

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

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

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Závislost vybraných parametrů hodnocení obrobených ploch tvrdých
povlaků na konstrukci řezného nástroje

Autor: **Bc. David KOLOŠ**

Vedoucí práce: **prof. Ing. Peter MONKA, Ph.D.**

Akademický rok 2016/2017

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. David KOLOŠ**

Osobní číslo: **S15N0096P**

Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Strojírenská technologie - technologie obrábění**

Název tématu: **Závislost vybraných parametrů hodnocení obrobených ploch tvrdých povlaků na konstrukci řezného nástroje**

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 současné poznatkové základny
3. Návrh geometrie nástrojů
4. Návrh faktorů a parametrů experimentů
5. Diskuse experimentů
6. Technické hodnocení
7. Ekonomické hodnocení
8. Závěr

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

Seznam odborné literatury:

- Král J. Řehoř J. a kol.: **Technologické a informačné činitele obrábania, SjF TU v Košiciach, Košice, 2010, ISBN 978-80-553-0381-9**
- Řasa J. a kol.: **Výpočetní metody v konstrukci řezných nástrojů, SNTL/Alfa, Praha/Bratislava, 1986**
- Beňo J.: **Teória rezania kovov, Viena, Košice, 1999, ISBN 80-7099-429-0**
- Beňo J.: **Teoretické základy inovačních technologií, SjF TU v Košiciach, Košice, 2010, ISBN 978-80-553-0449-6**
- **Metals Handbook Volume 16 Machining, ASM International, ISBN 0-87170-007-7**
- **DeVries W.R.: Analysis of Material Removal Processes, Springer-Verlag, New York, 1919, ISBN 0-387-97728-7**

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Peter Monka, PhD.**
TÚ Prešov, SK


Konzultant diplomové práce: **Prof. Ing. Peter Monka, PhD.**
TÚ Prešov, SK

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **2. června 2017**


Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan




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

V Plzni dne 19. října 2016

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

Poděkování

Tímto velmi děkuji panu prof. Ing. Peteru P. Monkovi, PhD. za odborné vedení, ochotu a cenné rady, které mi během zpracování této diplomové práce poskytl.

V neposlední řadě patří velké poděkování mé rodině za trpělivost a vytvoření potřebného zázemí během studia.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Kološ	Jméno David	
STUDIJNÍ OBOR	Strojírenská technologie – technologie obrábění		
VEDOUČÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) prof. Ing. Monka, PhD.	Jméno Peter	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Závislost vybraných parametrů hodnocení obrobených ploch tvrdých povlaků na konstrukci rezného nástroje		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2017
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	87	TEXTOVÁ ČÁST	71	GRAFICKÁ ČÁST	16
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Diplomová práce se zabývá obrobiteľnosťou chrom-kobaltovej slitiny Stellite 6, súčasťou sú návrhy nástrojov pre tržskové obrábění týchto slitin. Návrhy sa zaoberajú oblasťou soustružení a obrážení. V úvodu této diplomové práce je zpracována rešerše o obrobiteľnosti Stellite, shrnutí zahraniční publikační činnosti. Hlavní část diplomové práce obsahuje konstrukční návrhy nástrojů pro soustružení a obrážení, včetně přípravku pro proces obrážení. Experimentální studium a v závěru technicko – ekonomické zhodnocení.
KLÍČOVÁ SLOVA	Stellite 6, obrobiteľnosť, konstrukce, CatiaV5, tržskové obrábění, soustružení, obrážení, nástroj

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Kološ	Name David	
FIELD OF STUDY	2303T004/ Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) prof. Ing. Monka, PhD.	Name Peter	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Cutting tool design according to the selected parameters of machining of hard coated surfaces		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2017
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	87	TEXT PART	71	GRAPHICAL PART	16
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis is focused on machinability of Stellite chromium-cobalt alloys, the main part is the design of tools for chip machining of these alloys. Design of tools is focused on machining – turning or horizontal shaping. The introduction of this diploma thesis deals with research of the machinability of Stellite 6 alloy and a summary of foreign publishing activities. There is technical - economic evaluation at the end of this thesis.
KEY WORDS	Stellite 6, Machinability, Design, CatiaV5, HVOF, turning, shaping, roughness of surface, cutting speed

Obsah

1	Úvod.....	7
1.1	Cíle diplomové práce.....	8
2	Analýza současné poznatkové základny	9
2.1	Obráběný materiál – Stellite 6 a jeho obrobiteľnosť	15
2.2	Princip žárového nástřiku	16
2.2.1	Metoda HVOF.....	17
2.2.2	Struktura žárového nástřiku	18
3	Oblast - SOUSTRUŽENÍ.....	20
3.1	Silové zatížení.....	21
3.2	Vlivy na stabilitu řezání.....	23
3.2.1	Obnovení stability procesu řezání	26
3.3	Základní parametry vyměnitelné břitové destičky	27
3.4	Diagram variant	28
3.5	Základní geometrie nástroje – VBD	30
3.6	Návrhy nástroje - soustružení	32
3.6.1	Varianta 1 – „Rozříznutí“	32
3.6.2	Varianta 2 – „Hydroplastické provedení“	34
3.6.3	Varianta 3 – „Vydutý tvar VBD“	35
4	Oblast - OBRÁŽENÍ.....	36
4.1	Varianty obrážecího nože	38
4.1.1	Rám pro vyvolání tlakového napětí	39
4.1.2	VBD – oblast obrážení	40
4.1.3	Varianta nože I – „Nůž přímý“	41
4.1.4	Varianta nože II – „Nůž s pohyblivou vložkou z SK“	42
4.1.5	Varianta nože III – „Nůž s pájenými vložkami SK“	44
4.2	Konstrukční návrh přípravku.....	46
4.2.1	Jednotlivé části přípravku.....	47
5	Experimentální studium – oblast OBRÁŽENÍ.....	53
5.1	Charakteristika experimentálních zařízení	53
5.1.1	Obráběcí stroj	53
5.1.2	Experimentální nůž	54
5.1.3	Obrobek pro experimentální studium.....	55
5.1.4	Mikroskop Multicheck PC500	57
5.1.5	Drsnoměr Mahr M300.....	57
5.2	Experimentální ověření.....	58

5.2.1	Plán experimentu.....	58
5.2.2	Analýza VBD	59
5.2.3	Analýza obrobku	60
5.2.4	Průběh experimentu.....	61
5.3	Naměřené výsledky a vyhodnocení	63
5.3.1	Závislost Ra na hloubce řezu a_p	63
5.3.2	Závislost Rz na hloubce řezu a_p	64
5.3.3	Opotřebení VBD	66
5.3.4	Obrobený nástřík Stellite 6.....	67
6	Technicko – Ekonomické zhodnocení	68
7	Závěr.....	70
8	Seznam použité literatury	72
9	Seznam příloh.....	74

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Využití nástroje při ověřování [4].....	13
Obrázek 2 – Průběh ověřování [4]	13
Obrázek 3 - Proces žárového stříkání [11]	16
Obrázek 4 - Princip metody HVOF [11]	17
Obrázek 5 - Vrstvy žárového nástřiku [11]	18
Obrázek 7 - Částečně natavená částice slitiny Stellite 6 [8]	19
Obrázek 6 - Nenatavená částice slitiny Stellite 6 [8]	19
Obrázek 8 - Grafické znázornění rezných sil [17]	21
Obrázek 9 - Návrh rozměrů VBD	27
Obrázek 10 - Struktura Cermetu [23].....	27
Obrázek 11 - Diagram variant	29
Obrázek 12 - Řezné úhly při soustružení [29].....	31
Obrázek 13 - Detail horizontálního držáku VBD.....	32
Obrázek 14 - Varianta I "Rozříznutí" - držák VBD	32
Obrázek 15 - Negativní geometrie nástroje při soustružení [22]	33
Obrázek 16 - Detail vertikálního rozříznutí držáku VBD	33
Obrázek 17 - Opěrný element	34
Obrázek 18 - Detail návrhu hydroplastického provedení držáku.....	34
Obrázek 19 - Přítlačný element	35
Obrázek 20 - Návrh držáku s přítlačným elementem.....	35
Obrázek 21 - Schéma teoretického působení sil u nože s vydutou VBD.....	35
Obrázek 22 - Ortogonální volné řezání [12]	36
Obrázek 23 - Obrážek [18]	37
Obrázek 24 - Používané typy nožů při horizontálním obrázení [18]	38
Obrázek 25 - Rám pro vyvolání napětového stavu.....	39
Obrázek 26 - Dílčí sestava rámu k vyvolání napětí	39
Obrázek 27 - Destička SNMA	40
Obrázek 28 - Obdélníková destička pro přímou variantu nože.....	40
Obrázek 29 - Detail přímé varianty nože	41
Obrázek 30 - Přímá varianta nože s VBD	41
Obrázek 31 - Opěrné vložky s VBD	42
Obrázek 32 - Speciální lůžko pro VBD	42
Obrázek 33 - Návrh změny vymezující vložky.....	43
Obrázek 34 - Detail sestavení II. varianty nože	43
Obrázek 35 - Detail lůžka pro VBD s pájenými vložkami	44
Obrázek 36 - Návrh opěrných vložek pro III. variantu nože	45
Obrázek 37 - Detail sestavení III. varianty nože	45
Obrázek 38 - Sestava přípravku	47
Obrázek 39 - Model základní desky přípravku	48
Obrázek 40 - Vyměnitelná čelist - strana s vroubkováním	48
Obrázek 41 - Vyměnitelná čelist - hladká strana	49
Obrázek 42 - Pohyblivá upínací čelist.....	49
Obrázek 43 - Rozměry upínky JC310 [30]	50
Obrázek 44 - Model upínky	50
Obrázek 45 - Blok	51
Obrázek 46 - Horizontální vymezovač.....	52
Obrázek 47 - Obrážek Strigon [31]	53
Obrázek 48 - Přípravek pro upnutí obrobku.....	53
Obrázek 49 - Model experimentálního nože	54

Obrázek 50 - Reálná podoba nože při experimentu	54
Obrázek 51 - Návrh podoby obrobku [25]	55
Obrázek 52 - Model obrobku	55
Obrázek 53 - Soustava plátů po nanesení nástřiku metodou HVOF	56
Obrázek 54 - Detail ocelových plátů se stelitovým nástřikem	56
Obrázek 55 - Mikroskop Multichack PC500 [27]	57
Obrázek 56 - Drsnoměr Mahr 300 – sada [28]	57
Obrázek 57 - Varianty obrobku pro experiment	58
Obrázek 58 - Polotovár k výřezu VBD	59
Obrázek 59 - Poškození VBD po vyříznutí drátořezem	59
Obrázek 60 - Označení rezných hran VBD pro experimenty	59
Obrázek 61 - Analýza ostří nepoužité VBD	60
Obrázek 62 - Identifikace hřbetní a čelní plochy VBD	60
Obrázek 63 - Naskenovaná plocha obrobku	60
Obrázek 64 - Detail měření drsnosti obrobeného povrchu	61
Obrázek 65 - Odebírání třísky při $a_p=0,2$	62
Obrázek 66 - Vytrhávání nástřiku při odebírání třísky na rozhraní materiálu	62
Obrázek 67 - Nová VBD	66
Obrázek 68 - Nárůstek na hřbetu u VBD č. 2	66
Obrázek 69 - Vydrolování ostří u VBD č. 3	66
Obrázek 70 - Obrobený povrchu obrobku	67
Obrázek 71 - Abbottova křivka obrobku "V1" po obrobení	67
Obrázek 72 - Teoretický model obrobku pro zhodnocení	68

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Přehled řezných podmínek a výsledku drsnosti ploch[4]	14
Tabulka 2 – Chemické složení slitiny Stellite 6 [8],[21].....	15
Tabulka 3 - Třídy slinutých karbidů.....	28
Tabulka 4 - Chemické složení oceli 15142.6 [19]	38
Tabulka 5 - Charakteristika experimentu [24]	58
Tabulka 6 - Naměřené hodnoty Ra [24].....	63
Tabulka 7 - Hodnocení odlehlosti pro Ra [24].....	63
Tabulka 8 - Naměřené hodnoty Rz [24].....	64
Tabulka 9 - Tabulka odlehlosti pro Rz [24]	64

Seznam grafů

Graf 1 - Závislost drsnosti povrchu na řezné rychlosti [5].....	10
Graf 2 - Závislost drsnosti povrchu na posuvové rychlosti [5]	11
Graf 3 - Závislost drsnosti povrchu na hloubce řezu [5].....	12
Graf 4 - Závislost tvrdosti Stellite 6 na teplotě [21].....	15
Graf 5 - Závislost amplitudy kmitání na šířce odřezávané vrstvy [12].....	23
Graf 6 - Závislost amplitudy kmitání na tloušťce odřezávané vrstvy [12]	24
Graf 7 - Závislost amplitudy kmitání na řezné rychlosti [12]	24
Graf 8 - Závislost amplitudy kmitání na geometrii břitu [12].....	25
Graf 9 - Závislost Ra na a_p [24].....	64
Graf 10 - Závislost Rz na a_p [24].....	65
Graf 11 - Časové srovnání jednotlivých metod.....	69

Seznam použitých zkratk a symbolů

VBD	<i>Vyměnitelná břitová destička</i>
HVOF	<i>High Velocity Oxygen Fuel</i>
CBN	<i>Kubický nitrid boru</i>
SK	<i>Slinutý karbid</i>
HV	<i>Tvrдость dle Vickerse</i>
HV0.3	<i>Mikrotvrдость dle Vickerse</i>
V1, 2, 3,...	<i>Označení varianty</i>
D1, 2, 3,...	<i>Označení VBD</i>
H1, 2, 3...	<i>Označení řezné hrany VBD</i>

v_c	<i>Řezná rychlost</i>	m/min
a_p	<i>Hloubka řezu</i>	mm
Ra	<i>Střední aritmetická úchylka profilu</i>	μm
Rz	<i>Střední hloubka drsnosti</i>	μm
Rt	<i>Celková výška profilu drsnosti</i>	μm
Rsm	<i>Střední vzdálenost rýh</i>	μm
Rk	<i>Základní hloubka – hloubka profilu jádra drsnosti</i>	μm
Rpk	<i>Redukovaná výška špiček</i>	μm
Rvk	<i>Redukovaná hloubka rýh</i>	μm
Mr1	<i>Podíl materiálu nad profilem jádra</i>	%
Mr2	<i>Podíl materiálu pod profilem drsnosti</i>	%
t_{AS}	<i>Jednotkový strojní čas</i>	min
r_n	<i>Poloměr zaoblení řezné hrany</i>	μm
r	<i>Poloměr kruhové VBD</i>	mm
f_{ot}	<i>Posuv na otáčku</i>	mm/ot
h	<i>Hloubka řezu</i>	mm
b	<i>Šířka řezu</i>	mm
v_p	<i>Obvodová rychlost obrobku</i>	m/min

1 Úvod

Nacházíme se v době, kdy jsou neustále kladeny zvyšující se nároky na kvalitu strojních součástí. Strojírenský průmysl klade důraz na to, aby strojní součásti, jež jsou využívány v různých provozech či odvětvích, odolávaly mnohým formám opotřebení a jejich trvanlivost byla pokud možno co nejdélejší. Ať už se jedná pravděpodobně o nejčastější druh opotřebení – abraze, tak i dle provozů například vysokým teplotám či korozi. Jedná se zřejmě o nejčastější požadavky odolnosti, které jsou od materiálu součásti požadovány. Velmi pravděpodobně jsou totiž materiály využívány tam, kde jsou vysoké teploty na denním pořádku. To platí například pro řezné nástroje. Koroze je častým problémem například u součástí vyskytující se ve vlhkém či agresivním prostředí.

I proto jsme v době, kdy se začínají využívat různé povrchové aplikace na nástrojích či strojních součástech, které by měly požadované vlastnosti splňovat. Jednou z možností, které se dnes využívají a jsou čím více častěji aplikovány, jsou žárové nástřiky, které nabízejí svými vlastnostmi využitelnost v těchto ohledech, neboť jsou vhodnou aplikací pro zvýšení odolnosti proti opotřebení součásti, ať už erozivní, abrazivní či kavitační, dále zvýšení odolnosti proti korozi, zlepšení tribologických vlastností, zvýšení bioaktivity povrchu, zvýšení žáruvzdornosti či žárupevnosti železných i neželezných slitin.

Druhů žárových nástřiků je mnoho, tato práce se však zabývá stelitovými slitinami, taktéž označovány jako chrom – kobaltové slitiny, jež jsou využívány například v leteckém či energetickém průmyslu. Nutno podotknout, že žárovým nástřikem se rozumí technologický postup využívající vhodný zdroj tepla ke vzniku roztavených, natavených nebo do plastického stavu přivedených částic přídavného materiálu a vhodný způsob jejich urychlení směrem k připravenému povrchu základního materiálu či součásti, kde následně vzniká souvislý povlak požadovaných vlastností. [2]

Stelitové slitiny, o kterých tato diplomová práce pojednává a to tím, že řeší obrábitelnost těchto slitin, jsou v hojné míře nejčastěji obráběny broušením či kombinací jednotlivých způsobů. Například takzvaně první tříska je ubrána pomocí třískového obrábění soustružením a následně je stelitová slitina dobroušena na požadované parametry. Obrábět tento typ žárových nástřiků není snadný, vzhledem k lamelární struktuře těchto slitin jsou výhradně žárové nástřiky broušeny. V případě třískového obrábění může u splatů, ze kterých je tato lamelární struktura tvořena, dojít k jejich rozdělení.

1.1 Cíle diplomové práce

Řešení diplomové práce má za cíl ověření požadované funkčnosti navrženého nástroje pro třískové obrábění – soustružení a obrázení, a to v souvislosti se splněním požadované kvality obrobeneho povrchu žárového nástřiku slitiny Stellite 6. Úkolem je navrhnout nástroje s definovanou geometrií břitu a jeho mikro a makrogeometrií, který v souladu s vhodně navrženými reznými podmínkami povede k zefektivnění výroby, která by mohla vést k nahrazení současného způsobu obrábění těchto stelitových slitin, kdy se využívá poměrně méně produktivní a finančně náročné obrábění, a to broušení. A to i výslednou kvalitou obrobeneho povrchu tak, aby výsledkem byla co nejlépe kvalitou shodná obrobená plocha k ploše po broušení. V závěru této diplomové práce došlo k technicko-ekonomickému zhodnocení a porovnání těchto způsobů obrábění.

Je obecně známo, že při obrábění vznikají v obráběném materiálu různé typy zbytkových napětí, kdy se materiál snaží vrátit zpět do rovnovážného stavu. Tato zbytková napětí ovlivňují kvalitu povrchu, vznik trhlin, korozi a obecně životnost obrobku. Zbytková napětí v povrchu materiálu mohou vznikat typu tahového či tlakového. Tahové zbytkové napětí může vzniknout při tepelném zatížení povrchu obráběním, například v případě broušení bez využití chlazení, kdy může dojít k teplotám až 1200°C. V případě snahy o dosažení zbytkových napětí v materiálu v podobě tlakového napětí, ke kterému může dojít při plastické deformaci povrchové vrstvy mechanickým zatížením, využijeme metodu třískového obrábění – například soustružení. V tomto případě se zvyšuje mez únavy i odolnost povrchu obrobku proti mechanickému opotřebení.

Právě proto uvažujeme, že vyvolání určitého napětového stavu v místě řezu by mohlo mít pozitivní vliv na výsledek obrábění, co do kvality povrchu materiálu. Vlivem působení tlakového napětí na VBD, koncentrovanou do blízkosti její rezné hrany, je předpoklad snížení vzniku mikrotrhlin – trhlin na této rezné hraně. V případě snížení vzniku trhlin na rezné hraně se prodlužuje životnost VBD a s tím spojená kvalita obrobené plochy, kdy bychom mohli dosahovat lepších výsledků drsnosti obrobené plochy.

Tato diplomová práce může být pomyslně rozdělena na několik částí. První rešeršní část zmiňuje detaily chrom-kobaltové slitiny Stellite 6. Je možné zjistit, jaké jsou základní vlastnosti této slitiny, za jakého hlediska je tato slitina zařazena mezi těžkoobrobitelné materiály, její obrobitelnost apod. Dále ve spojitosti s touto slitinou je část věnována způsobu nanesení těchto slitin na základní materiál.

Vzhledem k tomu, že je diplomová práce zaměřena na návrh rezného nástroje pro obrábění těchto stelitových slitin, je velká část věnována vlastním návrhům nože. Konstrukce nástrojů se zabývá dvěma oblastmi – soustružení a obrázení. Důvodem je prvotní úvaha aplikačního výzkumu v oblasti soustružení a s tím spojeny návrhy nástrojů. Vzhledem k poměrně obtížnému procesu a ověření uvažované myšlenky a principu jsme se přesunuli k základnímu výzkumu v oblasti obrázení, a to pro jednodušší, avšak podobnou technologii, kterou je obrázení. V budoucnu se tento základní výzkum zohlední pro aplikační výzkum soustružení, kdy by se ověřené vlastnosti a konstrukce nástrojů z obrázení uplatnily v návrhu nástrojů pro soustružení. V této části jsou vyobrazeny návrhy s komentářem k navrženým nástrojům.

2 Analýza současné poznatkové základny

V současné době je čím dál častěji v určitých oblastech strojírenství požadováno, aby materiály, které za mnohdy velmi náročných podmínek při provozu, odolávaly abrazivnímu opotřebením, vysokým teplotám a v neposlední řadě korozi. Existuje poměrně mnoho způsobů a úprav, které pomyslně posouvají materiály do oblastí, kdy můžeme hovořit, že se jedná o materiál odolávající různým vlivům při obrábění. Právě jedním ze způsobů či úprav, kterých se v dnešní době využívá, nazýváme žárové nástřiky či návary poměrně odolných materiálů. Jedním z přídatných materiálů, který je této formě využíván je i Stellite, respektive stelitové slitiny. Tyto žárové nástřiky či návary jsou velmi oblíbené či žádané v průmyslu energetickém, leteckém a jimi podobné. Právě v těchto zmíněných oblastech, kde jsou materiály vystavovány náročným podmínkám, musí odolávat různým formám opotřebením, vysokým teplotám a různým druhům namáhání.

Vzhledem k vynikajícím fyzikálně-mechanickým vlastnostem jsou slitiny Stellite ve strojírenství velmi ceněným materiálem. Součásti, které jsou opatřeny vrstvou Stellite, jsou schopné udržovat vlastnosti této slitiny, i v případě, že jsou tyto součásti vystaveny vyšší pracovní teplotě nebo agresivnímu prostředí.

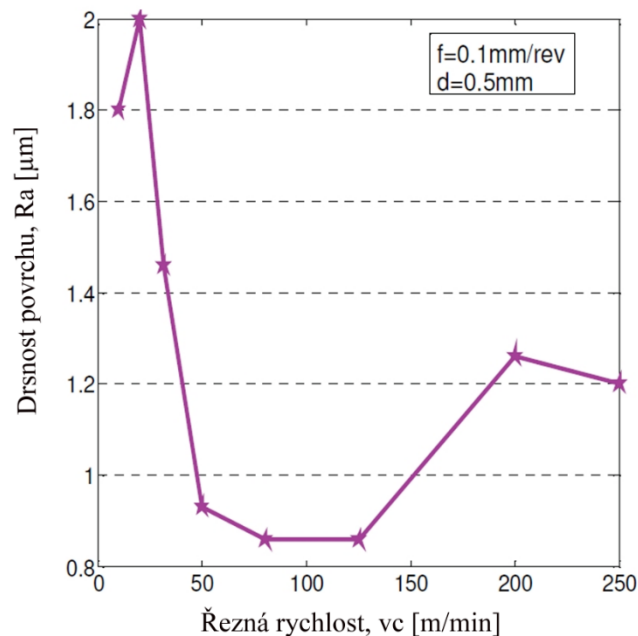
Oblastmi, ve kterých se můžeme setkat s aplikací žárových nástřiků, je mnoho. Pro příklad uveďme například všeobecné strojírenství, kde je čerpací a hydraulická technika opatřena povlaky odolné proti opotřebením, korozi a působení agresivních médií. Těžké strojírenství uplatňuje žárové nástřiky v podobě otěruvzdorných tvrdých povlaků pro rovinné a rotační plochy součástí a komponent za účelem odolnosti proti otěru. Energetika aplikuje povlaky odolné proti korozi, erozi, abrazi a kavitaci. Například pro povlaky tepelných bariér a bariér proti horké korozi. V automobilovém průmyslu jsou povlaky nanášeny na díly spalovacího motoru – například písty, hlava válce, vložka, ventily. Stejně tak povlaky odolné proti opotřebením v případě synchronních kroužků, čepy klikových hřídelí, vačky. Letecký průmysl aplikuje žárový nástřik na horké díly leteckých motorů, jako jsou spalovací komory, lopatky či povlaky těsnění. [3]

Vzhledem k tomu, že je v dnešní době převážně slitina Stellite broušena, například z důvodu své tvrdosti, což je časově i finančně náročný proces, zabývají se různé subjekty výzkumem, který by napomohl k zjednodušení v oblasti obrábění těchto chrom-kobaltových slitin při zachování stejné hodnoty kvality povrchu po broušení. Problematikou třískového obrábění se již zabývalo několik univerzit a výzkumných oddělení, stejně tak jako my. Pro nás jsou publikované výsledky výzkumu těchto subjektů určitým ukazatelem, udávající informace, které značí oblasti, jež byly přínosem či nikoliv. Avšak i špatný výsledek je výsledek. Čerpání informací prostřednictvím publikací – článků shrneme v následujících odstavcích.

Prvním z článků zabývajících se obrobitelností stelitové slitiny je článek s anglickým názvem „*Optimisation of the Machining of Stellite 6 PTA Hardfacing Using Surface Roughness*“[5]. Tato studie se zabývá depozicí Stellite 6 a obrobitelností Stellite 6, který byl PTA metodou nanesen na tyčovinu z oceli 4140 AISI o průměru 100 mm. Celkově byly vyhotoveny čtyři testovací obrobky, kde tři byly naneseny konstantní vrstvou Stellite a v jednom případě byla nanesena dvojité vrstvy. Série soustružnických operací probíhala na konvenčním soustruhu a byly využity vyměnitelné břitové destičky ze slinutého karbidu. Pro naše účely se budeme zabývat výsledky spojené s kvalitou obrobené plochy v závislosti na řezných podmínkách.

Pro obráběcí proces tohoto experimentálního ověření bylo využito konvekčního soustruhu Harrision M400 a již zmíněné VBD ze slinutého karbidu byly navíc povlakové bez blíže upřesněné vrstvy. Úhel nastavení hlavního ostří 95° , úhel čela s negativní geometrií -6° a úhel špičky 0,8 mm.

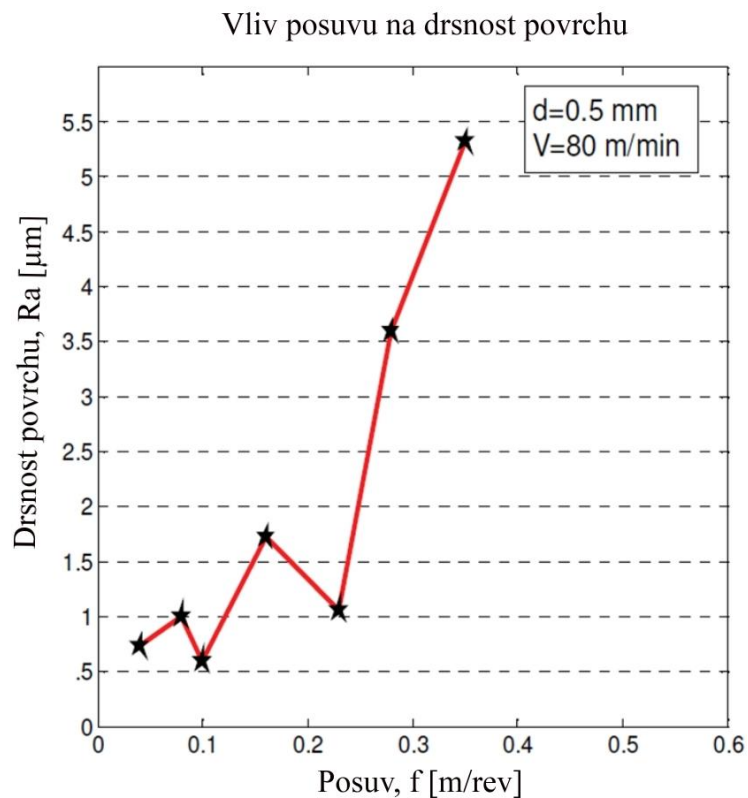
Jednotlivé parametry jako jsou řezná rychlost, posuvová rychlost a hloubka řezu byly navrženy v několika krocích. Řezná rychlost byla uvažována v rozmezí 10m/min až 250m/min a to v osmi stupních. Při změně řezné rychlosti byly zachovány zbylé parametry řezných podmínek a to hloubka řezu s hodnotou 0,5 mm a posuvová rychlost 0,1 mm/ot. Během obrábění bylo zaznamenáno kráterové opotřebení VBD při rychlosti 200m/min a nástroj byl vyměněn. Významné opotřebení VBD pak nastalo při rychlosti 250m/min, kdy se objevilo i jiskření. Výsledná drsnost povrchu po obrobení byla měřena třikrát, vždy pro každou oddělenou část označenou zápich, a to podél osy po 120° . Závěrečné doporučení stanovení řezných rychlostí vyplývá z grafického znázornění v grafu 1. Je zřejmé, že není vhodné použít jak nízké řezné rychlosti, tak naopak i vysoké řezné rychlosti. Optimální řezná rychlost, s testovanými povlakovanými destičkami ze slinutého karbidu, je mezi 50 – 80 m/min, zatímco průměrná drsnost obrobené plochy je mezi 0,93 – 0,86 μm . [5]



Graf 1 - Závislost drsnosti povrchu na řezné rychlosti [5]

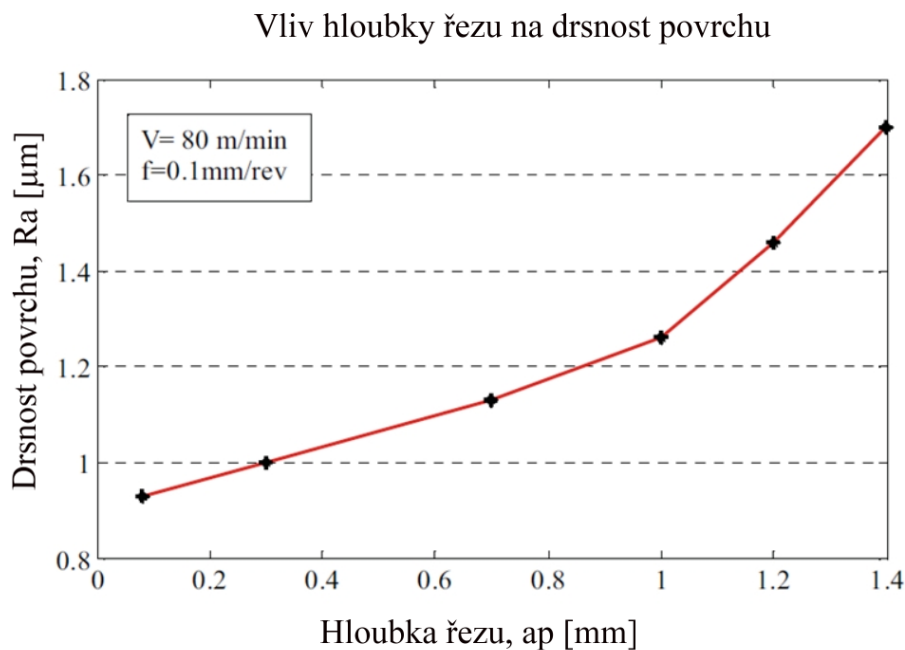
Podmínky pro zjišťování vlivu posuvové rychlosti byly nastaveny tak, že posuvová rychlost se měnila v sedmi stupních od 0,04 mm/ot. až po 0,35 mm/ot., a to při konstantní řezné rychlosti 80m/min a konstantní hloubce řezu 0,5 mm.

Významné opotřebení VBD bylo zpozorováno po pěti minutách při posuvu 0,28 mm/ot. Z tohoto důvodu byla VBD vyměněna a experiment byl dokončen s touto destičkou. Závislost posuvové rychlosti na kvalitě povrchu je znázorněna v grafu 2. Tento graf vypovídá o skutečnosti, že se zvyšující se posuvovou rychlostí se zhoršuje kvalita obrobenej plochy. Zvyšování posuvové rychlosti má stoupající charakter směrem k horším výsledkům po obrobení. V závěru je z výsledků zřejmé, že optimální hodnota posuvu je mezi 0,04 - 0,1 mm/ot. při kvalitě obrobenej povrchu mezi 0,6 – 1 μm . [5]



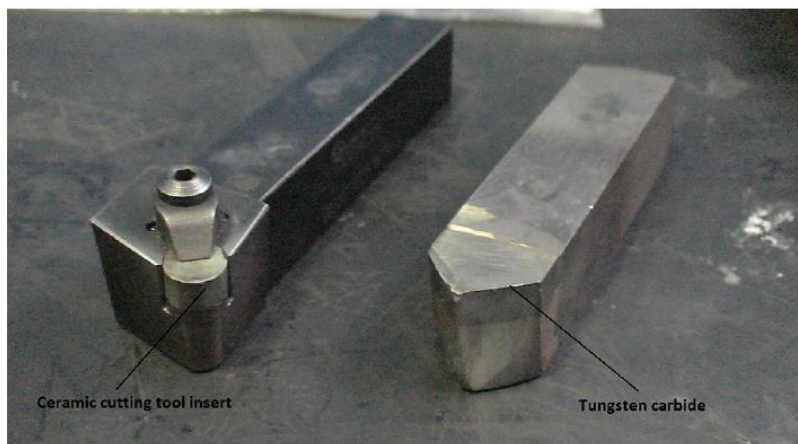
Graf 2 - Závislost drsnosti povrchu na posuvové rychlosti [5]

Poslední zkoumanou závislostí je vliv hloubky řezu na kvalitu povrchu. Zde byla hloubka řezu variována mezi hodnotami 0,08 mm až po hloubku řezu 1,4 mm v šesti stupních. Měření kvality povrchu probíhá pro všechny zjišťované závislosti stejným již zmíněným způsobem. Hloubka řezu má dle předpokladů stoupající charakter stejně jako posuvová rychlost. Závěrem lze tedy podotknout, že pro lepší hodnoty kvality obrobeného povrchu jsou doporučeny nižší hodnoty hloubky řezu.[5]



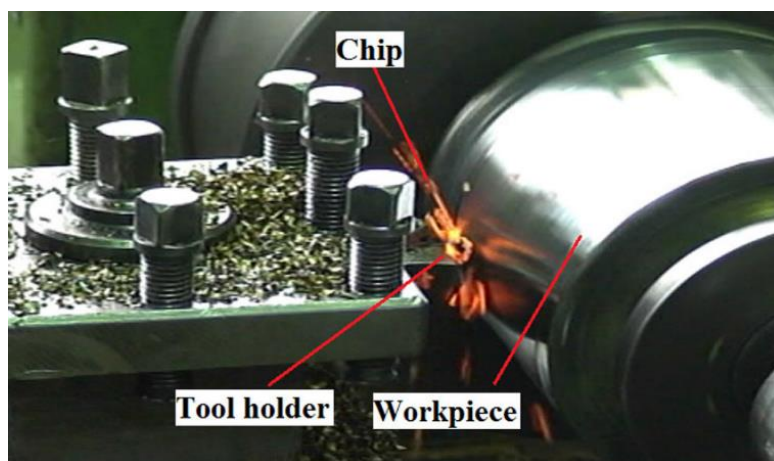
Graf 3 - Závislost drsnosti povrchu na hloubce řezu [5]

Dalším ze zmíněných publikací je článek s názvem „*Machinability of Stellite-6 Coatings with Ceramic Inserts and Tungsten Carbide Tools*“ [4]. Studie se zabývala testováním obrobitelnosti stelitové slitiny Stellite 6, kdy byly využity dva druhy nástrojů. Jedním z využitých typů byla použita keramická břitová destička. Společně s tímto nástrojem byl využit celistvý soustružnický nůž s řeznou částí karbidu wolframu. Oba tyto nástroje jsou znázorněny na obrázku 1. Tato publikace shrnuje výsledky výkonu nástrojů a následně je porovnává v dosažených výsledcích kvality povrchu.



Obrázek 1 - Využití nástroje při ověřování [4]

Testování probíhalo na univerzálním soustruhu SN55 a jako základní materiál, na který byla navržena stelitová slitina, byla využita ocel AISI 304 austenitická nerezová ocel. Obrobkem byla tyč – mezikruží s vnějším průměrem 200, vnitřním 170 a délkou 300 mm. Obrázek 2 zachycuje sestavu při průběhu experimentálního ověřování.



Obrázek 2 – Průběh ověřování [4]

Detailnější podrobnosti o nástrojích prozrazují, že v případě řezné části celistvého nože se jednalo o připájenou řeznou část z karbidu wolframu, která nebyla dále povlakována. Takto použitý nůž měl pozitivní geometrii čela celkově s označením K20. Zvolená keramická destička typu RNGN 120700 T0 1020 od firmy Sandvik byla vyztužena tzv. whiskery v základním materiálu Al_2O_3 . Takto upravená keramická destička je dle tvrzení autorů publika vhodná pro vysokorychlostní obrábění teplotně odolných a tvrzených slitin. Destička byla usazena v držáku, který svým provedením zajišťoval negativní sklon, kdy úhel čela destičky byl 6° .

V případě souvislého obrábění keramickou destičkou nebyla použita provozní (chladicí) kapalina, avšak v případě nože s pájenou destičkou bylo využito olejové emulze. K ověřování byly použity dva obrobky, vždy pro každý typ nože zvlášť. Nastavené řezné podmínky jak pro obrábění keramickou destičkou, tak i již zmíněným pájeným plátkem z karbidu wolframu, byly následující.

Konstantní hloubka řezu pro oba typy 0,25 mm. Řezná rychlost pro nůž s pájeným plátkem v rozmezí od 30 – 50 m/min, zatímco řezná keramika měla rozsah od 30 – 90 m/min. Pro každou hodnotu řezné rychlosti se vždy provedla třikrát změna posuvu na otáčku v rozmezí hodnot 0,25 – 0,35 mm/ot. pro řeznou keramiku, ale u pájené destičky z karbidu wolframu byla tato hodnota snížena v rozmezí 0,1 – 0,20 mm/ot.

Výsledky experimentu jsou vyobrazeny přehledně v tabulce 1, viz níže. Vzhledem k tomu, že je našim cílem dosažení co nejkvalitnějšího povrchu třískovým obráběním, který by se rovnal kvalitě ploše po broušení, zajímají nás výsledky kvality povrchu.

Podíváme-li se na hodnoty po obrobení nožem s keramickou vyměnitelnou destičkou, lze si všimnout, že nejnižší hodnota a tím nejlepší dosažená hodnota kvality povrchu je v tomto případě kombinací řezné rychlosti 90m/min při posuvu 0,25 mm/ot. Dodejme, že hloubka řezu byla konstantní – 0,25 mm. Výsledkem je hodnota drsnosti povrchu $R_a = 2,21 \mu\text{m}$. Při pohledu na hodnoty drsnosti povrchu je zřejmé, že zvyšující se hodnota posuvu je významným faktorem, který kvalitu povrchu zhoršuje.

Obrábění nožem s pájenou destičkou z karbidu wolframu bylo dosaženo drsnosti R_a v rádech od 1,8 – 5,1 μm , kdy nejnižší hodnota drsnosti povrchu $R_a = 1,8 \mu\text{m}$ byla dosažena při řezné rychlosti 50m/min a posuvu 0,1 mm/ot. I v tomto případě se ukázalo, že hodnota posuvu je velmi důležitá k dosažení kvalitní obrobené plochy. Okomentované výsledky naznačují, že nižší hodnoty posuvu jsou jedním z faktorů, které mohou vést k lepším hodnotám drsnosti povrchu. Stejně tak zvyšováním řezných rychlostí může být docíleno lepší kvality povrchu.[4]

Insert type	Cutting speed	Feed rate	Average surface	Tool type	Cutting speed	Feed rate	Average surface
	(m/min)	(mm/rev)	roughness (μm)		(m/min)	(mm/rev)	roughness (μm)
	V	f	R_a		V	f	R_a
Whisker-reinforced ceramic CC670	30	0.25	2.48	Tungsten carbide	30	0.1	2.6
		0.3	3.44			0.15	3.8
		0.35	4.74			0.20	5.1
	50	0.25	2.42		40	0.1	2.1
		0.3	3.29			0.15	3.1
		0.35	4.63			0.20	4.7
	70	0.25	2.30		50	0.1	1.8
		0.3	3.19			0.15	2.5
		0.35	4.54			0.20	4.0
	90	0.25	2.21				
		0.3	3.10				
		0.35	4.40				

Tabulka 1 - Přehled řezných podmínek a výsledku drsnosti ploch[4]

2.1 Obráběný materiál – Stellite 6 a jeho obrobiteľnosť

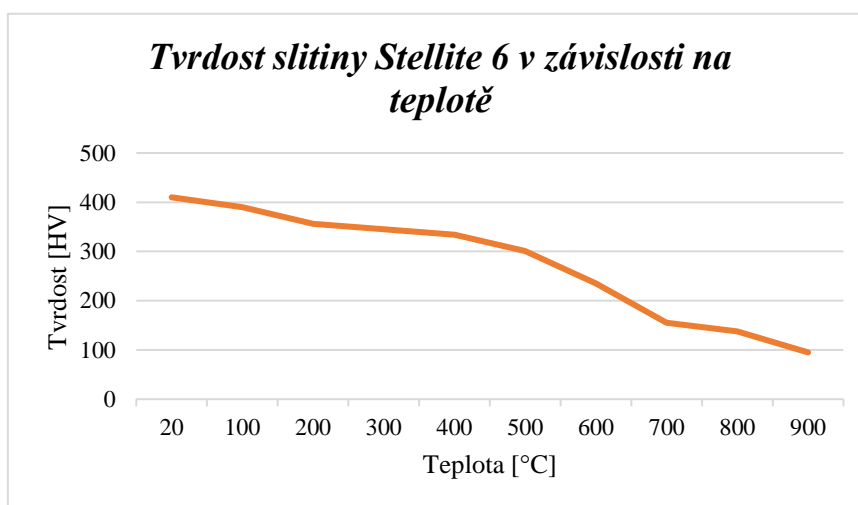
V prípade materiálu Stellite se jedná o chrom-kobaltovú slitinu, kde je kobalt (Co) základným prvkom v chemickom zložení asi 50 – 60%. Spoločne s kobaltom je chemické zloženie slitiny doprovádzané významným prvkom chromom (Cr) okolo 20 – 30%. Ďalším prvkom je wolfram 5 – 20 % spoločne s uhlíkom (C), ktorého je medzi 0,1 – 1,5 %, ten je dôležitý pre vytvorenie jednotlivých karbidů. V malom množstve nájdeme i doprovádzajúce prvky napríklad molybden (Mo), nikel (Ni), niob (Nb), tantal (Ta), kremík (Si), mangan (Mn) či železo (Fe). [8]

Stellite 6 je jednou z najvyužívanejších slitin využívajúcich sa pri procese žiarového nástriku. Vlivem vysokého obsahu uhlíku v chemickom zložení tejto slitiny se Stellite radí k slitinám s vyšším obsahom uhlíku – lze hovořit o vysoce uhlíkové slitině. Chemické zloženie slitiny Stellite 6 je znázorněno pro přehled v tabulce 2, takto uvedené chemické zloženie vyplývá z hodnot dostupných v katalogovém listu Deloro, Stellite 6 alloy – technical data [21]. Tato chrom-kobaltová slitina disponuje poměrně vyrovnanými vlastnostmi, zmiňme houževnatost a tvrdost. Důvodem jsou právě přítomné karbidy chromu a jejich tvrdost společně se schopností odolávat korozi a vysokým teplotám.

Co	Cr	W	C	Ni	Fe	Mo	Mn	Si
základ	27 – 32	4 – 6	0,9 – 1,4	max. 3	max. 3	max. 1	max. 1	max 1,5

Tabulka 2 – Chemické zloženie slitiny Stellite 6 [8],[21]

Výběrem základních mechanických vlastností slitiny Stellite 6 můžeme uvést, že hodnota meze pevnosti v tahu dosahuje hodnoty 850 MPa, mez pevnosti v kluzu se u této slitiny pohybuje okolo hodnoty 700 MPa. Například tažnosť slitiny Stellite 6 se pohybuje pod hodnotou 1%. Modul pružnosti v tahu neboli Youngův modul, který můžeme definovat jako poměr napětí a jím vyvolané deformace se v případě stelitové slitiny pohybuje kolem 209 MPa. Pokud bychom prováděli měření tvrdosti této slitiny, získali bychom hodnotu mezi 35 – 50 HRC v závislosti na zložení. Poslední zde uvedenou vlastností je mikro tvrdost s hodnotou v rozmezí 650 – 700 HV0,3.[16]



Graf 4 - Závislost tvrdosti Stellite 6 na teplotě [21]

Chrom-kobaltové slitiny jsou svým chemickým složením schopné odolávat abrazivnímu opotřebení či korozi, stejně tak odolávají i vysokým teplotám. Každý prvek v chemickém složení těchto stelitových slitin napomáhá mechanickým vlastnostem, kterými jsou tyto slitiny specifické. Přítomný kobalt je prvkem zvyšující houževnatost, zatímco karbidy chromu a wolframu jsou prvky „nesoucí“ tvrdost této slitiny. Přítomnost chromu, tedy karbidy chromu zvyšují již zmíněnou odolnost vůči korozi a při vyšších teplotách zvyšují oxidační odolnost. Karbidy zmíněných prvků obsažených v chemickém složení stelitových slitin jsou jedním z důsledků mechanických vlastností a posouvají Stellite do řad materiálů, které jsou obtížněji obrobitelné – též těžkoobrobitelné materiály. Přítomné karbidy při obráběcím procesu vlivem své tvrdosti abrazivně odírají řezné nástroje, což výrazně snižuje jejich trvanlivost.

Obrobitelnost je vlastnost, která vyjadřuje, jak efektivní může být obrábění při nízkých nákladech a za daných technologických podmínek. Obrobitelnost má velkou souvislost s ekonomikou výroby: vyprodukovat maximální výkon s dostupnými (omezenými) zdroji. Obrobitelnost ovlivňují a určují řezné síly, teplo a teplota v řezu, formování třísky, opotřebení a životnost nástroje, a také integrita povrchu obrobené plochy. Všechny tyto faktory významně ovlivňují řezný proces a mohou snížit obrobitelnost.[6]

2.2 Princip žárového nástřiku

Poměrně složitý princip vytvoření nového povlaku je znázorněn jednoduchou grafickou formou na obrázku 3. Aby vznikl nový povlak na základním materiálu, je zapotřebí tepelná energie. Vlivem energie dojde k natavení přídavného materiálu. Urychlené a natavené částice se po dopadu na základní materiál plošně rozptýlí a díky adhezi a vzniklému tlaku ulpí na tomto materiálu. Přivedený přídavný materiál může být ve formě prášku nebo drátu. Kvalita žárového nástřiku závisí především na kvalitě spojení mezi oběma vrstvami materiálů. Proto je zapotřebí, aby se částice roztaveného kovu povlaku mechanicky zakotvily na povrchu základního materiálu. Povlak je tvořen typickou lamelární strukturou se speciálními vlastnostmi. Struktura povlaku se může měnit v závislosti na procesu nástřiku. Jedná se o parametry, které mají vliv na velikost a tvar zrn, to jak je struktura porézní, abrazivní odolnost a poměr částic natavených k částicím nenataveným.

Důležitým procesem před vytvářením žárového povlaku je kvalitní příprava povrchu, až poté následuje vlastní žárový nástřik, jeho následná úprava a ošetření nastříkané vrstvy. Všem těmto úpravám a aplikaci žárového nástřiku předchází zmíněná příprava povrchu v podobě zbavení všech mastnot a nečistot. Nedílnou součástí přípravy je i zdrsňování povrchu před začátkem nástřiku povlaku. [7]



Obrázek 3 - Proces žárového stříkání [11]

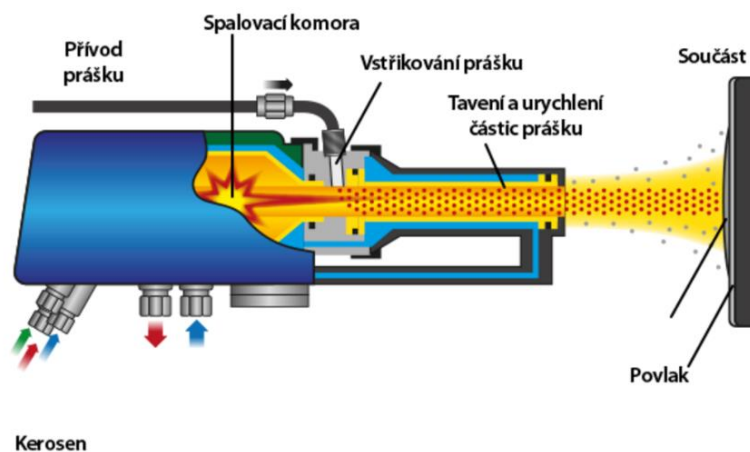
2.2.1 Metoda HVOF

HVOF – High Velocity Oxygen Fuel je metoda, u které je využíván vysokorychlostní nástřik plamenem. Princip spočívá v kontinuálním plnění spalovací komory, kdy je do spalovací komory současně přiváděna směs kyslíku a paliva. Palivem je zde velmi často využíván kerosin. Do supersonického plamene se přivede pomocí nosného plynu přídavný materiál v práškové formě, kde dojde k jeho natavení a urychlení směrem k povrchu základního materiálu. Jako nosný plyn se například využívá dusík. Pro představu, takovéto urychlení částic se pohybuje v hodnotách 300 – 1000 ms⁻¹. Plamen, pomocí kterého dochází k tavení a urychlení částic prášku dosahuje teploty, jejíž hodnoty se pohybují mezi 2800 – 5000°C.

Za zmínku stojí skutečnost, že tato metoda má negativum v případě, uvažujeme-li nástřik povlaku na keramické bázi. V tomto případě je vhodné tuto technologii nevyužívat. Důvodem je, že plamen, který taví a urychluje částice prášku, nemá pro keramické nástřiky dostatečně vysokou teplotu. Vlivem toho se v průběhu letu prášek zcela nenataví, proto nemůže dojít ke skutečnosti, aby byly částice po dopadu na povrch součásti rovnoměrně rozloženy. Vlivem nízké teploty plamene nedochází k fázovým přeměnám, stejně tak nedochází k oxidaci vrstvy. Dalo by se tedy říci, že nízká teplota je jakýmsi ochranným faktorem pro tyto vlastnosti.

Jako výhodu této metody můžeme uvést poměrně vysokou adhezní pevnost vrstvy slitiny Stellite 6, jejíž hodnota adhezní pevnosti může přesahovat 80MPa. Při využití této metody dále získáváme v povlaku slitiny Stellite 6 tlakové napětí, které přináší pro takto

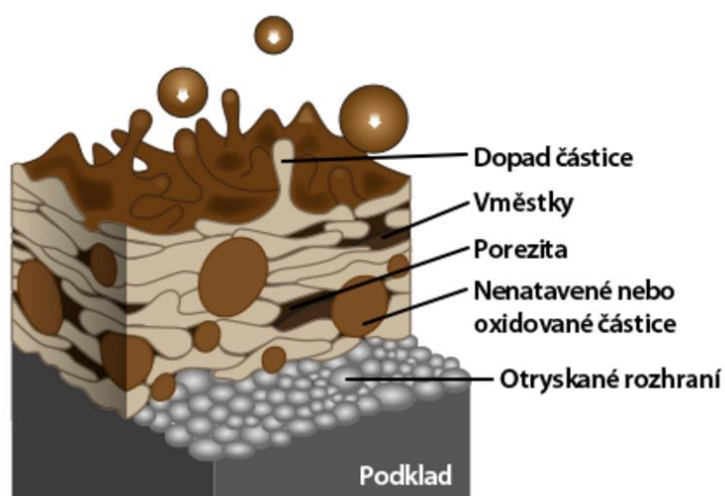
tedy jakási schopnost odolávat vzniku určité míry trhlin a vytrhávání částic, s tím se pojí celková odolnost povrchu materiálu z hlediska trvanlivosti a kvality povrchu. Aby vznikla takováto vrstva s charakterem tlakového napětí, je nutné znát a definovat vhodně parametry nástřiku.[7],[8]



Obrázek 4 - Princip metody HVOF [11]

2.2.2 Struktura žárového nástřiku

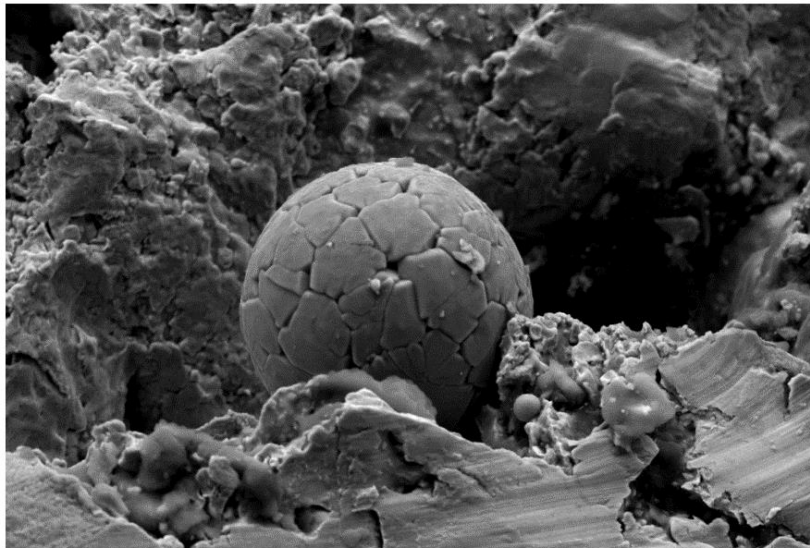
V případě povlaku vytvořeného metodou HVOF můžeme hovořit o struktuře, jež je tvořena takzvanými „splaty“. Aby vrstva zaručovala svoji funkčnost a nedocházelo k vylamování jednotlivých částic, je důležitý tvar zrna připomínající disk. Tato jednotlivá zrna dosedající na sebe tvoří lamelární strukturu. Tvar těchto splatů se může měnit například v závislosti rychlosti dopadajících částic. Při menší rychlosti nástřiku, který je důsledkem menšího rozstříku, dojde k tomu, že tvar těchto splatů získá globulárnější charakter a může být důsledkem horších vlastností povrchu jako celku. Tento globulárnější tvar splatů vede k menším stykovým plochám splatů mezi sebou a výsledek tohoto může být ve formě vytrhávání jednotlivých částic při obrábění vlivem působení nástroje respektive řezných sil. Stejně tak se i u žárového nástřiku v jeho struktuře mohou objevit částečně natavené či dokonce nenatavené částice společně s částicemi zoxidovanými či póry ve struktuře.



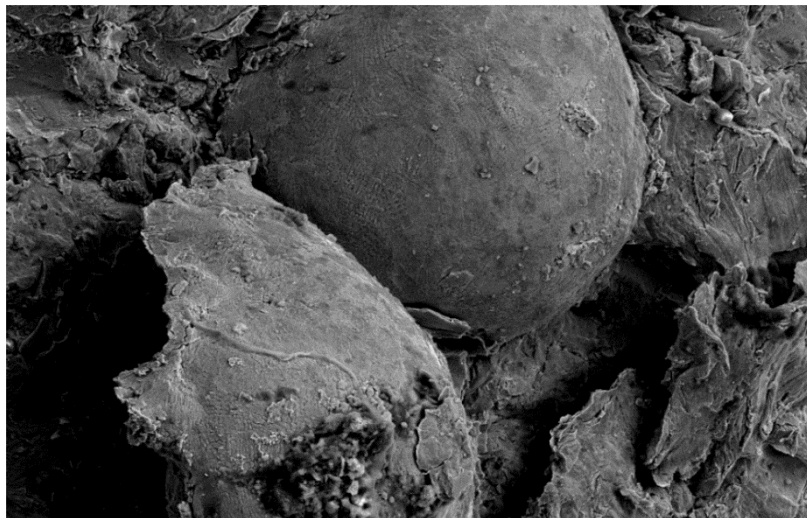
**Schéma řezu žárově
nastříkané vrstvy**

Obrázek 5 - Vrstvy žárového nástřiku [11]

Zmíněné nenatavené či částečně natavené částice a jejich přítomnost ve struktuře žárového nástřiku je ovlivněna způsobem jakým prochází částice přídavného materiálu nástřikovým plamenem. Jedná se v podstatě o to, zda částice projde středem nanášeného plamene či po okraji plamene. Právě toto rozhoduje, zda se ve finále částice přídavného materiálu zcela nataví nebo se jedná o nenatavenou částici popř. částici částečně natavenou. Aby byla částice žárového nástřiku kompletně natavena, musí procházet středem plamene vycházejícího ze zařízení pro aplikaci žárových nástřiků. Pokud ovšem tato částice kopíruje okraj nástřikového plamene nebo mimo tento plamen, je částice ve stavu nenataveném či částečně nataveném. Povedené snímky těchto částic jsou zobrazeny na obrázcích 6 a 7, které pořídil Michal Morávek pro svoji diplomovou práci.



Obrázek 7 - Nenatavená částice slitiny Stellite 6 [8]



Obrázek 6 - Částečně natavená částice slitiny Stellite 6 [8]

Všechny tyto uvedené poruchy ve struktuře mohou vypovídat o tom, o jak kvalitní žárový nástřik se jedná. Stejně tak ovlivňují jeho mechanické vlastnosti. V případě vyšší pórovitosti žárového nástřiků můžeme očekávat přítomnost nenatavených či částečně nenatavených částic. Stejně tak již zmíněný globulární tvar splatek. Takto ovlivněná struktura nástřiku může vést ke snížení tvrdosti povlaku, ba dokonce může docházet ke vzniku trhlin a následnému částečnému odloupení vrstvy, což je vzhledem k požadavkům kladeným na žárový nástřik, z důvodu jeho již zmíněným schopnostem odolnosti, velmi nežádoucí stav.

Pórovitost žárového nástřiku můžeme ovšem hodnotit velmi obtížně. Vše závisí na tom, jak pečlivě je připraven metalografický výbrus. Příprava takového výbrusu se provádí broušením a leštěním pomocí kotoučů a při této přípravě dochází k vytrhávání právě tvrdých částic, které se nacházejí na okraji pórů. Vytržením těchto částic vlivem broušení dochází jak ke zvětšení jednotlivých pórů, tak i k odkrývání nových. Právě vlivem této skutečnosti je poměrně obtížné zhodnotit pórovitost žárového nástřiku.

3 Oblast - SOUSTRUŽENÍ

Soustružení je obrábění reznými nástroji, při němž se většinou pomocí jednobřítých nástrojů různého provedení zhotovují součásti válcovitého tvaru. Rezný nástroj je ve většině případů pevný, zatímco obrobek rotuje. Z mnoha hledisek je soustružení nejjednodušší formou obrábění kovů. Na druhé straně zde máme co do činění s nejčastěji používaným procesem obrábění, ve kterém vývoj nikdy neustává. Soustružení znamená obrábění na nejvyšší technické úrovni, je to proces, který vzhledem k různým faktorům současné různorodosti použití vyžaduje pečlivé vyladění.

K soustružení obvykle potřebujeme jen jednobřité nástroje. Přesto se při procesu soustružení jedná o komplexní postup, protože musí být zohledněno mnoho faktorů ovlivňující rezný nástroj. Příkladem vybraných faktorů mohou být například obrobek (tvar, materiál), způsob obrábění, podmínky při obrábění.

Soustružení je účinná flexibilní metoda obrábění, která je určená k výrobě obrobků kruhového průřezu různých velikostí a z různých druhů materiálů. Jak již bylo uvedeno, používáme pro tento způsob obrábění jednobřítý nástroj. Rozlišujeme několik hlavních druhů soustružnických operací, které vyžadují specifické tvary držáků k tomu, aby bylo možné každou operaci ukončit s nejlepším možným výsledkem. Soustružení tak může být rozděleno do několika hlavních úseků věnovaných volbě nástrojů, rezných podmínkách a také programování určitých způsobů obrábění. Zmiňme i základní pohyby při tomto procesu obrábění. Při soustružení se jedná v podstatě o dva hlavní druhy pohybu, kdy obrobek rotuje, zatímco nástroj provádí pohyb posuvný přímočarý. Těmito pohyby dochází při soustružení k ubírání materiálu z povrchu rotujícího obrobku válcovitého tvaru pomocí jednobřitého nástroje, při dodržování vysokých požadavků na přesnost.

V tomto procesu obrábění – soustružení – se vyskytuje několik důležitých faktorů, které ovlivňují soustružení, jeho průběh a výslednou kvalitu obrobenej plochy. Hlavní výčet těchto faktorů je vypsán níže s krátkou charakteristikou a vlivem daného faktoru.

- ✚ **Rychlost posuvu v_f [mm/min]** – jedná se o takzvaný strojní posuv, při kterém je nástroj veden různými směry vzhledem k obrobku.
- ✚ **Posuv na otáčku f_n [mm/ot]** – uvádíme-li hodnotu posuvu v této terminologii, jedná se o dráhu, kterou urazí špička břitu při každé otáčce obrobku. Poměrně značná hodnota, od které se odvíjí například kvalita obrobenej plochy. Tato hodnota určuje jak kvalitu utváření třísky, tak i její tloušťku.
- ✚ **Hloubka řezu a_p [mm]** – jednoduše lze tuto hodnotu vysvětlit jako rozdíl mezi obráběnou plochou a obrobenu plochou.
- ✚ **Úhel nastavení hlavního ostří κ** – tento úhel je vztažen k hlavnímu ostří VBD a směru posuvu. Ovlivňuje jak utváření třísky, tak i směr působení rezných sil, efektivní délku ostří a v neposlední řadě polohu břitu vůči obrobku.[1]

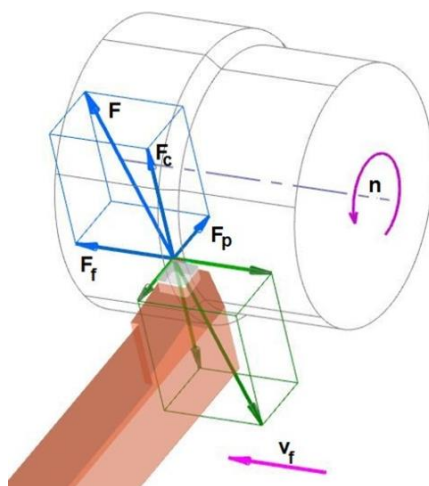
3.1 Silové zatížení

Řezné síly jsou limitujícím prvkem obrobitelnosti. Rovněž ovlivňují spotřebu energie během procesu a v případě vysokých řezných sil znamenají vysoký výkon, použitelný výkon je vždy omezen. Vysoké řezné síly způsobí větší deformace řezných nástrojů a obrobků, což může mít za následek vibrace a deformace obrobku, to může vést ke ztrátě tolerance. Pokud jsou použité řezné síly příliš vysoké, může dojít k velmi krátké životnosti nástroje.

Řezná síla je dynamický jev, při kterém zpočátku síla roste až po určité maximum, které je charakteristické pro moment, v němž dojde k oddělení třísky od základního materiálu. V případě oddělení třísky síla poklesne, ne však na nulovou hodnotu, protože před ukončením posunutí elementu začne deformace dalšího elementu třísky. Skutečný obraz velikosti řezné síly, která se v průběhu obrábění mění a tento děj je pro ni charakteristický, se měří dynamometry.

Řezná síla je celková síla, kterou působí nástroj na obrobek. Opačným způsobem pak působí řezný odpor, který lze definovat jako silové působení obrobku na nástroj. Jeho velikost je závislá na obráběném materiálu, zvolených řezných podmínkách a geometrii nástroje. Výslednou řeznou sílu, kterou překonáváme tento řezný odpor, je charakterizována třemi složkami této síly – řezná, posuvová a pasivní síla. Složky řezných sil působí v různých směrech, na základě kterých lze určit velikost a směr výsledného silového působení. [17]

Definujme si základní složky sil vyskytujících se při soustružení součástí. Tyto složky jsou důležité při návrhu samotného procesu řezání, neboť každá z těchto složek má ovlivňující faktor, který je přínosem či negativním účinkem a je třeba jej uvažovat.



Obrázek 8 - Grafické znázornění řezných sil [17]

F_c - řezná složka síly obrábění

- jedná se o složku řezné síly působící ve směru hlavního pohybu a vyvolává krouticí moment
- taktéž je největší a nejdůležitější složkou síly obrábění
- vychází se z ní při výpočtu namáhání nástroje, části stroje sloužící k upínání nástroje a obrobku, pohonu stroje, výkonu na noži a příkonu elektromotoru obráběcího stroje
- její velikost je důležitá při dimenzování posuvných mechanismů obráběcího stroje

F_p - pasivní složka síly obrábění

- je definovaná jako složka ve směru radiálním vzhledem k nástroji nebo obrobku.
- dále je kolmá na směr složky řezné.
- snaží se vtlačit nástroj ze záběru s obráběným předmětem, což vede při obrábění štíhlejších a slabších součástí k jejich průhybu a chvění při práci – to má značný vliv na přesnost rozměrů a na geometrický tvar obráběného výrobku, včetně jakosti obrobeného povrchu.
- pasivní složka má velký význam z pohledu technologického – její velikost ovlivňuje konstrukci nástroje i část obráběcího stroje z hlediska tuhosti.

F_f - posuvová složka síly obrábění

- může být definovaná jako složka ve směru osy obrobku
- dále je kolmá na směr složky řezné i pasivní síly
- její velikost je směrodatná pro dimenzování posuvových mechanismů obráběcího stroje
- tuto složku je třeba brát v úvahu i při výpočtu pevnosti nástroje, některých součástí stroje (např. axiální uložení vřetena stroje) a příkonu potřebného pro posuv nože, a to zejména při použití větších posuvů [10]

3.2 Vlivy na stabilitu řezání

Dynamické jevy, jako například kolísání řezné síly, proměnlivá tuhost, změna koeficientu tření a další jsou součástí celého procesu obrábění. Tyto jevy mohou vyvolat při obrábění chvění, a to pokud tlumení v soustavě S-N-O není schopné již tyto jevy eliminovat nebo se frekvence těchto jevů blíží některé vlastní frekvenci v soustavě.

Samotné chvění, které se při obrábění může „objevit“, má poměrně negativní účinky. Například snižuje výkon obrábění, resp. hospodárny úběr, a to v důsledku snížení řezných podmínek. Je poměrně zřejmé, že vlivem chvění se zhoršuje tvarová přesnost a drsnost povrchu obrobku. I proto je důležité odladit podmínky obrábění při našem ověřování experimenty. Vzniklé chvění má negativní vliv i na nástroj, respektive řezný břit, kdy se zvyšuje intenzita jeho otupování. Celkově poté v důsledku chvění dochází k namáhání soustavy S-N-O.

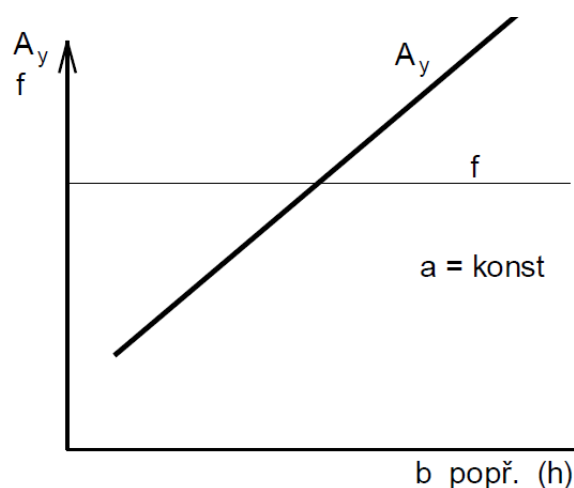
Při samotném obrábění je důležité zajištění stability řezání. Stabilita je významným faktorem při obrábění, neboť značně ovlivňuje kvalitu povrchu. Vzhledem k tomu, že naším cílem je dosažení kvality povrchu rovnající se kvalitě plochy po broušení, je nutné brát zřetel na stabilitu řezání.

Je důležité brát ohled na to, že intenzita vlivu faktorů, které jsou specifikovány níže, závisí na vlastnostech kmitajícího systému. Pokud bychom chtěli důkladněji studovat problematiku chvění, respektive stabilitu řezání, musíme se zabývat vlastnostmi tuhosti systému, tlumením systému, vlastními frekvencemi členů systému a v neposlední řadě orientací kmitání.

Velmi často ovlivňují stabilitu řezání řezné podmínky, a to co do velikosti a směru dané řezné síly.

vliv šířky odřezávané vrstvy

Šířka odřezávané vrstvy má v kombinaci s tloušťkou odřezávané vrstvy, popř. s posuvem, velký vliv na stabilitu řezání. Následující graf vypovídá zřetelně o tom, že pokud se zvětšuje šířka odřezávané vrstvy a tloušťka odřezávané vrstvy se zmenšuje, dojde ke zvyšování amplitudy kmitání A_y ve směru osy y znázorňující složku řezné síly F_y neboli F_p .

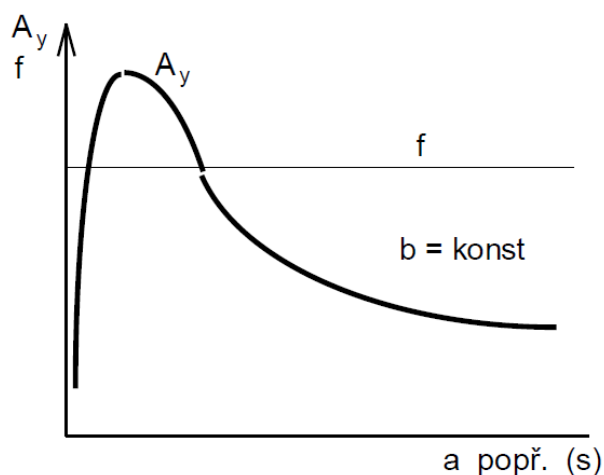


Graf 5 - Závislost amplitudy kmitání na šířce odřezávané vrstvy [12]

✚ *vliv tloušťky odřezávané vrstvy*

Na následujícím diagramu respektive grafu lze vypočítat, jaký vliv má tloušťka odřezávané vrstvy. Pokud tedy dochází během obrábění k nestabilnímu řezu, lze zvýšením tloušťky odřezávané vrstvy stabilizovat proces řezání.

Důležité ovšem je, aby poměr mezi šířkou odřezávané vrstvy a tloušťkou odřezávané vrstvy byl menší nebo rovno 10 – tedy $\frac{b}{a} \leq 10$.

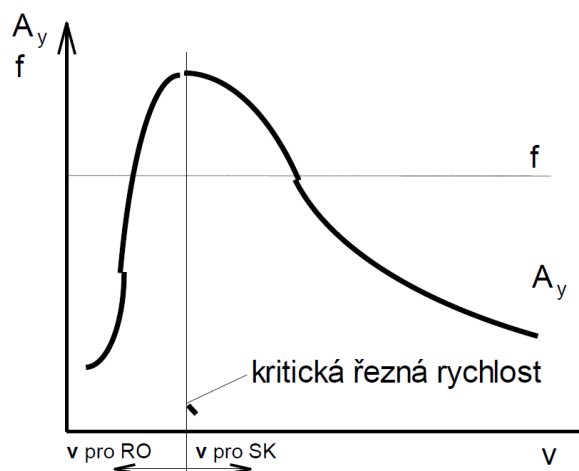


Graf 6 - Závislost amplitudy kmitání na tloušťce odřezávané vrstvy [12]

✚ *vliv řezné rychlosti v_c*

Vliv řezné rychlosti je nepravidelný, protože s rostoucí v_c roste i deformační rychlost v oblasti OMNO', což má za následek pokles plasticity kovu. S rostoucí řeznou rychlostí je spojen i růst teploty v oblasti OMNO', a tím se naopak zvyšuje plasticita kovu.

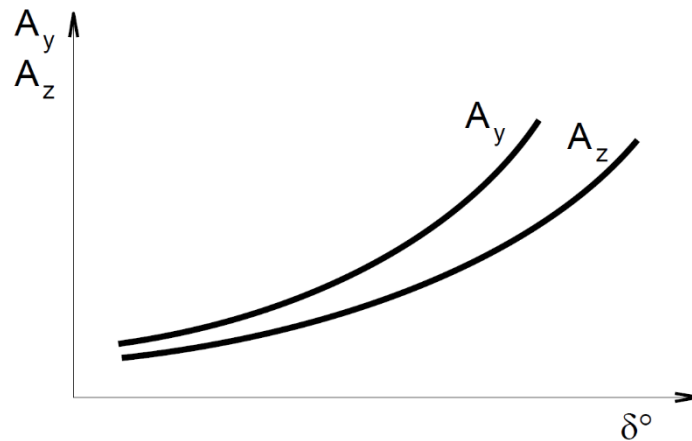
S řeznou rychlostí, respektive v určité oblasti řezné rychlosti, je spojen i vznik nárůstku na břitě řezného nástroje, který je příčinou nestabilního řezu a způsobuje vznik chvění.



Graf 7 - Závislost amplitudy kmitání na řezné rychlosti [12]

✚ vliv geometrie břitu - $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \kappa$

Poměrně jednoduchý charakter má úhel δ nebo γ . Čím větší je úhel například čela γ – tedy plocha břitu, po které odchází tříška, tím více roste plastická deformace v oblasti OMNO', která může vést k vzniku nárůstku. Nárůstek, jak bylo zmíněno výše, vede k nestabilitě rezného procesu, a tím růstu amplitudy A_y .



Graf 8 - Závislost amplitudy kmitání na geometrii břitu [12]

Pokud bychom se zaměřili na úhel κ - úhel nastavení hlavního ostří, platí, že zvětšování úhlu κ v kombinaci, kdy se snižuje šířka odřezávané vrstvy a zvyšuje tloušťka odřezávané vrstvy, vede k poklesu amplitudy A_y . Tedy stabilita řezání se zvyšuje.

Podobně je tomu i u úhlu α . Čím větší je úhel α - úhel hřbetu, tím se snižuje tření na hřbetní ploše břitu rezného nástroje a tím klesá amplituda A_y . V tomto důsledku dospějeme k zvýšení stability řezání. Naopak pokud by byl úhel hřbetní plochy nástroje roven 0° , došlo by k výraznému tření na této ploše. Poté by pochopitelně došlo ke zvýšení amplitudy A_y a stabilita řezu by se výrazně zhoršila.

3.2.1 Obnovení stability procesu řezání

Dojde-li v průběhu obrábění k nestabilitě řezání, lze různými faktory a jejich úpravou dospět k opětovné stabilitě řezání. K obnovení stability řezání můžeme využít například:

✚ *úpravu řezných podmínek*

Zřejmě nejjednodušší faktor, kterým můžeme ovlivnit stabilitu řezného procesu, je obecně změnou řezných podmínek. Tím je myšleno například snížení již zmiňovaného poměru mezi šířkou odřezávané vrstvy a tloušťkou odřezávané vrstvy. Tedy, docílit toho, abychom získali hodnotu poměru pod 10 a s tím související i změna posuvu f či hloubky řezu a_p . Dále můžeme zasáhnout do změny řezné rychlosti, a to zvýšením či snížením dle typu řezného materiálu.

✚ *zvýšení tuhosti soustavy S-N-O*

Pokud bychom se rozhodli stabilizovat proces řezání změnou tuhosti, lze stabilizovat proces dvěma základními způsoby. Prvním z nich je zvýšením tuhosti nástroje. V tomto případě je nutné zmenšení délky vyložení nástroje nebo zvolit větší nástroj – například větší průměr nástroje.

✚ *změnu velikosti a orientaci řezné síly*

V případě obnovení stability pomocí polohové vazby je nutné změnit polohu ostří břitu řezného nástroje vzhledem k obrobku například i změnou geometrie břitu. Orientaci řezné síly lze změnit i tehdy, pokud změníme smysl otáčení obrobku či nástroje dle typu obrábění. V případě soustružení by se tedy jednalo o změnu otáčení obrobku.

✚ *zavedení chvění s protiúčinkem a zvýšení tlumení členu soustavy S-N-O*

Budeme-li usilovat o stabilitu řezného procesu touto cestou, je nutné využít tzv. tlumiče chvění. První skupinou tlumičů chvění jsou statické tlumiče – charakterizovat je můžeme změnou frekvencí kmitajícího členu například použitím lunety. Druhou skupinou jsou tlumiče dynamické. Ty mohou být s vlastním tlumením či bez vlastního tlumení.

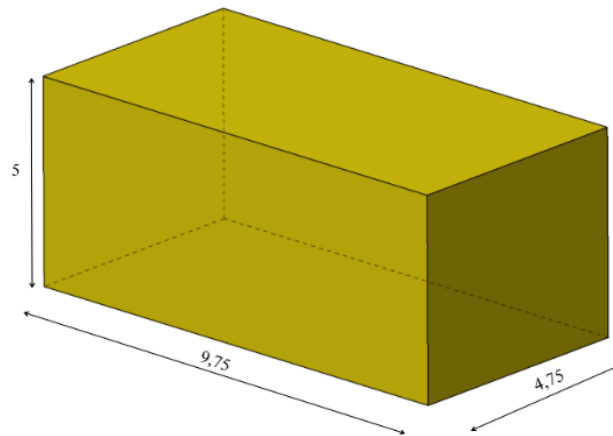
Tlumiče s vlastním tlumením pracují na principu přidání dalšího kmitání s ohledem na resonanci a následně se zvyšuje tlumení, a to například kapalinou v tlumiči. Tento typ tlumiče se nejčastěji využívá u proměnlivých frekvencí.

V případě tlumičů bez vlastního tlumení je princip takový, že se přidává další kmitání o stejné frekvenci, ale amplituda kmitání má opačný směr. Tyto tlumiče můžeme uplatnit v případě konstantní frekvence – například konstantní délka vyvrtávací tyče.[12]

3.3 Základní parametry vyměnitelné břitové destičky

V této diplomové práci jsou jednotlivé varianty nožů konstruovány pro využití vyměnitelné břitové destičky, dále VBD. Pro tyto návrhy je plánováno využít břitové destičky dodané firmou HAM-FINAL, s.r.o. o rozměrech **9,75x5x4,75 mm**. V jednotlivých variantách držáků je uvažováno uložení VBD takzvaně na široko nebo úzko. To znamená řezný rozměr 9,75 mm nebo 4,75 mm.

Materiály, ze kterých by tato břitová destička mohla být vyrobena, jsou například cermet, slinutý karbid a další. V otázce volby materiálu pro VBD je pro budoucí experimenty uvažována i varianta s využitím například plátků CBN, nelze však v době vypracování této diplomové práce sdělit, jaké přednosti tento materiál pro výzkum v oblasti třískového obrábění slitiny Stellite 6 přináší.

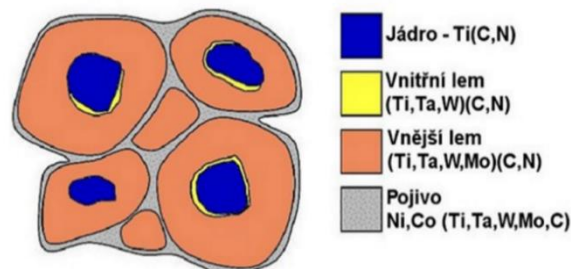


Obrázek 9 - Návrh rozměrů VBD

CERMET je společný název pro všechny tvrdé kovokeramické materiály, u nichž jsou tvrdé složky tvořeny karbidem titanu (TiC), karbonitridem titanu (TiCN) nebo nitridem titanu (TiN), jakož i karbidem wolframu (WC). Název vyjadřuje CERAmic-METal, znamenající keramické částice s kovovým pojivem. Cermety lze v podstatě považovat za slinuté karbidy, zhotovené na bázi titanu, místo na bázi karbidů wolframu.

Základními vlastnostmi tohoto materiálu jsou například vysoká odolnost proti opotřebení hřbetu a opotřebení ve tvaru žlábků na čele. Další výhodou tohoto materiálu je vysoká chemická stabilita a tvrdost za tepla, dále je pozitivem poměrně malý sklon k vytváření nárůstků a v neposlední řadě nedochází k častému oxidačnímu opotřebení.

O využitelnosti nástrojového materiálu – cermet lze uvažovat například při vysokých řezných rychlostech, při malém posuvu a malé hloubce řezu, a to tehdy, je-li kritérii přesnost rozměrů obrobku či jakost obrobeného povrchu. Tato kritéria požadujeme i v našem případě. [1]



Obrázek 10 - Struktura Cermetu [23]

Tedy, naše VBD by mohla být vyrobena z materiálů jako cermet, SK či CBN. Zde pravděpodobně upřednostníme variantu břitové destičky ze slinutého karbidu před CBN, což je velmi pravděpodobné vzhledem k finanční náročnosti.

Slinutý karbid je produktem práškové metalurgie, kdy se jedná o spékání prášků při působení velkých teplot a tlaků. SK je rezným materiálem, obsahujícím tvrdé částice karbidu jako například karbid wolframu (WC), karbid titanu (TiC) či karbid tantalu (TaC). Tyto karbidy jsou vázány kovovým pojivem, kterým je u většiny případů kobalt (Co). [1]

Vlastnosti slinutých karbidů ovlivňují jednotlivé částice karbidů, respektive jejich velikost. Dalším ovlivňujícím faktorem je druh použitého pojiva a v neposlední řadě kvalita zpracování s technologií výroby. Zmíněné velikosti zrn ovlivňují vlastnosti následovně:

- + velká zrna zvyšují houževnatost
- + malá zrna zvyšují tvrdost

Co se obsahu pojiva týče, snižuje-li se obsah pojivového materiálu (Co) se snižujícím se obsahem kobaltu jako pojiva, klesá pevnost a houževnatost, ale naopak roste tvrdost a otěruvzdornost bříty nástroje.

P	<i>oceli</i>
M	<i>austenitické a feriticko-austenitické oceli</i>
K	<i>litiny</i>
N	<i>neželezné kovy a jejich slitiny (slitiny mědi a hliníku)</i>
S	<i>žáruvzdorné a žárupevné materiály</i>
H	<i>kalené a zušlechťené oceli</i>
O	<i>plasty</i>

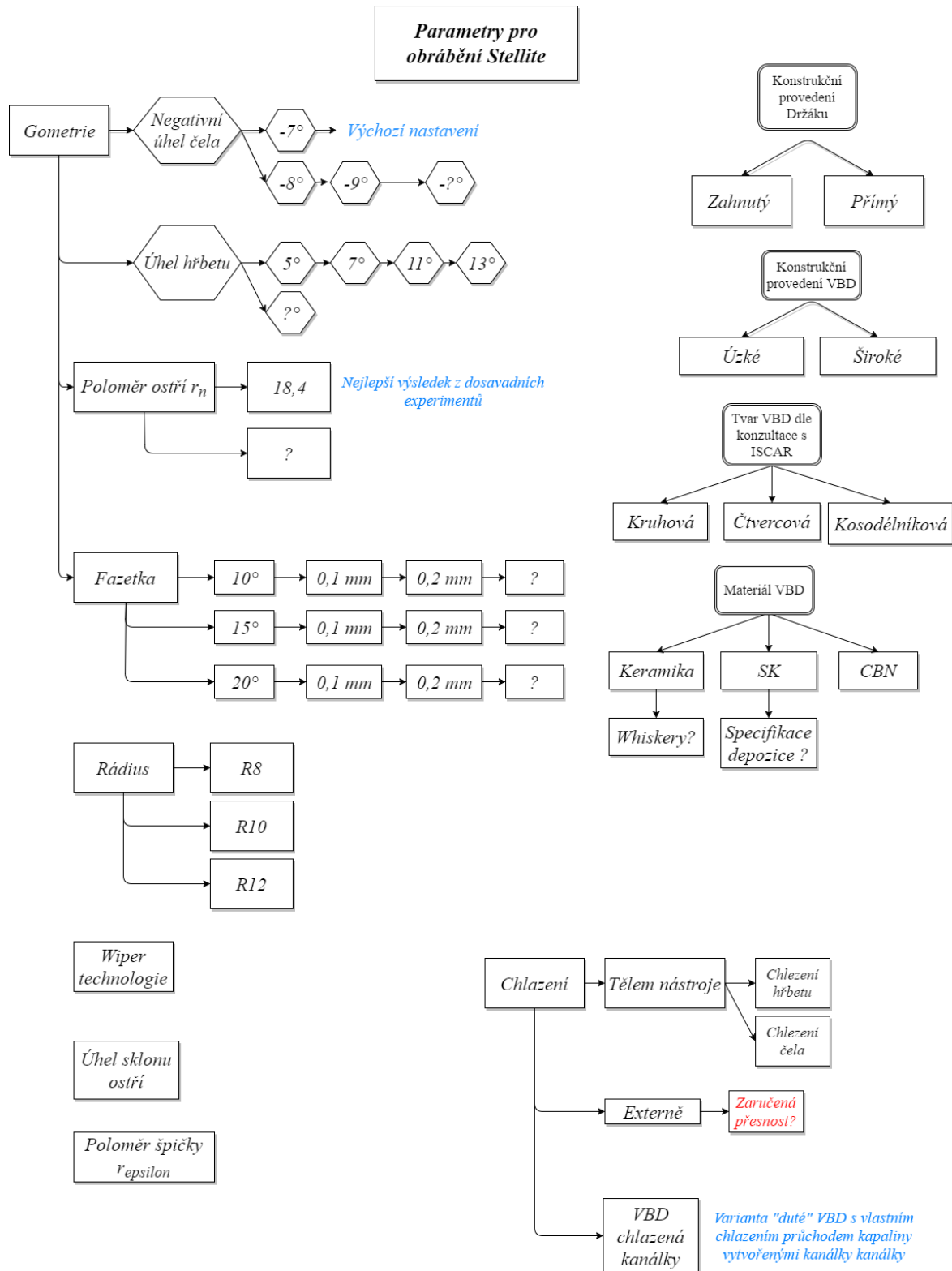
Tabulka 3 - Třídy slinutých karbidů

3.4 Diagram variant

Pro přehlednější znázornění, jak návrh nástroje vznikal, a to od prvotní myšlenky, poslouží níže uvedený diagram variant. Jedná se o výčet parametrů nože ve formě diagramu. Při detailnějším pohledu na tento diagram je možné si všimnout, jakými parametry se zabírala oblast návrhu VBD a celkově podmínek při ověřování experimenty. Jedná se o rozbor různých částí geometrie, které jsou zohledněny při návrhu geometrie VBD. Takto zvolené parametry byly zvoleny či upraveny na základě rešeršní činnosti a zkušeností odborníků. Je zamýšleno, že takto navržený diagram variant by mohl být postupným experimentálním ověřováním zužován, respektive jednotlivé parametry, a to až do okamžiku nalezení a ověření správných parametrů.

Okamžik nalezení správných parametrů a jejich kombinace lze prohlásit tehdy, docílíme-li požadované kvality obráběného povrchu, která byla stanovena v kombinaci se stanovenými reznými podmínkami.

Připomeňme, že takto navržený diagram variant je z hlavní části navržen pro oblast soustružení, ačkoliv z části tohoto diagramu vycházejí i návrhy pro oblast obrázení. Jak již bylo zmíněno, důvodem je prvotní úvaha aplikačního výzkumu v oblasti soustružení a s tím spojeny návrhy nástrojů. Vzhledem k poměrně obtížnému procesu a ověření uvažované myšlenky a principu jsme se přesunuli k základnímu výzkumu v oblasti obrázení, a to pro jednodušší, avšak podobnou technologii, kterou je obrázení. V budoucnu se tento základní výzkum zohlední pro aplikační výzkum soustružení, kdy by se ověřené vlastnosti a konstrukce nástrojů z obrázení uplatnily v návrhu nástrojů pro soustružení.



Obrázek 11 - Diagram variant

3.5 Základní geometrie nástroje – VBD

Velmi důležité pro práci nástrojů jsou úhly na břitech, tj. úhly, které svírají čelo, hřbet a ostří proti obrobku při obrábění. Na těchto úhlech závisí jak výkon jednotlivých nástrojů, tak i jejich trvanlivost, hospodárnost obrábění a jakost obrobene plochy. Úhly na břitech mají také veliký vliv na průběh tvoření třísky, a tím i na povahu namáhání nástroje při obrábění. Určují velikost řezných sil i množství tepla vyvinutého na břitu a množství energie, kterou je nutno vynaložit k obrábění. Všechny úhly na břitech nástroje tvoří komplex tzv. řezných úhlů a všeobecně se označují pojmem geometrie břitu. [20]

Je zřejmé, že základem je znalost vhodné pracovní geometrie břitu a jejího vlivu na proces obrábění. Nástrojové i geometrické parametry jsou charakterizovány pomocí úhlů, které jsou definovány v příslušných rovinách. Pro jednoznačnou identifikaci úhlů řezné části se definují dvě souřadnicové soustavy:

- ✚ **Nástrojová** - v této rovině se definuje geometrie řezné části ve statickém pojetí. Uplatní se zejména při konstrukci, výrobě, kontrole a ostření nástroje. Roviny používané v této rovině se nazývají nástrojové roviny.
- ✚ **Pracovní** - identifikuje se zde geometrie v procesu řezání. Roviny používané v této soustavě se nazývají pracovní roviny. Jejich názvy a značení je totožné jako u nástrojových rovin s tím rozdílem, že se přidává index „e“ (např. Pre).[7], [13], [9]

✚ **Úhel nastavení hlavního ostří – κ_r (°)**

Tento úhel ovlivňuje složky řezné síly působící v axiálním a radiálním směru. Velký úhel nastavení má za následek velkou axiální složku řezné síly, zatímco malý úhel nastavení má za následek větší složku řezné síly v radiálním směru. Axiální složka řezné síly nemá negativní vliv na obrábění, jelikož působí v podélném směru osy nástroje.

Abychom zabránili vzniku vibracím, je výhodné zvolit velký úhel nastavení hlavní ostří. Tento úhel také ovlivňuje utváření třísky a může být takové, že tloušťka třísky se zmenšováním úhlu snižuje a šířka třísky narůstá. Například utváření třísky je snazší, pokud je nastavení úhlu menší, mezi 60-45°. [1]

✚ **Úhel břitu – β (°)**

Úhel břitu β je úhel, který svírá hlavní hřbet s čelem nože. Jeho velikost má vliv na odpor, který klade materiál obrobku při obrábění. Čím menší je úhel břitu, tím snáze břit nástroje vniká do materiálu. Na druhé straně však břit nástroje s příliš malým úhlem břitu je málo pevný, může se snadno ulomit a příliš brzy se otupuje, zejména při obrábění velmi pevných a tvrdých materiálů. Jeho velikost bývá nejčastěji 45° až 90°.

✚ **Úhel sklonu ostří – λ (°)**

Je-li sklon ostří kladné hodnoty, lze docílit lepšího odvodu třísek za místa řezu. Naopak pokud je sklon ostří záporné hodnoty, dochází k zlepšení, neboli k prodloužení trvanlivosti břitu.

✚ Úhel hřbetu – α (°)

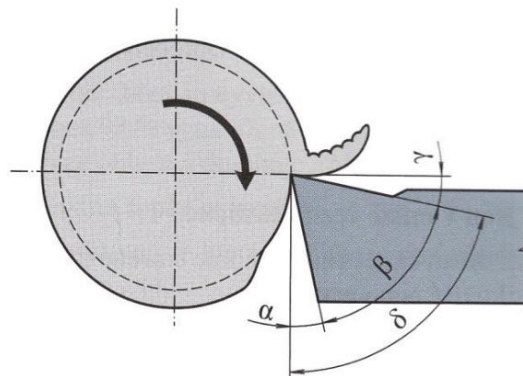
Tento úhel je možné definovat jako úhel mezi hlavním hřbetem nože a tečnou k řezné ploše obrobku. Ovlivňuje velikost tření vznikajícího pohybem hřbetu nástroje po ploše obrobku. Pokud je tento úhel hřbetu menší, dochází k zvětšení stykové plochy mezi hřbetem a plochou obrobku, následně se zvětšuje tření mezi oběma plochami. V případě větších úhlů hřbetu je vhodné využití při obrábění s úběrem třísek o malé tloušťce tj. malým posuvem a při větších řezných rychlostech. Zpravidla se volí velikost úhlu mezi $3 - 20^\circ$, optimálně však mezi $8 - 12^\circ$ pro běžné obrábění.[14],[15]

✚ Úhel čela – γ (°)

Definujeme úhlem mezi čelem nože a rovinou procházející hlavním ostřím, která je kolmá k řezné ploše obrobku. Nastavení velikosti tohoto úhlu má vliv na směr odváděné třísky a také odpor, který klade materiálu obrobku proti vnikajícímu břitu nástroje. V případě zvětšování úhlu odchází tříska z místa řezu snadněji po čele nástroje a vlivem toho se nástroj méně zahřívá. Je nutné si uvědomit, že větší úhel čela zeslabuje břit nástroje, a proto se jeho pevnost zmenšuje. Pro obrábění měkkých a málo pevných materiálů se volí poměrně velký úhel čela, pro pevné a tvrdé materiály bývá jen několik stupňů, popř. je nulový. Například negativní úpravu čela mohou mít nástroje, kterými bychom obráběli těžkoobrobitelné materiály.[15]

✚ Úhel řezu – δ (°)

Jedná se o úhel, který je v podstatě součtem úhlů hřbetu a břitu. Definovaný jako úhel mezi čelem nástroje a tečnou k řezné ploše obrobku. Tento úhel může vyjádřit $\delta = \alpha + \beta$ [°].



Obrázek 12 - Řezné úhly při soustružení [29]

3.6 Návrhy nástroje - soustružení

Hlavní myšlenkou, jak již bylo uvedeno, je snaha vytvořit nástroj s definovanou geometrií břitu, který by byl vhodný pro soustružení stelitových slitin. Důležité je však navrhnout takovou konstrukci nože, která bude mít v sobě zakomponovanou hlavní myšlenku, a to způsob, kterým by bylo docíleno vyvolání tlakového napětí na řezné hraně břitu.

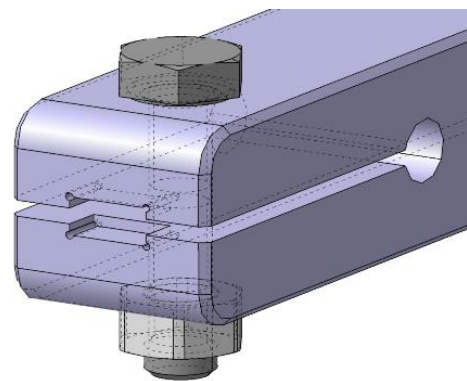
Při samotném návrhu upnutí VBD do „držáku“ tedy soustružnického nože s VBD je uvažováno několik variant. Prvotní návrhy jsou založeny na jednoduchém principu, kdy je držák rozříznutý a v místě, kde rozříznutí končí, je zhotoveno uvolnění. Upnutí VBD a zároveň vyvolání tlakového napětí je uvažováno pomocí šroubového spoje. Vesměs je u těchto návrhů využíváno šroubového spojení a zároveň také tvaru VBD, jež je upravena například vydutostí a podobné úpravy VBD.

Všechny navrhované varianty držáků VBD, nebo též nože, jsou délkově stejné – tedy 290 mm. Liší se většinou částí oblasti VBD, proto jsou v některých případech zobrazeny pouze detailní pohledy na model nože, a to část s VBD.

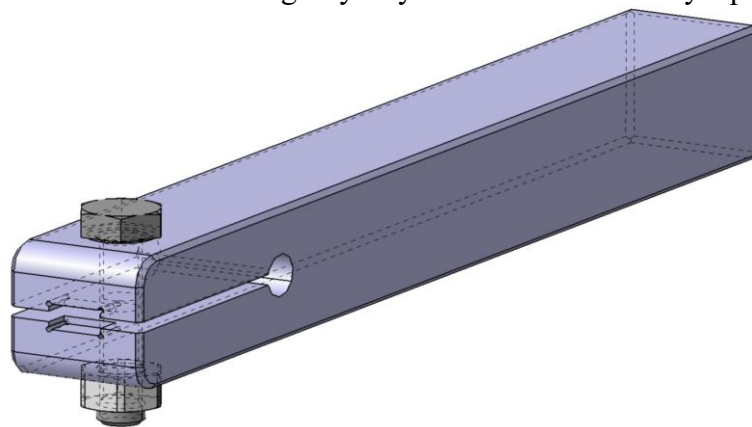
3.6.1 Varianta 1 – „Rozříznutí“

První návrhy nástroje pro soustružení, respektive držáku VBD jsou prosté. Při zamyšlení, jak docílit co nejjednodušeji tlakového napětí na řezné hraně VBD, vznikla myšlenka jednoduše uvolnit držák a ten poté určitým způsobem opětovně sevřít. Pohledem na obrázek modelu dostaneme lepší představu tohoto návrhu. Nůž je částečně rozdělen – rozříznut horizontálně vzhledem k poloze VBD, a to ve vzdálenosti 50 mm od lůžka pro VBD a toto rozříznutí je navrženo pomyslně v ose tohoto nože o šířce 2 mm. V koncové části tohoto dva milimetry širokého řezu je vyhotoveno odlehčení, mohlo by být například vyrobeno vrtáním. Průměr tohoto odlehčení je 5 mm.

Pro vyvolání tlakového napětí na VBD je v tomto návrhu využito šroubového spoje, který je umístěn v díře v blízkosti VBD. Tato díra je průchozí, o průměru 8 mm a není opatřena závitem, tudíž je třeba využít šroubového spoje zajištěného maticí. V případě výroby tohoto typu nástroje, specifickěji pak lůžka pro VBD, je nutné uvažovat větší tolerance při výrobě. Lůžko by muselo být vyrobeno o větších rozměrech, než je VBD vzhledem ke zvolené technologii výroby – úvahou rádius frézy a podobně.

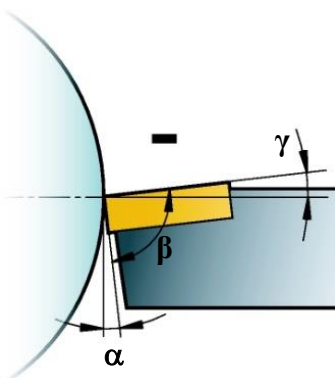


Obrázek 13 - Detail horizontálního držáku VBD



Obrázek 14 - Varianta I "Rozříznutí" - držák VBD

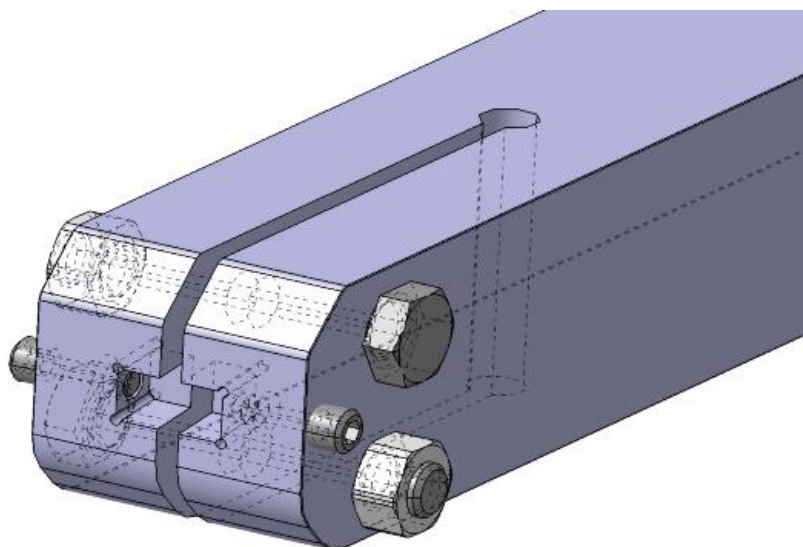
Obrázek 15, níže, naznačuje druhou variantu již zmiňovaného rozříznutí. Tato varianta se od předchozí varianty příliš neliší. Rozdílem je viditelně rozříznutí v kolmém směru vůči poloze VBD, což lze vzhledem k předchozímu návrhu nástroje nazvat vertikálně. V tomto návrhu je uvažována totožná vzdálenost rozříznutí i provedení odlehčení. Při detailnějším pohledu je patrná změna v uložení VBD, kde lůžko, ve kterém je VBD uložena, je zhotoveno ve sklonu 7° - a vzniká tedy nastavení VBD do negativní geometrie tj. úhel čela -7° (obvykle úhel γ).



Obrázek 15 - Negativní geometrie nástroje při soustružení [22]

Tím, že je toto lůžko vyhotoveno již ve sklonu, je zřejmé, že je tímto sklonem i dán úhel hřbetu VBD, a to pod stejným úhlem, neboť v první fázi nejsou na VBD uvažovány žádné dodatečné úpravy geometrie.

Zajištění a upnutí VBD včetně vyvolání tlakového napětí je zajištěno pomocí dvojice šroubového spoje. Díry pro tyto šrouby jsou průchozí – uvažuje se spojení pomocí šroubu s maticí. V nejbližším místě směrem k řezné hraně VBD jsou na každé straně vyhotoveny díry se závity, kde se předpokládá využití, nazvěme je dotlačnými šrouby opatřené dotyky, které by měly ještě více zpřesňovat tlakové napětí blíže k břitu VBD. Vzhledem k vysokým tlakům vyvolaným na VBD by z důvodu otlačení došlo k brzkému poničení těchto dotlačných šroubů. V případě realizace tohoto typu nože by bylo nutné tyto dotlačné šrouby vyhotovit například s cermetovými stykovými plochami. Tato úprava by si zcela jistě vyžádala vyšší náklady.



Obrázek 16 - Detail vertikálního rozříznutí držáku VBD

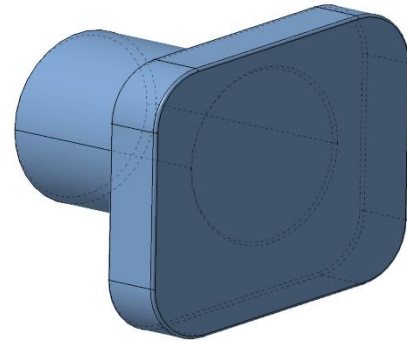
3.6.2 Varianta 2 – „Hydroplastické provedení“

Uvážíme-li možnost využití vyvolání tlakového napětí co nejbližně řezné hraně VBD, je možné využití tzv. hydroplastické látky kolující v předvrtaných kanálcích. Při využití vysokého tlaku hydroplastické látky společně s opěrnými válečky je teoreticky možné docílit tlakového napětí poměrně blízko řezné hraně VBD. Právě o tento princip se opírá třetí návrh nástroje pro soustružení stelitových slitin.

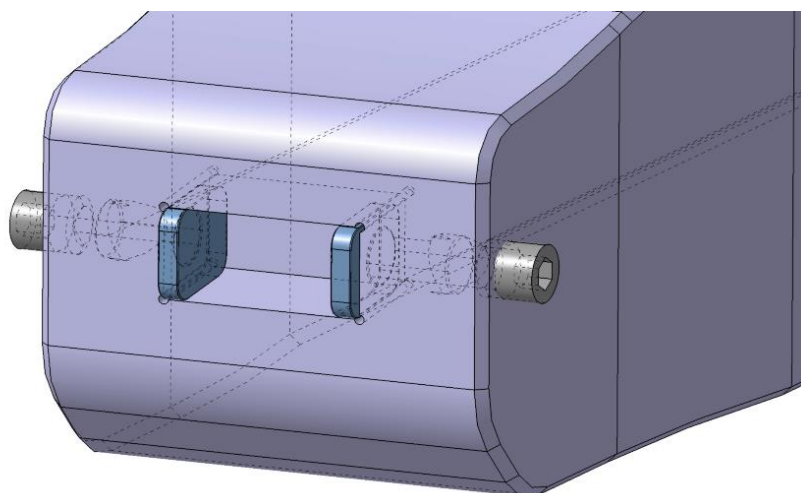
Je důležité v případě využití opěrných elementů, viz obrázek 17, uvážit tu skutečnost, že vlivem vysokých tlaků dojde k výraznému otlacení, což způsobí deformaci jak nožového držáku, tak i válečků. I z tohoto důvodu jsou válečky uvažovány z CERMETU, který svými vlastnostmi a vysokou pevností dokáže odolávat vysokým tlakům více než ocel, proto tedy stručně vysvětlení využití válečků z CERMETU.

U tohoto typu „držáku“, jak již bylo zmíněno, jsou vyhotoveny vnitřní kanálky pro přívod hydroplastické látky, a to až k opěrným elementům. Kanálky by mohly být vyrobeny hlubokým vrtáním. Kolmo na tyto kanály je navržena díra o průměru 3 mm, ve které jsou umístěny cermetové opěrné plochy s válečky. V této díře je z části vyroben závit M5x1,5 – v hloubce 5 mm. To z toho důvodu, aby bylo možné následně tuto díru zaslepit šroubem.

Do dnešní doby je způsob výroby tohoto typu držáku volen konvenčními způsoby. Vnitřní otvory pro přívod hydroplastické látky je v dnešní době nejčastěji vyráběn vrtáním a následným zaslepením otvoru, který je kolmý na hlavní přívod, v našem případě v blízkosti lůžka VBD. Pokud se rozhlédneme kolem sebe, začíná se více rozšiřovat výroba pomocí 3D tisku. Tento způsob by byl vhodný i pro výrobu tohoto typu držáku, kde by bylo možné více detailněji navrhnout vnitřní kanálky pro přívod hydroplastické látky. Stejně tak by bylo možné navrhnout vnitřní kanálky pro přívod procesní kapaliny tak, aby byl směr rozstříku procesní kapaliny co nejpřesnější. Otázkou zůstává ekonomické hledisko výroby tohoto typu držáku, neboť v momentální době se stále jedná o příliš drahý způsob výroby i přes jeho zmíněné výhody konstrukce vnitřní části dílů.



Obrázek 17 - Opěrný element



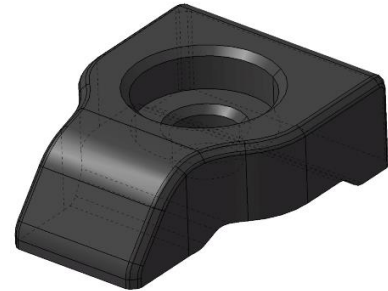
Obrázek 18 - Detail návrhu hydroplastického provedení držáku

3.6.3 Varianta 3 – „Vydutý tvar VBD“

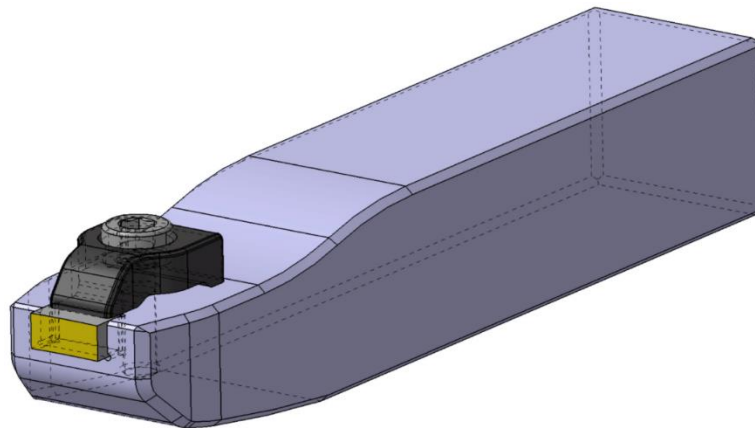
Poslední návrh zakládající na principu vyvolání tlakového napětí na řezné hraně VBD je možný způsob vyvolání tlakového napětí za působení přitlaku elementu a vlastního tvaru VBD. Přitlačná síla je zde vyvozena postupným utahováním přitlačného elementu v horní části nože. Tento přitlačný element je přitahován šroubem M5x14 – šroub s vnitřním šestihranem, tzv. imbusový šroub.

VBD je vsazena, respektive lůžko pro tuto destičku je navrženo tak, aby VBD uložená v lůžku byla vyvýšena nad tělem nože, a to tak, aby přitlačný element dosedl právě na zmiňovanou VBD. Tato myšlenka vychází z přesvědčení, že v případě takto „vyvýšené“ destičky, která je navržena ve vydutém tvaru, dojde při utahování přitlačného elementu zároveň i tlaku na VBD. Takto vypouklá destička by měla vlastní deformací vyvinout tlakové napětí na její řezné hraně.

Dodejme, že v případě této varianty je využití VBD na široko. Takto zvolené umístění a orientace destičky nabízí více možností pro modifikaci geometrie samotné VBD, jako například výbrus fazetky, větší poloměr zaoblení a podobně.



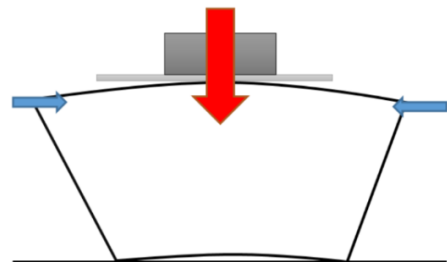
Obrázek 19 - Přitlačný element



Obrázek 20 - Návrh držáku s přitlačným elementem

V případě takto zvoleného nože jako celku se nabízí i úvaha změny tvaru VBD, a to například výměnou za kruhovou destičku, která by mohla opět mít vydutý tvar. Ovšem v tom případě by měla poměrně tělesově složitý tvar. Základním návrhem by mohla být kruhová destička s vnitřním otvorem, kde by mohl být osově umístěn šroub. Postupným utahováním tohoto šroubu by přes specifickou podložku docházelo k přenosu síly na celou plochu VBD, která by navíc byla umocněna samotným vydutým tvarem VBD.

Použijme tento obrázek 21, jako schéma pro představu působení sil, kdy červená šipka působící shora dolů značí působení přitlačného elementu utahováním šroubu a modré šipky představují teoretické působení silového zatížení, v našem případě vyvolání speciálního napět'ového stavu – tedy požadovaného tlakového napětí na řezné hraně VBD.



Obrázek 21 - Schéma teoretického působení sil u nože s vydutou VBD

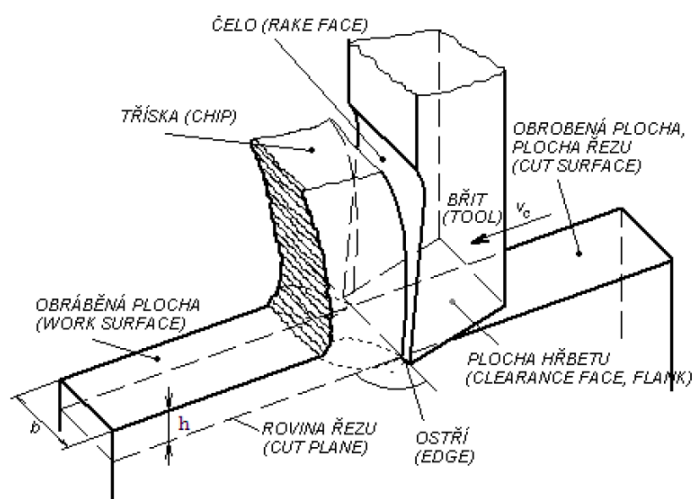
4 Oblast - OBRÁŽENÍ

Vzhledem k tomu, že soustružení je poměrně velmi komplexní druh obrábění a v naší oblasti se snažíme o zjištění, zda má tlakové napětí na řezné hraně VBD vliv na kvalitu povrchu v rádech metody broušení, došli jsme k závěru provést toto ověření jednodušší metodou, ačkoliv velmi podobnou metodě soustružení. Pro tyto a další důvody jsme přenesli zkušenosti z oblasti soustružení k oblasti obrážení či hoblování. V této oblasti provedeme ověření pomocí realizace ortogonálního volného řezání, kterou vodorovně obrážení dovoluje.

Touto změnou typu obrábění dochází obecně ke zjednodušení principu řezání, kdy je obráběna rovinná plocha, navíc při ortogonálním volném řezání je ostří kolmé na směr řezného pohybu a síly působí pouze v rovině. Celkově jde tedy o jednodušší proces, než je soustružení nejen v průběhu řezných sil. Vzhledem k využití této metody a způsobu ortogonálního volného řezání můžeme docílit zpřesněného tlakového napětí na řezné hraně VBD.

Pokud bychom charakterizovali ortogonální volné řezání, lze hodnotit takto:

- *ostří resp. řezná hrana je kolmá na vektor řezné rychlosti*
- *vznikající tříška je na bocích volná – šířka plochy b je menší než délka břitu*

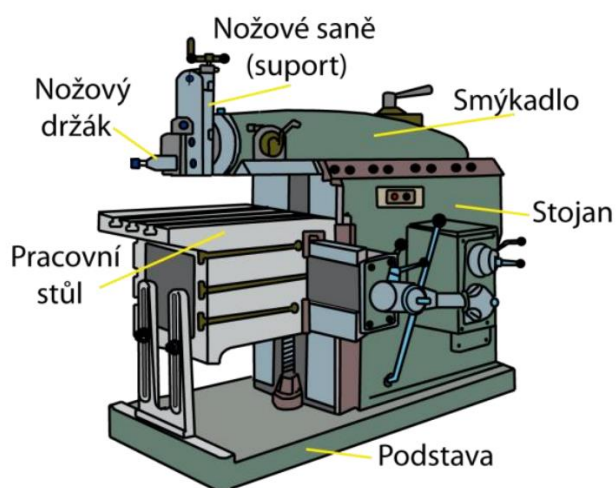


Obrázek 22 - Ortogonální volné řezání [12]

- v_c ... *vektor řezné rychlosti*
- h ... *hloubka řezu*
- b ... *šířka řezu*

Obrázení můžeme považovat za určitý druh hoblování, kdy však hlavní pohyb vykonává nástroj upevněný ve smýkadle stroje a tento pohyb můžeme hodnotit jako přímočarý vratný. Obrázením můžeme obrábět vnitřní a vnější rovinné plochy, v případě kruhových ploch využíváme svíslé obrážedky s pracovním otočným stolem. Z hlediska sériovosti výroby můžeme hovořit o obrázení jako o typu obrábění vyskytující se nejvíce v malosériové či kusové výrobě. K výhodám obrázení patří poměrně levný nástroj a nízké náklady na údržbu nástroje a v neposlední řadě lze za určitých podmínek odebírat velké třísky na jeden záběr.

Obrázení využíváme velmi často pro obrábění dlouhých úzkých ploch, kdy jsme limitováni pouze délkou zdvihu smýkadla. Můžeme avšak hovořit o tom, že v druhu obráběných součástí se obrázení podobá frézování. Ovšem obrázení je svými náklady na výrobu téměř o 40-50% levnější než frézování, přičemž se můžeme spolehnout na poměrně vysokou přesnost rovinnosti.

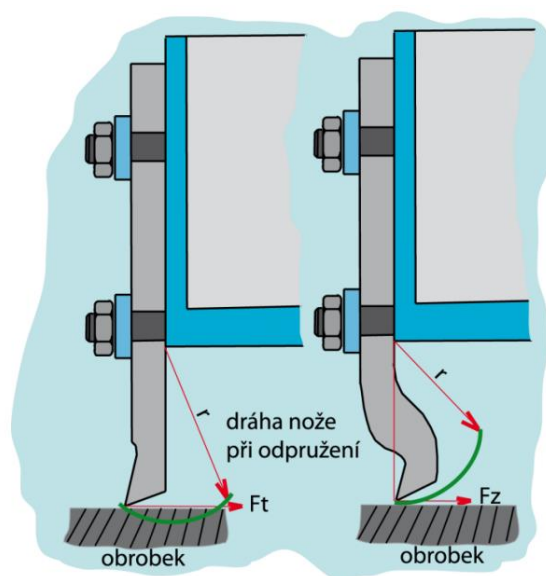


Obrázek 23 - Obrážedka [18]

Uveďme také, že náš případ ověřování není úplně klasickým způsobem vodorovného obrázení. Při obvyklém způsobu tohoto typu obrábění jsou vykonány dva směry pohybu, kdy nůž je při prvním pohybu v řezu a při zpětném pohybu se nástroj samočinně odklápí. Nástroj tedy těmito pohyby tvoří celkově pohyb přímočarý vratný. Experimentální ověření probíhá na třech typech ocelových plátů s nástřikem slitiny Stellite 6, kdy každý plát je obroben třemi hloubkami řezu a_p , více v kapitole 6. Můžeme hovořit o tom, že nůž při ověřování provádí pouze pohyb, kdy je v řezu a vratný pohyb slouží k přípravě polohy pro nové obrobení nové úrovně hloubky řezu či nového plátu, více o způsobu ověření v kapitole 6.

4.1 Varianty obrážecího nůž

Nástroje využívané při obrábění nazýváme obrážecí nůž. Tento nůž je podobný noži, jenž se používá při soustružení, tzv. tangenciální nůž. Při tomto způsobu obrábění, jakým je obrábění, jsou nože vystaveny velkým rázům. Zároveň velké vyložení nože, které je poměrně časté u obrábění či hoblování, způsobuje, že intenzita chvění a pružení nože je poměrně velká. Proto jsou nože navrhovány se zesílenou upínací částí, což napomáhá zvýšení tuhosti nože při tomto způsobu obrábění. Obrážecí nože jsou mnohdy vyhotoveny v prohnutém provedení, to za účelem snížení odpružení nože. Nůž je totiž při obrábění ohýbán v bodě hrany nožové upínky a při odpružení může způsobit rýhy v obrobené ploše. Tomu lze předejít přesazením špičky do polohy základny nože, a proto jsou hrubovací nože vyhnuté. [18]



Obrázek 24 - Používané typy nožů při horizontálním obrábění [18]

Materiálem, jenž je využit pro výrobu nožů využívaných v experimentálním ověření, je ušlechtilá konstrukční ocel 15142.6, v našem případě je tedy tepelně upravena – zušlechtěna na dolní pevnost.

Obecně můžeme tuto ocel řadit k nepoužívanějším ocelím k zušlechtování a povrchovému kalení. Není náchylná k popouštěcí křehkosti. Kalí se do méně razantního kalicího prostředí, poněvadž je náchylná ke vzniku kalicích trhlin v místech s vrubovým účinkem nebo povrchových vad. V kaleném stavu tato ocel dobře odolává opotřebení. Pevnost oceli se pohybuje v řádech 770 - 820 MPa. Tvrdost oceli ve stavu žíhaném na měkko max. 240 HB. Dosažitelná tvrdost po kalení 61 HRC.

Tuto ocel je možné využít pro více namáhané strojní díly, kde se požaduje při vysoké pevnosti i vyšší houževnatost. Tedy uplatnění zejména pro hřídele a spojovací součásti, součásti silničních motorových vozidel, nástroje pro lisování a tváření.[19]

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0,38-0,45	max. 0,4	0,60-0,90	max. 0,035	max. 0,035	0,90-1,20	0,15-0,30

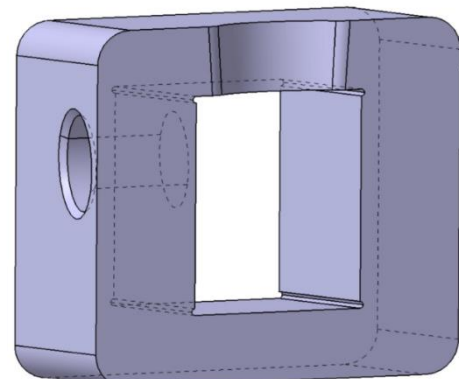
Tabulka 4 - Chemické složení oceli 15142.6 [19]

4.1.1 Rám pro vyvolání tlakového napětí

Proč se snažíme o vyvolání tlakového napětí již bylo uvedeno a vysvětleno. Všechny konstrukční návrhy, které se v této práci popisují, jsou založené na principu tlakového napětí. Prvotní návrhy jsou konstrukčně jednoduché a snaha je taková, aby princip tlakového napětí byl co nejjednodušší. Proto je u prvních návrhů navržen šroubový spoj, kde jeho postupným utahováním je postupně docíleno požadované velikosti tlakové síly na ploše VBD v blízkosti řezné hrany.

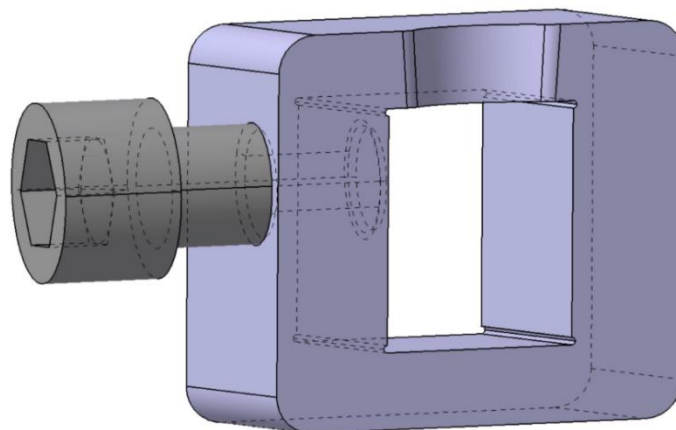
Postupnými kroky zlepšování konstrukce držáku VBD se zlepšuje i způsob, jakým se pokoušíme o vyvolání tlakového napětí. Zdokonalený princip je využit u posledních dvou návrhů obrázcího nože. U těchto nožů je pro vyvolání tlakové síly a napětí na VBD použit speciálně navržený rám. Tento rám má tvar obdélníkového profilu s vnitřním rozměrem kopírující v toleranci tvar držáku VBD. To znamená, že vnitřní rozměry tohoto rámu jsou 25,5 x 32,5 mm.

Pohledem na model rámu, viz obrázek 25, je zřejmé, že se jedná o speciální konstrukci rámu. Můžeme si všimnout, že návrh tohoto napěťového rámu je v určitých parametrech stejný jako držák VBD. Podobně jako u držáku je i čelní plocha rámu, oblast VBD na držáku nože, navržena ve sklonu 7° tak, aby rám kopíroval tvar držáku břitové destičky.



Obrázek 25 - Rám pro vyvolání napěťového stavu

Výsledkem toho je snaha o umístění šroubu pomyslně co nejblíže ploše VBD tak, aby se vzniklý tlak utahováním šroubu přenesl co nejspolehlivěji na plochu VBD, a to přes cermetové vložky, a tím co nej přesněji k řezné hraně VBD. Postupným utahováním tedy šroub tlačí na tělo držáku a vložka ze slinutého karbidu přenáší vzniklé napětí na plochu VBD. Utahováním je stlačována i protilehlá strana držáku VBD. U nástrojů, které využívají tento způsob vyvolání tlakového napětí, jsme limitováni únosností použitého šroubu. Reálný šroub použitý u tohoto rámu je M8. Uvažovaný součinitel tření $\mu = 0,14$. Pro tento typ šroubu je dle tabulek upínací síla $F_u = 16,500$ N. To znamená, že potřebný krouticí moment odpovídá hodnotě $M_u = 22,5$ Nm. Tím můžeme dosáhnout teoretické hodnoty napětí v destičce $\sigma = 330$ MPa.



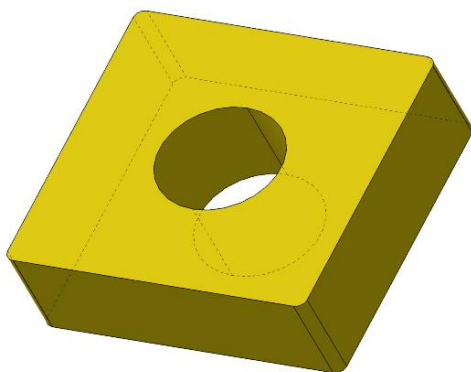
Obrázek 26 - Dílčí sestava rámu k vyvolání napětí

4.1.2 VBD – oblast obrážení

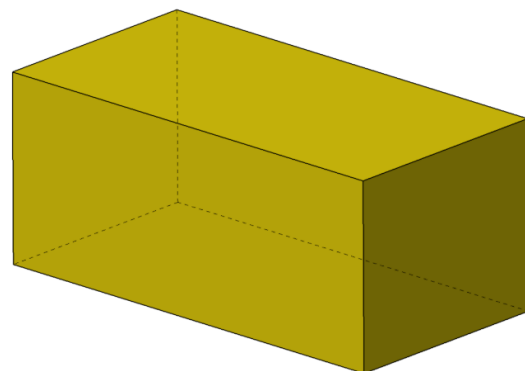
V naší oblasti obrážení můžeme uvažovat o speciálním noži společně s využitím a ověřením vícero druhů VBD. Vzhledem k efektivnosti a finanční úspoře je pro experiment využít tzv. experimentální nůž, který má funkční oba své konce. Věnujme se nyní tématu VBD pro navržené obrážecí nože. Jednou z možností je vyměnitelná břitová destička využitá v oblasti s vyvoláním napětového stavu pomocí rámu, který je popsán v kapitole 5.1.1. Tato VBD nese ISO označení SNMA. Takto označená destička je charakterizována čtvercovým tvarem (zkr. S) v provedení (zkr. A) s vnitřním otvorem pro upevnění pomocí šroubu do těla nože, v našem případě má však tento otvor jiné opodstatnění. Myšlenka využití tohoto typu VBD s vnitřním otvorem spočívá v principu působení tlakového napětí na tuto VBD. Jakmile působí vyšší tlakové napětí na VBD, dojde díky otvoru ke koncentraci silového působení nikoliv rovnoměrně na plochu VBD, ale na řeznou hranu této destičky, což by mohlo být jedním z faktorů pro zlepšení kvality povrchu po obrobení. Danou charakteristiku doplňuje úhel hřbetu, který je pro tento typ destičky 0° (zkr. N). Písmeno „M“ udává toleranci rozměrů VBD. Rádus špičky této destičky volíme co nejnižší například R0,4.

V případě, že by VBD nebyla dostupná s požadovanou geometrií, volili bychom možnost vlastní úpravy geometrie. Pokud bychom tento krok uznali za vhodný, měnili bychom geometrii VBD broušením. Poté bychom pro případné využití v experimentálním ověření velmi pravděpodobně volili více kusů VBD s rozdílnou geometrií, jako je například úhel čela, hřbetu či fazetka, abychom získali poznatky o nejlepší kombinaci geometrických parametrů.

Využijeme-li opačné strany experimentálního nože, která vychází z návrhu nože I – nůž přímý, zvolíme druhou z navrhovaných VBD. Tato destička má obdélníkový tvar, kdy rozměry této destičky jsou 5 x 5,25 x 9,75 mm. U této destičky není požadována žádná geometrická úprava. Vzhledem k vyhotovení lůžka pro VBD ve sklonu 7° docházíme k tomu, že úhel hřbetu při této kombinaci bude také 7° . Tím zároveň dochází i ke změně úhlu čela, který je skloněn pod stejným úhlem 7° , tím tedy získáme negativní geometrii pro úhel čela.



Obrázek 27 - Destička SNMA



Obrázek 28 - Obdélníková destička pro
přímou variantu nože

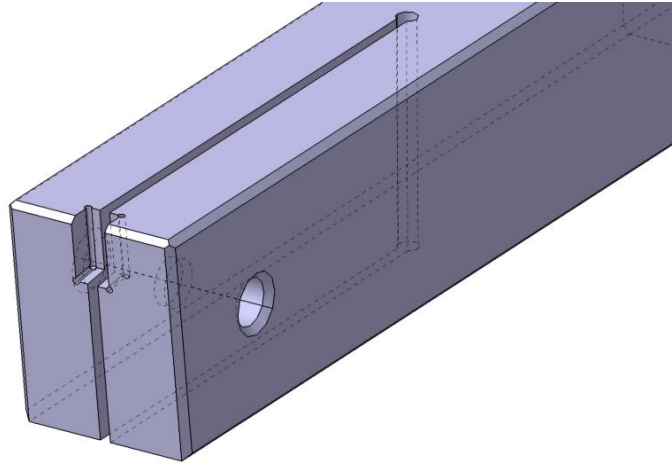
4.1.3 Varianta nože I – „Nůž přímý“

První návrh obrážecího nože, který přebírá vlastnosti a vychází z návrhu nože z oblasti soustružení, je návrhu velmi podobný a je jednoduché konstrukce. U této konstrukce je i způsob vyvolání tlakového napětí volen velmi obecně a jednoduše. Tlakové napětí je vyvoláno prostým šroubovým spojem blízko oblasti lůžka pro VBD.

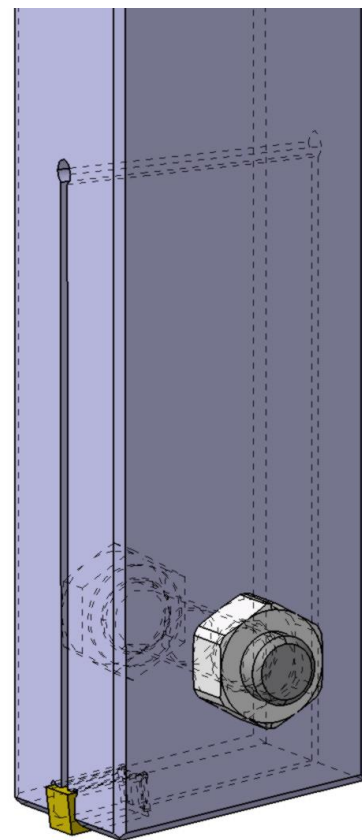
Díra pro šroubový spoj je navržena o průměru 10 mm, kdy tato díra je navržena bez závitů, lze tedy využít například lícovaného šroubu zajištěného maticí. Rozříznutí neboli zamýšlené uvolnění na tomto noži je voleno proto, aby bylo možné utažením šroubu vyvolat ono tlakové napětí. Uvolnění je navrženo od špičky držáku VBD v délce 75 mm a je voleno v ose tohoto nástroje.

Lůžko, ve kterém je umístěna VBD, je vyrobeno s odlehčením, aby bylo docíleno co nejpřesnějšího umístění VBD. Vyfrézované lůžko je vyrobeno v toleranci a je navrženo na délkovém rozměru 25 mm v ose nástroje. Samotný tvar nože, respektive jeho část - lůžko, ve které je VBD umístěna, je navržena a vyhotovena ve sklonu 7° tak, aby úhel hřbetu VBD byl právě uvažovaných 7° , které jsou voleny i například z diagramu variant. Celkové zkosení pod 7° je voleno i v koncové části tohoto nože. Tento úhel je volený jako počáteční pro experimentální ověření a v případě zvýšení hodnoty tohoto úhlu může dojít k dobroušení VBD na požadovaný rozměr hřbetní plochy VBD.

Celkový rozměr držáku respektive celková délka nože 290mm odpovídá standardní délce nože, jenž byl standardně využíván na obrážecce, která je využita i v našem experimentálním ověření. Stejně tak šířka nože je dle možností upínacího mechanismu stroje stanovena na 25x32 mm.



Obrázek 29 - Detail přímé varianty nože



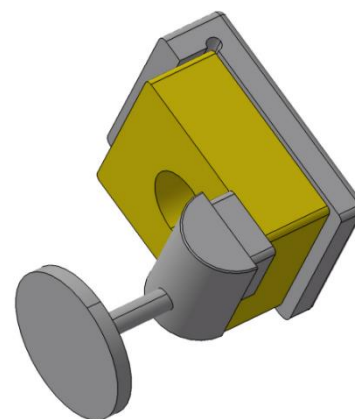
Obrázek 30 - Přímá varianta nože s VBD

4.1.4 Varianta nože II – „Nůž s pohyblivou vložkou z SK“

Zatímco první varianta nástroje vychází čistě z oblasti návrhu nástroje pro soustružení a konstrukce je přizpůsobena obrábění, druhá varianta nože je doplněna speciálními cermetovými vložkami. Tyto vložky mají své opodstatnění.

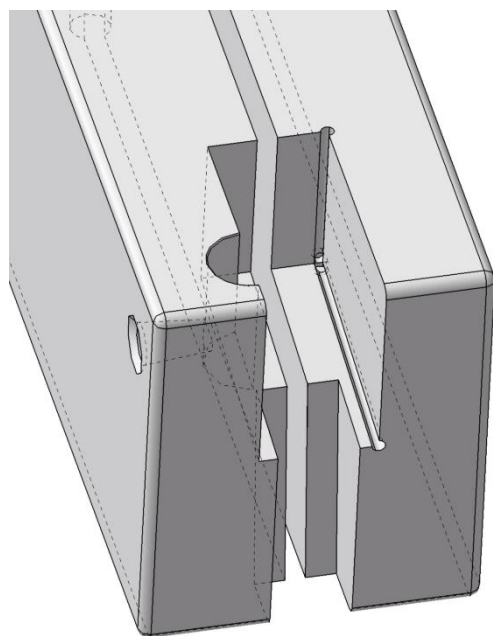
Vzhledem k tomu, že při vyvolání tlakového napětí na řezné hraně nástroje, které může při optimálním nastavení a technologii dosahovat až velikosti v řádech stovek MPa (úvaha 600 MPa), dochází k velmi vysokým hodnotám napětí, je zřejmé, že dojde k otlacení materiálu. Porovnáním materiálových charakteristik cermetové či SK břitové destičky a těla nože, vztažené mezi pevnosti v tlaku docílíme závěru, že ocel není natolik odolná vůči předpokládaným tlakům. Velmi pravděpodobně dojde k takové míře otlacení, že lůžko pro VBD bude deformováno natolik, že bude nutné využít nový držák VBD, neboť opakovatelnost upnutí VBD nebude zaručena. To by nevedlo příliš k ekonomické výhodnosti, v případě, že bychom museli po určité době vyměnit celý držák VBD.

Z tohoto důvodu jsme přistoupili k návrhu, kde jsou v držáku VBD zakomponované cermetové vložky, viz obrázek 31, které by měly tuto problematiku vyřešit. Jejich pevnost v tlaku je totiž vyšší než u oceli a tedy problematika s otlacením by měla být minimalizována. Tento obrázek znázorňuje pro lepší představu konstrukční provedení tohoto upnutí VBD. První z dvojice cermetových vložek, a to vložka tvaru písmene „L“, která je navržena jako element, který by měl být připájen k tělu nožového držáku. Model tohoto elementu značí uvolňovací prvky v rohu po vnitřní hraně této vložky tak, aby bylo zajištěno spolehlivé a co nejpřesnější usazení VBD.



Obrázek 31 - Opěrné vložky s VBD

V druhé části „vidlice“ nože se nachází druhá cermetová vložka skládající se ze dvou částí, které jsou k sobě po montáži připevněny například slepením. Tato cermetová vložka má svá specifika.



Obrázek 32 - Speciální lůžko pro VBD

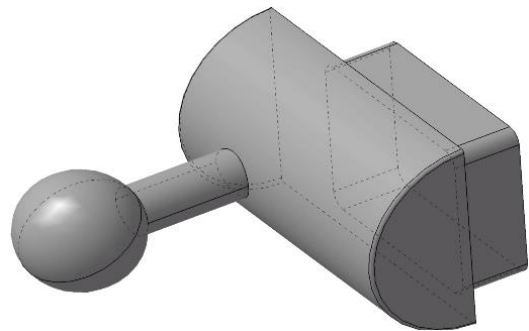
Zatímco první vložka je navržena jako pevně připájená k tělu nože, druhá vložka je pohyblivá. Myšlenka pohyblivosti této vložky spočívá ve vymezení polohy VBD vlivem řezných sil, odporů a dalších vlivů při obrábění. Toto vymezení může být v řádech maximálně jednotek stupňů, ne-li minut. Pro funkčnost takto uvažované cermetové vložky je nutné zajištění plynulého pohybu, proto je v tělu nože navržena vyfrézovaná rádiová drážka o poloměru 3 mm, viz obrázek 32. Do takto připravené drážky je možné vložit – nasunout navrženou cermetovou vložku.

Otázku zajištění polohy pohyblivé vymežující destičky řeší navržená kuželová díra v těle držáku v blízkosti VBD, do kterého je uvažováno nasunutí druhé části v podobě disku a následné slepení spojí

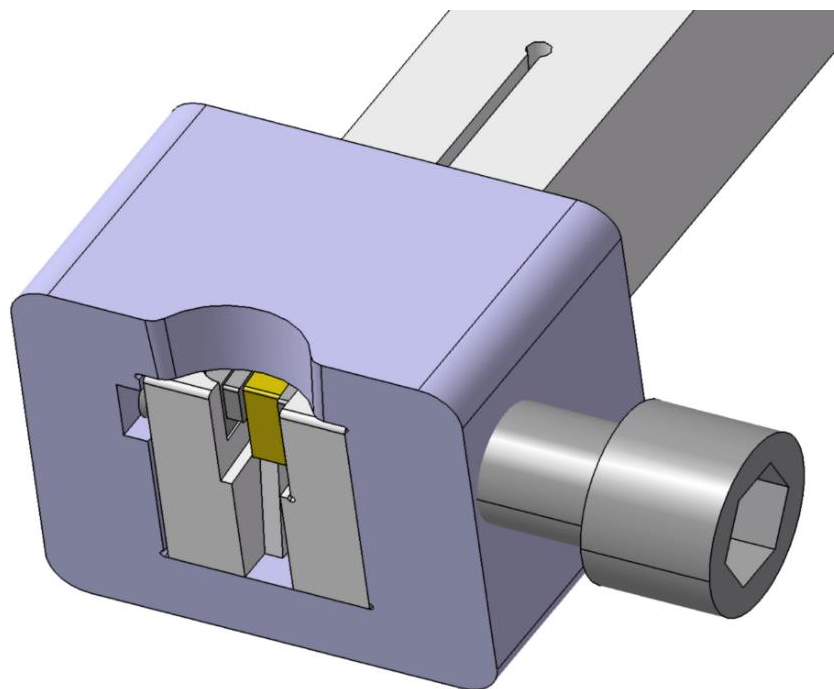
tyto dvě části dohromady. Rotační čep pohybující se s vůlí v kuželové díře umožňuje cermetové vložce jako celku pohyb a zároveň zamezuje uvolnění a vypadnutí cermetové vložky z kombinovaného lůžka pro VBD. Jednoduché odůvodnění využití tohoto typu kombinace vložek ze slinutého karbidu respektive pohyblivé vložky je takové, že se jedná o řízenou poddajnost účelově proto, aby vložka ze slinutého karbidu dosedla co nejpřesněji a nejspolehlivěji celou plochou na plochu VBD.

Na obrázku 34 je vyobrazen model sestavy tohoto nože s rámem pro vyvolání tlakového napětí v blízkosti řezné hrany VBD. Vzhledem k zajišťovacímu prvku pohyblivé vložky, je nutné vyhotovit uvolnění, například vyfrézováním drážky, jako je tomu u tohoto modelu sestavy. Tím je nutné, aby šroub působil z druhé strany rámu. Je zřejmé, že dojde k zmenšení opěrné plochy rámu v místě vyfrézované drážky.

Otázkou proto zůstává, zda by nebylo vhodnější využít jiného pojišťovacího prvku, například kuličku, která by zapadla do kuželové díry. Tím by nebylo třeba vytvářet odlehčení na rámu a opěrná plocha by se zvětšila. Pro představu je na obrázku 33 zobrazen model vymezující destičky, který je navržen právě se zajišťující kuličkou.



Obrázek 33 - Návrh změny vymezující vložky



Obrázek 34 - Detail sestavení II. varianty nože

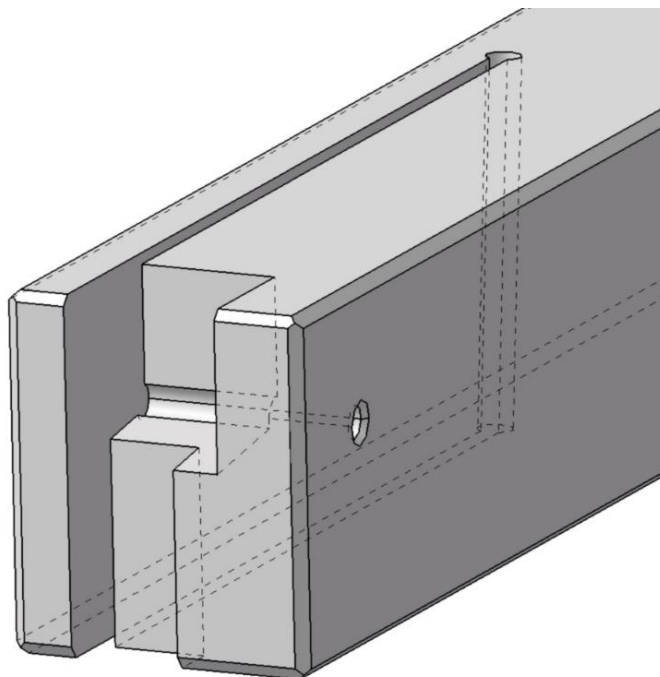
4.1.5 Varianta nože III – „Nůž s pájenými vložkami SK“

Můžeme hovořit o tom, že předchodí návrh nože, viz podkapitola „5.1.3 Varianta nože II – nůž s pohyblivou vložkou z SK“, je vrcholným návrhem obrážecího nože. Avšak pro experimentální ověření by realizace takového nože byla náročná jak z hlediska časového, tak i finančního. Vznikla proto třetí varianta obrážecího nože, která je určena pro experimentální ověřování.

Vzhledem k délce nože, respektive držáku VBD, kdy celková délka činí 290 mm, jsme se rozhodli v rámci úspory materiálu provést oboustranný držák VBD. Zmínili jsme, že pro náročnost bylo upuštěno od realizace návrhu druhé varianty obrážecího nože 5.1.3 Varianta nože II – nůž s pohyblivou vložkou z SK, proto tento kombinovaný obrážecí nůž tvoří z jedné strany konstrukční varianta I a na opačné straně varianta III.

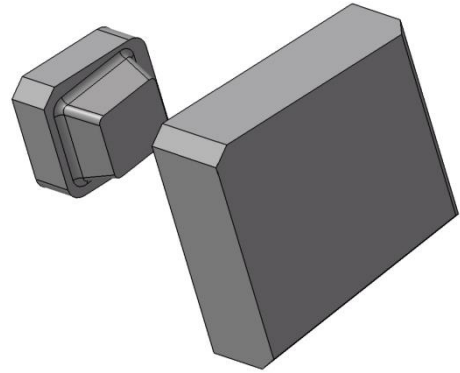
Věnujme se nyní popisu varianty nože III – „Nůž s pájenými vložkami SK“. Detailnější rozměry jsou přiloženy formou výkresu ve volné příloze na CD. Na první pohled je tento návrh nože velmi podobný předchozí variantě II. Rozdílem je jednoznačně změna šířky jednotlivých vidlic, které vzniknou po rozříznutí nože – uvolnění. Toto rozříznutí je posunulo z osy držáku zhruba do 2/3, tím vznikla jedna vidlice poměrně úzká o šířce 5 mm a tím snadněji poddajná.

Druhá část držáku, jež je širší, poskytuje veškerou plochu pro lůžko VBD, viz obrázek 35. Jinými slovy v širší části rozdělného držáku VBD je usazena jak vložka z SK, tak i vyměnitelná břitová destička. Celkově je lůžko navrženo ve sklonu 7° tak, jako veškeré dosavadní varianty. Aby bylo zajištěno spolehlivé a přesné dosednutí a usazení VBD i opěrných vložek, je toto lůžko v jeho zadní části odlehčeno navrtáním o průměru díry 2 mm. Tím je zajištěn kontakt stykových ploch VBD a karbidových vložek s tělem nože.



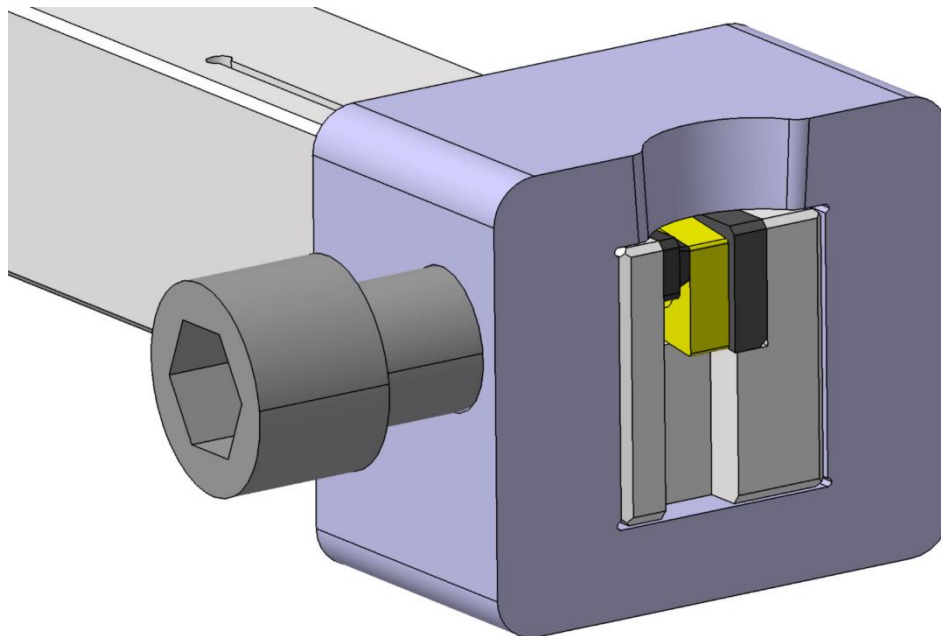
Obrázek 35 - Detail lůžka pro VBD s pájenými vložkami

Opěrné vložky vyrobené ze slinutého karbidu mají speciální konstrukci. Vložka připájená k širší části nože má úkopy v místech dosedu k tělu nože pro přesnější usazení a spodní hrana je zkosena pod úhlem 7° podobně jako celé lůžko VBD. Opěrná vložka připájená k užší části rozděleného nože je také zkosena, to z důvodu, aby zúžená část, do které je vložka vybroušena, dosedla co nejpresněji k řezné hraně VBD, a aby si tato vložka zachovala z části symetrický tvar. Pro lepší orientaci umístění této menší vložky jsou tři rohy této destičky zaobleny rádiem 1 mm a pouze u jedné hrany je provedeno zkosení $1 \times 45^\circ$. Toto zkosení kopíruje zkosení, které je provedeno i u těla držáku VBD.



Obrázek 36 - Návrh opěrných vložek pro III. variantu nože

Tak jako u předchozí varianty je pro vyvolání napět'ového stavu - tlakového napětí využit navržený rám. Vzhledem ke zjednodušení konstrukce lůžka pro VBD, respektive kdy jsou obě vložky připájeny k noži, jsou plochy rámu vyvolávající tlakové napětí z většiny v kontaktu s tělem nože. Přenos tlakového napětí je tedy u této varianty zajištěn poměrně velkou částí plochy a tlak by tak mohl být vyvolán co nejbližší k požadovanému místu, tedy v blízkosti řezné hrany VBD. Obrázek 37, níže, zobrazuje model sestavy nože využitého při experimentálním ověření.



Obrázek 37 - Detail sestavení III. varianty nože

4.2 Konstrukční návrh přípravku

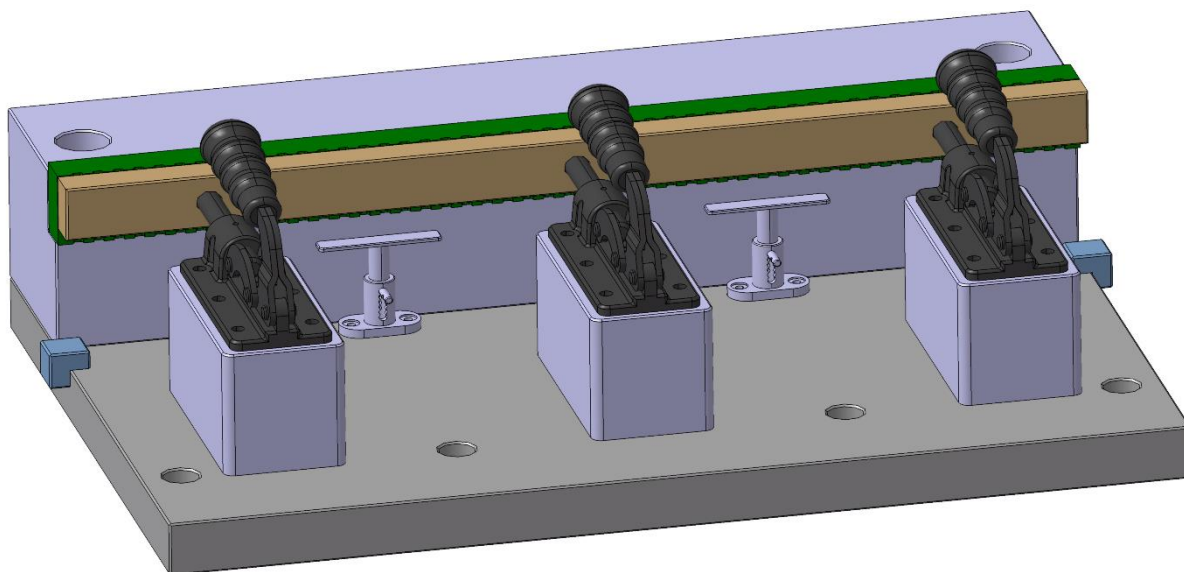
Experimentální ověřování naší metodou obrázení je poměrně specifické. Vyplývá to již ze zmíněné podoby obrobku, který je využit u obrázení. Podoba přípravku na obrázku 38 je návrhem pro upínání obrobků z oblasti obrázení. Vzhledem k malému časovému prostoru byl vyroben poměrně jednodušší přípravek vycházející právě z tohoto návrhu. Zjednodušený přípravek upnutý na stole obražečky znázorňuje obrázek 48. Na první pohled je zjednodušené upínání obrobku pomocí opěrné lišty k zajištění polohy. Hlavními požadavky pro návrh přípravku byly jednoduchost, dostatečná tuhost upnutí obrobku a případná další využitelnost tohoto přípravku v budoucnu pro další způsoby ověřování.

Popíšeme si základní charakteristiku navrženého přípravku, který však nebyl pro naše ověření využit. Detailnější popis dílů je uveden v kapitole „5.2.1 Jednotlivé části přípravku“. Hrubé rozměry tohoto přípravku jsou 500 x 330 mm a odhadovaná hmotnost přípravku je řádek desítek kilogramů. Rozměrová hodnota přípravku 500 mm je pro snazší představu ve směru posuvu. Pro případ, aby nedošlo při upínání přípravku na pracovní stůl či při samotném obrábění k pootočení, je pro přípravek navržena dvojice tzv. zámků proti pootočení, které dosedají do T-drážek v pracovním stole stroje. Společně s tímto je přípravek upnut dalšími pěti šrouby. Z toho jsou dva v provedení M16 o délce minimálně 140mm a zbylá trojice šroubů v označení M12. Takto zvolená délka šroubů M16 je z důvodu spojení bloku se základní deskou. Šrouby procházejí tedy poměrně vysokými díly až do T-drážek pracovního stolu, kde dojde k upnutí společně pomocí T-matic.

Pro upínání obrobku v tomto přípravku je zvolena dvojice čelistí. Pevná čelist a pohyblivá. Pevná čelist je připevněna šrouby do bloku a je otočná, neboť je z jedné strany vyrobena s drážkováním, zatímco její druhá strana je hladká. Záleží tedy na uvážení obsluhy, jaký povrch čelisti zvolí. Druhá z čelistí je přišroubována na trojici rychloupínek a lze hovořit o tom, že má pohyblivý charakter. Tato čelist je připevněna trojicí šroubů, které jsou našroubované do dutiny jednotlivých upínek. Tyto rychloupínky jsou voleny pro svoji rychlost a spolehlivost upnutí a vyvolání dostatečné upínací síly potřebné pro naše podmínky. Tyto upínky jsou upevněny na podložkách respektive malých blocích.

V případě obrobení obrobku dojde samozřejmě ke snížení jeho výšky, proto je součástí přípravku volitelný horizontální zdvih. K nastavení výšky obrobku, pokud je nutné obrobek umístit výše, ať už například obrobením či zvolením jiného druhu obrobku o menší výšce, slouží navržené horizontální zdvihy. Tyto zdvihy jsou detailněji okomentovány v kapitole „5.2.1 Jednotlivé části přípravku“. Aby nedocházelo vlivem rezných sil k posunu obrobku při obrábění, jsou v krajních pozicích přípravku, a to na základní desce svarem připevněné patky, které zamezují posunu obrobku.

Pro lepší manipulaci s přípravkem, ať už při montáži či přesunu, je možné využít krajní otvory pro šrouby, do kterých mohou být našroubována například transportní oka. Tento způsob povede k lepší manipulaci při montáži či ustanovování přípravku na pracovní stůl.



Obrázek 38 - Sestava přípravku

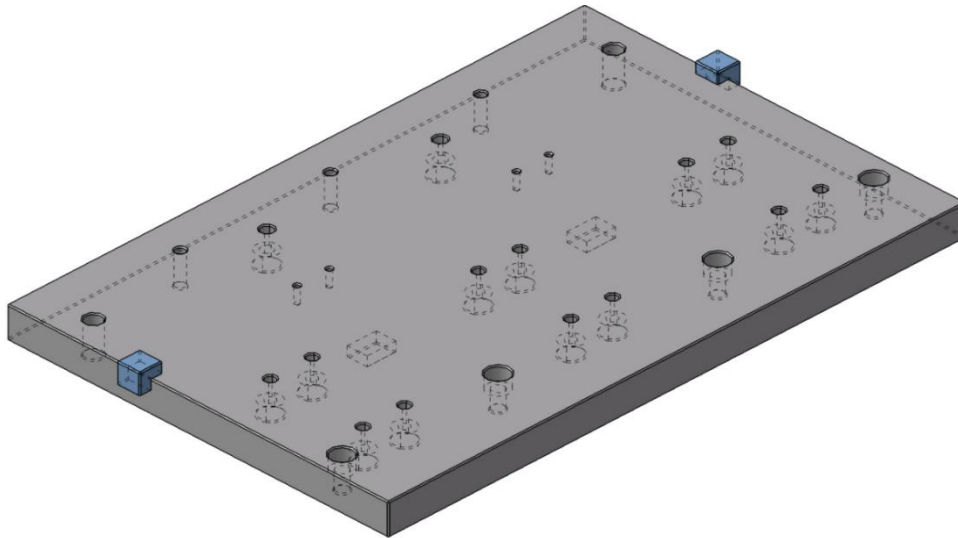
4.2.1 Jednotlivé části přípravku

Pro detailnější popis a odůvodnění prvků jednotlivých dílů přípravku je připravena tato kapitola. Přípravek jako celek se skládá z následujících dílů – základní deska, blok, pevná a pohyblivá čelist, malé bloky, upínky a dvojice horizontálních zdvihů. Veškeré výrobní výkresy jsou součástí DP ve formě volné přílohy na CD.

Začneme tedy popisem dílu nazvaným „základní deska“. Rozměry této desky jsou 500x330 mm, což tvoří základnu celého přípravku. Vzhledem k použitým obrobkům a jejich rozměru se mohou zdát rozměry příliš velké. Požadavek byl takový, aby byl přípravek dostatečně tuhý. To může být dosaženo upnutím v T-drážkách stolu pomocí šroubů a T-matic. Vzhledem k tomu je základní deska a společně s ní celý přípravek upnut na základní stůl v krajních polohách těchto T-drážek, které jsou vyhotoveny v pracovním stole obrábečky. Díky tomuto způsobu upnutí je šířka přípravku přesahující 300mm, což je dáno rozsahem drážek od sebe na pracovním stole.

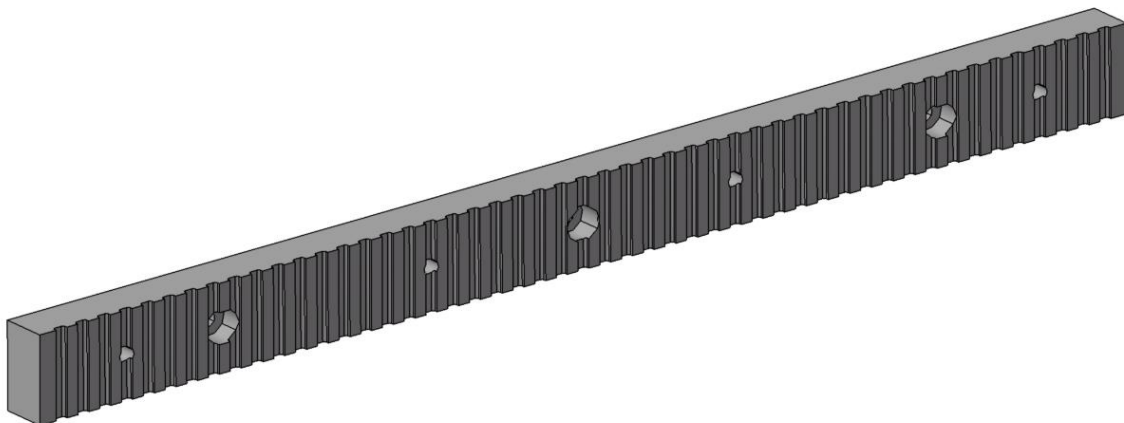
Pro upnutí k pracovnímu stole obrábečky je využito šestice šroubů s imbusovou hlavou. Přičemž dva krajní šrouby, v oblasti umístění bloku, jsou navrženy M16x140 z důvodu procházení blokem přes základní desku až do T-maticy sloužící k upnutí k základnímu stole obrábečky. Tyto šrouby, v oblasti bloku, doplňuje dvojice šroubů M12x35, které jsou umístěny ve stejné ose a slouží ke spojení základní desky s blokem společně s třemi kolíky o průměru 8mm v navrhované délce 45mm. Protilehlá strana základní desky je opatřena čtveřicí otvorů pro šrouby M12x45 doplňující šestici šroubů k upnutí základní desky. Tyto otvory jsou navrženy pro zapuštění hlavy šroubu do základní desky. S upnutím základní desky souvisí i vymezení polohy na pracovním stole. Pomocným prvkem je dvojice „kamenů“ navařených na spodní straně základní desky. Tyto kameny „zapadnou“ do drážek v pracovním stole stroje. Uvádíme-li vymežující prvky základní desky, nemůžeme opomenout patky, které jsou svarovým spojem připevněny k hraně základní desky. Tyto patky poskytnou zamezení pohybu obrobku při obrábění, kdy by vlivem rezných sil mohlo dojít k pohybu obrobku ve směru posuvu rezného nástroje.

Aby bylo možné upnout bloky pro upínky, je ze spodní strany základní desky vyvrtáno osm děr pro šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem, neboli imbusový šroub, odpovídající rozchodu děr v blocích pro upínky. Posledními otvory jsou díry se závitem umístěné v blízkosti děr pro připevnění bloku. Tyto díry slouží k montáži horizontálních přípravků pro vymezení výšky obráběného obrobku.

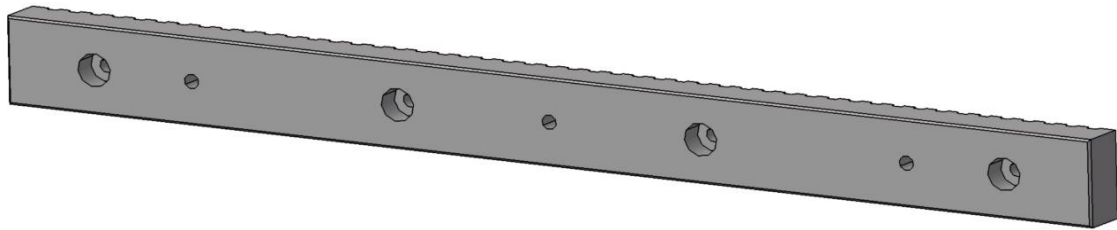


Obrázek 39 - Model základní desky přípravku

V tomto přípravku je samozřejmě velmi důležitý způsob upnutí obrobku, věnujme se proto popisu dílu zvané „*upínací čelisti*“, které jsou po upnutí v kontaktu s obrobku. Čelisti navržené pro tento přípravek by mohly být vyrobeny z oceli 14220.4 dle ČSN, což platí pro obě provedení čelistí. Tento navržený materiál kopíruje standardní materiál navrhovaný pro upínací čelisti, proto jsme přistoupili k volbě totožného materiálu. Dále je pro upínací přípravek navržena dvojice čelistí. Masivnější čelist, která je přišroubována k bloku přípravku třemi či čtyřmi šrouby má oboustranné využití. Z jedné strany je navržena hladká plocha, zatímco na druhé straně je navrženo vroubkování, které by například mohlo být vyhotovené frézováním. Délka takto navržené čelisti je 500 mm a šířka této čelisti je 20 mm. Dále uveďme, že výška funkční upínací části této čelisti je 40 mm.



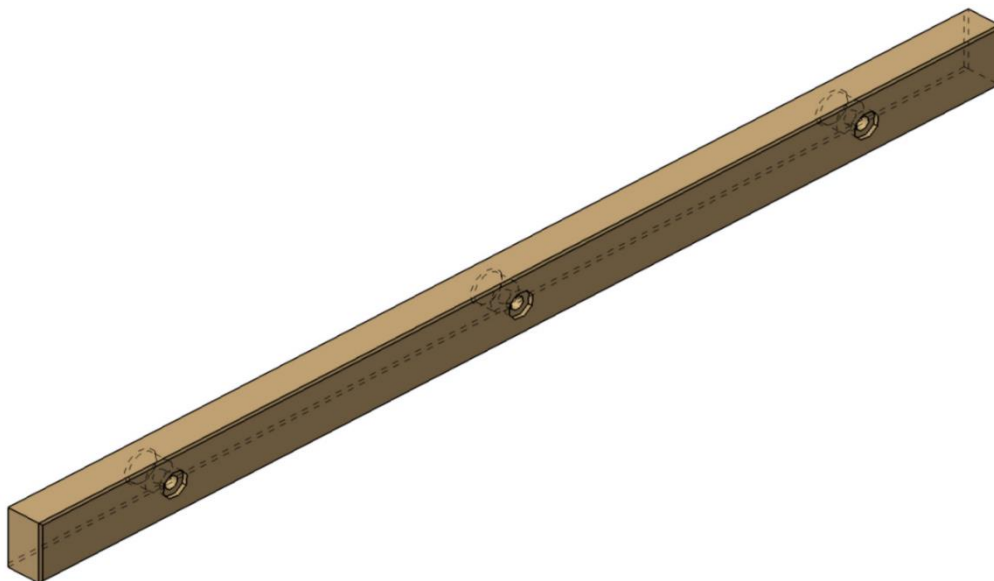
Obrázek 40 - Vyměnitelná čelist - strana s vroubkováním



Obrázek 41 - Vyměnitelná čelist - hladká strana

V případě volby funkční hladké plochy je tato čelist přišroubována čtyřmi šrouby M8 s imbusovou hlavou, které jsou v ose této čelisti rozestoupeny 140 mm od sebe, kdy krajní šroub je vzdálen od hrany čelisti 40 mm. Návrh, aby jedna strana čelisti měla hladký povrch bez úprav, má prosté opodstatnění. Jde o to, aby nedocházelo k poškození obráběného obrobku při upnutí a následnému možnému posunu tohoto obrobku vlivem řezných sil a následnému poškození formou vrypů apod. Rozhodneme-li se pro druhou stranu čelisti, bude nutné ji přišroubovat trojicí šroubů M8. Obě strany čelisti mají díry pro šrouby navržené, aby hlavy šroubu byly zapuštěné do čelisti a byl tak zajištěn plošně co nejpřesnější dotyk obrobku s čelistí. Právě toto zahlobnutí pro hlavy šroubů je voleno 10 mm. Tato strana čelisti je navržena s vroubkováním, toto vroubkování je hrubšího charakteru. Frézovaná drážka je široká 5 mm s hloubkou 2 mm, kdy vnitřní rádius hran je navržen 1 mm.

Druhou z čelistí je „pohyblivá“ čelist. Nejedná se přímo o pohyblivou čelist, neboť pohyb zajišťují upínky, ke kterým je tato čelist přišroubována trojicí šroubů M8 s imbusovou hlavou. Návrh otvorů pro šrouby v čelisti umožňuje, aby po přišroubování této čelisti byly hlavy šroubů zapuštěné a nijak nenarušovaly dosedací plochu čelisti k ploše obrobku. Prvotní myšlenka upevnění čelisti k rychloupínkám byla v možnosti variability, která ale není v budoucnu vyloučena. Vzhledem k jednoduchosti připevnění čelisti je tedy možné čelist vyměnit za část, která se více hodí pro upnutí obrobku. Může jím být například destička místo takto celistvého profilu, ať už pogumovaná či vroubkovaná. Vše záleží na typu obráběného obrobku a uvážení obsluhy.

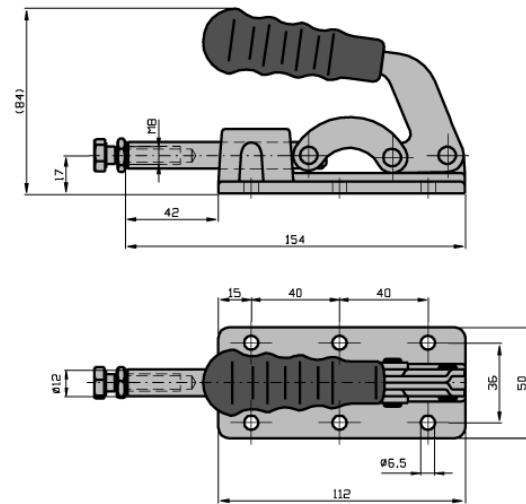


Obrázek 42 - Pohyblivá upínací čelist

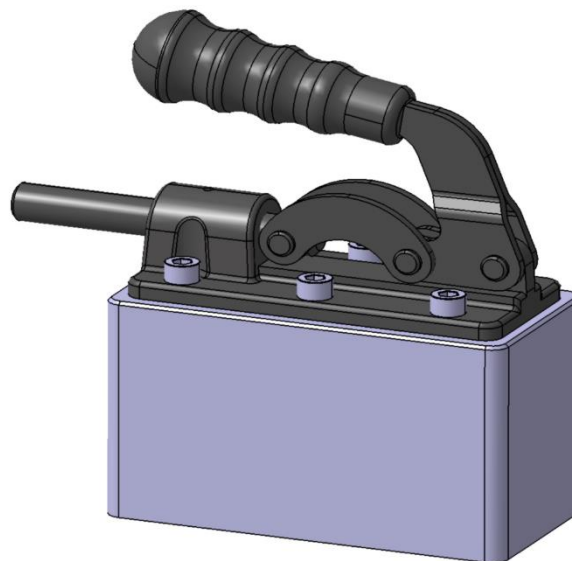
Společně s těmito čelistmi souvisí již zmíněné „**upínky**“ zajišťující přítlak a ve spojení s upínacími čelistmi upnutí. Pro správnou funkci přípravku, respektive vyvolání upínací síly, byly zvoleny přímé upínky od firmy JC-metal, typ JC310. Trojice upínek je vzhledem k požadavku výšky obrobku umístěna na malé bloky, které jsou přišroubované k základní desce.

Upínky JC310 jsou dle výkresového schéma připevněny šesti šroubů M6. Rukojeť a „píst“ těchto upínek se při manipulaci pohybují stejným směrem. Základní svařovaná deska upínek je poměrně masivní a umožňuje tak vyvození velké upínací síly, která je potřebná pro dostatečné a bezpečné upnutí obrobku. Výrobce u této modelové řady udává možnost vyvolání upínací síly až 3800N, to samozřejmě platí pro jednotlivou upínku.

V případě potřeby vyšší upínací síly je potřeba následovně změnit základní blok, na kterém je upínka upevněna. Důvodem je, že jednotlivé upínky jsou dle výrobce dimenzovány na různou upínací sílu, to se samozřejmě projeví v celkové konstrukci tohoto upínacího nářadí - upínek. Se zvyšováním upínací síly se zvyšuje i rozměr upínky. Respektive dochází ke zvětšení základní desky dané upínky. V tomto důsledku dojde také ke změně roztečí šroubů i změně jejich velikostí. Celková změna bloku, na kterém je upínka upevněna, je žádoucí v případě, jednalo by se o obrobek stejné výšky, jako je obrobek navrhovaný. V případě této změny je však nutné dodržet rozteč šroubů, kterými je tento blok připevněn na základní desku ve své spodní části.



Obrázek 43 - Rozměry upínky JC310 [30]

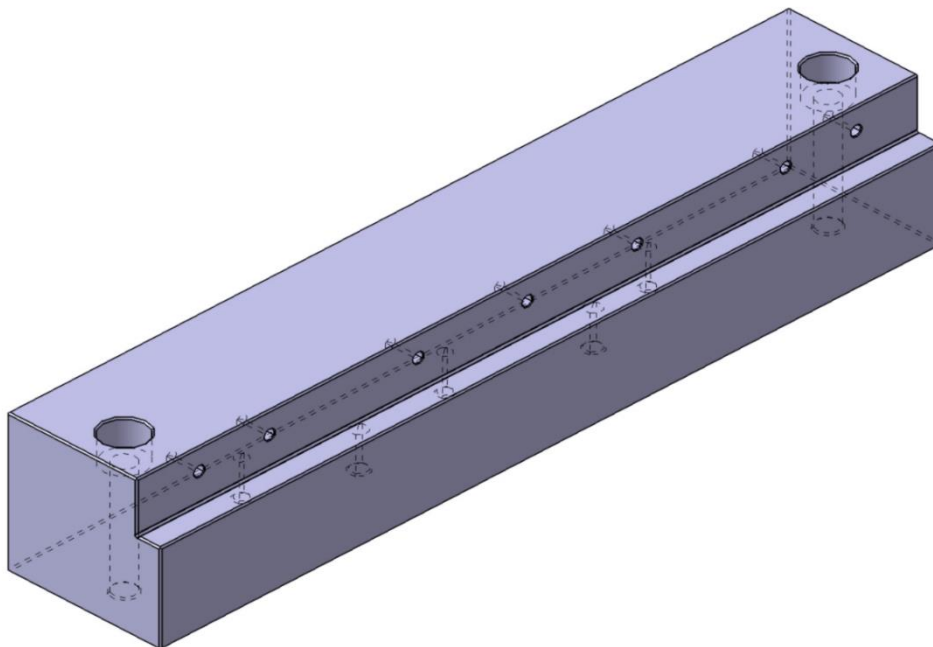


Obrázek 44 - Model upínky

Základním prvkem přípravku je tedy *základní deska* umístěná na pracovním stole stroje. Ta udává i celkový plošný rozměr přípravku. S touto základní deskou je spojen následující kvádrovitý díl nesoucí označení „*blok*“.

Tento blok je se svými rozměry 98 x 98 mm o délce 500 mm připevněn na základní desku pomocí vícero zajišťujících prvků. Pojistnými prvky využitými u tohoto spojení jsou jedny z nejběžnějších a dalo by se říci i nejspolehlivějších. Je zde navržena trojice válcových kolíků o průměru 8 mm pro zajištění polohy. Společně s těmito kolíky je blok se základní deskou spojen čtveřicí šroubů, vždy s imbusovou hlavou, ale různou délkou. Navíc bychom mohli tuto čtveřici rozdělit na páry, neboť šrouby M12, jež jsou využity ke spojení uvnitř bloku, jsou šroubovány ze spodní strany tak, aby nebyly viditelné, stejně tak v případě kolíků. Jedná se pouze o vzhledovou úpravu. Tuto dvojici šroubů doplňuje dvojice krajních šroubů M16, které jsou specifické svojí délkou. Procházejí dvěma díly – blokem i základní deskou, kde jsou následně pomocí T-matic připevněny k pracovnímu stolu stroje. Tyto díry pro šrouby mohou být využity i v případě montáže či manipulace k našroubování transportních ok a využít tak navržený závitový otvor. Vzhledem k váze tohoto dílu je toto využití a způsob manipulace zřejmě žádoucí.

V přední části bloku je navrženo vybrání, které je možné vyhotovit například frézováním. Následně je v návrhu uveden způsob uvolnění v rohu tohoto vybrání, aby došlo k přesnému usazení a upevnění pevné masivní oboustranné čelisti. Vzhledem k délce tohoto dílu nebylo možné provést návrh odlehčení kolmých ploch vrtáním, jako je v některých případech obvyklé, například u odlehčení VBD lůžek na navržených nástrojích. Z tohoto důvodu rozměru dílu bylo navrženo provést odlehčení způsobem s vyklopením osy nástroje – frézy. Pro tento případný způsob výroby je zapotřebí víceosý stroj – obráběcí centrum. Na svislé ploše tohoto vybrání, které je určeno pro umístění čelisti, jsou navrženy otvory pro její připevnění pomocí šroubů M8.

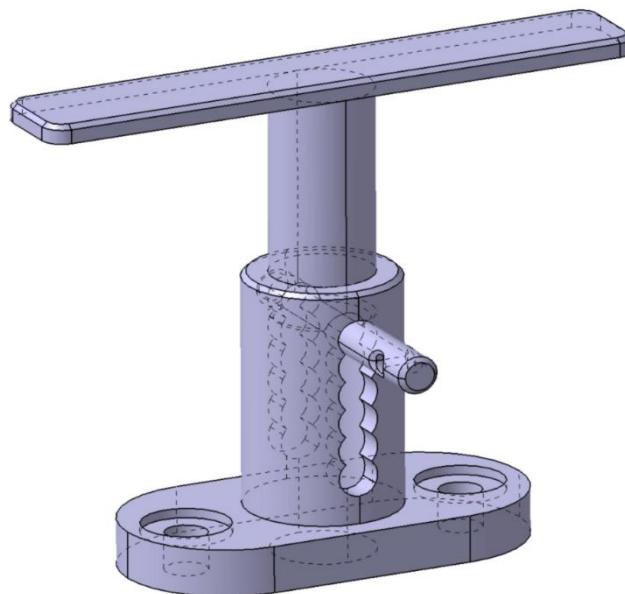


Obrázek 45 - Blok

Posledním ze zmíněných modelů, kterému se tato kapitola věnuje, je díl nazvaný „**horizontální vymezovač**“, jenž vymezuje horizontální polohu obrobku.

Tento navržený, můžeme nazvat mini přípravek, slouží pro zvýšení horizontální polohy obrobku. V případě, že bychom zvolili pro experimentování menší výšku obrobku než je potřebných minimálních 110 mm, můžeme využít tento mini přípravek. Pokud přišroubujeme vymezovač pro něj na určené místo, jsme bohužel limitováni již minimální výškou od základní desky 37 mm s použitím závlačky. Bez závlačky je hodnota minimálního zdvihu 33 mm. Jedná se tedy o minimální zdvih s použitím tohoto vymezovače. Naopak maximální výška, kterou pomocí tohoto vymezovače dosáhneme, je 52 mm.

Návrh přípravku spočívá v osovém horizontálním posuvu dvou dílů, jejich poloha je vymezena válcovým kolíkem umístěným ve vystružených otvorech z důvodu zajištění co nejpřesnější rozteče. Hlavním prvkem je tedy návrh vystružené díry o průměru 10H7, do které je zasunut druhý díl, kterým je podpěra, viz obrázek 46. Tato podpěra je navržena jako kombinace například plechu o tloušťce 3 mm a tyčoviny průměru 10 mm v toleranci pro návrh vystružené díry. Podpěra má ve své tyčovité části vyfrézovanou drážku. Jedná se o plochu, která dosedá na válcový kolík, který v mini přípravku plní roli pojistné závlačky. Navržené otvory pro vymezení polohy jsou návrhem uvažovány jako vystružené díry pro svoji přesnost. Osová rozteč těchto děr je 3 mm s tím, že vlivem drážky na druhém díle – podložce – znamená posunutí o jednu díru zdvih také o 3 mm.



Obrázek 46 - Horizontální vymezovač

5 Experimentální studium – oblast OBRÁŽENÍ

Tento experiment by měl odhalit, zda navržené konstrukce nože a s ním spojené principy, které jsou zmíněny v jednotlivých kapitolách této práce, napomáhají ke zlepšení obrobitelnosti slitiny Stellite 6 v případě využití třískového obrábění – v našem případě zjednodušené metody obrábění.

5.1 Charakteristika experimentálních zařízení

5.1.1 Obráběcí stroj

Pro tento náš experiment byla využita horizontální obrázečka Strigon GH560/U. Na pracovním stole této obrázečky byl pro experimenty umístěn zjednodušený přípravek, než je návrh přípravku v kapitole 5.2, což je původně navržený přípravek pro upnutí ocelových plátů s nástřikem Stellite 6. Aktuální přípravek, umístěný na pracovním stole, ve kterém je upnut i zkušební vzorek, je znázorněn na obrázku 48.



Obrázek 47 - Obrázečka Strigon [31]

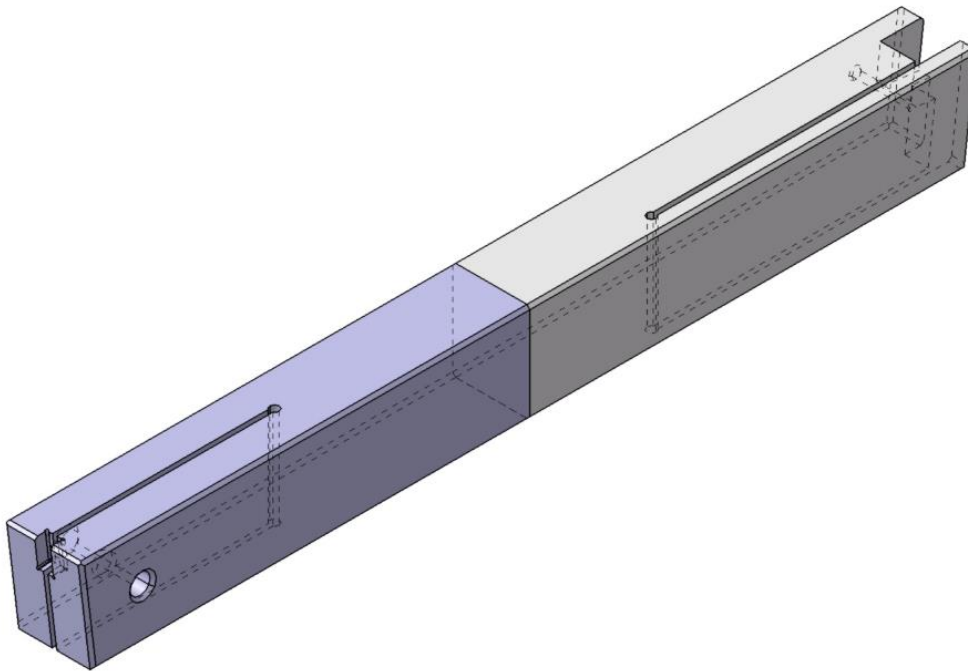


Obrázek 48 - Přípravek pro upnutí obrobku

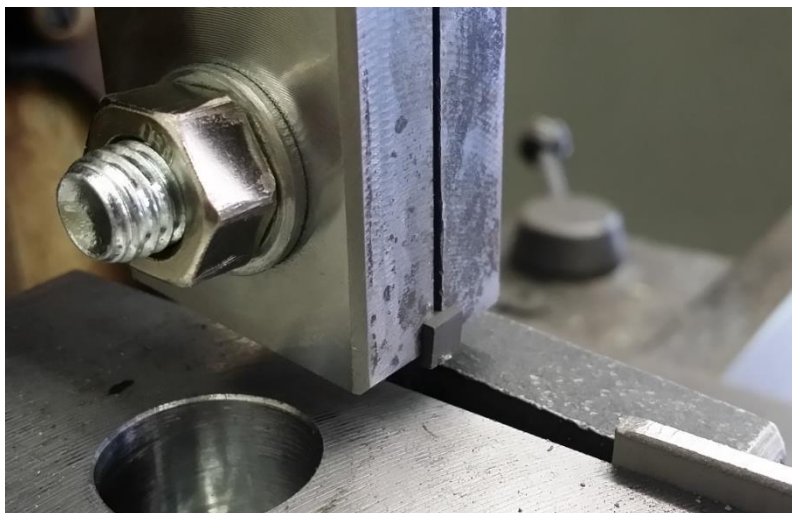
5.1.2 Experimentální nůž

Vzhledem k efektivnosti a finanční úspoře je pro experiment využit tzv. experimentální nůž, jenž má funkční oba své konce. Každý z těchto konců využívá jiného způsobu vyvolání speciálního napětového stavu na břit VBD, k tomu je uzpůsobeno lůžko pro VBD i samotná břitová destička, více o této destičce, viz kapitola 5.1.2 VBD – oblast obrázení.

Model experimentálního nože na obrázku 49 je pomyslně rozdělen dvěma barvami, které rozlišují funkční konce tohoto nože. V našem případě je využita část, vyobrazena tmavší barvou, která je ve své podstatě variantou přímého nože z kapitoly 5.1.3. Pro upnutí destičky a následné vyvolání speciálního napětového stavu je v tomto případě využit šroubový spoj.



Obrázek 49 - Model experimentálního nože



Obrázek 50 - Reálná podoba nože při experimentu

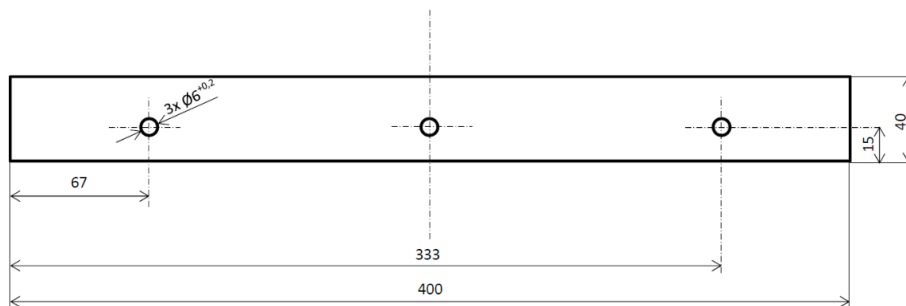
5.1.3 Obrobek pro experimentální studium

Návrh obrobku pro experimentální ověřování prošel mnoha stupni návrhů a v průběhu nabylo mnoho podob, než byla zvolena optimální podoba, jež je vyhovující požadavkům pro experimentální ověření. Podoby obrobku se měnily například z důvodu zajištění správné aplikace žárového nástřiku při zachování jeho co nejkvalitnější struktury. Návrh obrobku je znázorněn na obrázku 51. Výsledná modelová podoba obrobku je vyobrazena níže na obrázku 52.

Pro ověřování formou experimentu bylo využíváno právě této podoby obrobku. Jedná se poměrně o jednoduchý tvar z důvodu zachování jednoduchosti či jeho rovinnosti. Tento tvar napomáhá aplikaci žárového nástřiku například jeho rovnoměrnosti a kvality při vícenásobném počtu těchto obrobků. Přípravek, uvedený v kapitole 5.2, je navržen pro jeho upnutí, vycházel i z rozměrů tohoto obrobku. Můžeme hovořit o tom, že návrh přípravku je navržen na míru tomuto obrobku, ovšem součástí přípravku jsou takové prvky, aby bylo možné v budoucnu využít přípravek k upnutí tvarově a rozměrově složitějších obrobků.

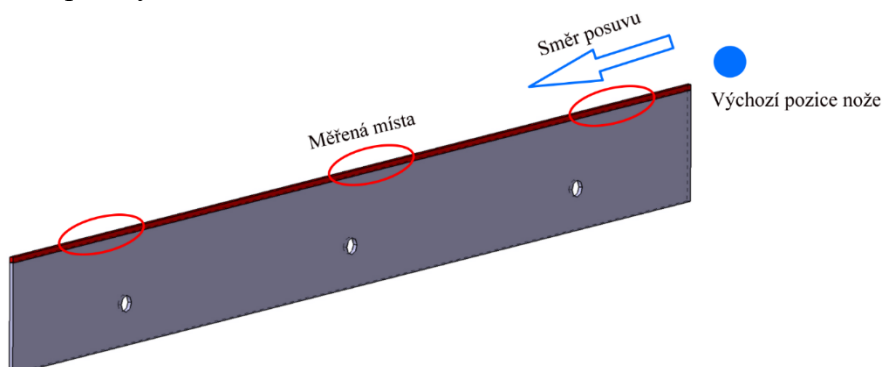
Šířka tohoto obrobku, respektive šířka nástřiku stelitové slitiny, musí být menší než šířka nástroje – VBD. Důvodem je myšlenka docílit při obrábění tzv. ortogonálního volného řezání, které slouží pro snadnější analýzu výsledné třísky, opotřebení, podmínek a dalších.

Základním materiálem tohoto obrobku je ocel 11373 dle ČSN ve formě plechu o šířce 3 mm a délce 400 mm. O tomto plechu můžeme hovořit jako o podkladovém. Společně s tímto plechem pro stelitový nástřik byl využit vymežující plech o výšce 30 mm, který zajišťuje konstantní mezeru mezi jednotlivými podkladovými plechy pro rovnoměrné nanesení nástřiku Stellite 6 metodou HVOF. Díry v těchto pleších slouží k sešroubování sestavy, a to pro nanesení nástřiku na plechy jako celek. Tato sestava jednotlivých plátů je znázorněna na obrázku 53.



Obrázek 51 - Návrh podoby obrobku [25]

Na modelu obrobku je červenou barvou naznačena plocha, na kterou byl proveden nástřik testované slitiny Stellite 6. Dále jsou zobrazena místa, v kterých probíhalo měření drsnosti obrobkové plochy.



Obrázek 52 - Model obrobku



Obrázek 53 - Soustava plátů po nanesení nástřiku metodou HVOF

Na obrázku 54, níže, je fotografie detailu sestavy plechů s nástřikem Stellite 6 s viditelným rozdílem šířky i výšky plechů. Vymezení plechy o šířce 1 mm splnily svoji roli v požadavcích konstantní mezery mezi podkladovými plechy s nástřikem a získali jsme tak rovnoměrný a souvislý nástřik slitiny Stellite 6. V popisu tohoto typu obrobku nesmíme zapomenout, že pro nástřik stelitové slitiny byla požadována tloušťka vrstvy 0,4 až 0,5mm.



Obrázek 54 - Detail ocelových plátů se stelitovým nástřikem

5.1.4 Mikroskop Multicheck PC500

Pro ověření stavu VBD pro experiment byl využit dostupný optický mikroskop Multicheck PC500. Pomocí tohoto mikroskopu bylo zkoumáno, do jaké míry jsou destičky poškozené z hlediska geometrického tvaru vlivem vyřezávání z polotovaru slinutého karbidu pomocí drátořezu.



Obrázek 55 - Mikroskop Multicheck PC500 [27]

5.1.5 Drsnoměr Mahr M300

Pro záznam naměřených hodnot kvality povrchu po jednotlivých řezech byla využita sada drsnoměru Mahr M300. K vyhodnocení experimentu jsme použili širokou škálu měřených hodnot, hodnoty jako R_a , R_z , R_{max} , R_{pk} , R_k , R_{vk} , Mr_1 , Mr_2 , A_1 , A_2 , R_t a R_{sm} . Tyto hodnoty jsou zhodnoceny v potřebné míře v kapitole 5.3.



Obrázek 56 - Drsnoměr Mahr 300 – sada [28]

5.2 Experimentální ověření

Stroj	<i>Obrážek Strigon GH560/U</i>
Nástroj	<i>Experimentální nůž</i>
Držák	<i>S mechanickým vyvozením napětí</i>
Destička	<i>SK K10 - nepovlakovaná</i>
Úhel čela v P_p:	<i>-7°</i>
Úhel hřbetu v P_p:	<i>7°</i>
Úhel čela v P_f:	<i>0°</i>
Požadavky obrábění	
Chlazení	<i>Ne</i>
Počet opakování	<i>8</i>
Řezná rychlost	<i>25 m/min</i>

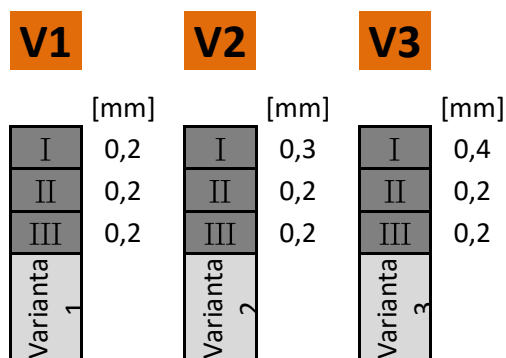
Tabulka 5 - Charakteristika experimentu [24]

5.2.1 Plán experimentu

Pro tento experiment byl podstatný výběr samotných faktorů, které ovlivňují kvalitu obrobeného povrchu, a které budou během experimentu variovány. V našem případě jsme zvolili jako proměnou hloubku řezu a_p při konstantní řezné rychlosti $v_c = 25$ m/min.

Abychom dosáhli co nejvěrohodnějších výsledků, které by naznačily, jakým směrem se v budoucím čase vydat při dalším zkoumání této problematiky, zvolili jsme pro náš experiment osminásobné opakování, tedy v tomto experimentu je plánováno obrobení 24 kusů ocelových plátů se stelitovým nástřikem. Kvalitu obrobené plochy jsme zkoumali na třech typech obrobků, které byly mezi sebou rozdílné odebíranou hloubkou řezu. Jednotlivé plechy – obrobky tak můžeme rozdělit do tří skupin, označme je zjednodušeně V1, V2, V3, což značí jednotlivé zvolené varianty. Dodejme, že každá z variant je obrobená třikrát.

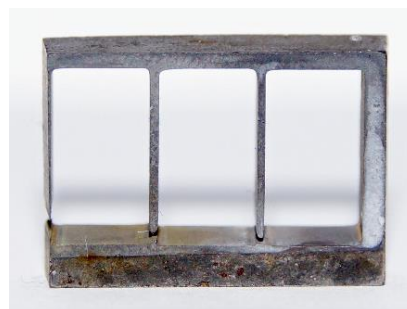
První varianta „V1“ je variantou, při které se plech s nástřikem obrábí vždy stejnou hodnotou a_p až do hloubky 0,6 mm. U druhé varianty obrobku „V2“ je hodnota prvního úběru 0,3 mm a další dva shodně po 0,2 mm, celkově je tedy úběr roven hodnotě 0,7 mm. Poslední variantou „V3“ je plech s nástřikem Stellite 6, kde byl zvolen první úběr na hodnotu 0,4 mm, přičemž zbývající dva úběry zůstaly shodné s předchozími variantami. Jednotlivé varianty obrobku jsou naznačeny níže na obrázku 57. Zbývá dodat, že pro každé obrobení plechu, tedy tří postupných řezů je plánováno využít jednu řeznou hranu VBD. Měření kvality obrobené plochy je měřeno pomocí drsnoměru po každém obrobení, více v kapitole 6.2.4 – Průběh experimentu.



Obrázek 57 - Varianty obrobku pro experiment

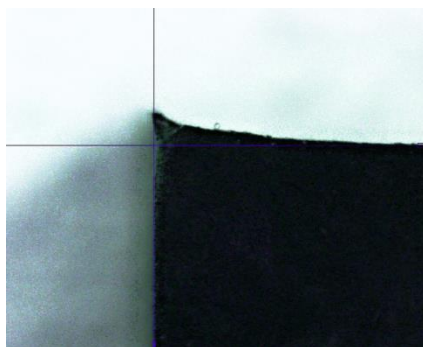
5.2.2 Analýza VBD

Použité destičky, materiál SK K10, pro experiment jsou vyřezány pomocí drátořezu z obdélníkového polotovaru viz obrázek 58. Takto vyřezané destičky bylo nutné před jejich použitím zkontrolovat, zda jsou všechny hrany v pořádku a do jaké míry je ovlivněn jejich tvar. Pro tyto destičky nebyla požadována žádná úprava geometrie jako například úhel čela či hřbetu, neboť samotné lůžko experimentálního nože je vyrobené ve sklonu 7° .



Obrázek 58 - Polotovar k výřezu VBD

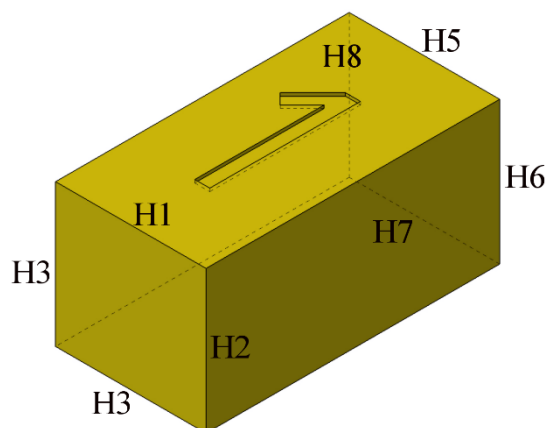
Při kontrole těchto destiček na mikroskopu Multicheck PC500 bylo možné zřetelně vidět poškození hrany v místě, kde drát začínal či končil svůj výřez. Toto poškození se nacházelo na každé z použitých destiček, a proto tedy neměla VBD osm řezných hran, nýbrž jen sedm. Snímek takto poškozené destičky je viditelný na obrázku 59. Takovéto poškození ve formě „špičky“ bylo v rozsahu $0,1 - 0,33$ mm, tedy výška této špičky od plochy čela, a proto byly všechny takto poškozené hrany označeny jako nepoužitelné.



Obrázek 59 - Poškození VBD po vyříznutí drátořezem

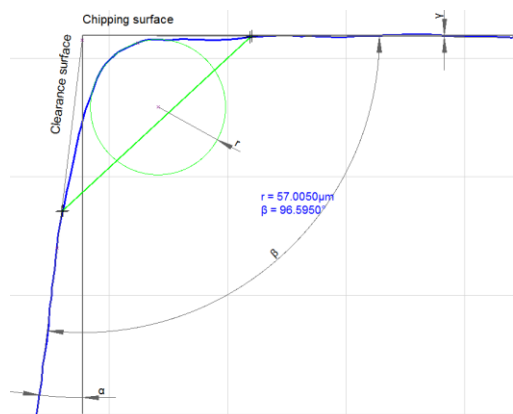
Jednou z dalších vad, kterou takto upravené destičky před experimentem měly, můžeme zmínit mírný sklon čelní plochy, která se v některých případech pohybovala kolem 1° . V průběhu, kdy drát vyřezával požadovaný obdélníkový tvar VBD, došlo k mírnému sklonu hřbetní plochy, avšak ne již tak výrazné jako u čelní plochy.

Před samotným experimentem je nutné zvolit si označení hran VBD pro záznam a vyhodnocení.

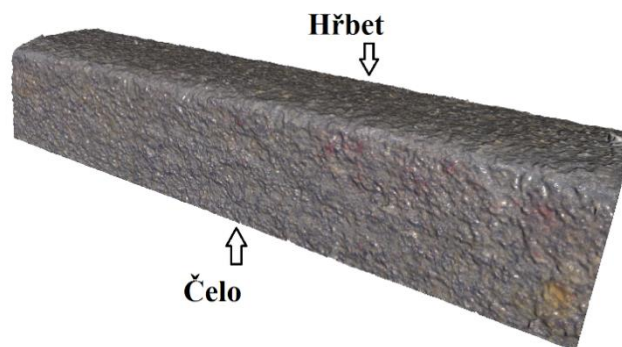


Obrázek 60 - Označení řezných hran VBD pro experimenty

Pomocí obrázku 59 jsme popsali, že všechny kontrolované VBD mají vždy jednu řeznou hranu nepoužitelnou. Ačkoliv jsme VBD nijak neupravovali, myšleno makro či mikro geometrie, naskenovali jsme pro detailnější informace břitovou destičku. Dle výsledků zjistíme, že ostří břitové destičky je nepoškozené a nemá viditelný defekt. Ovšem má definovaný poloměr zaoblění ostří, konkrétně u VBD č. 5 nabývá ostří vlivem výřezu drátořezem hodnoty $57,0050 \mu\text{m}$.



Obrázek 61 - Analýza ostří nepoužité VBD

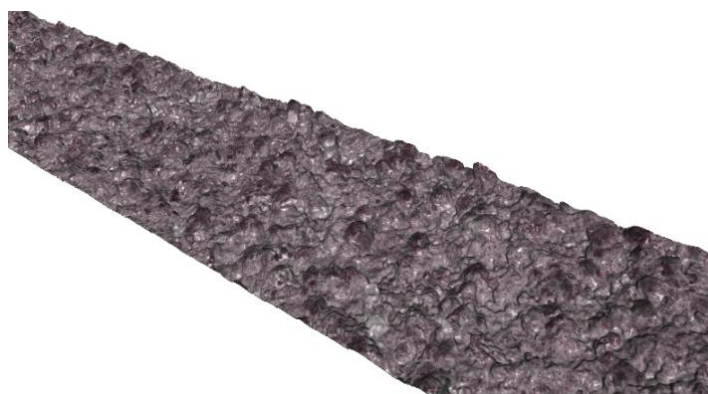


Obrázek 62 - Identifikace hřbetní a čelní plochy VBD

5.2.3 Analýza obrobku

Před provedením experimentu je důležité provést analýzu obrobku z hlediska defektů, kvality samotného nástřiku a podobně. U provedeného nástřiku jsme například kontrolovali pro zajímavost jeho drsnost, ale i důležitější – geometrické tolerance. Kontrola proběhla na vybraných vzorcích ze sestavy plátů, kdy byly vybrány oba krajní vzorky a poté každý pátý vzorek. Výstupem z kontroly je protokol ve formě volné přílohy na CD.

Nástřik stelitové slitiny na základní materiál má poměrně vysokou hodnotu drsnosti R_a . To je samozřejmě dáno strukturou povrchu a zrny, kterými je tato slitina tvořena. Vzhledem k tomu, že hodnota drsnosti nástřiku pro experiment nemá vysoký význam, uvedme pouze, že průměrná hodnota drsnosti nástřiku připraveného pro experiment je $7,12066 \mu\text{m}$.



Obrázek 63 - Naskenovaná plocha obrobku

U vybraných obrobků bylo testem přímosti zjištěno, že odchylka přímosti u obrobků se pohybovala v rozmezí $0,04 - 0,12 \text{ mm}$, přičemž průměrná úchylna přímosti kontrolovaných obrobků byla $0,0678571 \text{ mm}$.

5.2.4 Průběh experimentu

Před začátkem testování kvality obrobenej plochy v závislosti na vybraných parametrech jsme zahřáli obráběcí stroj plynulým chodem v požadované rychlosti, abychom dosáhli rovnoměrného pohybu pro samotné ověřování.

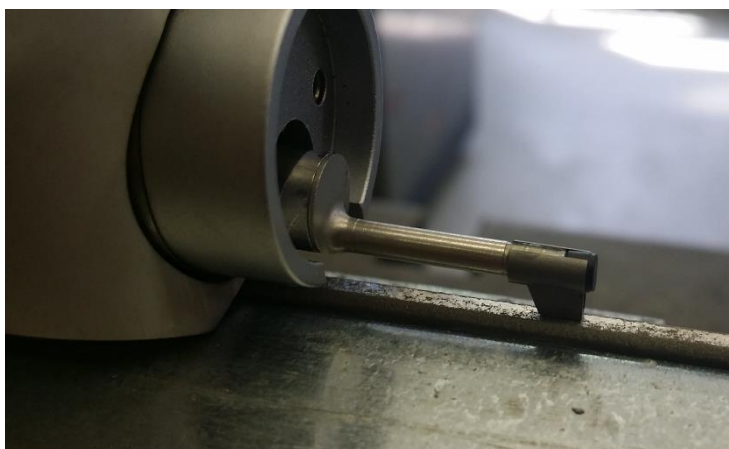
Pro pozdější analýzu byly testované obrobky označeny podle pořadí a typu, tedy například „1-V1“, kde 1 – značí pořadí plechu, tedy první v pořadí a V1 – varianta obrábění 1. Popis označení variant je vysvětleno výše v kapitole 6.2.1. – Plán experimentu. Před samotným upnutím do přípravku byl vždy plech vizuálně zkontrolován, zda nedošlo například k odštípnutí nástřiku a podobně.

Pro obrábění bylo nastaveno vyložení nože na 65 mm, které bylo dále neměnné. Co se týče VBD, byla využita vždy jedna hrana VBD pro jednu variantu obrobku. To znamená, že jednou řeznou hranou jsme obrobili tři hloubky řezu dle zvoleného plánu.

V našem případě nebyl využit standardní dvojzdvih stroje, ale po obrobění plátu došlo v horní úvrati k zastavení pohybu. Následně byl obsluhou nůž ručně vyklopen a poté opět ustaven do výchozí polohy. Důvodem byla obava, aby nedošlo k poškození obrobenej plochy. Běžným způsobem je totiž nůž uvolněn – vyklopen a vrací se zpět po obrobenej ploše. To bylo pro nás nepřijatelné. Mezi každým obrobem byla vizuálně zkontrolována VBD a její hrana, přičemž došlo v horní úvrati smýkadla, po ukončení obrobem obrobku všemi třemi hloubkami řezu k pootočení VBD na novou řeznou hranu pro obrobem další varianty obrobku. Toto pootočení VBD nové řezné hrany probíhalo pokaždé po kompletním obrobem obrobku. V případě vyskytnutí se výrazného opotřebení jsme byli připraveni zintenzivnit otáčení hran v kratším intervalu, například po dvou řezech.

Při výměně jednotlivých obrobků a pootočení řezných hran u VBD došlo obsluhou k opětovnému nastavení řezných destiček, respektive řezné hrany. Toto ustavení prováděla obsluha stroje pomocí spárových měrek. Upevnění obrobku v přípravku je výše znázorněno na obrázku 48.

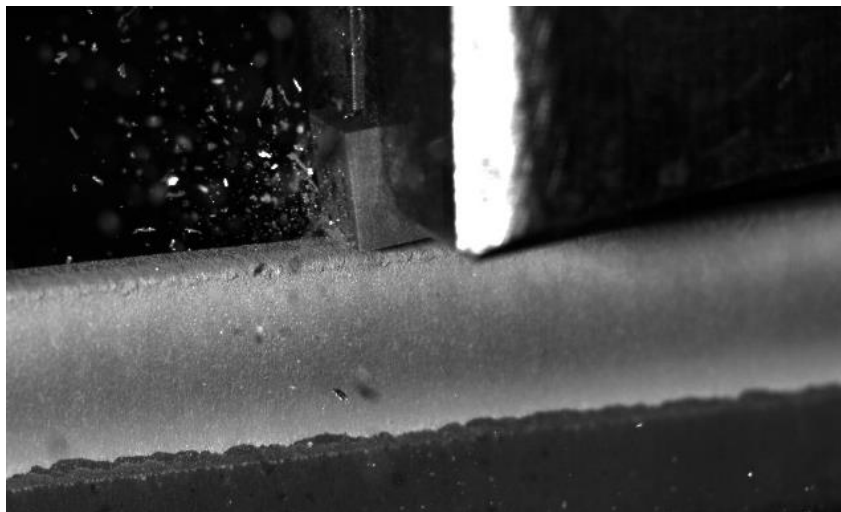
Hlavním cílem bylo zjištění kvality obrobenej plochy. Toto měření se provádělo pomocí drsnoměru – sada Mahr 300 s řadou výstupních parametrů. Měření drsnosti plochy probíhalo po každém obrobem, a to na třech místech ocelového plátu. Tím jsme celkově měřili každou variantu obrobku devětkrát. Měrná místa jsou zobrazena na modelu, viz obrázek 52. Měření drsnosti probíhalo ve vzdálenosti 50, 200 a 350 mm od kraje obrobku. Naměřené hodnoty jsou zhodnoceny v kapitole 6.3.



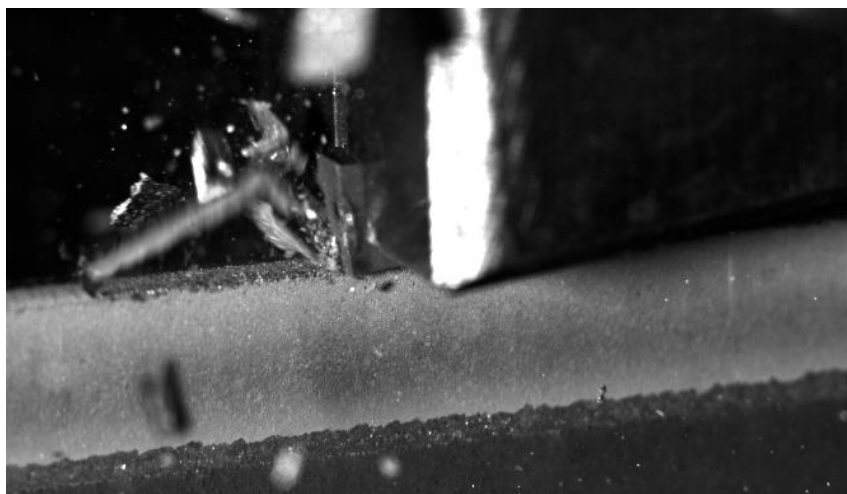
Obrázek 64 - Detail měření drsnosti obrobenej plochy

V průběhu experimentu jsme měli k dispozici vysokorychlostní kameru FASTCAM SA-X 2 RV, kterou pro nás bylo panem Ing. Káňou nasnímáno několik záběrů. Vybrali jsme hloubky řezu, které by pro nás mohly mít významný charakter. Volili jsme vždy počáteční hloubky řezu každé varianty obrobku, tedy 0,2 – 0,4 mm. Ačkoliv se výsledky drsnosti povrchu po jednotlivých úrovních řezu mírně lišily a je znatelný vliv hloubky řezu a_p , nemůžeme s jistotou tvrdit, že se tím mění i odcházející tříska. Záběry z kamery ukazují, že není příliš velký rozdíl mezi odcházející třískou mezi zvolenými a_p , tedy mezi hodnotami 0,2 – 0,4 mm.

Viditelná změna při obrábění je v momentě, kdy se řezná hrana dostala na úroveň přechodu vrstvy nástřiku a základního materiálu. I tato místa mají pro nás určitou vypovídající schopnost. Je důležité znát, jaké vlastnosti očekávat v nižších hodnotách a_p , ale i v hladinách přechodu jednotlivých materiálů. Právě při obrábění na rozhraní docházelo k vytrhávání nástřiku, jak ukazuje obrázek 66. Na toto vytrhávání může mít vliv kvalita tohoto nástřiku, příprava základního materiálu před nanesením nástřiku, ale také vznikající síly při obrábění, geometrie a obecné řezné podmínky.



Obrázek 65 - Odebírání třísky při $a_p=0,2$



Obrázek 66 - Vytrhávání nástřiku při odebrání třísky na rozhraní materiálu

5.3 Naměřené výsledky a vyhodnocení

Během experimentálního ověření jsme získali velký počet hodnot. Toto množství je způsobeno tím, že z každého obrobku jsme získali dvanáct hodnot po devíti měřeních, tedy 108 naměřených hodnot pro jeden obrobek. Navíc byl celý experiment naplánován na osminásobné opakování.

Pro naše vyhodnocení experimentu využijeme pouze primární řezy každé varianty, tedy hodnoty úběru $a_p = 0,2$ mm, dále $a_p = 0,3$ a úběr třetí varianty $a_p = 0,4$ mm. S těmito hodnotami se zaměříme na závislost hloubky řezu a_p na kvalitu povrchu (R_a , R_z).

Pro zhodnocení závislostí bylo využito statistického zhodnocení, které je naznačeno v případě vyjádření závislosti $a_p - R_a$, stejně tak i závislost $a_p - R_z$. Vzhledem k počtu naměřených hodnot jsou tyto hodnoty uvedeny ve formě tabulky, a to v příloze 4.

5.3.1 Závislost R_a na hloubce řezu a_p

Z naměřených hodnot, uvedených v příloze 4, jsme byli nuceni vyloučit některé hodnoty – nestandardní řezy, označené červenou barvou. Následovně se ze získaných výsledků R_a sestavila tabulka uspořádaná podle hloubek primárního řezu již s vyloučením hodnot nestandardních řezů, tabulka 6.

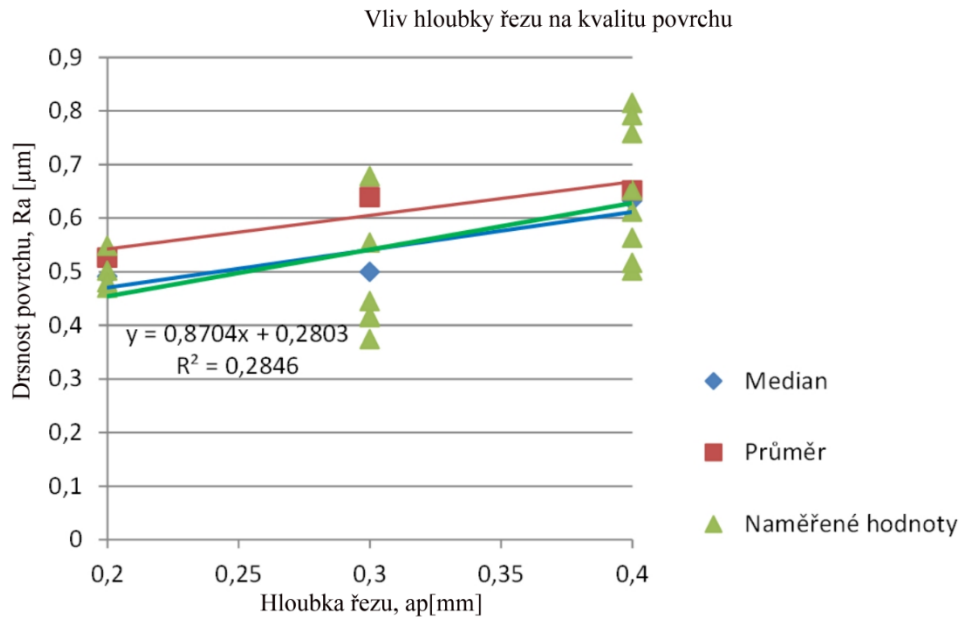
		Hl. vrstvy (mm)		
		0,2	0,3	0,4
R_a [μm]		0,502	0,678	0,612
		0,470	0,374	0,758
		0,480	0,415	0,815
		0,548	0,417	0,792
			0,445	0,652
			0,554	0,563
				0,502
				0,516

Tabulka 6 - Naměřené hodnoty R_a [24]

Poté, co jsme provedli vyloučení výsledků – nestandardních řezů, se výsledky upravily do tvaru vhodného pro hodnocení odlehlosti podle Grubbse. Statistické zhodnocení ukázalo, že po vyloučení výsledků – nestandardních řezů nedošlo k odlehnutí žádné z hodnot, tedy nedošlo k dalšímu vyloučení ze souboru.

	Hloubka prvního řezu 0,2 mm				Hloubka prvního řezu 0,3 mm				Hloubka prvního řezu 0,4 mm							
	Ra_N	$\sum_{i=1}^m Ra_{ui} - \bar{Ra}_{ui} $	SE	m	Ra_{ui}	$ Ra_{ui} - \bar{Ra}_{ui} ^2$	T_{ki}	Hodnocení	Ra_{ui}	$ Ra_{ui} - \bar{Ra}_{ui} ^2$	T_{ki}	Hodnocení	Ra_{ui}	$ Ra_{ui} - \bar{Ra}_{ui} ^2$	T_{ki}	Hodnocení
	0,5000	0,0036	0,0347	4	0,4805	0,0653	0,1143	6	0,4805	0,0653	0,1143	6	0,6513	0,1079	0,1242	8
							1,689				1,996					2,172
Číslo měř.	Ra_{ui}	$ Ra_{ui} - \bar{Ra}_{ui} ^2$	T_{ki}	Hodnocení	Ra_{ui}	$ Ra_{ui} - \bar{Ra}_{ui} ^2$	T_{ki}	Hodnocení	Ra_{ui}	$ Ra_{ui} - \bar{Ra}_{ui} ^2$	T_{ki}	Hodnocení	Ra_{ui}	$ Ra_{ui} - \bar{Ra}_{ui} ^2$	T_{ki}	Hodnocení
1	0,470	0,0009	0,8651	Neodlehlé	0,374	0,0113	0,9317	Neodlehlé	0,502	0,0223	1,2020	Neodlehlé				
2	0,480	0,0004	0,5767	Neodlehlé	0,415	0,0043	0,5730	Neodlehlé	0,516	0,0183	1,0893	Neodlehlé				
3	0,502	0,0000	0,0577	Neodlehlé	0,417	0,0040	0,5555	Neodlehlé	0,563	0,0078	0,7108	Neodlehlé				
4	0,548	0,0023	1,3841	Neodlehlé	0,445	0,0013	0,3106	Neodlehlé	0,612	0,0015	0,3161	Neodlehlé				
5					0,554	0,0054	0,6430	Neodlehlé	0,652	0,0000	0,0060	Neodlehlé				
6					0,678	0,0390	1,7278	Neodlehlé	0,758	0,0114	0,8597	Neodlehlé				
7									0,792	0,0198	1,1336	Neodlehlé				
8									0,815	0,0268	1,3188	Neodlehlé				

Tabulka 7 - Hodnocení odlehlosti pro R_a [24]



Graf 9 - Závislost Ra na a_p [24]

5.3.2 Závislost Rz na hloubce řezu a_p

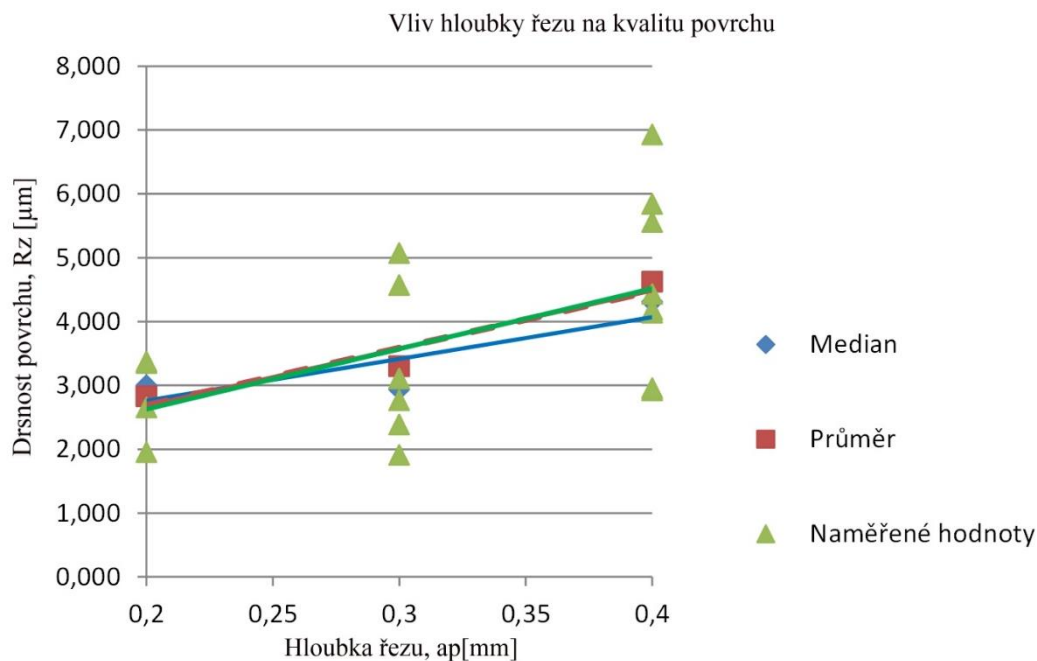
Pro vyjádření drsnosti povrchu Rz, tedy největší výšky profilu, jsme pro naměřené hodnoty použili stejný statistický postup, jako u závislosti $Ra - a_p$, k zhodnocení stanovené závislosti.

		Hl. vrstvy (mm)		
		0,2	0,3	0,4
Rz [µm]		3,347	5,071	4,138
		1,95	2,384	5,839
		2,651	1,912	5,556
		3,373	2,763	6,928
			3,104	4,429
			4,566	2,957
				4,186
				2,918

Tabulka 9 - Naměřené hodnoty Rz [24]

	Hloubka prvního řezu 0,2 mm				Hloubka prvního řezu 0,3 mm				Hloubka prvního řezu 0,4 mm				
	Rz_N	$\sum_{i=1}^m Ra_{ui} - \bar{Ra}_N $	SE	m	$T_{0,05(m)}$	Rz_{ui}	$ Ra_{ui} - \bar{Ra}_N ^2$	T_{ki}	Hodnocení	Rz_{ui}	$ Ra_{ui} - \bar{Ra}_N ^2$	T_{ki}	Hodnocení
	2,8303	1,3686	0,6754	4	1,689	3,3000	7,8316	1,996		4,6189	13,8084	2,172	
Číslo měř.	Rz_{ui}	$ Ra_{ui} - \bar{Ra}_N ^2$	T_{ki}	Hodnocení	Rz_{ui}	$ Ra_{ui} - \bar{Ra}_N ^2$	T_{ki}	Hodnocení	Rz_{ui}	$ Ra_{ui} - \bar{Ra}_N ^2$	T_{ki}	Hodnocení	
1	1,950	0,7748	1,3033	Neodlehle	1,912	1,9265	1,1090	Neodlehle	2,918	2,8930	1,2110	Neodlehle	
2	2,651	0,0321	0,2654	Neodlehle	2,384	0,8391	0,7319	Neodlehle	2,957	2,7618	1,1832	Neodlehle	
3	3,347	0,2670	0,7651	Neodlehle	2,763	0,2884	0,4291	Neodlehle	4,138	0,2312	0,3424	Neodlehle	
4	3,373	0,2946	0,8036	Neodlehle	3,104	0,0384	0,1566	Neodlehle	4,186	0,1874	0,3082	Neodlehle	
5					4,566	1,6028	1,0116	Neodlehle	4,429	0,0361	0,1352	Neodlehle	
6					5,071	3,1364	1,4151	Neodlehle	5,556	0,8782	0,6672	Neodlehle	
7									5,839	1,4887	0,8687	Neodlehle	
8									6,928	5,3321	1,6441	Neodlehle	

Tabulka 8 - Tabulka odlehlosti pro Rz [24]



Graf 10 - Závislost Rz na a_p [24]

Grafy 9 a 10 znázorňují, jaký vliv má při obrábění hloubka řezu (a_p) na kvalitu obrobeneho povrchu (R_a , R_z), v našem případě u metody třískového obrábění – obrážení. Při detailnějším pohledu na zmíněné grafy si můžeme všimnout poměrně velkého rozptylu výsledných hodnot. Tento rozptyl je znatelný v každé z úrovní a_p , pro kterou jsme vyhodnocovali experiment. Tedy vždy primární řezy každé varianty. Obecně za příčinu tohoto rozptylu výsledných hodnot můžeme považovat obráběcí stroj. V našem případě obráběčku. Průběh obrábění byl pravděpodobně ovlivněn vlivem silového zatížení a chvění, pro které nebyl náš stroj dostatečně stabilní. Dodejme, že v průběhu ověřování bylo složité tuto skutečnost zpozorovat, a tím zabezpečit zvýšení stability, tuhosti stroje.

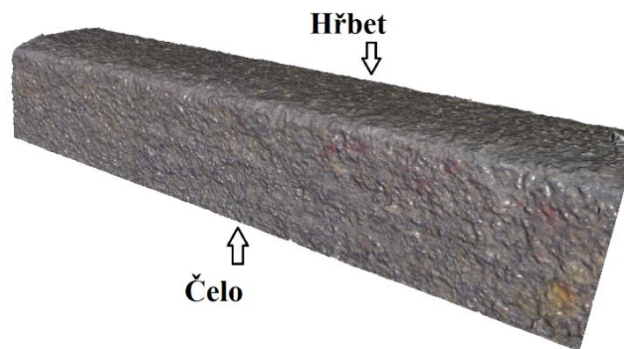
Pokud se zaměříme na naměřené hodnoty drsnosti, ať už parametry R_a či R_z , v jednotlivých hloubkách řezu, můžeme vidět, že hodnoty se zvyšující se hloubkou řezu směřují k vyšším hodnotám drsnosti povrchu. Zajímavé hodnoty drsnosti povrchu jsou u hloubky řezu $a_p = 0,2$ mm, které nejsou v příliš velkém rozptylu a jsou blízké hodnotám drsnosti povrchu dosažitelné po broušení. Samozřejmě jsou pro nás významné i zbylé hodnoty při větších hloubkách řezu, ovšem je nutné uvědomit si již s výrazným rozptylem naměřených hodnot, zapříčiněným právě nízkou stabilitou stroje.

Obecně však nemůžeme říci, že výsledky tohoto experimentu jsou nevýznamné. V průběhu experimentu jsme s napětím očekávali, jak se tato obráběcí metoda osvědčí. Vzhledem k dosaženým výsledkům jsme se utvrdili v tom, že použití metody třískového obrábění k obrobení Stellite 6 je možné. Pokud pečlivě a vhodně nastavíme rezní podmínky pro třískové obrábění, zvolíme správný rezní materiál a s tím uvážíme další ovlivňující faktory, můžeme dosahovat velmi kvalitních výsledků obrobené plochy, zatím alespoň v experimentálním studiu.

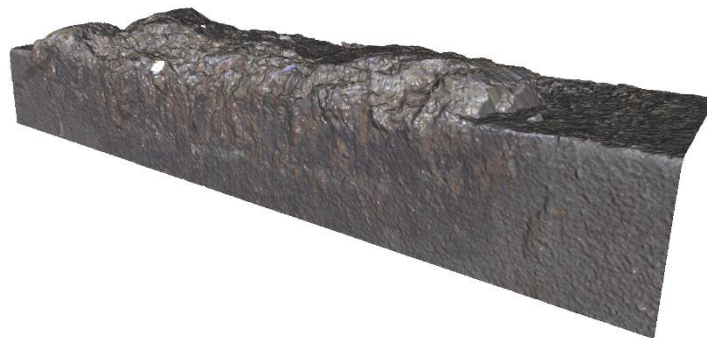
5.3.3 Opotřebení VBD

Pro naši problematiku třískového obrábění stelitových slitin je důležitý i rezný materiál. Pro tento experiment byly využity VBD z SK třídy K10, kdy úprava geometrie destiček jako například fazetky, poloměr ostří a podobné, nebyla požadována. Zajímalo nás, do jaké míry je zvolený materiál pro VBD vhodný pro třískové obrábění těchto slitin i co do odolnosti vůči opotřebení. Na obrázku níže je porovnání nové VBD a destičky po obrobení jednoho obrobku.

Viditelné opotřebení rezného břitu můžeme zpozorovat v podobě nárůstku, který ulpívá především na hřbetní ploše vybraných VBD, viz obrázek 68. Tento typ opotřebení, byl pozorován nejčastěji po odebrání třísky na rozhraní materiálu, tedy mezi základním materiálem a nástřikem. Mimo opotřebení na hřbetě si můžeme, díky vzniklým snímkům, všimnout i opotřebení čelní plochy. V tomto případě se velmi pravděpodobně se jedná o opotřebení ve formě vydrolování ostří, viz obrázek 69.



Obrázek 67 - Nová VBD



Obrázek 68 - Nárůstek na hřbetu u VBD č. 2



Obrázek 69 - Vydrolování ostří u VBD č. 3

5.3.4 Obrobený nástřik Stellite 6

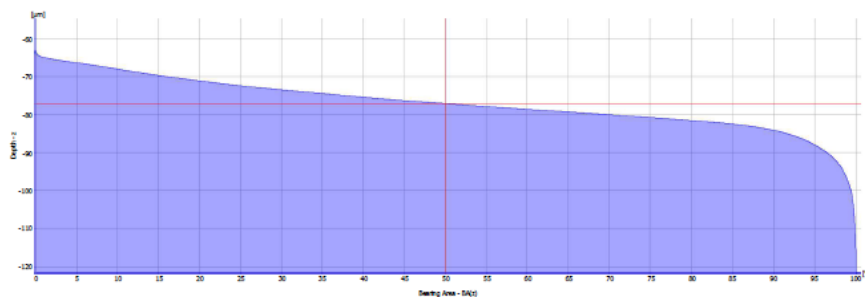
Analýze jsme podrobili čtvrtý plech v pořadí testování, kdy byl tento plech testován podle varianty „V1“ – tedy tři úběry po 0,2 mm. Výsledný snímek na obrázku 70, pořízený zařízením Alicona IFM G4, zobrazuje povrch obrobku po obrobení, kdy došlo k odstranění vrstvy na rozhraní nástřiku a základního materiálu. Viditelně vzniklé "žlábký či výmoly" mohou být projevem vytrhnutí základního materiálu po přejezdu břitu, nebo mohly vzniknout již před samotným žárovým nástřikem, protože plocha základního materiálu se připravuje pískováním, a to z důvodu hrubšího povrchu, aby na ní nástřik lépe „držel“.

O Abbottově křivce víme, že vypovídá o struktuře profilu povrchu. Z průběhu křivky lze vyhodnotit očekávané funkce chování. Klesá-li křivka pozvolna, jedná se o plný profil s nepatrným objemem prohlubní, a tedy o povrch s velmi dobrými vlastnostmi proti opotřebení. Strmě klesající křivka naproti tomu poukazuje na silné pukliny v povrchu a tím na nepříznivé vlastnosti opotřebení.[26]

Za tímto účelem jsme provedli skenování obrobku, konkrétně tedy obrobku V1, kdy naskenovaná plocha by měla odpovídat hloubce 0,6 mm v závislosti na kvalitě a tloušťce původního nástřiku Stellite 6.



Obrázek 70 - Obrobený povrch obrobku



Obrázek 71 - Abbottova křivka obrobku "V1" po obrobení

6 Technicko – Ekonomické zhodnocení

Jak již bylo uvedeno, cílem této diplomové práce je návrh nástroje pro třískové obrábění, pomocí kterého by bylo možné nahradit dosavadní metodu broušení žárových nástřiků, a to metodou soustružení - obecně třískového obrábění, avšak při zachování kvality obrobené plochy, které dosahujeme při broušení těchto žárových nástřiků, ba dokonce výsledků lepších.

Experimentem jsme došli k závěru, že využití třískového obrábění je skutečně možné. Musíme si však uvědomit, že v budoucnu pravděpodobně nepůjde o využití obrážení. V našem případě se jednalo o zjednodušení procesu třískového obrábění – soustružení. Tato metoda byla uvažována v raném stádiu této práce, později jsme se rozhodli přejít k jednodušší metodě – obrážení.

Ale právě proto, že jsme pomocí experimentálního studia zjistili, že do jisté míry je možnost využít třískové obrábění, porovnejme nyní oba typy obrobení stelitových slitin, a to metodu soustružení obrážení s metodou broušení. Srovnání je zamýšleno z hlediska jednotkového strojního času t_{AS} a časové úspory. Toto srovnání tedy nekopíruje přímo metodu obrážení s metodou broušení, ale pravděpodobně reálnější variantu, kdy využijeme soustružení k obrobení obrobku s nástřikem Stellitu 6, místo metody obrážení.

Budeme-li porovnávat tyto dvě metody, musíme použít stejný zidealizovaný model obrobku pro obě metody. Stanovme nyní rozdíl při obrábění těmito metodami pro obrábění stelitového nástřiku na ideálním rotačním obrobku, který poslouží dále k účelům výpočtu.

Výpočet t_{AS} (broušení)

✚ *metoda rozjížděcím způsobem*

$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot d_p \cdot L}{1000 \cdot v_p \cdot f} \cdot i = \frac{\pi \cdot 50 \cdot 120}{1000 \cdot 30 \cdot 1,2} \cdot 20 = 10,47 \text{ min}$$

$$L = l_n + l + l_p = 10 + 100 + 10 = 120 \text{ mm}$$

l_n, l_p – hodnota nájezdu a přejezdu – šířka brusného kotouče $b = 10 \text{ mm}$

i – počet přejezdů

v_p – obvodová rychlost obrobku

f – posuv

Výpočet t_{AS} (soustružení)

✚ *vnější podélné soustružení*

$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot d \cdot L}{1000 \cdot v_c \cdot f_{ot}} \cdot i = \frac{\pi \cdot 50 \cdot 110}{1000 \cdot 25 \cdot 0,15} \cdot 1 = 4,607 \text{ min}$$

$$L = l_n + l + l_p = 5 + 100 + 5 = 110 \text{ mm}$$

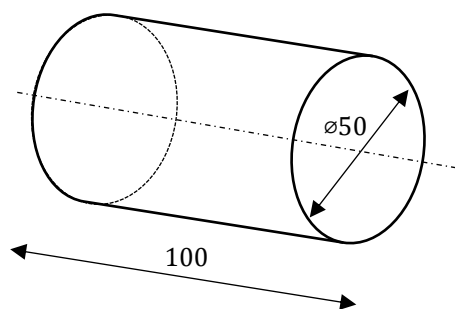
i – počet přejezdů

d – průměr obrobku

v_c – řezná rychlost

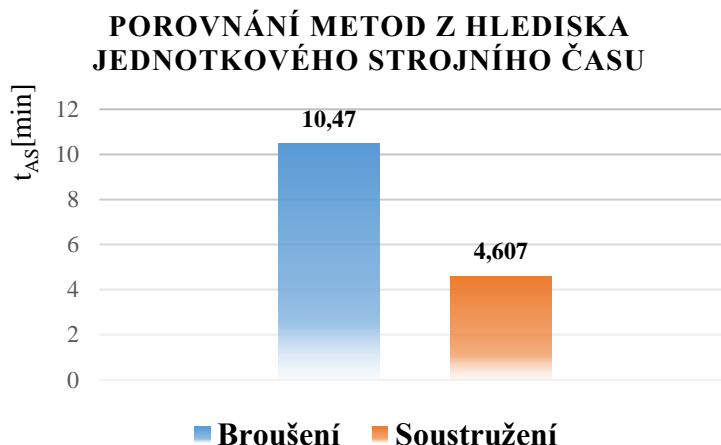
f_{ot} – posuv

L – celková dráha nástroje



Obrázek 72 - Teoretický model obrobku pro zhodnocení

U takto nastavených teoretických podmínek zjistíme, že metoda třískového obrábění je časově úspornější, celkově dosahujeme úspory **přibližně 56 %**, uvědomme si, že se jedná o teoretické hodnoty časů. Nicméně tato úspora z hlediska jednotkového strojního času není zanedbatelná.



Graf 11 - Časové srovnání jednotlivých metod

Na základě tohoto výpočtu, kdy jsme si potvrdili, že metoda soustružení je časově méně náročná než broušení, nyní můžeme vyjádřit finanční náročnost obou metod v závislosti na vypočteném čase. K tomuto výpočtu jsme získali od nejmenované firmy, zabývající se problematikou obrábění Stellitu, finanční a časové hodnoty.

Náklady při broušení

- Hodinová sazba stroje 1550 – 2000 Kč (včetně ceny nástrojů)

Náklady při soustružení

- Hodinová sazba stroje 1000 – 1600 Kč (včetně ceny nástrojů)

Vzhledem k rozmezí hodnot si stanovíme průměrnou cenu strojní hodinové sazby každé technologie, tedy cena broušení je 1775 Kč a soustružení 1300 Kč.

+ *Broušení*

Teoretický počet výrobků za 1 hodinu u broušení:

$$n = \frac{60}{10,47} = 5,73 \text{ dílů} \cong 5 \text{ dílů za hodinu}$$

Teoretická hodnota nákladu na obrobek 1 kusu vztážené k t_{AS} :

$$N_{1\text{kus}} = \frac{1775}{5} = 355 \text{ Kč}$$

+ *Soustružení*

Teoretický počet výrobků za 1 hodinu u soustružení:

$$n = \frac{60}{4,607} = 13,02 \text{ dílů} \cong 13 \text{ dílů za hodinu}$$

Teoretická hodnota nákladu na obrobek 1 kusu vztážené k t_{AS} :

$$N_{1\text{kus}} = \frac{1300}{13} = 100 \text{ Kč}$$

Teoretickými hodnotami jsme dosáhli výpočtu, kdy doba obrobení 1 kusu obrobku se stelitovým nástřikem je v případě broušení cca 10,47 min a soustružení cca 4,607 min. Zanedbáme-li ostatní časy při obrábění, seřizování a podobně, je teoreticky možné během jedné hodiny metodou broušení obrobek 5 dílů s náklady na 1 kus 355 Kč. Naopak u produktivnější metody třískového obrábění jsme teoreticky schopni vyrobit 13 dílů za hodinu s náklady na 1 kus.

Porovnáním těchto metod jsme získali informace o jejich produktivitě a finanční náročnosti. Je zřejmé, že použití třískové metody oproti metodě broušení snižuje čas obrobení a zároveň snižuje finanční náklady. Vyhodnocením experimentálního studia jsme získali poznatky, že je možné za určitých podmínek využít pro obrobení stelitových slitin metody třískového obrábění. Jsme schopni dosahovat hodnot kvality povrchu po obrobení blízcím se hodnotám při využití broušení. To naznačuje, že v budoucnosti je možné současné broušení nahradit metodami třískového obrábění, například soustružení či námi zkoumané obrázení. Tento krok by přispěl ke snížení nákladů na obrobení takovýchto povrchů opatřených nástřiky stelitové slitiny.

7 Závěr

Obecně se tato práce zabývala konstrukčními návrhy nástrojů pro třískové obrábění. Základní myšlenkou pro tuto práci byla problematika zabývající se obrobiteľností chrom-kobaltových slitin označovaných Stellite. V současné době jsou tyto stelitové slitiny ve své většině obráběny metodou broušení. Tato diplomová práce by se dala pomyslně rozdělit na tři části, z nichž každá má své opodstatnění.

V úvodu této diplomové práce je sepsána rešeršní část, která pojednává například o seznámení a představení chrom-kobaltových slitin Stellite, jejich vlastností, předností a současného využití v průmyslu. Součástí rešeršní části je dále shrnutí zahraniční publikační činnosti, jež se zabývá problematikou obrobiteľnosti stelitových slitin. Z této publikační činnosti jsme čerpali poznatky a zohlednili je v naší práci. V neposlední řadě se rešeršní část zabývá faktory ovlivňující obrábění, ať už pozitivně či negativně.

Ve své druhé části, můžeme jí označit jako konstrukční část, bylo navrženo několik konstrukčních variant nožů – držáků VBD s různými principy pro vyvolání speciálního napětí stavu. V průběhu tvorby práce byla naše problematika zprvu směřována k třískovému obrábění těchto slitin pomocí soustružení. Na základě této úvahy vznikly tři konstrukční návrhy držáků, lišící se způsoby vyvolání tlakového napětí na řeznou hranu VBD. Z těchto návrhů, respektive z prvního návrhu nože – nůž přímý, vzešly další tři návrhy držáků, tentokrát pro oblast obrázení. Důvod tohoto zjednodušení technologie je vysvětlen v průběhu této práce. První z návrhů téměř kopíruje provedení a vlastnosti držáku přímé varianty z oblasti soustružení. Zbylé dva návrhy jsou konstrukčně složitější. Lůžko pro VBD a samotné opěrné vložky jsou důmyslnější a mají své opodstatnění, navíc součástí těchto dvou navržených držáků je speciální rám pro vyvolání tlakového napětí.

Ve své třetí části jsme ověřovali navržený experimentální nůž s mechanickým vyvoláním tlakového napětí, jenž je navržený pro metodu obrázení. Tento nůž je ve své podstatě kombinací dvou navržených nožů. Experimentální studium, ve kterém jsme ověřovali využití tohoto držáku, ukázalo, že je v určité míře možné pro obrábění stelitových slitin využívat nástroje s definovanou geometrií. Výsledky tohoto studia mají určitý rozptyl, který je velmi pravděpodobně zapříčiněn nestabilitou stroje. Tento rozptyl se zvyšuje s rostoucí hloubkou řezu a_p , kdy nejvyšší rozptyl je viditelný u $a_p = 0,4$ mm. Obecně však můžeme říci, že jsme

třískovým obráběním dosáhli poměrně dobrých výsledků drsnosti povrchu, který můžeme v určité míře srovnávat s kvalitou plochy, jež je běžně broušena.

V poslední části této diplomové práce bylo provedeno technicko-ekonomické zhodnocení a porovnání metod třískového obrábění a broušení. Toto porovnání bylo provedeno, z hlediska výpočtu jednotkového strojního času t_{AS} a následného časového srovnání, kdy byla zjištěna téměř 56% úspora času při využití metody třískového obrábění oproti broušení.

K úplnému závěru se hodí poznamenat, že ověření tohoto nástroje a technologie jako takové mělo přínos. Samozřejmě jsme získali poznatky, které nás posouvají dále, ale i takové, které naznačily špatný směr. Výsledky experimentální studia jsou velmi pravděpodobně ovlivněny nestabilitou stroje, proto by bylo vhodné při budoucích experimentech zajistit větší stabilitu stroje, pokud možno co nejvíce snížit vibrace. Dále jsme ověřili obrážecí nůž – držák primitivního principu, kdy bylo plánováno využití třetí varianty držáku s pájenými cermetovými vložkami, ale bohužel se tento pokus neuskutečnil. Osobně vidím v nástrojích, které jsou navrženy s využitím cermetových vložek či opěrných elementů za působení tlaku pomocí speciálního rámu, velký potenciál. U těchto nástrojů je ovšem „nutné“ v budoucnosti, experimentálním studiem, toto očekávání potvrdit.

8 Seznam použité literatury

- [1] *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. Praha: Sandvik Coromant, 1997. ISBN 9197229946.
- [2] Žárové a plazmové technologie – žárové nástřiky. *Sammetal* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.sammetal.cz/technologie/zarove-a-plazmove-technologie-zarove-nastriky>
- [3] Žárové nástřiky. *Tribo engineering* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.triboing.cz/zarove-nastriky.html>
- [4] OZTURK, Sabri. Machinability of Stellite-6 Coatings with Ceramic Inserts and Tungsten Carbide Tools. *Arabian Journal for Science and Engineering* [online]. 2014, **39**(10), 7375-7383 [cit. 2017-04-04]. DOI: 10.1007/s13369-014-1343-9. ISSN 1319-8025. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s13369-014-1343-9>
- [5] HASAN, Md Shahanur, Abdul Md MAZID a Richard E. CLEGG. Optimisation of the Machining of Stellite 6 PTA Hardfacing Using Surface Roughness. *Key Engineering Materials* [online]. 2010, **443**, 227-231 [cit. 2017-04-04]. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.443.227. ISSN 1662-9795. Dostupné z: <http://www.scientific.net/KEM.443.227>
- [6] *Příručka pro technology - Jak je to s reznými silami?* [online]. Vyšlo v MM : 2012 / 3, 13.03.2012 v rubrice Výroba / Obrábění, Strana 68, 2012 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-jak-je-to-s-reznymi-silami.html>
- [7] Líbal, M: *Stanovení hlavních parametrů ovlivňujících přilnavost a odolnost povlaků žárových nástřiků vytvořených elektrickým obloukem*, [Diplomová práce], Plzeň ZČU, FST, KMM, 2013.
- [8] Morávek, M: *Vliv vstupních parametrů mikro a makro struktury vybraného typu povlaku na jeho obrobiteľnosť nástroji s definovanou geometrií břitu*, [Diplomová práce], Plzeň ZČU, FST, KTO, 2016.
- [9] Urban, M: *Konstrukce speciálního frézovacího nástroje pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů*, [Diplomová práce], Plzeň ZČU, FST, KTO, 2011.
- [10] Silové poměry při procesu řezání, řezná síla a její složky. *ELUC* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1196>
- [11] Žárové stříkání. *Plasmametal* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.plasmametal.cz/pouzite-technologie>
- [12] Řehoř, J., „Teorie Obrábění,“ [prezentace], [Citace 6. 5. 2017]
- [13] *Technologie II: 1. díl* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_1dil.pdf
- [14] *Základy obrábění* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://jhamernik.sweb.cz/obrabeni.htm>
- [15] *Technologie strojího obrábění* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://web.sstzr.cz/download/cat1/technologie-strojního-obrabeni.pdf>
- [16] Stellite 6 Alloy. *Exocor.com* [online]. [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://exocor.com/downloads/product-datasheets/Stellite-6-Datasheet.pdf>

- [17] Živé ukázky obrábění sledovaly průběh řezných sil. *Www.konstrukter.cz* [online]. [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <http://www.konstrukter.cz/2015/05/25/zive-ukazky-obrabeni-sledovaly-prubeh-reznych-sil/>
- [18] Praxe II a III. *Www.strojka.opava.cz* [online]. [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: http://www.strojka.opava.cz/UserFiles/File/_sablony/Praxe_II_a_III/VY_52_INOVACE_H-02-32.pdf
- [19] Vlastnosti oceli 1.7225. *Www.preciz.cz* [online]. [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.7225>
- [20] Geometrie břítu obecně. *Tumlikovo.cz* [online]. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/geometrie-britu-obecne>
- [21] Stellite6 alloy – technical data. *Exocor.com* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://exocor.com/downloads/product-datasheets/Stellite-6-Datasheet.pdf>
- [22] General Turning. *sandvik.coromant.com* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/SiteCollectionImages/knowledge/General%20turning/090062.jpg>
- [23] Prezentace - DTB Technologie obrábění Téma 3. *slideplayer.cz* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2618404/>
- [24] Matějka Jan – Monka Peter P. – Kološ David: Správa z experimentálního ověřování nástřiku Stellite obrážením, 2017, RTI FST Západočeské univerzity v Plzni
- [25] Monka Peter P. – Katarína Monková
- [26] Zvyšování spolehlivosti součástí superfinišováním. *www.cnckonstrukce.cz* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.cnckonstrukce.cz/clanek-118/zvysovani-spolehlivosti-soucasti-superfinisovanim.html>
- [27] Mikroskop Multicheck PC500. In: *www.images2.hellotrade.com* [online]. [cit. 2017-05-27]. Dostupné z: <http://images2.hellotrade.com/data3/HT/OL/HTVENDOR-8985263/multicheck-computer-supported-complete-tool-measurement-250x250.jpg>
- [28] Mahr M300 sada. In: *www.bemet.cz* [online]. [cit. 2017-05-27]. Dostupné z: http://bemet.cz/165-thickbox_default/mahr-m300-sada--388712.jpg?controller=404
- [29] Geometrie obráběcího nástroje. In: *Www.kvalifikace.sosasource.cz* [online]. [cit. 2017-05-27]. Dostupné z: <http://kvalifikace.sosasource.cz/2-1-1-1-geometrie-obrabeciho-nastroje/>
- [30] Přímá upínka 310. In: *Www.jcmetal.cz* [online]. [cit. 2017-05-27]. Dostupné z: <https://www.jcmetal.cz/produkt/104-310.html>
- [31] Horizontální obrážička Strigon. In: *Www.tumlikovo.cz* [online]. [cit. 2017-05-27]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/stroje-2/obrazicka/strigon-gh400/>

Použitý software

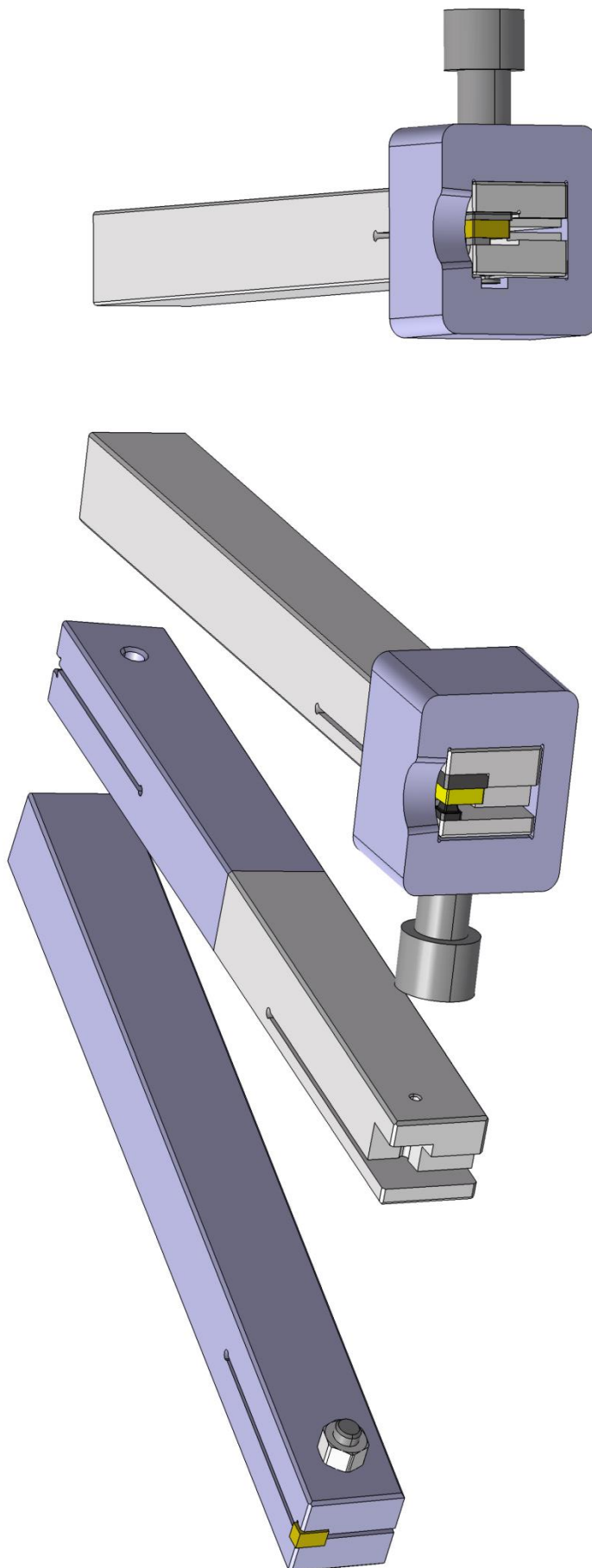
-  Catia V5R20
-  Microsoft Office

9 Seznam příloh

PŘÍLOHA 1 - Přehled nástrojů pro obrážení	II
PŘÍLOHA 2 - Přehled nástrojů pro soustružení.....	IV
PŘÍLOHA 3 - Sestava přípravku	VI
PŘÍLOHA 4 - Naměřené hodnoty z experimentálního studia	VIII

PŘÍLOHA 1

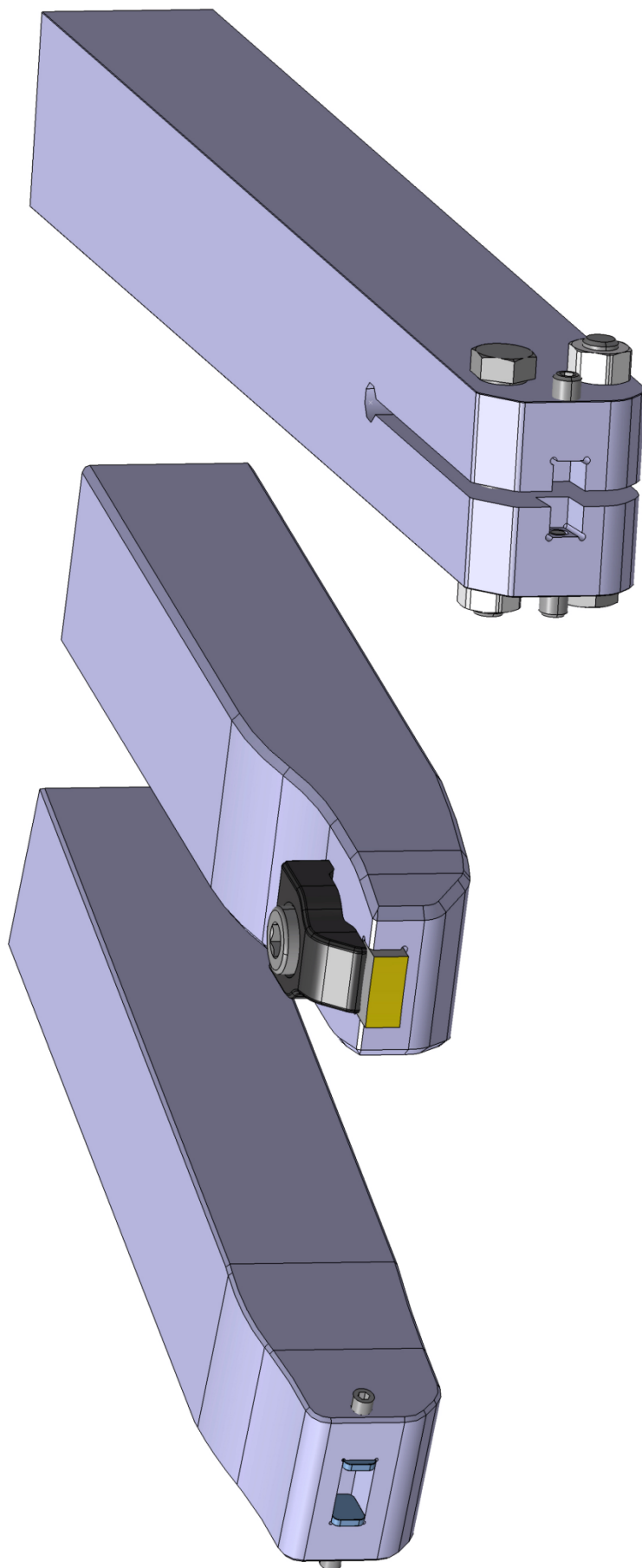
NÁSTROJE K OBRÁŽENÍ



PŘÍLOHA 1 - Přehled nástrojů pro obrábění

PŘÍLOHA 2

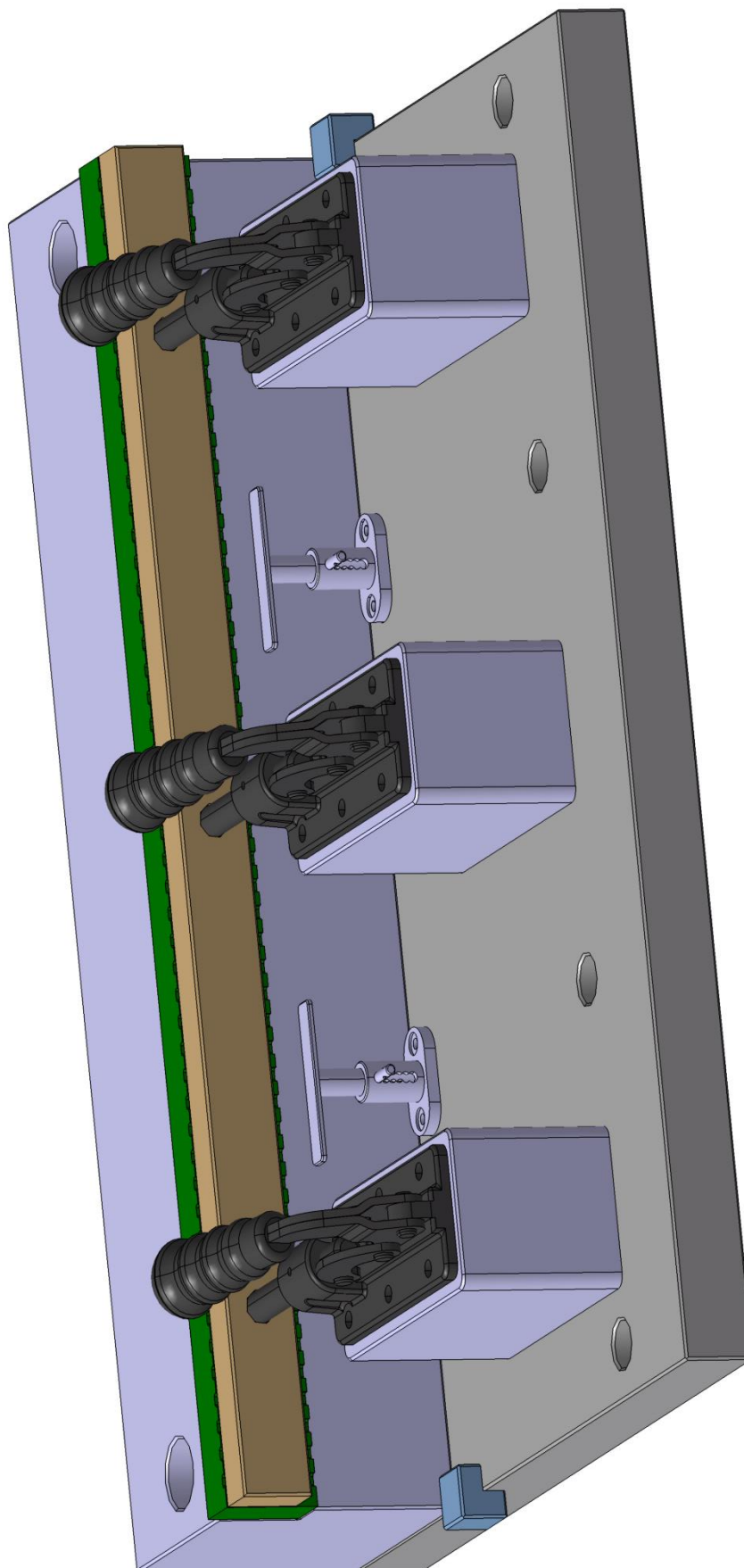
NÁSTROJE K SOUSTRUŽENÍ



PŘÍLOHA 2 - Přehled nástrojů pro soustružení

PŘÍLOHA 3

PŘÍPRAVEK



PŘÍLOHA 3 - Sestava přípravku

PŘÍLOHA 4

NAMĚŘENÉ HODNOTY Z EXPERIMENTÁLNÍHO STUDIA

Varianta	Opakování	Vrstva	HL. vrstvy	Poloha	[μm]		[μm]		[μm]		[μm/mm]		[μm]		Poznámky ze statist. hodnocení		
					Ra	Rz	Rmax	Rpk	Rk	Rvk	Mrf	Mr2	A1	A2		Rt	Rsm
V1	1	I	0,2	A	2,84	16,64	21,7	0,801	4,997	9,214	5,1	72	20,35	126,9	23,3	264	VYLOUČENÍ
V1	2	I	0,2	A	0,502	3,347	5,695	0,386	1,563	1,554	8,5	84	16,43	124,3	5,792	436	
V1	3	I	0,2	A	0,47	1,95	2,515	0,43	1,973	0,348	7,1	91	15,34	14,91	2,515	497	
V1	4	I	0,2	A	1,412	12,35	18,82	1,246	3,377	8,684	11	89	67,36	470,9	20,06	510	VYLOUČENÍ
V1	5	I	0,2	A	0,903	8,091	24,24	0,935	2,283	6,382	7,9	92	31,17	267,3	24,24	556	VYLOUČENÍ
V1	6	I	0,2	A	0,48	2,651	3,772	0,901	1,444	1,024	7,5	77	33,61	117,8	3,925	661	
V1	7	I	0,2	A	0,548	3,373	5,048	1,126	1,589	1,168	16	87	92,04	76,42	6,568	572	
V1	8	I	0,2	A	0,252	1,596	2,49	0,604	0,878	0,346	9,7	91	29,33	14,89	2,49	352	VYLOUČENÍ
V2	1	I	0,3	A	1,275	8,382	17,31	1,687	3,089	5,541	6,7	85	56,46	422,8	17,31	578	VYLOUČENÍ
V2	2	I	0,3	A	0,953	7,277	13,08	0,606	2,808	3,227	4,9	82	14,71	288,2	14,32	535	VYLOUČENÍ
V2	3	I	0,3	A	0,678	5,071	10,85	0,419	1,336	2,663	7,3	80	15,26	266,9	10,85	545	
V2	4	I	0,3	A	0,374	2,384	2,844	0,641	1,177	0,5	12	82	39,13	45,12	3,088	603	
V2	5	I	0,3	A	0,415	1,912	2,747	0,74	1,404	0,667	13	89	48,1	38,12	2,924	493	
V2	6	I	0,3	A	0,417	2,763	4,181	0,841	1,293	0,478	14	81	57,08	45,41	4,425	340	
V2	7	I	0,3	A	0,445	3,104	6,024	1,249	1,514	0,579	9,1	92	56,56	23,66	6,519	364	
V2	8	I	0,3	A	0,554	4,566	9,302	0,335	1,189	2,235	5,7	81	9,615	214,5	9,302	581	
V3	1	I	0,4	A	0,612	4,138	9,345	0,519	1,713	1,698	9,7	78	25,19	184,1	9,937	598	
V3	2	I	0,4	A	0,758	5,839	9,259	0,5	2,383	3,043	6,8	89	17,07	166,9	10,08	585	
V3	3	I	0,4	A	0,815	5,556	10,02	0,669	2,156	2,535	11	81	37,4	238	10,54	441	
V3	4	I	0,4	A	0,792	6,928	10,71	1,046	2,135	2,201	7,9	79	41,34	228,8	15,09	462	
V3	5	I	0,4	A	0,652	4,429	8,765	0,907	1,606	1,538	13	79	57,42	164,3	9,589	409	
V3	6	I	0,4	A	0,563	2,957	5,194	0,336	2,324	1,163	7	88	11,72	70,86	5,408	576	
V3	7	I	0,4	A	0,502	4,186	9,894	0,522	1,312	1,446	12	81	31,63	139,4	11,33	681	
V3	8	I	0,4	A	0,516	2,918	3,705	0,503	2,125	0,542	5,3	91	13,39	23,63	4,035	444	

PŘÍLOHA 4 - Naměřené hodnoty z experimentálního studia