


VBD s utvařečem typu 10A $V_f=128$ [mm/min]



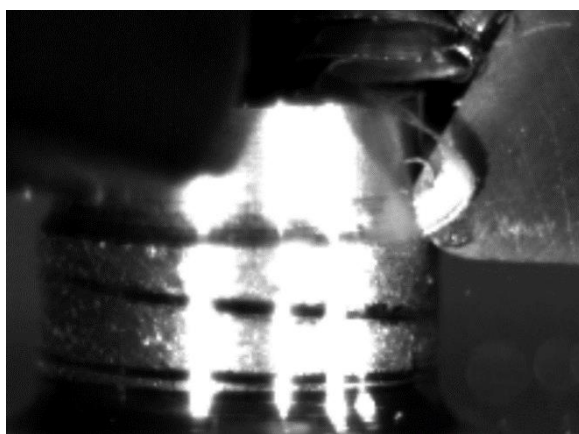
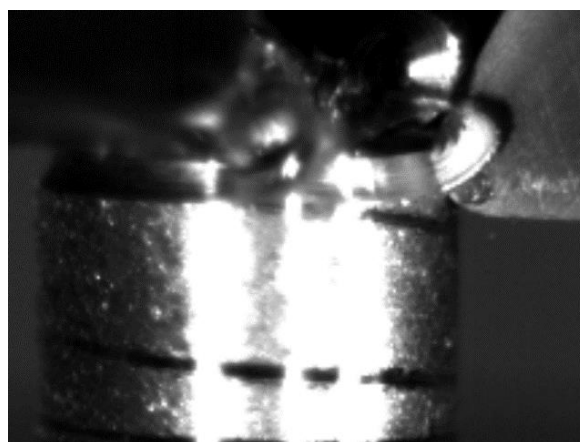
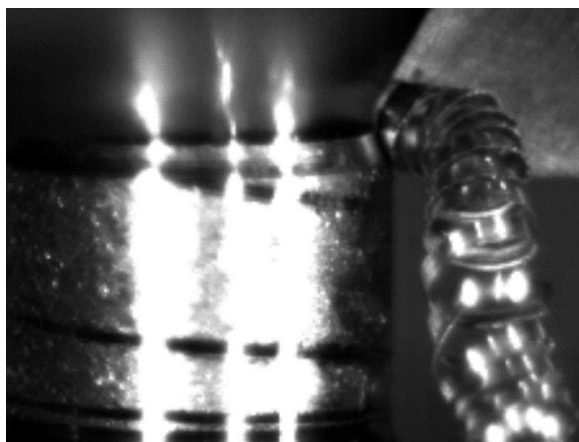


VBD s utvařečem typu 10A $V_f=192$ [mm/min]

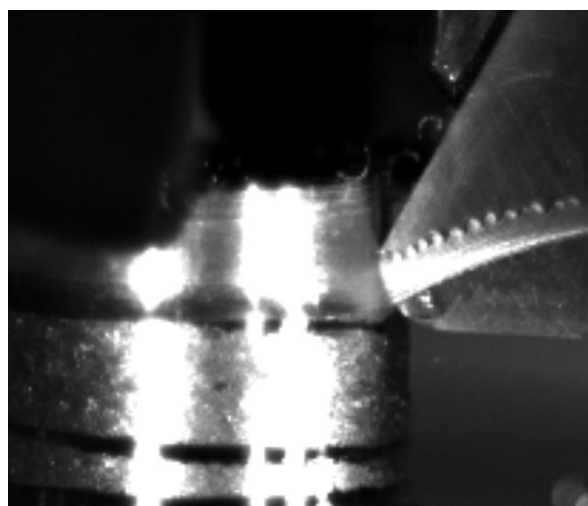
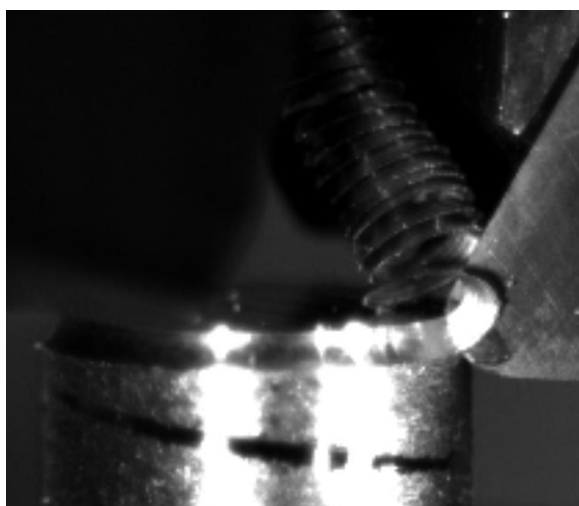


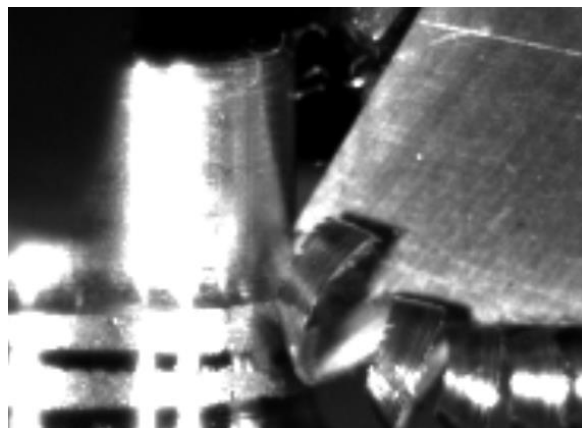
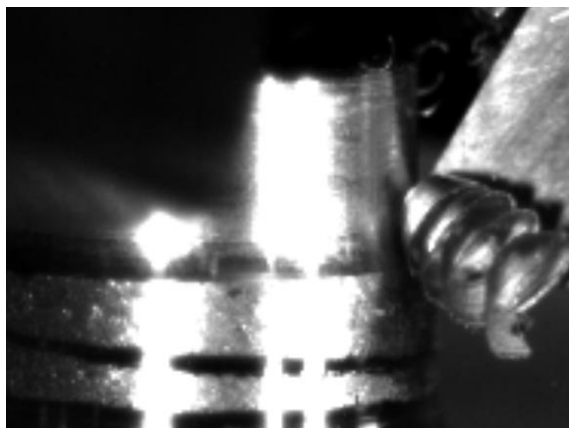
Materiál W.Nr. 1.4923+QT

VBD s utvařečem typu 7A $V_f=128$ [mm/min]

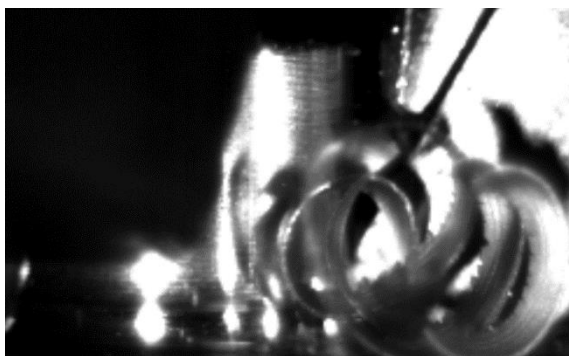
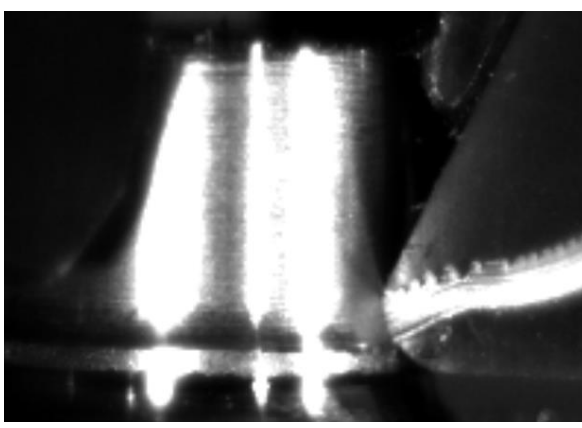
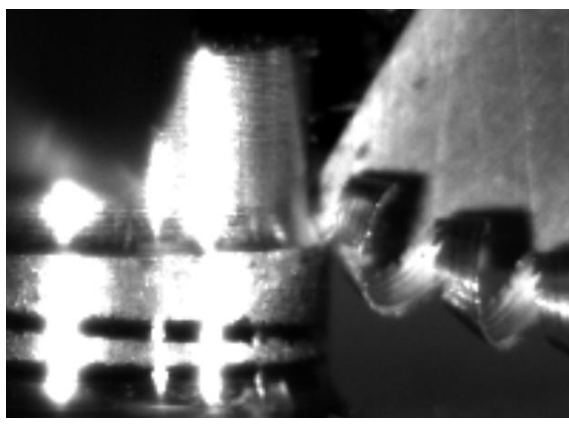
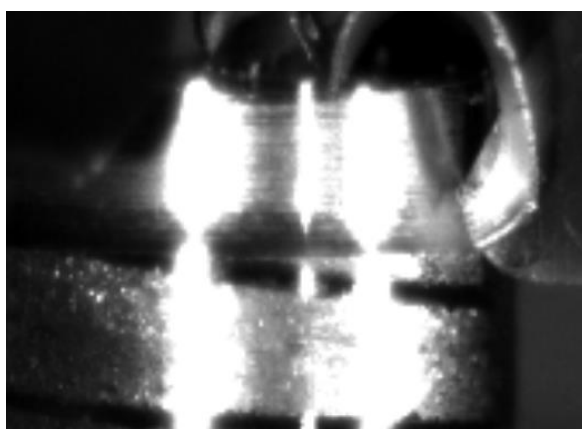
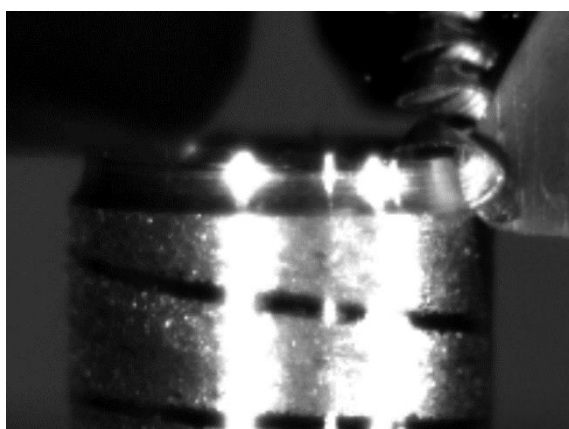


VBD s utvařečem typu 7A $V_f=128$ [mm/min] - opakování

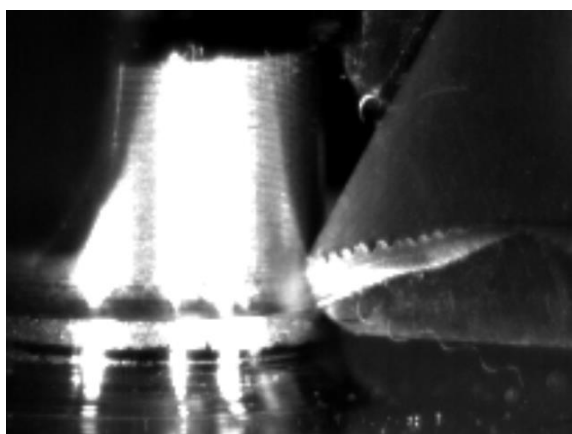
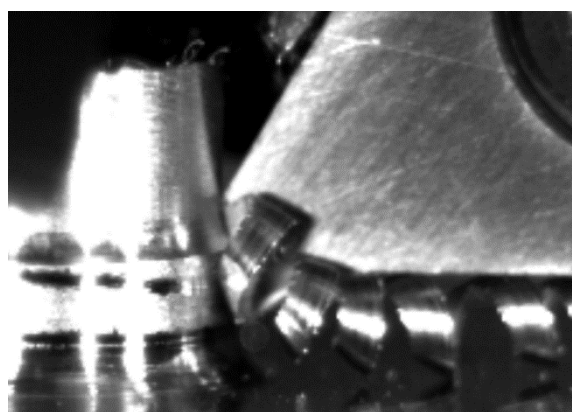
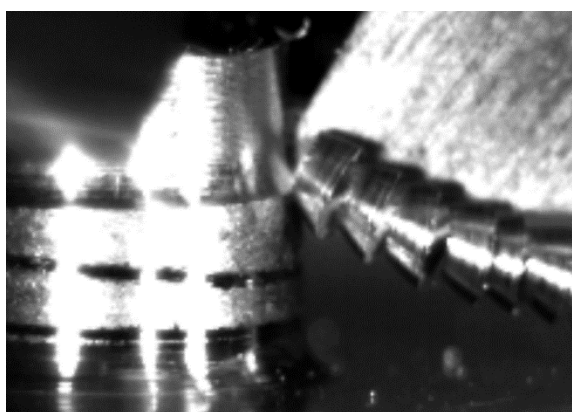
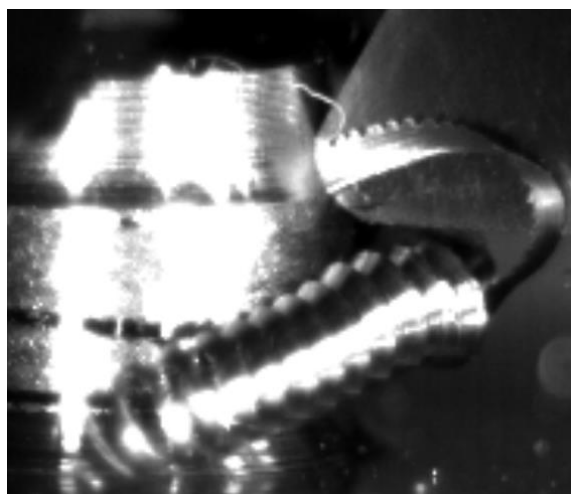
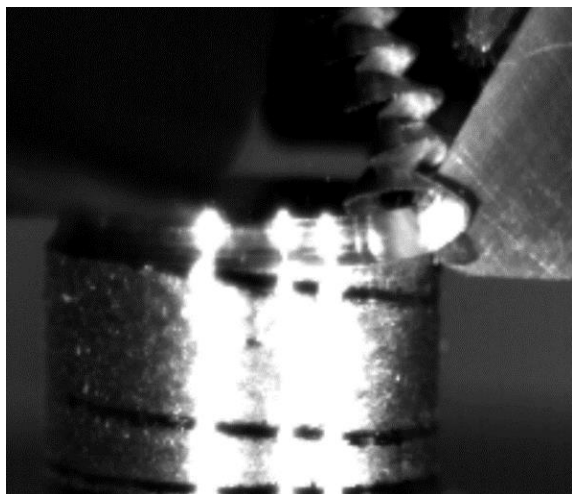




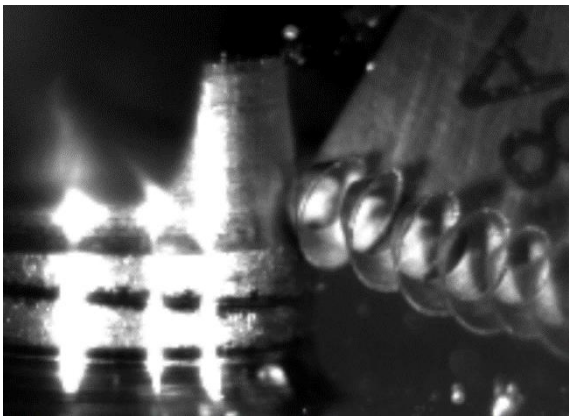
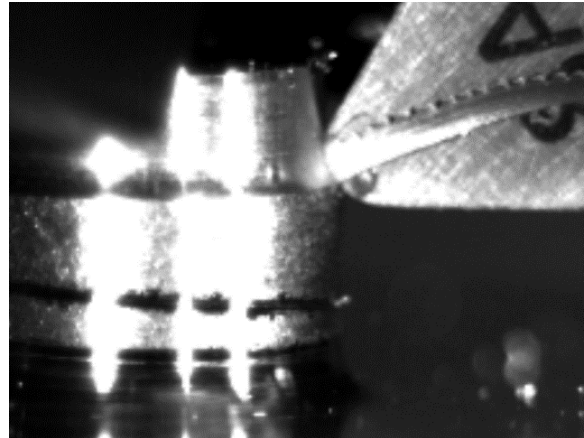
VBD s utvařečem typu 7A $V_f=192$ [mm/min]



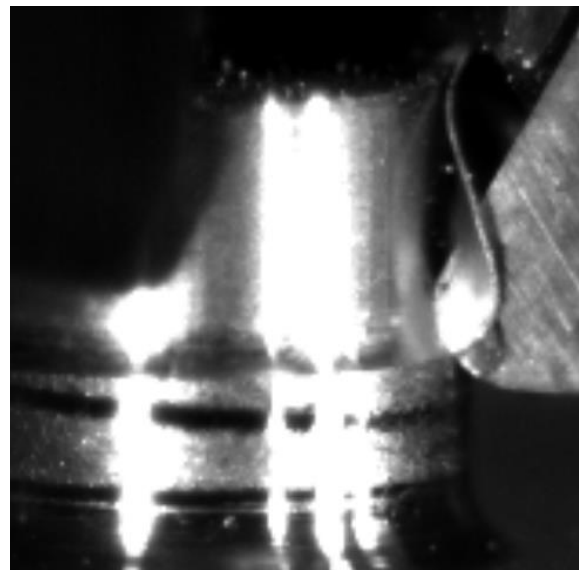
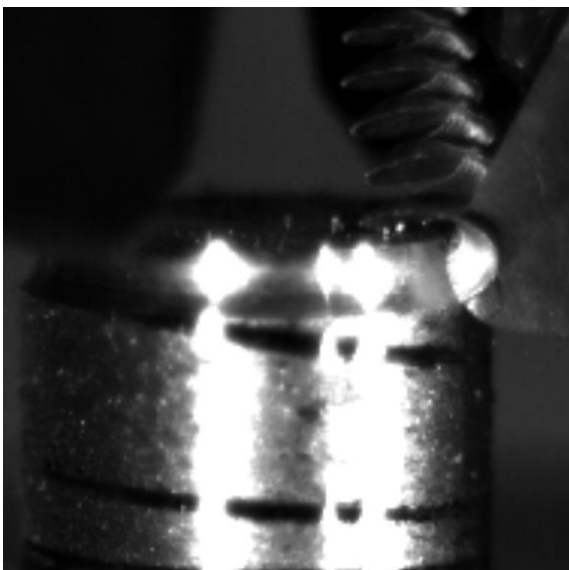
VBD s utvařečem typu 7A $V_f=192$ [mm/min] – opakování



VBD s utvařečem typu 8A $V_f=128$ [mm/min]

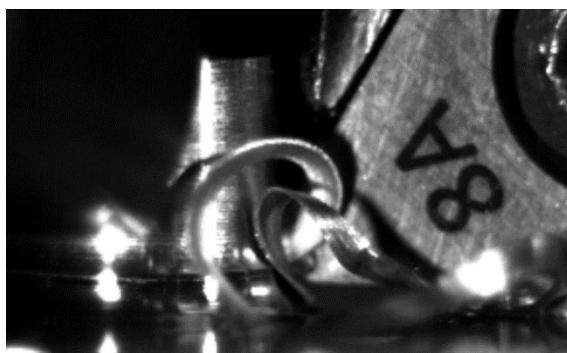
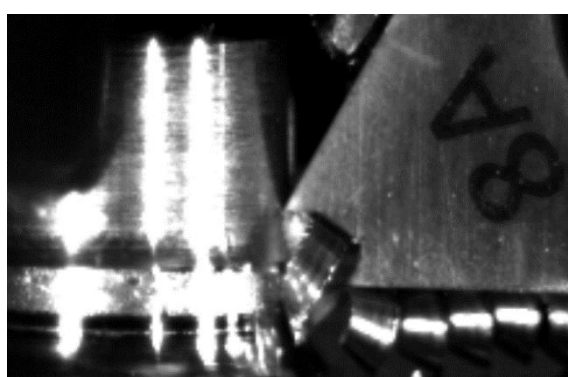
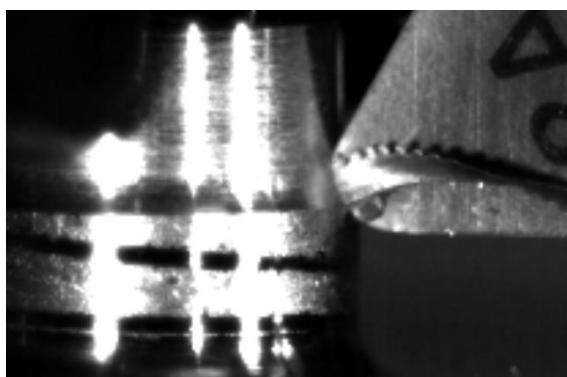
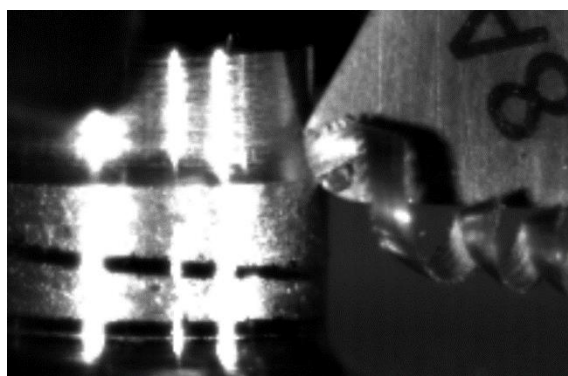
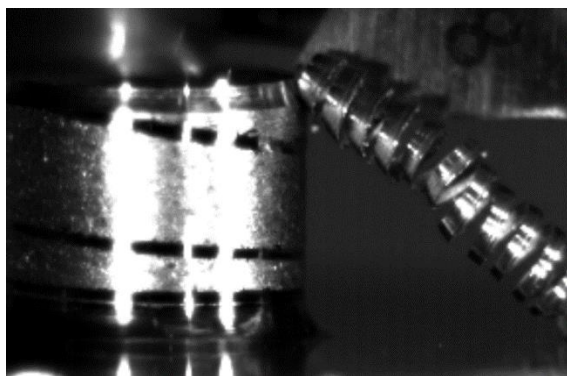


VBD s utvařečem typu 8A $V_f=128$ [mm/min] - opakování

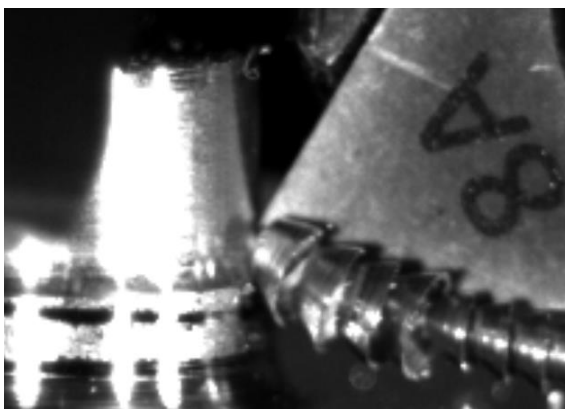
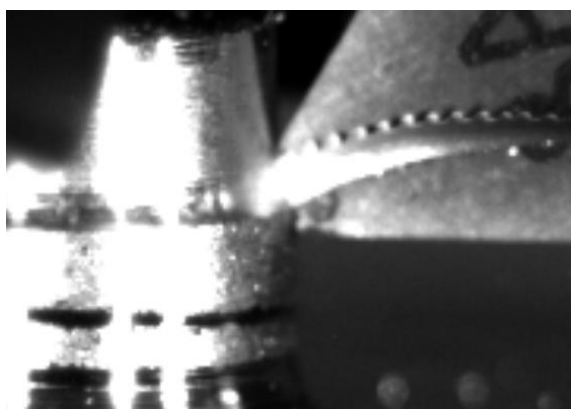
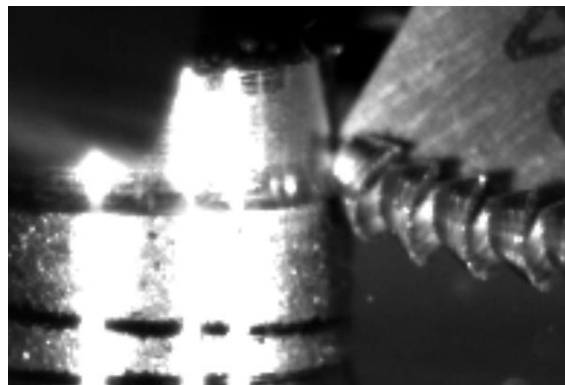
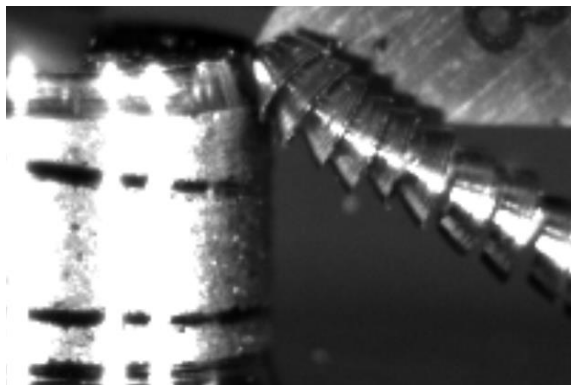




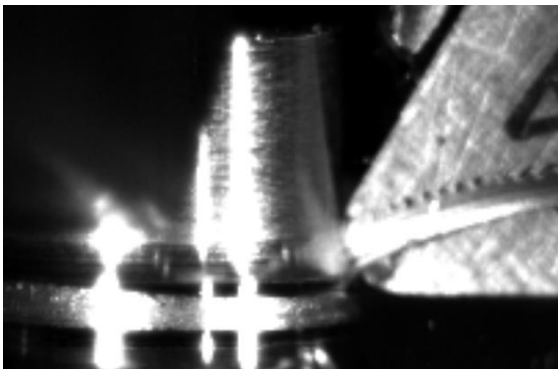
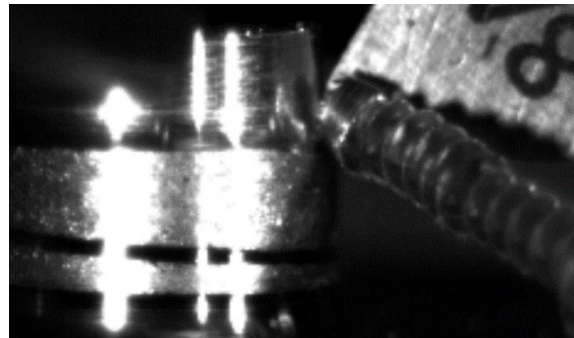
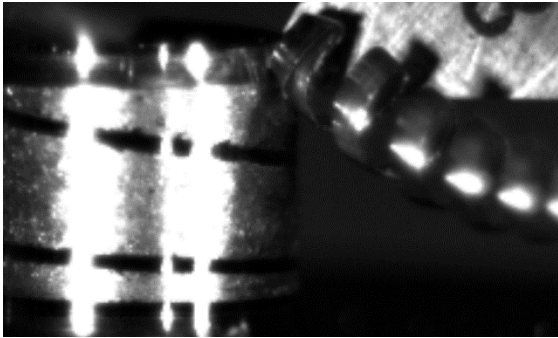
VBD s utvařčem typu 8A $V_f=192$ [mm/min]



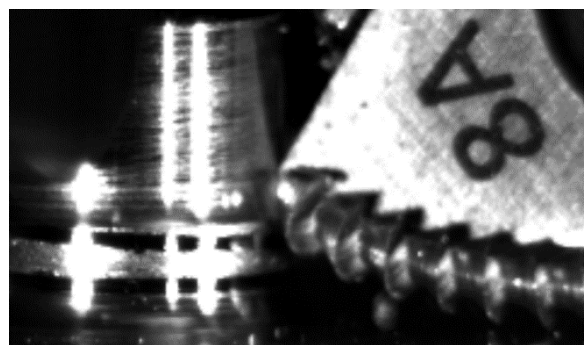
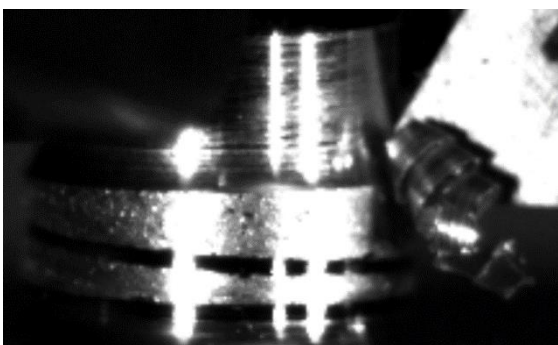
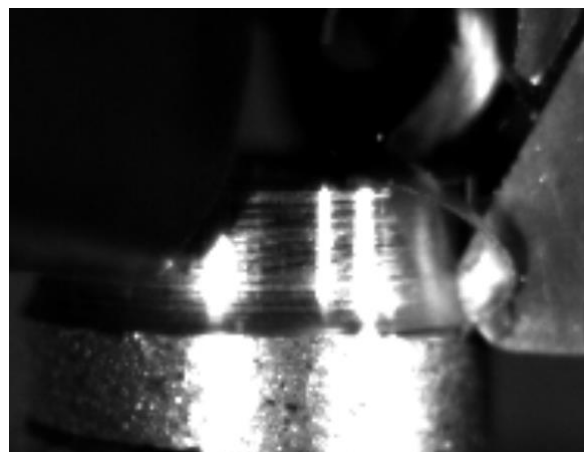
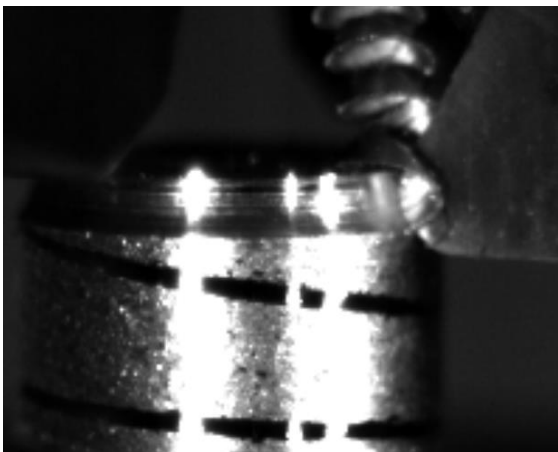
VBD s utvařečem typu 8A $V_f=192$ [mm/min] - opakování

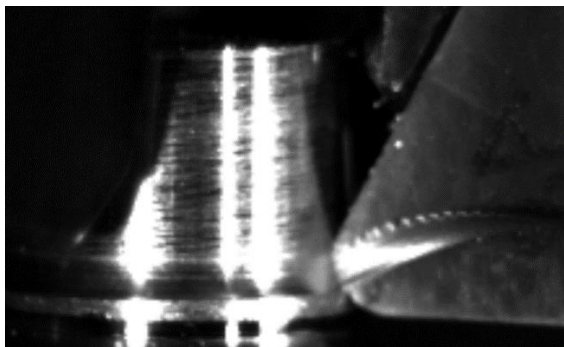


VBD s utvařečem typu 8A $V_f=192$ [mm/min] – 2. opakování

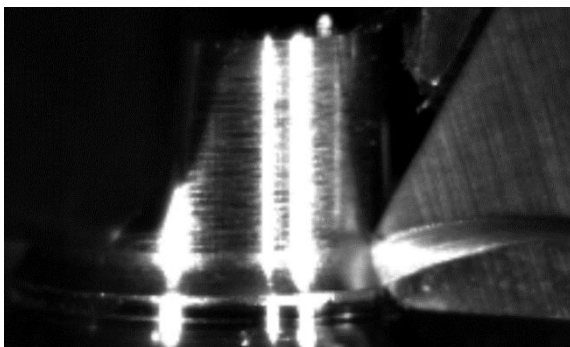
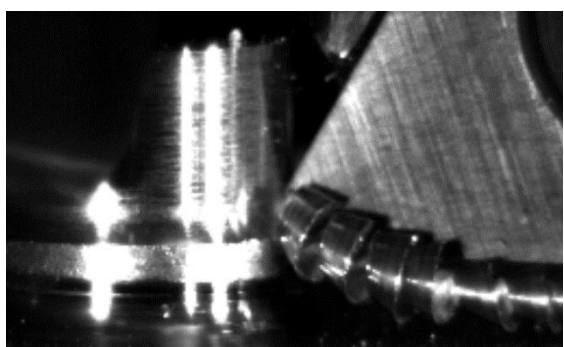
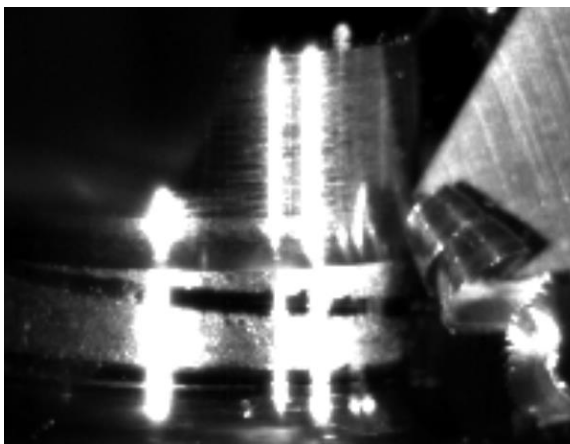
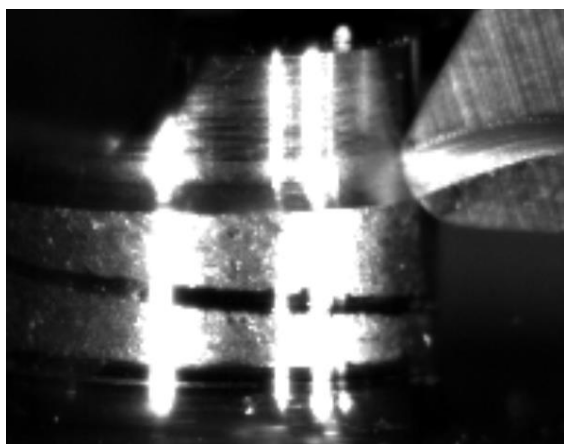
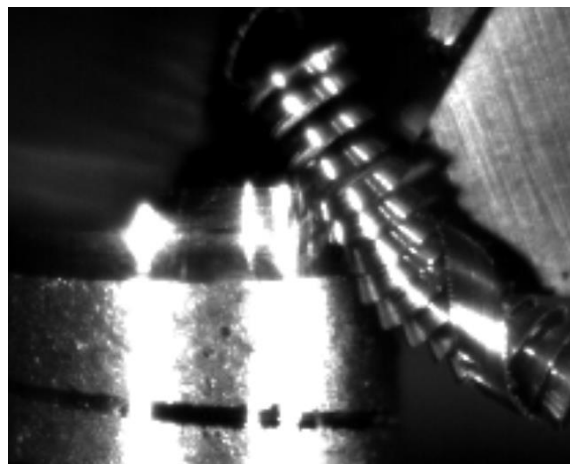
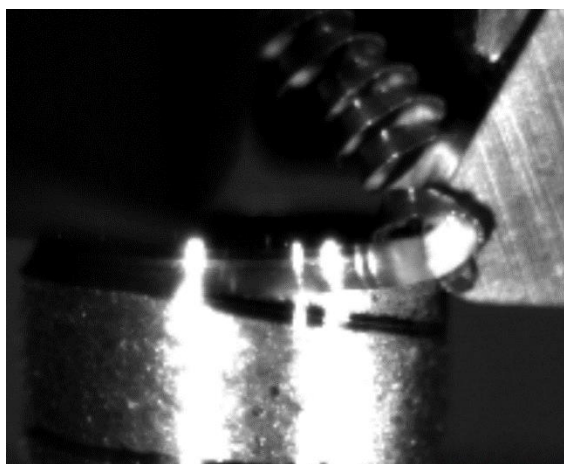


VBD s utvařečem typu 8A $V_f=192$ [mm/min] – 3. opakování

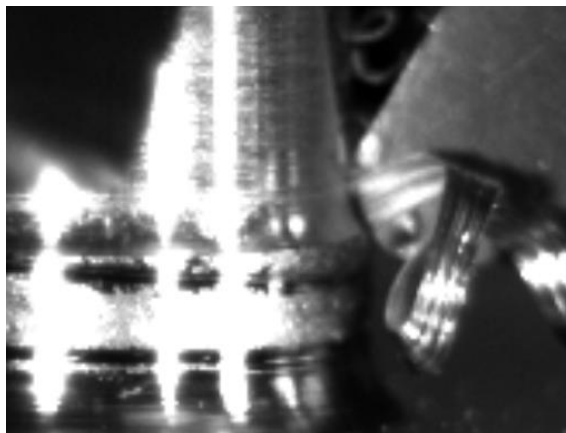
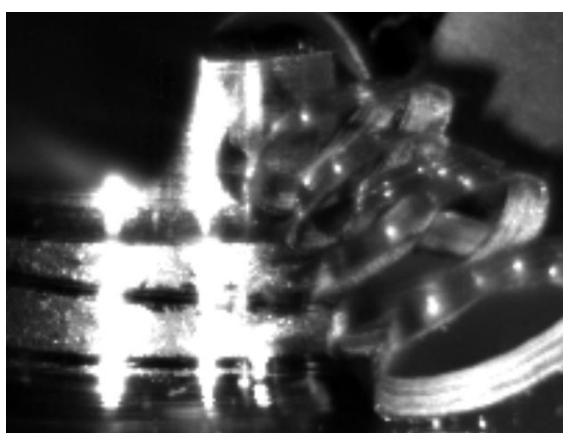
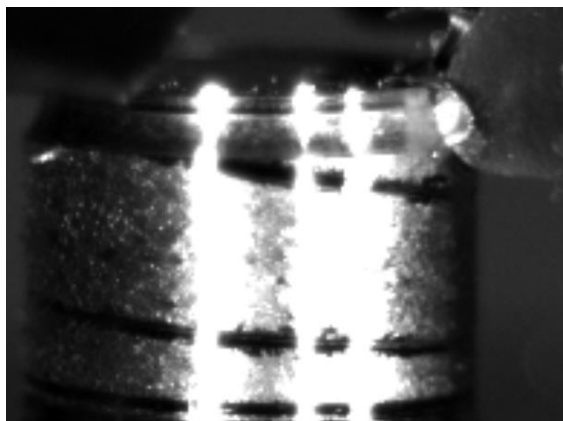




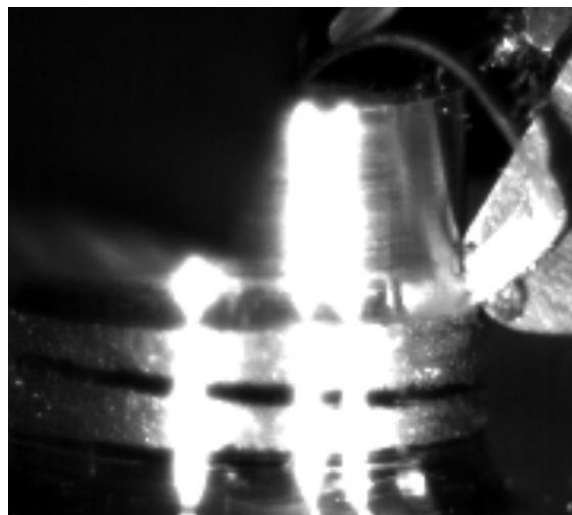
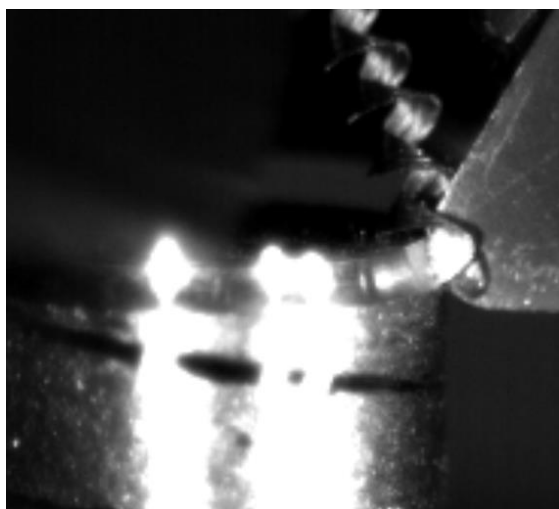
VBD s utvařčem typu 8B $V_f=192$ [mm/min]

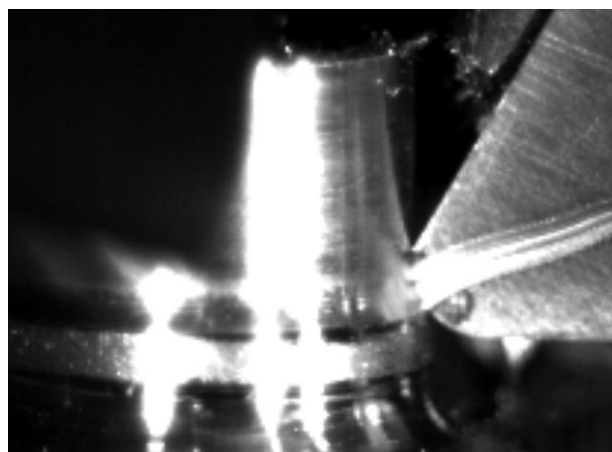
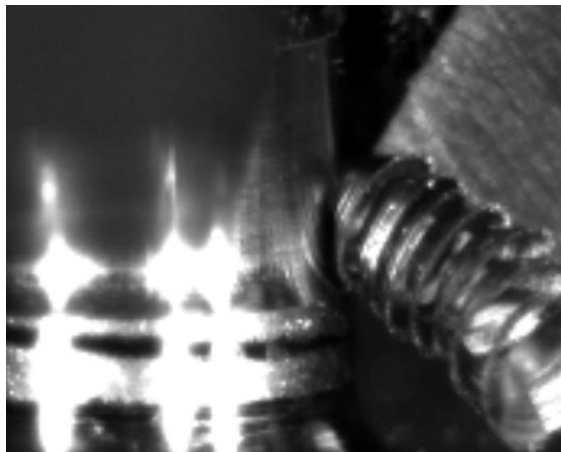


VBD s utvařečem typu 9A $V_f=128$ [mm/min]

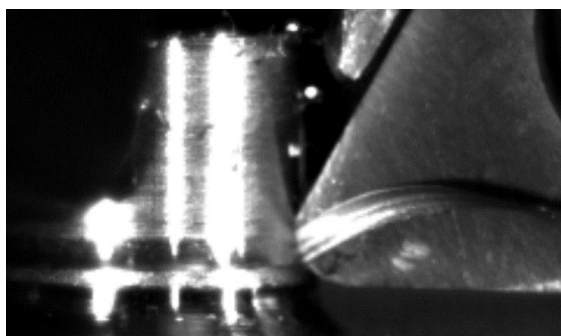
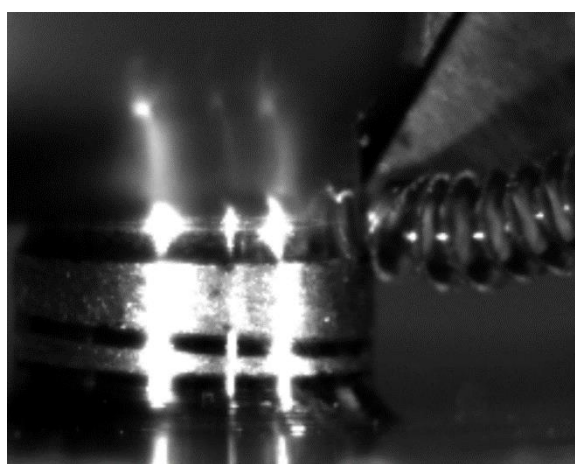
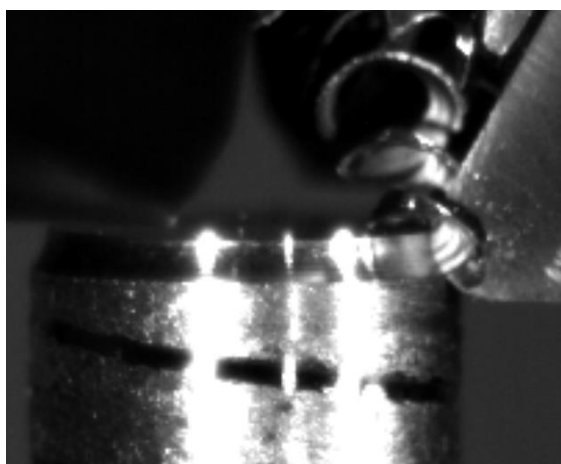


VBD s utvařečem typu 9A $V_f=128$ [mm/min] – opakování

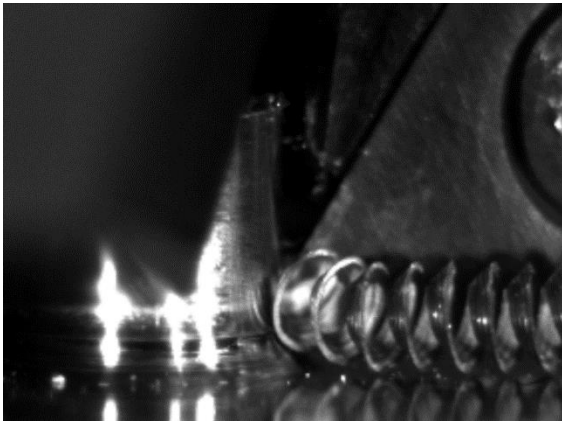
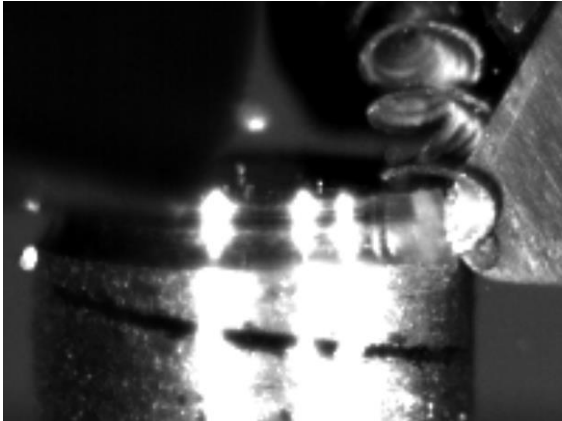




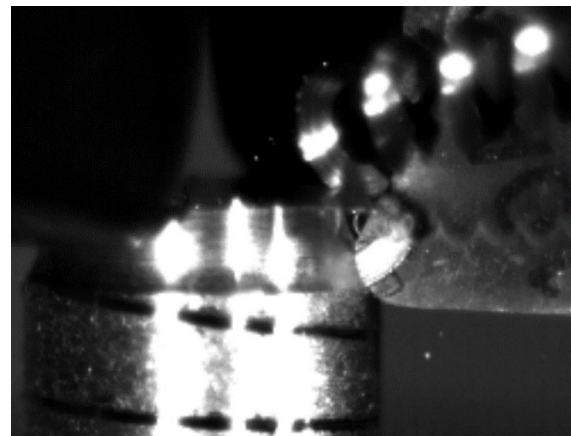
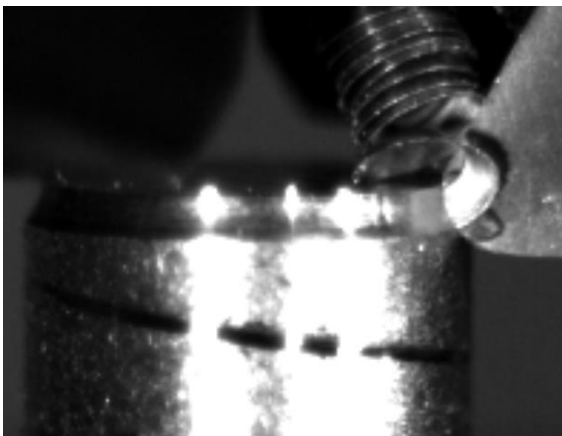
VBD s utvařečem typu 9A $V_f=192$ [mm/min]

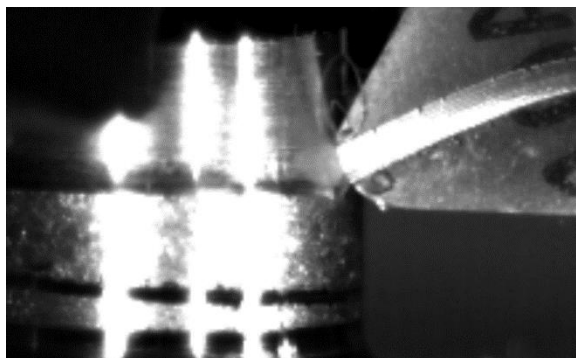


VBD s utvařečem typu 9A $V_f=192$ [mm/min] - opakování

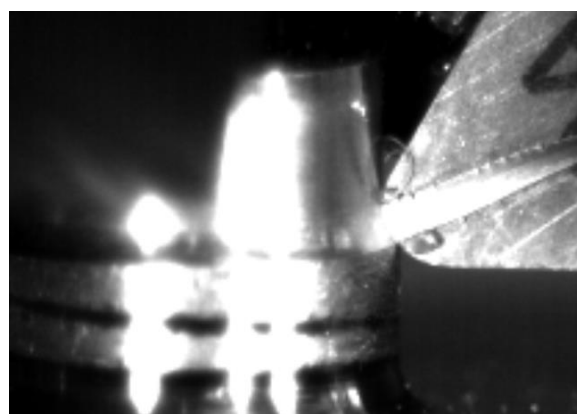
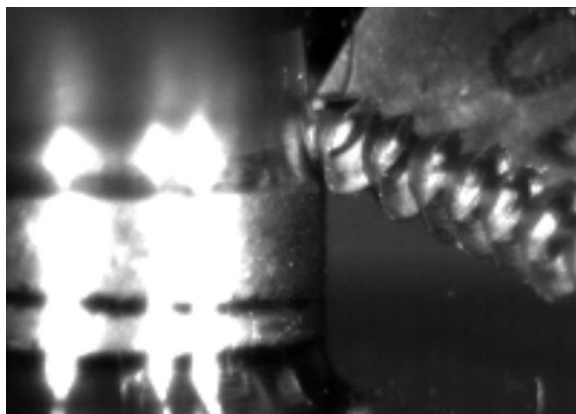
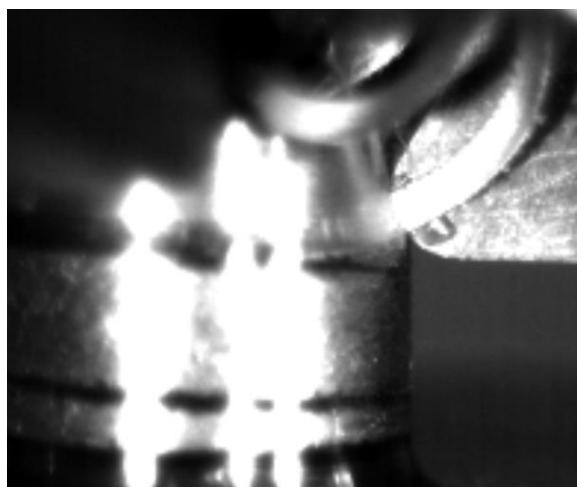
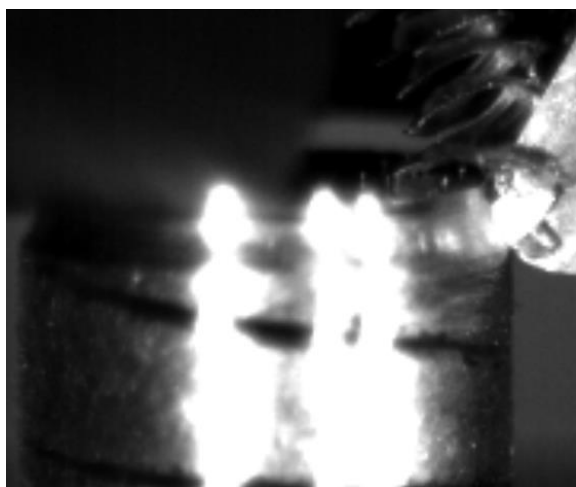


VBD s utvařečem typu 10A $V_f=128$ [mm/min]

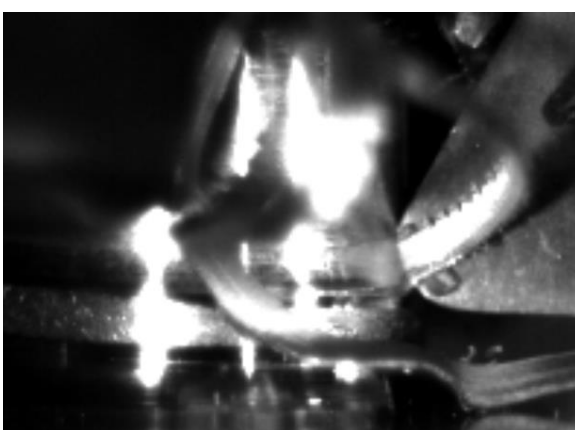
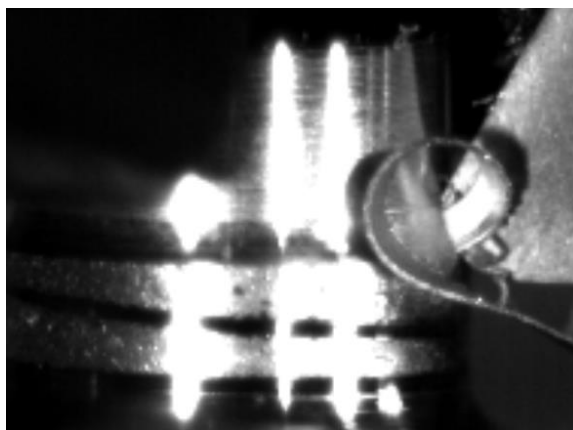
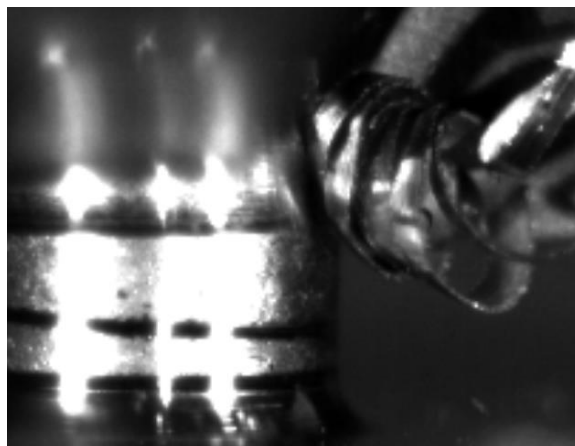
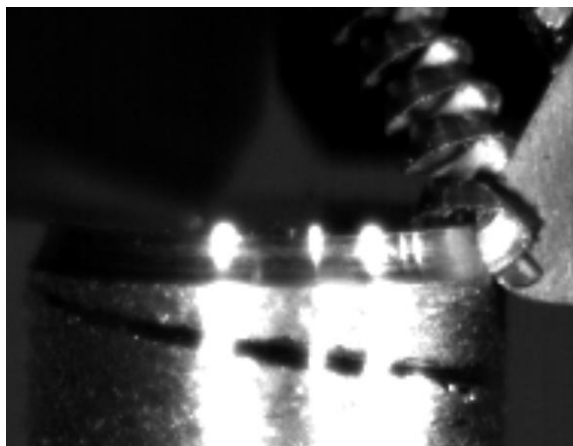




VBD s utvařečem typu 10A $V_f=128$ [mm/min] – opakování



VBD s utvařečem typu 10A $V_f=192$ [mm/min]



VBD s utvařečem typu 10A $V_f=192$ [mm/min] – opakování

